

# MASTERARBEIT



## **KALKULATION VON BETONARBEITEN – DER EINFLUSS DER BETONIERGESCHWINDIGKEIT AUF VERTIKALE BAUTEILE**

BOUVIER Clemens, BSc.

Vorgelegt am  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Projektentwicklung und Projektmanagement

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

Graz am 23. Mai 2011



## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

(Unterschrift)

## STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

date (signature)

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meines Studiums und meiner Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler.

Für die interessanten Fachgespräche bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Roland Travnicek.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützten.

(Ort), am (Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift des Studenten)

## Kurzfassung

In der vorliegenden Masterarbeit wird der Einfluss der Betoniergeschwindigkeit auf die Einzelkosten von Betonarbeiten bei vertikalen Bauteilen untersucht. Die Betoniergeschwindigkeit hängt wesentlich vom maximal zulässigen Frischbetondruck und der daraus resultierenden Steiggeschwindigkeit des Frischbetons in der Schalung ab. Diese Größen wirken sich entscheidend auf die Wahl des lotrechten Schalungssystems und der Betonzusammensetzung aus. Zu den Grundlagen dieser Arbeit zählen daher einerseits die Bestimmungen zum Beton der ÖNORM B 4710:2007, insbesondere dessen Festlegung, Herstellung, Verwendung und Prüfung, sowie die Ermittlung des Frischbetondrucks nach den Tabellen und Diagrammen der neuen DIN 18218:2010. Die Kalkulation von Betonarbeiten wird anhand der ÖNORM B 2061 in einem für die Arbeit erforderlichen Ausmaß erklärt. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt darin, aufzuzeigen, welche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen die Anwendung DIN 18218:2010 hat. Speziell bei Wänden haben die Wahl der Betoniergeschwindigkeit und der Wandabschnittsgröße einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und den Baufortschritt. Dies zeichnet sich besonders in den Aufwandswerten von Betonarbeiten, den Material- sowie den Gerätekosten ab. Anhand von Kalkulationsbeispielen und Diagrammen sollen diese Auswirkungen auf die Einzelkosten aufgezeigt werden.

## Abstract

This master thesis deals with the velocity of placing (rising) of fresh concrete and its influence on costs of vertical building elements. The velocity of placing is defined by the maximum pressure of fresh concrete on vertical formwork. The basics of this thesis describe regulations of fresh concrete according to the ÖNORM B 4710-1:2007 and the determination of the pressure of fresh concrete on vertical formwork according to DIN 18218:2010. The calculation of concrete work is described by the ÖNORM B 2061. The velocity of placing and its influence on the production rate as well as on the material and construction equipment costs of vertical building elements are all illustrated in this thesis. The size of the wall section in particular, has a significant influence in progress of construction work and its cost effectiveness. These issues are examined and depicted in calculation examples and diagrams in the course of this master thesis.

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Einleitung</b>	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>17</b>
1.1	Produktionsfaktoren .....	17
1.2	Produktionsprozess Betonbau .....	18
1.3	Arbeitsvorbereitung .....	19
1.3.1	Auswahl des optimalen Bauverfahrens .....	21
1.3.2	Ablaufplanung Betonarbeiten .....	23
<b>2</b>	<b>Begriffe und Regelwerke</b>	<b>25</b>
2.1	Regelwerke Beton .....	25
2.1.1	ÖNORM B 4710-1:2007 .....	25
2.1.2	ÖNORM B 2211:2009 .....	26
2.1.3	DIN 18218: 2010 .....	26
2.2	Begriffe Beton .....	26
2.3	Regelwerke Kalkulation ÖNORM B 2061:1999 .....	28
2.4	Begriffe Kalkulation ÖNORM B 2061:1999 .....	29
<b>3</b>	<b>Der Baustoff Beton</b>	<b>30</b>
3.1	Klassifizierung von Beton .....	31
3.2	Frischbeton .....	32
3.2.1	Konsistenz .....	33
3.2.2	Mehlkorngehalt .....	35
3.2.3	Entmischen .....	35
3.3	Festbeton .....	36
3.4	Selbstverdichtender Beton .....	37
3.5	Warmbeton .....	39
<b>4</b>	<b>Betonproduktion</b>	<b>40</b>
4.1	Festlegung des Betons .....	40
4.2	Betonherstellung .....	42
4.2.1	Mischanlage .....	42
4.2.2	Maßnahmen für Sonderbetone .....	43
4.3	Betontransport .....	44
4.4	Betonlieferung .....	46
4.4.1	Lieferschein für Transportbeton .....	47
4.4.2	Konsistenz bei der Lieferung .....	48
4.5	Betonförderung auf der Baustelle .....	48
4.5.1	Förderung mit Kran und Kübel .....	49
4.5.2	Förderung mit Pumpe .....	52
4.5.3	Kriterien zur Verfahrenswahl .....	53
4.6	Betoneinbau .....	55
4.6.1	Vor dem Betonieren .....	55
4.6.2	Verarbeitungszeit .....	56
4.6.3	Einbau .....	56
4.6.4	Frischbetontemperatur .....	57
4.6.5	Betonieren bei kühler Witterung .....	58
4.6.6	Betonieren bei heißer Witterung .....	61
4.7	Betonverdichtung .....	62
4.7.1	Verdichten durch Innenrüttler .....	63

4.7.2	Verdichten durch Außenrüttler .....	64
4.7.3	Nachverdichten von Beton .....	65
4.8	Nachbehandlung .....	65
4.8.1	Nachbehandlungsarten .....	66
4.8.2	Dauer der Nachbehandlung .....	66
4.9	Ausschalen .....	68
4.10	Betonprüfung .....	68
4.10.1	Erstprüfung .....	68
4.10.2	Konformitätsnachweis .....	69
4.10.3	Identitätsprüfung .....	70
<b>5</b>	<b>Betonpreis</b> .....	<b>72</b>
5.1	Standortfrage eines Transportbetonwerkes .....	72
5.2	Durchschnittspreise .....	75
<b>6</b>	<b>Frischbetondruck</b> .....	<b>78</b>
6.1	Allgemein .....	78
6.2	Frischbetondruck auf vertikale Bauteile .....	79
6.2.1	Frischbetondruck nach DIN 18218 .....	79
6.2.2	Verlauf des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe .....	80
6.2.3	Diagramm und Tabelle zur Bestimmung des Absolutwertes .....	81
6.3	Einflüsse auf die Größe des Frischbetondrucks .....	84
6.3.1	Erstarrungsverhalten bzw. Erstarrungsende $t_E$ .....	85
6.3.2	Frischbetontemperatur .....	88
6.3.3	Frischbetonrohichte .....	89
6.3.4	Verdichten .....	89
6.3.5	Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe .....	90
6.4	Berechnungsbeispiel lotrechte Wand .....	90
6.4.1	Angabe .....	90
6.4.2	Lösung über Diagramm .....	91
6.4.3	Lösung über Frischbetondruckrechner nach Doka .....	92
6.4.4	Auswahl der Schalung .....	93
6.5	Nachweis der Ebenheitstoleranzen .....	94
6.6	Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Bedeutung .....	95
6.7	Zusammenfassung .....	98
<b>7</b>	<b>Das baubetriebliche Rechnungswesen</b> .....	<b>99</b>
7.1	Kosten- und Leistungsrechnung .....	99
7.2	Die Bauauftragsrechnung .....	100
7.2.1	Vorkalkulation .....	101
7.2.2	Angebotskalkulation .....	101
7.2.3	Auftragskalkulation .....	102
7.2.4	Arbeitskalkulation .....	103
7.2.5	Nachkalkulation .....	103
7.2.6	Nachtragskalkulation .....	104
7.3	Verfahren der Bauauftragsrechnung .....	104
<b>8</b>	<b>Kosten- und Preisermittlung nach ÖNORM B 2061</b> .....	<b>107</b>
8.1	ÖNORM B 2061 .....	107
8.2	Aufbau der Kostenermittlung .....	109
8.2.1	Einzelkosten .....	109
8.2.2	Baustellen-Gemeinkosten .....	110
8.2.3	Gesamtzuschlag .....	111

8.2.4	Preisanteile .....	112
8.3	Durchführung der Preisermittlung .....	113
8.4	Kalkulation von Betonarbeiten .....	114
8.4.1	Kalkulation der Lohnkosten .....	114
8.4.2	Kalkulation der Materialkosten .....	115
8.4.3	Preisermittlung von Betonarbeiten .....	115
<b>9</b>	<b>Kennzahlen von Betonarbeiten</b>	<b>116</b>
9.1	Begriffe .....	116
9.1.1	Arbeitszeit .....	116
9.1.2	Zeitstunden .....	116
9.1.3	Lohnstunden .....	116
9.1.4	Leistungswerte .....	117
9.1.5	Aufwandswerte .....	118
<b>10</b>	<b>Ermittlung der Aufwandswerte</b>	<b>121</b>
10.1	Betonierleistung .....	121
10.1.1	Ermittlung der Betonierleistung der Pumpe .....	122
10.1.2	Ermittlung der Betonierleistung Kran und Kübel .....	124
10.2	Ermittlung der Aufwandswerte .....	128
10.2.1	Berechnung der Rüttlerleistung .....	128
10.2.2	Berechnung der Aufwandswerte .....	129
10.3	Diagramme .....	130
10.3.1	Vergleich der Einbautemperaturen $T_{c, \text{Einbau}}$ .....	131
10.3.2	Vergleich der Erstarrungsenden $t_E$ .....	135
10.3.3	Vergleich der Steiggeschwindigkeiten .....	139
10.3.4	Vergleich der Einbaustellen .....	140
10.3.5	Vergleich der Konsistenzen .....	141
10.3.6	Zusammenfassung .....	143
<b>11</b>	<b>Kalkulationsbeispiele</b>	<b>144</b>
11.1	Bauteilbeschreibung .....	144
11.2	Kalkulation der Krankosten .....	145
11.3	Ermittlung der Aufwands- und Leistungswerte .....	147
11.3.1	Rüttlerleistung .....	147
11.3.2	Grundleistung Pumpe und Kran/Kübel .....	148
11.3.3	Allgemeines zur Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte .....	148
11.3.4	Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte $W_H$ 3,00 m .....	149
11.3.5	Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte $W_H$ 9,00 m .....	158
11.4	Kalkulation .....	165
11.4.1	Kalkulation der Betonarbeiten Wandhöhe 3,00 m .....	166
11.4.2	Kalkulation der Betonarbeiten Wandhöhe 9,00 m .....	169
11.5	Ergebnis .....	176
11.5.1	Einzelkosten bei verschiedenen Wandhöhen .....	176
11.5.2	Einzelkosten bei variablen $T_{c, \text{Einbau}}$ .....	177
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>179</b>
<b>A.1</b>	<b>Anhang</b>	<b>182</b>
A.1.1	Berechnung $T_{c, \text{Einbau}}$ bei $\sigma_{hk, \text{max}}$ 60 kN/m <sup>2</sup> Pumpe .....	182
A.1.2	Berechnung $T_{c, \text{Einbau}}$ bei $\sigma_{hk, \text{max}}$ 80 kN/m <sup>2</sup> Pumpe .....	184
A.1.3	Berechnung $T_{c, \text{Einbau}}$ bei $\sigma_{hk, \text{max}}$ 60 kN/m <sup>2</sup> Kran/Kübel .....	186
A.1.4	Berechnung $T_{c, \text{Einbau}}$ bei $\sigma_{hk, \text{max}}$ 80 kN/m <sup>2</sup> Kran/Kübel .....	188



A.1.5	Berechnung $t_E$ bei $\sigma_{hk, max}$ 60 kN/m <sup>2</sup> Pumpe.....	191
A.1.6	Berechnung $t_E$ bei $\sigma_{hk, max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> Pumpe.....	195
A.1.7	Berechnung $t_E$ bei $\sigma_{hk, max}$ 60 kN/m <sup>2</sup> Kran und Kübel .....	199
A.1.8	Berechnung $t_E$ bei $\sigma_{hk, max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> Kran und Kübel .....	203
A.1.9	Berechnung $v$ bei $\sigma_{hk, max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> Pumpe .....	207
A.1.10	Berechnungen Variation der $E_{St}$ $\sigma_{hk, max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> Pumpe .....	212
A.1.11	Berechnungen Konsistenzvergleich bei $\sigma_{hk, max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> Pumpe .....	215
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>218</b>

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1: Einflüsse auf den Produktionsprozess Betonarbeiten .....	19
Bild 1.2: Kosten in Abhängigkeit der Anzahl an Fertigungsabschnitten .....	21
Bild 3.1: Diagramm Betondruckfestigkeit, Festigkeitsklasse Zement, w/z-Wert .....	37
Bild 4.1: Transportbetonmischer in Anlehnung an Hoffmann .....	46
Bild 4.2: Lastmomentenkurve Turmdrehkran Liebherr .....	50
Bild 4.3: Verdichten von Frischbeton .....	64
Bild 5.1 Standortfrage eines Transportbetonwerkes .....	73
Bild 6.1: Verteilung des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe .....	81
Bild 6.2: Diagramm für die Bestimmung des Frischbetondrucks $\sigma_{hk,max}$ .....	84
Bild 6.3: Konsistenzänderung in Abhängigkeit von der Zeit .....	85
Bild 6.4: Unterschiedliches Erstarrungsende $t_E$ bei gleicher Konsistenz F4 .....	87
Bild 6.5: Einfluss der Frischbetontemperatur auf den Frischbetondruck .....	89
Bild 6.6: Bestimmung des Frischbetondrucks über Diagramm $t_E=5h$ .....	91
Bild 6.7: Berechnungsbeispiel mit Frischbetondruckrechner Doka .....	93
Bild 6.8: Interaktionsdiagramm-Betoneinbau bei Wänden .....	97
Bild 7.1: System des baubetrieblichen Rechnungswesens .....	99
Bild 7.2: Phasen der Kalkulation im Bauwesen .....	101
Bild 7.3: Schema Zuschlagskalkulation .....	105
Bild 8.1: Aufbau Kosten- und Preisermittlung nach ÖNORM B 2061 .....	107
Bild 8.2: Schema Kostenkalkulation .....	113
Bild 10.1: Betoniervorgang schematisch .....	122
Bild 10.2: Vergleich $T_{c, Einbau}$ bei $\sigma_{hk,max}$ 60 kN/m <sup>2</sup> mit Betoneinbau Pumpe .....	132
Bild 10.3: Vergleich $T_{c, Einbau}$ bei $\sigma_{hk,max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> mit Betoneinbau Pumpe .....	133
Bild 10.4: Vergleich $T_{c, Einbau}$ bei $\sigma_{hk,max}$ 60 kN/m <sup>2</sup> mit Betoneinbau Kran/Kübel .....	134
Bild 10.5: Vergleich $T_{c, Einbau}$ bei $\sigma_{hk,max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> mit Betoneinbau Kran/Kübel .....	135
Bild 10.6: Vergleich Erstarrungsenden $t_E$ bei $\sigma_{hk,max}$ 60 kN/m <sup>2</sup> mit Pumpe .....	136
Bild 10.7: Vergleich Erstarrungsenden $t_E$ bei $\sigma_{hk,max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> mit Pumpe .....	137
Bild 10.8: Vergleich Erstarrungsenden $t_E$ bei $\sigma_{hk,max}$ 60 kN/m <sup>2</sup> mit Kran und Kübel .....	138
Bild 10.9: Vergleich Erstarrungsenden $t_E$ bei $\sigma_{hk,max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> mit Kran und Kübel .....	139
Bild 10.10: Vergleich der Steiggeschwindigkeiten bei $\sigma_{hk,max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> .....	140
Bild 10.11: Variation der Förderabstände .....	141
Bild 10.12: Vergleich der Konsistenzen bei $\sigma_{hk,max}$ 80 kN/m <sup>2</sup> mit Pumpe .....	142
Bild 11.1: Wandsituationen .....	144
Bild 11.2: Formblatt K6E- Kalkulation Gerätekosten Kran .....	146
Bild 11.3: Spielzeitberechnung Kran .....	148
Bild 11.4: Einzelkosten Vergleich $T_{c, Einbau}$ 15 °C .....	176
Bild 11.5: Einzelkosten Vergleich variable $T_{c, Einbau}$ .....	178

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Ausbreitmaßklassen nach ÖNORM B 4710-1:2007.....	33
Tabelle 3-2: Verdichtungsmaßklassen nach ÖNORM B 4710-1:2007.....	34
Tabelle 3-3: Empfohlener Mehlkornanteil .....	35
Tabelle 4-1: Betonkurzbezeichnungen und damit abgedeckte Umweltklassen .....	41
Tabelle 4-2: Mindestdauer der Nachbehandlung nach Tabelle NAD 17 .....	67
Tabelle 4-3: Festigkeitsentwicklung von Beton bei 20 °C .....	67
Tabelle 5-1: Durchschnittsbetonpreise Firma Cemex 2011 .....	75
Tabelle 5-2: Durchschnittspreise betontechnologische Leistungen .....	76
Tabelle 5-3: Betontransportzuschläge .....	76
Tabelle 5-4: Durchschnittspreise Betonförderung .....	76
Tabelle 6-1: Charakteristische Werte des max. Frischbetondrucks $\sigma_{hk,max}$ .....	82
Tabelle 6-2: Faktoren <i>K1</i> zur Berücksichtigung des Erstarrungsverhaltens.....	83
Tabelle 6-3: Erwartungswerte zum Erstarrungsende .....	87
Tabelle 6-4: Auszug aus der DIN 18202 Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen ..	95
Tabelle 9-1: Aufwandswerte Wände betonieren .....	120
Tabelle 10-1: Steiggeschwindigkeit in Abhängigkeit von $T_{c,Einbau}$ und $\sigma_{hk,max}$ .....	131
Tabelle 10-2: Steiggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von $t_E$ und $\sigma_{hk,max}$ .....	136
Tabelle 10-3: Steiggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von $t_E$ und $\sigma_{hk,max}$ .....	137
Tabelle 10-4: Steiggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Konsistenz.....	142
Tabelle 11-1: Mengenermittlung Wandsituationen.....	145
Tabelle 11-2: max. Steiggeschwindigkeiten Kalkulation .....	149
Tabelle 11-3: Betonmengen $W_H$ 3,00 m.....	150
Tabelle 11-4: Leistungsberechnungen Pumpe $W_H$ 3,00 m .....	152
Tabelle 11-5: Aufwandswertberechnung Pumpe 3,00 m .....	153
Tabelle 11-6: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Pumpe 3,00 m $T_{c,Einbau}$ 15 °C.....	153
Tabelle 11-7: Leistungsberechnung Kran und Kübel 3,00 m $T_{c,Einbau}$ 15 °C .....	157
Tabelle 11-8: Aufwandswertberechnung Kran und Kübel 3,00 m $T_{c,Einbau}$ 15 °C .....	157
Tabelle 11-9: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Kran und Kübel 3,00m $T_{c,Einbau}$ 15 °C .....	157
Tabelle 11-10: Betonmenge 9,00 m.....	158
Tabelle 11-11: Leistungswert Pumpe bei $W_H$ 9,00 m für $T_{c,Einbau}$ 20 °C.....	159
Tabelle 11-12: Aufwandswerte Pumpe bei $W_H$ 9,00 m für $T_{c,Einbau}$ 20 °C .....	159
Tabelle 11-13: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Pumpe 9,00 m $T_{c,Einbau}$ 20 °C .....	159
Tabelle 11-14: Leistungswert Pumpe bei $W_H$ 9,00 m für $T_{c,Einbau}$ 15 °C.....	160
Tabelle 11-15: Aufwandswerte Pumpe bei $W_H$ 9,00 m für $T_{c,Einbau}$ 15 °C .....	160
Tabelle 11-16: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Pumpe 9,00 m $T_{c,Einbau}$ 15 °C .....	160
Tabelle 11-17: Leistungswert Pumpe bei $W_H$ 9,00 m für $T_{c,Einbau}$ 10 °C.....	161
Tabelle 11-18: Aufwandswerte Pumpe bei $W_H$ 9,00 m für $T_{c,Einbau}$ 10 °C .....	161
Tabelle 11-19: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Pumpe 9,00 m $T_{c,Einbau}$ 10 °C .....	161

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 11-20: Leistungsberechnung Kran/Kübel bei 9,00 m und $T_{c, Einbau} 20\text{ °C}$ ....	162
Tabelle 11-21: Aufwandswerte Kran/Kübel bei $W_H 9,00\text{ m}$ $T_{c, Einbau} 20\text{ °C}$ .....	162
Tabelle 11-22: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Kran/Kübel 9,00 m $T_{c, Einbau} 20\text{ °C}$ .....	162
Tabelle 11-23: Leistungsberechnung Kran/Kübel bei 9,00 m und $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ ....	163
Tabelle 11-24: Aufwandswerte Kran/Kübel bei $W_H 9,00\text{ m}$ $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	163
Tabelle 11-25: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Kran/Kübele 9,00 m $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	163
Tabelle 11-26: Leistungsberechnung Kran /Kübel bei 9,00 m und $T_{c, Einbau} 10\text{ °C}$ ...	164
Tabelle 11-27: Aufwandswerte Kran/Kübel bei $W_H 9,00\text{ m}$ $T_{c, Einbau} 10\text{ °C}$ .....	164
Tabelle 11-28: $D_{BT}$ und $v_{BT}$ Kran/Kübel 9,00 m $T_{c, Einbau} 10\text{ °C}$ .....	164
Tabelle 11-29: Angaben zur Kalkulation der Betonarbeiten .....	165
Tabelle 11-30: Einzelkosten Wandhöhe 3,00 m Pumpe $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	167
Tabelle 11-31: Einzelkosten Wandhöhe 3,00 m Kran und Kübel $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	168
Tabelle 11-32: Krankosten Wandhöhe 3,00 m $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	169
Tabelle 11-33: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Pumpe bei $T_{c, Einbau} 20\text{ °C}$ .....	170
Tabelle 11-34: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Kran/Kübel bei $T_{c, Einbau} 20\text{ °C}$ .....	171
Tabelle 11-35: Krankosten Wandhöhe 9,00 m $T_{c, Einbau} 20\text{ °C}$ .....	171
Tabelle 11-36: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Pumpe bei $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	172
Tabelle 11-37: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Kran/ Kübel bei $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	173
Tabelle 11-38: Krankosten Wandhöhe 9,00 m $T_{c, Einbau} 15\text{ °C}$ .....	173
Tabelle 11-39: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Pumpe bei $T_{c, Einbau} 10\text{ °C}$ .....	174
Tabelle 11-40: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Kran/Kübel bei $T_{c, Einbau} 10\text{ °C}$ .....	175
Tabelle 11-41: Krankosten Wandhöhe 9,00 m $T_{c, Einbau} 10\text{ °C}$ .....	175

## Abkürzungsverzeichnis

<b>A</b>	Wirkungsbereich des Innenrüttlers
<b>A<sub>L, D</sub></b>	Wandquerschnittsfläche [m <sup>2</sup> ]
<b>AK<sub>BT</sub></b>	Anzahl der Arbeitskräfte für die Betonarbeiten [Std/h]
<b>AK<sub>STB</sub></b>	Anzahl der Arbeitskräfte für die Stahlbetonarbeiten [Std/h]
<b>AW<sub>BT</sub></b>	Aufwandswert für die Betonarbeiten Frischbeton [Std/m <sup>3</sup> ]
<b>AW<sub>Ges, Frisch</sub></b>	Gesamt-Aufwandswert für die Betonarbeiten Frischbeton [Std/m <sup>3</sup> ]
<b>AW<sub>Ges, Fest</sub></b>	Gesamt-Aufwandswert für die Betonarbeiten Festbeton [Std/m <sup>3</sup> ]
<b>AW<sub>RÜ</sub></b>	Aufwandswert für die Rüstarbeiten Frischbeton [Std/m <sup>3</sup> ]
<b>AW<sub>STB</sub></b>	Gesamt-Aufwandswert Stahlbetonarbeiten [Std/EH]
<b>AZ<sub>STB</sub></b>	Tägliche Arbeitszeit [h/d]
<b>BT<sub>M, Frisch</sub></b>	Frischbetonmenge der Wand [m <sup>3</sup> ]
<b>BT<sub>M, Fest</sub></b>	Festbetonmenge der Wand [m <sup>3</sup> ]
<b>BT<sub>M, Lage</sub></b>	Frischbetonmenge einer Schüttlage [m <sup>3</sup> ]
<b>BT<sub>M, K</sub></b>	Nenninhalt Krankübel [m <sup>3</sup> ]
<b>b</b>	Tauchabstände der Innenrüttler [m]
<b>bspw.</b>	beispielsweise
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>ca.</b>	circa
<b>d</b>	Durchmesser des Innenrüttlers [mm]
<b>dgl.</b>	dergleichen
<b>D<sub>RÜ</sub></b>	Dauer für das Rüsten [h]
<b>etc.</b>	etcetera
<b>E<sub>st</sub></b>	Anzahl der Einbaustellen [-]
<b>f<sub>E</sub></b>	Nutzleistungsfaktor [-]
<b>ggf.</b>	gegebenenfalls
<b>h</b>	Zeitstunde(n) [h]
<b>H<sub>Lage</sub></b>	Höhe der Betonierlage [m]
<b>H<sub>Lage, i</sub></b>	Ermittelte Lagenhöhe aus Kübelinhalt und Querschnittsfläche [m]
<b>H<sub>Lage, j</sub></b>	Normen Lagenhöhe [m]
<b>H<sub>Lage, i-j</sub></b>	Differenz der Lagenhöhen [m]
<b>h<sub>E</sub></b>	Erstarrungstiefe [m]
<b>h<sub>s</sub></b>	hydrostatische Druckhöhe [m]
<b>i.d.R.</b>	in der Regel
<b>L<sub>BT, Fest</sub></b>	Betonierleistung bezogen auf den Festbeton [m <sup>3</sup> /h]
<b>L<sub>BT, Frisch</sub></b>	Betonierleistung bezogen auf den Frischbeton [m <sup>3</sup> /h]
<b>L<sub>std, a, v, i</sub></b>	Lohnstunde(n) [Std]
<b>M<sub>a, v, i</sub></b>	Menge (Produktionsmenge) [MEH]
<b>nT</b>	mögliche Anzahl der Tauchvorgänge eines Rüttlers [-]

<b>n</b>	Anzahl der eingesetzten Innenrüttler [-]
<b>SCC</b>	self-compacting concrete
<b>Std</b>	Stunden, Einheit für die Lohnstunde(n) [Std]
<b>SVB</b>	Selbstverdichtender Beton
<b>T<sub>c, Einbau</sub></b>	Einbautemperatur des Frischbetons [°C]
<b>T<sub>c, Ref</sub></b>	Referenztemperatur [°C]
<b>T<sub>K</sub></b>	Gesamtkranspielzeit [min]
<b>t</b>	Tauchtiefe des Innenrüttlers [m]
<b>t<sub>E</sub></b>	Erstarrungsende des Betons [h]
<b>t<sub>fix</sub></b>	Fixzeiten eines Kranspiels [min]
<b>t<sub>h</sub></b>	Zeitdauer für das Heben des Betonierschlauch [min]
<b>t<sub>Lage</sub></b>	Gesamtbetonierdauer einer Lage [h]
<b>t<sub>max, Lage, i</sub></b>	Maximale Betonierdauer der Lage i [h]
<b>t<sub>max, Lage, j</sub></b>	Maximale Betonierdauer der Lage j [h]
<b>t<sub>max, Lage, i-j</sub></b>	Maximale Betonierdauer der Lage i-j [h]
<b>t<sub>max, Lage</sub></b>	Maximale Betonierdauer einer Lage in Abhängigkeit der maximalen Steiggeschwindigkeit [h]
<b>t<sub>s</sub></b>	Zeitdauer für das Senken des Betonierschlauch [min]
<b>t<sub>üb</sub></b>	Überlappungszeiten eines Kranspiels [min]
<b>t<sub>va</sub></b>	variable Zeiten eines Kranspiels [min]
<b>t<sub>v</sub></b>	Zeitdauer für das Versetzen des Betonierschlauch [min]
<b>usw.</b>	und so weiter
<b>uvm.</b>	und vieles mehr
<b>v</b>	Steiggeschwindigkeit des Frischbetonspiegels [m/h]
<b>v<sub>Lage</sub></b>	Lagensteiggeschwindigkeit [m/h]
<b>VM</b>	Verdichtungsmaß
<b>V<sub>R</sub></b>	Transportmenge [m <sup>3</sup> , t, Stück]
<b>x</b>	horizontaler Ankerabstand [m]
<b>W<sub>H</sub></b>	Wandhöhe [m]
<b>W<sub>D</sub></b>	Wanddicke [m]
<b>W<sub>L</sub></b>	Wandlänge [m]
<b>z.B.</b>	zum Beispiel

## 0 Einleitung

In den letzten Jahren hat sich in der Bauwirtschaft ein Trend zur Verwendung von fließfähigeren und damit leichter verarbeitbaren Betonen abgezeichnet. Dieser Trend machte eine Überarbeitung der DIN 18218:1980 notwendig und endete in einer Neufassung dieser Norm im Jahr 2010. Zur Berechnung des Frischbetondrucks und der Steiggeschwindigkeit des Frischbetons in der lotrechten Schalung muss nun die DIN 18218:2010 herangezogen werden. Durch die Neuauflage wurde die Frage aufgeworfen, welche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen die Anwendung dieser Neufassung hat. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Frage zu erörtern und die Ergebnisse darzustellen.

Die Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Wänden wird maßgeblich von der Wahl der Wandabschnittslänge, des Schalungssystems, der Betonzusammensetzung, der Betoniergeschwindigkeit und der Wahl des Fördergerätes beeinflusst. Es gilt daher, in einem differenzierten und kalkulatorischen Vergleich die optimale Lösung für die Herstellung des Bauteils im Zuge der Arbeitsvorbereitung zu ermitteln. Dabei stellen die Bauteilgeometrie und die vertraglich geforderte Qualität entscheidende Faktoren dar. Sie tragen unter anderem zur Festlegung der Betoneigenschaften bei. Schlanke und dichtbewehrte Bauteile, in die der Beton schwer einzubringen ist, erfordern die Verwendung von fließfähigeren bis hin zu selbstverdichtenden Betonen. Solche Problemstellungen sind im Zuge des Planstudiums zu erkennen und entsprechend in der Kalkulation zu berücksichtigen. Obwohl allgemein ein Trend zu solchen Betonkonsistenzen zu verzeichnen ist, stellen sie immer noch die Ausnahme dar.

Aus dem Bauablauf ergeben sich für die Baufirmen immer kürzere Fristen und dadurch weniger Zeit für ein sorgfältiges Betonieren. Ein zu schnelles Betonieren kann jedoch zu höheren als den zulässigen Frischbetondrücken führen. Unzulässige Verformungen, Schäden und das Versagen der Schalungskonstruktion sind im schlimmsten Fall die Folge. Außerdem erfordert eine hohe Steiggeschwindigkeit des Frischbetons höhere Einbauleistungen der Fördergeräte und höhere Verdichtungsleistungen. Dadurch ist ein normgerechtes Einbringen und Verdichten des Frischbetons in Lagen nicht mehr möglich. Von den Baufirmen werden die Möglichkeiten, die sich aus der Wahl optimaler Betoniergeschwindigkeiten und Wandabschnittslängen ergeben, oftmals nicht erkannt. Im Zuge dieser Arbeit wird vor allem der Einsatz an Arbeitskräften und ein mögliches Einsparungspotenzial untersucht.

Des Weiteren werden Baustellen auch in extremen Witterungsperioden, wie den Wintermonaten, betrieben. In der DIN 18218 wird diesen Umständen Rechnung getragen. Dadurch kann die jeweilige Steiggeschwindigkeit und der daraus resultierende Frischbetondruck je

nach Temperatur ermittelt und deren Auswirkung im Bauzeitplan berücksichtigt werden.

Zu den Grundlagen dieser Arbeit zählen die Bestimmungen der ÖNORM B 4710-1:2007 hinsichtlich der Festlegung, Herstellung und Verwendung von Beton und Frischbeton. Es wird im Speziellen ein Überblick über die Frischbetonkonsistenzen, Frischbetontemperatur, Lieferbedingungen zum Frischbeton, Verarbeitungszeiten, die Frischbetonprüfung sowie die Regelungen zu den Einbauverfahren geschaffen.

Ein weiteres Kapitel widmet sich der Standortwahl eines Transportbetonwerkes, da dies einen entscheidenden Einfluss auf den Betonpreis hat. In weiterer Folge werden Durchschnittspreise anhand der Preislisten von mehreren Bundesländern ermittelt. Dabei wird sowohl der Betonpreis pro m<sup>3</sup> frei Bau als auch die vom Transportbetonwerk verrechneten Aufzahlungen für Förderleistungen, betontechnologische Leistungen, Wintererschwerernisszuschläge und Preise für die Betonprüfung durchschnittlich berechnet.

Ein ausführliches Kapitel behandelt die Ermittlung des Frischbetondrucks sowie seine Einflussfaktoren anhand der DIN 18218:2010.

Die Kalkulation von Betonarbeiten wird anhand der ÖNORM B 2061 in einem für diese Arbeit relevanten Ausmaß erklärt. Dabei wird speziell auf kalkulationsrelevante Kennzahlen wie die Aufwandswerte und Leistungswerte eingegangen. Aufwandswerte spielen für die Kalkulation der Lohnkosten eine wesentliche Rolle. Durch die Betrachtung der Aufwandswerte in Abhängigkeit der Wandabschnittslänge soll die obenstehende Problematik in Diagrammen aufgezeigt werden.

Anhand eines Kalkulationsbeispiels werden abschließend die baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen erfasst und dargestellt.



## 1 Grundlagen

Jeder Produktionsprozess unterliegt Leistungszielen, die durch Kriterien wie Zeit, Qualität und Kosten ausgedrückt werden. Um die vorgegebenen Leistungsziele zu erreichen, müssen die Produktionsfaktoren so kombiniert werden, dass unter minimalen Herstellkosten die geforderte Qualität sowie die zeitlichen und technischen Vorgaben eingehalten werden.<sup>1</sup>

Der Bauproduktionsprozess ist in der Regel durch Einzel-, Baustellen- und Auftragsfertigung gekennzeichnet. Insbesondere bei der Baustellenfertigung ist der Produktionsprozess äußerst transportintensiv und witterungsabhängig. Für einen optimalen Bauablauf und wirtschaftlichen Produktionsprozess ist es daher unerlässlich, sämtliche Haupt- und Hilfsmaterialien möglichst effizient, das heißt mit geringen Zeitverlusten, zum Ort der Produktion zu transportieren.

Die Witterung hat speziell beim Stahlbetonbau einen erheblichen Einfluss auf die Produktion hinsichtlich Zeit, Qualität und Kosten. Durch extreme Wetterbedingungen müssen produktionstechnische Lösungen gefunden werden, wie zum Beispiel die des Winterbaus, um der klimatischen Abhängigkeit entgegenzuwirken. Festgehalten werden muss, dass das Eintreten von extremen Wetterlagen nie ganz auszuschließen und daher nur bis zu einem gewissen Grad „kalkulierbar“ ist.<sup>2</sup>

### 1.1 Produktionsfaktoren

Bei der Anwendung von Bauverfahren sind immer Mittel einzusetzen, die eine bestimmte Produktion oder eine gewünschte Zustandsänderung ermöglichen. Die eingesetzten Mittel stellen die Produktionsfaktoren bzw. die produktiven Faktoren dar. Bei den Produktionsfaktoren wird in Elementarfaktoren und dispositive Faktoren unterschieden. Zu den Elementarfaktoren zählen:

- Arbeit: ist die objektbezogene menschliche Arbeitsleistung, welche alle Tätigkeiten umfasst, die unmittelbar mit der Leistungserstellung und -verwertung in Zusammenhang stehen, ohne dabei dispositiv-anordnender Natur zu sein.
- Betriebsmittel: Darunter sind alle Einrichtungen und Anlagen zu verstehen, welche die technischen Voraussetzungen betrieblicher Leistungserstellung insbesondere der Produktion

<sup>1</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.1f

<sup>2</sup> Vgl. Fiedler/Autoren (1991); S.20

bilden, sowie alle Hilfs- und Betriebsstoffe (Energie), die notwendig sind, um den Betrieb arbeitsfähig zu machen und zu erhalten.

- Stoffe: Dazu zählen Bau -und Bauhilfsstoffe, Halb- und Fertigungserzeugnisse, die als Ausgangs- und Grundstoffe zur Herstellung von Bauleistungen dienen. Nach der Vornahme von Substanzänderungen nach dem Einbau in das Fertigerzeugnis sind sie Bestandteil des neuen Bauprodukts (z.B. Bauwerk oder einzelne Bauteile).

Die dispositiven Produktionsfaktoren umfassen beispielsweise planende, gestaltende und steuernde Aktivitäten, die sich mit einzelnen Tätigkeiten und dem gesamten Bauunternehmen beschäftigen.<sup>3</sup>

Um eine Zustandsänderung zu erzielen, ist das Zusammenwirken der produktionstechnischen Faktoren unerlässlich. Dabei nehmen deren Eigenschaften einen erheblichen Einfluss. Die Wirkung der Arbeitskraft wird besonders durch die Anzahl, die Qualifikation und die Arbeitszeit bestimmt. Die Eigenschaften der Betriebsmittel sind von den Einsatzbedingungen, dem Leistungsvermögen, der Umsetzbarkeit dem Energieverbrauch sowie der Auslastung und den Kosten abhängig. Bei den Baustoffen müssen in erster Linie jene Eigenschaften untersucht werden, die die Verhaltensweisen im Produktionsprozess bestimmen. Darunter ist die Be- bzw. Verarbeitbarkeit (Verdichtungsfähigkeit), die Lagerfähigkeit und die Transportierbarkeit (Entmischungsverhalten) zu verstehen.<sup>4</sup>

## 1.2 Produktionsprozess Betonbau

Die Betrachtungsweise des Produktionsprozesses Betonbau als System ist komplexer ausgeprägt als man dies auf den ersten Blick festzustellen vermag. Der Betonbau wird in seiner Produktion von Prozessen begleitet, die unter ständiger qualitativer, quantitativer und wirtschaftlicher Kontrolle stehen, um auf unerwünschte Vorgänge und Ergebnisse reagieren zu können. Solche Kontrollen sind speziell bei komplexen technischen und kostspieligen Lösungen sowie bei extremen äußeren Einflüssen unerlässlich.

Das System Betonbau kann in seinem Produktionsprozess als ein Gebilde bestehend aus drei Teilsystemen verstanden werden. Zum einen sprechen wir vom Teilsystem Betonbau und zum anderen von den Teilsystemen Schalung/Rüstung sowie Bewehrung. Das gemeinsame

<sup>3</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.14

<sup>4</sup> Vgl. Fiedler/Autoren (1991); S.35ff

Bindeglied dieser Systeme stellt der Transport dar, welcher zur Überwindung aller Wegstrecken unabdingbar ist. Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass zwar jedes Teilsystem für sich eine eigenständige Produktionseinheit bildet, jedoch durch Verknüpfung dieser einzelnen Produktionseinheiten ein Gesamtfertigungsfluss geschaffen wird, der zur geforderten Leistung (Bauwerk, Bauteil etc.) führen soll.<sup>5</sup>

Ausgehend von dieser Betrachtungsweise können nun auch die Einflüsse auf Produktion von Betonarbeiten besser verstanden werden. Dabei muss festgehalten werden, dass jegliche Einflüsse auf ein Teilsystem auch die anderen Teilsysteme betreffen. Sämtliche wesentliche Einflüsse auf den Produktionsprozess von Betonarbeiten können dem Bild 1.1 entnommen werden.

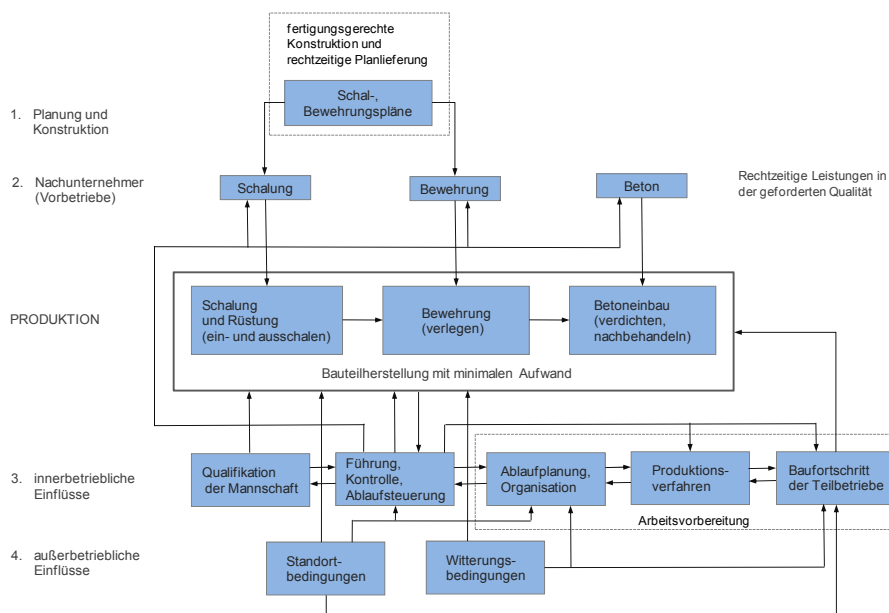


Bild 1.1: Einflüsse auf den Produktionsprozess Betonarbeiten<sup>6</sup>

### 1.3 Arbeitsvorbereitung

Die Arbeitsvorbereitung spielt im Zusammenhang mit der Kalkulation von Betonarbeiten eine wesentliche Rolle. Dies sei durch folgende Zielvorgabe nach Stark<sup>7</sup> bekräftigt:

<sup>5</sup> Vgl. Rosenheinrich (1977); S.96

<sup>6</sup> Bauer (2007); S.385

<sup>7</sup> Stark (2006); S.78

„Ziel jeder Arbeitsvorbereitung (AV) muss es sein, die gestellte Bauaufgabe unter den gegebenen Bedingungen mit den geringst möglichen Kosten durchzuführen.“

Um diese Zielvorgabe zu erreichen, sind durch die Arbeitsvorbereitung folgende Voraussetzungen zu schaffen:

- Die Arbeitskräfte, Betriebsmittel und Baustoffe stehen in der notwendigen Menge zur gewünschten Zeit am richtigen Ort zur Verfügung.
- Das wirtschaftlichste Bauverfahren und System kommt zum Einsatz.

Durch diese gezielte Ablaufplanung der Vorgänge (Punkt 1.3.2) soll eine Verringerung der Kosten und eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, die Einhaltung der vertraglichen Bauzeiten und eine reibungslose Abwicklung von Arbeitsvorgängen bei gleichzeitiger Reduktion von Verlustzeiten erreicht werden.<sup>8</sup>

Die Arbeitsvorbereitung hat im Zuge der Planung eine systematische Analyse des Bauvorhabens unter Berücksichtigung aller relevanten Randbedingungen durchzuführen. Dabei gilt:

- kritische Analyse der Ausführungs- und Konstruktionspläne, unter Berücksichtigung fertigungstechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten,
- Studium des Bauvertrages,
- Auswahl von wirtschaftlichen Ausführungsverfahren (Verfahrensvergleich),
- Mengenermittlung,
- Planung des optimalen Ressourceneinsatzes von Arbeits-, Betriebsmittel und Baustoffen,
- Planung der Baustelleneinrichtung,
- Ermittlung der Vorgabewerte und Soll-Stunden von verschiedenen Arbeiten,
- Planung des Bauablaufs (Bauzeitpläne, Arbeitspläne etc.).

Die Planung solcher Vorgänge stellt im Bauwesen insofern ein Problem dar, weil eine Baustelle ständigen Veränderungen durch Menschen, Geräte, Baustoffe sowie Umwelteinflüssen unterliegt. Daher ist in einem solch dynamischen System eine Prozessplanung über die gesamte Bauzeit nahezu unmöglich. Vielmehr scheint es sinnvoll, auf

---

<sup>8</sup> Vgl. Stark (2006); S.78

Veränderungen oder Störeinflüsse während der Bauzeit gezielt planend und steuernd einzugreifen.<sup>9</sup>

Im Falle von Stahlbetonarbeiten bedeutet eine optimale Arbeitsvorbereitung die vernetzte Planung von Schal-, Bewehrungs- und Betonarbeiten. Dadurch soll sichergestellt werden, dass für das jeweilige Bauvorhaben das optimale Ergebnis in bauwirtschaftlicher und baubetrieblicher Hinsicht erzielt wird. Dabei spielt vor allem die Wahl der Fertigungsabschnitte eine entscheidende Rolle. Dies sei in Abbildung 1.2 verdeutlicht dargestellt.

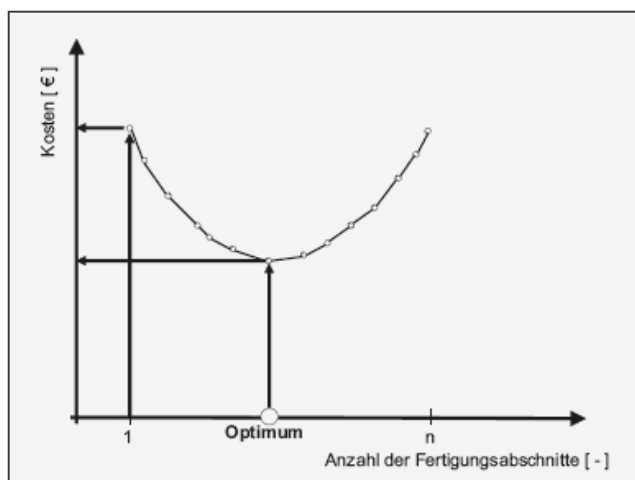


Bild 1.2: Kosten in Abhängigkeit der Anzahl an Fertigungsabschnitten<sup>10</sup>

Durch Optimierungen soll die Anzahl an Fertigungsabschnitten ermittelt werden, die zu einem Kostenminimum bei der Bauausführung unter den gegebenen Randbedingungen führen. Für die Optimierung werden im Falle der Stahlbetonarbeiten die Lohn-, Geräte- und Baustoffkosten für die Schalungs-, Bewehrungs- und Betonarbeiten für gewählte Fertigungsabschnitte ermittelt. Die Baustellen Gemeinkosten sind ebenfalls in diesen Berechnungen zu berücksichtigen. Mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten verringert sich bei Scharbeiten beispielsweise die Vorhaltemenge an Wandschalung.<sup>11</sup>

### 1.3.1 Auswahl des optimalen Bauverfahrens

An erster Stelle der Maßnahmen der Arbeitsvorbereitung steht die Auswahl des optimalen Bauverfahrens. Hierfür wird der methodische Vergleich herangezogen, welcher alle maßgebenden

<sup>9</sup> Vgl. Aigner (2003); S.23

<sup>10</sup> Hofstadler (2007); S.34

<sup>11</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.35f

Einflussfaktoren berücksichtigt und möglichst alle Varianten hinsichtlich ihrer technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Eignung für den Anwendungsfall vergleichend untersucht. Grundsätzlich können für den methodischen Verfahrensvergleich folgende Verfahren unterschieden werden:

- der kalkulatorische Verfahrensvergleich
- der differenzierte Verfahrensvergleich

„Beim Kalkulatorischen Verfahrensvergleich werden für jedes der untersuchten Bauverfahren vergleichende Kostenermittlungen durchgeführt.“<sup>12</sup>

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich zweier Bauverfahren ergibt sich dabei in Abhängigkeit veränderlicher Einflussgrößen (z.B. Menge, Bauzeit). Durch die Darstellung der Verläufe beider Verfahren können die Kostenunterschiede ermittelt werden.

Beim differenzierten Verfahrensvergleich werden neben den wirtschaftlichen Kriterien auch noch technische, organisatorische und sicherheitstechnische Kriterien definiert und in die Bewertung einbezogen. Der differenzierte Verfahrensvergleich wird speziell bei größeren Bauvorhaben, welche unterschiedlicher Einflüsse und Interessen unterliegen, herangezogen.

Ganz unabhängig von der Wahl des Verfahrens müssen folgende Ziele verfolgt werden:

- Erfüllung der technischen und ästhetischen Anforderungen des Bauwerks,
- Minimierung der Kosten der Bauausführung,
- Vorgaben des Auftraggebers erfüllen,
- Vermeidung von innerbetrieblichen Schwierigkeiten,
- Vermeidung von Unfallrisiken.<sup>13</sup>

Die Ergebnisse der Arbeitsvorbereitung sind grundsätzlich nicht messbar, da aufgrund der Einmaligkeit eines Bauprojektes keine Vergleichsmöglichkeiten vorhanden sind. Jedoch ist ein Bauunternehmen durch die Arbeitsvorbereitung dazu gezwungen, Produktionsprozesse vor der Ausführung zu durchdenken. Durch die Organisation von Arbeitsabläufen kann eine Minimierung der Kosten erreicht werden, was wiederum einen Vorteil im Wettbewerb mit anderen Unternehmen ergibt. Eine gezielte Arbeitsvorbereitung kann eine

---

<sup>12</sup> Hoffmann (2011); S.685

<sup>13</sup> Vgl. Hoffmann (2011); S.684ff

Terminsicherheit durch einen bedachten Bauablauf schaffen, weil dieser auf realistischen Aufwands- und Leistungswerten beruht. Grundsätzlich soll durch eine detaillierte Planung, soweit diese im Rahmen eines dynamischen Bauprozesses möglich ist, ein Improvisieren auf der Baustelle vermieden werden.<sup>14</sup>

### 1.3.2 Ablaufplanung Betonarbeiten

Um die Produktionsprozesse für die Betonarbeiten optimal zu kombinieren, bedarf es einer detaillierten Ablaufplanung. Diese kann je nach Stadium der Arbeitsvorbereitung in eine Grob- und Feinplanung eingeteilt werden.

Die Grobplanung wird in der Phase der Angebotsbearbeitung als auch in der Arbeitsvorbereitung der Bauarbeiten und Bauausführung angewendet. In seiner Planungstiefe betrachtet die Grobplanung das Bauwerk als Einheit oder gliedert in grobe Bauabschnitte. Dadurch sollen Vorgaben für die Feinplanung hinsichtlich Vorgabezeiten für die Stahlbetonarbeiten sowie die kosten- und zeitbestimmenden Produktionsmengen ermittelt werden. Zur Abschätzung dieser Parameter werden auf Grundlage der Mengenermittlung Ansätze zum Arbeitsaufwand bzw. zu den Leistungswerten herangezogen, um die Dauer und die Summe der Lohnstunden für das Bauvorhaben zu berechnen.<sup>15</sup>

In der Arbeitsvorbereitung geht man in weiterer Folge von der Grob- in die Feinplanung über, in welcher der detaillierte Bauablauf eines Projektes (Bauvorhaben) entwickelt wird. In der Feinplanung wird das Bauwerk nicht mehr in seiner Gesamtheit betrachtet, sondern es wird in einzelne Fertigungsabschnitte (z.B. Wandabschnitte) aufgegliedert. Diese Fertigungsabschnitte oder Teilvorgänge werden stets vernetzt miteinander betrachtet, um sicherzustellen, dass eventuelle Veränderungen in den Eingangsgrößen der Berechnungen (z.B. Aufwandswerte, Arbeitszeit, Anzahl der Arbeitskräfte) zu den folgerichtigen Veränderungen in den Ressourcen, der Zeit und den Kosten führen. Zur Feinplanung zählen zusammengefasst folgende Arbeitsschritte:

- Studium der Projektunterlagen,
- Projektstrukturierung,
- Einteilung in Ablaufabschnitte,

---

<sup>14</sup> Vgl. Brecheler (1998); S.102

<sup>15</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.48ff

- Mengenermittlung,
- Verfahrenswahl,
- Fertigungsabschnitte, Fertigungsablauf, Ressourceneinsatz,
- Dauer eines Vorgangs, Gesamtdauer
- Logistik, Baustelleneinrichtung,
- Soll-/Ist Vergleich,
- Bauausführung.

Für diese Arbeit sind im Besonderen die Arbeitsschritte der Verfahrenswahl (Betoneinbau mittels Kran und Kübel oder Pumpe), der Einteilung der Fertigungsabschnitte (z.B. Wandabschnitte) und die Dauer eines Vorgangs in Bezug auf die Herstellkosten interessant. Speziell die Herstellung von vertikalen Bauteilen stellt hohe Anforderungen an die Betontechnologie und den Fertigungsablauf. Der Fertigungsablauf und die Dauer der Fertigung werden dabei maßgebend von der Steiggeschwindigkeit und der daraus resultierenden maximalen Betonierleistung bestimmt. Wird in Fertigungsabschnitten geschalt, bewehrt und betoniert, sind aufgrund dieser Einflüsse Arbeitsfugen auszubilden, welche mit zunehmenden Anforderungen eine Steigerung der Herstellkosten verursachen.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.67ff



## 2 Begriffe und Regelwerke

In den folgenden Punkten werden die wesentlichen Normen und Regelwerke, die bei der Betonproduktion, -verarbeitung, -ausführung und -prüfung in Österreich und Deutschland Anwendung finden, vorgestellt. Des Weiteren werden die wesentlichen Normen, die zur Kosten- und Preisbildung von Betonarbeiten zur Anwendung kommen, angeführt. Die wichtigsten Begriffe, die zum Verständnis des Themenbereichs Beton und Kalkulation dieser Arbeit von Nöten sind, werden aus diesen Normen wiedergegeben.

### 2.1 Regelwerke Beton

#### 2.1.1 ÖNORM B 4710-1:2007<sup>17</sup>

„Die ÖNORM B 4710-1 „Beton -Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis“ ist die nationale Ergänzung und Umsetzung der ÖNORM EN 206-1.

Die ÖNORM B 4710-1 legt die Aufgaben des Verfassers der Festlegung (Planer), des Herstellers (von Frischbeton) und des Verwenders (von Frischbeton) fest. Beispielsweise ist der Ausschreibende für die Festlegung der Anforderungen an den Beton und der Hersteller für die Konformität und die Produktionskontrolle verantwortlich. Der Verwender ist für das Einbringen des Betons in das Tragwerk verantwortlich. Die ÖNORM B 4710-1 gilt für Normal- und Schwerbeton, der für Ortbetonbauwerke, für vorgefertigte Bauwerke sowie Fertigteile für Gebäude und Ingenieurbauwerke verwendet wird. Der Beton darf als Baustellenbeton, Transportbeton oder Beton in einem Fertigteilewerk hergestellt werden. Die Anforderungen werden festgelegt an die:

- Betonausgangsstoffe,
- Eigenschaften von Frischbeton und Festbeton und deren Nachweise,
- Einschränkungen für die Betonzusammensetzung,
- Festlegung des Betons,
- Lieferung von Frischbeton,
- Verfahren der Produktionskontrolle,
- Konformitätskriterien und Beurteilung der Konformität.“

<sup>17</sup> ÖN 4710-1 (2007); S.8ff

### 2.1.2 ÖNORM B 2211:2009<sup>18</sup>

„Die ÖNORM B 2211 enthält Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für die Ausführung von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonarbeiten. Unter diesen werden sowohl an Ort und Stelle als auch aus Fertigteilen hergestellte Konstruktionen verstanden.

Im Sinne der ÖNORM A 2050 bzw. des Bundesvergabegesetzes 2006 sind die Bestimmungen dieser ÖNORM jeweils bereits bei den Ausschreibungen und den Angeboten zu berücksichtigen.“

### 2.1.3 DIN 18218: 2010<sup>19</sup>

Die DIN 18218:2010 gilt als Ersatz für die bis von 1980-2009 geltende deutsche Norm für Frischbetondruck auf lotrechte Schalungen.

„Die Neufassung dieser Norm dient der Integration von Betonen der Konsistenzklassen F5 und F6 sowie von Selbstverdichtendem Beton (SVB), da für derartige Betone bisher keine Regelungen zum Frischbetondruck vorliegen. [...]“

## 2.2 Begriffe Beton

Die folgenden Begriffe werden aus den angeführten Normen und Regelwerken zitiert.

- ÖNORM B 4710-1:2007<sup>20</sup>

**Baustellenbeton:** Beton, der auf der Baustelle vom Verwender des Betons für seine eigene Verwendung hergestellt wird.

**Charge:** Menge Frischbeton, die entweder in einem Arbeitsspiel eines Mixers hergestellt wird oder die während 1 Minute von einem Durchlaufmischer ausgestoßen wird.

**Erstprüfung:** Prüfung oder Prüfungen vor Herstellungsbeginn des Betons, um zu ermitteln, wie ein neuer Beton oder eine neue Betonfamilie zusammengesetzt sein muss, um alle festgelegten Anforderungen im frischen und erhärteten Zustand zu erfüllen.

<sup>18</sup> ÖN B 2211 (2009); S.3

<sup>19</sup> DIN 18218 (2010); S.3f

<sup>20</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.17ff

**Hersteller:** Person oder Stelle, die den Frischbeton gemäß den Festlegungen des Verfassers der Festlegung und/oder des Verwenders herstellt.

**Identitätsprüfung:** Prüfung, um zu bestimmen, ob eine gewählte Charge oder Ladung einer konformen Gesamtmenge entstammt.

**Konformitätsnachweise:** Bestätigung durch Überprüfung und Vorlegen gesicherter Erkenntnisse, dass die festgelegten Anforderungen erfüllt worden sind.

**Lieferung:** Vorgang der Übergabe des Frischbetons durch den Hersteller.

**Transportbeton:** Beton, der in frischem Zustand durch eine Person oder Stelle geliefert wird, die nicht der Verwender ist. Transportbeton im Sinne dieser ÖNORM ist auch

- vom Verwender außerhalb der Baustelle hergestellter Beton,
- auf der Baustelle nicht vom Verwender hergestellter Beton.

**Verarbeitungszeit von Frischbeton:** Zeitspanne ab Wasserzugabe beim Mischen bis Einbauende, die um 15 Minuten länger ist als die Zeitspanne, während der die Konsistenzklasse sichergestellt ist.

**Verfasser der Festlegung; Planer:** Person(en) oder Stelle(n), die die Festlegung (auch einzelne zusätzliche Festlegungen) für den Frisch- und Festbeton aufstellt/aufstellen, zB Planverfasser, Ausschreibender, Besteller.

**Verlängerte Verarbeitungszeit von Frischbeton:** Verarbeitungszeit über 105 Minuten, gerechnet ab Wasserzugabe, die angegeben und nachgewiesen ist, ermittelt bei 27 °C, wenn nicht anders angegeben.

**Verwender:** Person oder Stelle, die Frischbeton zur Herstellung eines Bauwerks oder eines Bauteils verwendet.

**Zusatzmittel:** Stoff, der während des Mischvorgangs des Betons in kleinen Mengen, bezogen auf den Zementgehalt, zugegeben wird, um die Eigenschaften des Frischbetons oder Festbetons zu verändern.

**Zusatzstoff:** Fein verteilter Stoff, der im Beton verwendet und während des Mischvorgangs des Betons zugegeben wird, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder um bestimmte Eigenschaften zu erreichen.

Diese ÖNORM beinhaltet zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen:

- nahezu inaktive Zusatzstoffe (Typ I) und
- puzzolanische oder latenhydraulische Zusatzstoffe (Typ II).

- ÖNORM B 2211:2009<sup>21</sup>

**Nebenleistung:** verhältnismäßig geringfügige Leistungen, die der Usance entsprechend auch dann auszuführen sind, wenn sie in den Vertragsunterlagen nicht angeführt sind, jedoch nur insoweit, als sie zur vollständigen sach- und fachgemäßen Ausführung der vertraglichen Leistung unerlässlich sind und mit dieser in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Sie sind mit den vereinbarten Preisen abgegolten.

- DIN 18218:2010<sup>22</sup>

**Einbautemperatur  $T_{c, Einbau}$ :** Temperatur, welche der Frischbeton direkt nach dem Einbringen (in der Schalung) aufweist.

**Erstarrungsende  $t_E$ :** Zeit, die von der ersten Wasserzugabe bei der Herstellung des Betons bis zu dem Zeitpunkt vergeht, an dem der Frischbeton vollständig erstarrt ist.

**horizontaler Frischbetondruck  $\sigma_h$ :** Vom Frischbeton auf die Flächeneinheit der dem Beton zugewandten Oberfläche der Schalung ausgeübter Horizontaldruck.

**Frischbetonrohichte  $\gamma_c$ :** Quotient aus dem Eigengewicht und dem Volumen des verdichteten Frischbetons.

**Konsistenz:** Maß für die Verformbarkeit und Beweglichkeit des Frischbetons.

**Referenztemperatur  $T_{c, Ref}$ :** Frischbetontemperatur, die der Bestimmung des Erstarrungsendes  $t_E$  zugrunde liegt.

**Steiggeschwindigkeit  $v$ :** Auf die Zeiteinheit bezogener Anstieg der Frischbetonoberfläche während des Betonierens.

### 2.3 Regelwerke Kalkulation ÖNORM B 2061:1999<sup>23</sup>

„Diese ÖNORM enthält Richtlinien für die Ermittlung der Preise von Bauleistungen sowie die Darstellung der Kalkulation. Die in der Kalkulation vorkommenden Kostenarten samt Kostengrundlagen sind in der ÖNORM ebenso wie die möglichen Kostenträger angeführt. In dieser ÖNORM finden sich Zuordnung, wie Kosten auf einzelne Kostenträger umgelegt werden können. [...]

<sup>21</sup> ÖN B 2211 (2009); S.6f

<sup>22</sup> DIN 18218 (2010); S.4ff

<sup>23</sup> ÖN B 2061 (1999);S.3

Voraussetzung einer richtigen Preisbildung - Festlegung der Preisgrundlagen und Ermittlung der voraussichtlichen Kosten (Kalkulation)- ist eine genaue Angabe der auszuführenden Leistung. Dabei sind die Leistungen im Sinne der ÖNORM A 2050 „Vergabe von Aufträgen über Leistungen - Ausschreibung, Angebot und Zuschlag - Verfahrensnorm“ [...] so zu beschreiben, dass die Preise ohne umfangreiche Vorarbeiten und ohne Übernahme nicht kalkulierbarer Risiken ermittelt werden können. Sind diese Voraussetzungen geschaffen, dient diese ÖNORM auch dazu, die Prüfung der Preise zu erleichtern.“

## 2.4 Begriffe Kalkulation ÖNORM B 2061:1999<sup>24</sup>

Die folgenden Begriffe werden aus der angeführten Norm zitiert.

**Baugeräte:** Technische Hilfsmittel, die zur Ausführung von Bauleistungen aller Art oder zur Gewinnung und Aufbereitung von Baustoffen verwendet werden, z.B. Maschinen, Transportmittel, Gerüste, Baubaracken, Container, Schalungs- und andere Geräte, sowie die dazugehörigen Bestandteile. Als Baugeräte gelten nicht Kleingeräte, Kleingerüste, Werkzeuge u. dgl.

**Instandhaltungskosten; Reparaturkosten:** Kosten, die aufgewendet werden müssen, um die Einsatzfähigkeit eines Baugerätes zu erhalten oder wiederherzustellen.

**Vorhaltezeit:** Zeit, in welcher ein Baugerät vertragsgemäß auf der Baustelle zur Verfügung steht. Die Vorhaltezeit ist die für die Vergütung maßgebende Zeit.

<sup>24</sup> ÖN B 2061 (1999); S.5

### 3 Der Baustoff Beton

Im folgenden Kapitel soll der Baustoff Beton grundlegend erklärt werden, um die weiteren Themen wie die Betonherstellung, Betonförderung, Betoneinbringung und den Frischbetondruck besser verstehen zu können.

Beton und Stahlbeton ist aufgrund seiner Vielseitigkeit einer der bedeutendsten Baustoffe im Bauwesen. Charakterisiert wird die Vielseitigkeit durch eine hohe Druckfestigkeit, dichtem Gefüge, glatter Oberfläche, Wasserundurchlässigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe sowie hohem Abnutzungswiderstand und Brandbeständigkeit. Durch den Verbund mit dem Betonstahl (Stahlbeton) zur Aufnahme der Zugkräfte wird er als tragendes Element bei nahezu jedem Bauvorhaben eingesetzt. Nach dieser Variation erfolgt auch die Einteilung des Betons in unbewehrten Beton und bewehrten Beton (Stahl- und Spannbeton).<sup>25</sup>

Beton wird als Fünf-Stoff-System verstanden, das aus dem Gemisch von Bindemittel (Zement), Gesteinskörnungen (Rundkorn, gebrochenes Korn) und Wasser hergestellt wird. Zur Beeinflussung bestimmter Eigenschaften können dem Beton auch Zusätze zugegeben werden. Zu unterscheiden sind hier die Betonzusatzmittel (z.B. Verflüssiger oder Luftporenbildner) und Betonzusatzstoffe (z.B. Flugasche oder Mikrosilika). Der Zementleim, das Gemisch aus Wasser und Zement, bewirkt nach dem Mischen, dass eine Verarbeitbarkeit und der nötige Zusammenhalt des Frischbetons gegeben sind. Nach dem Erhärten des Zementleims entsteht der Zementstein, der die Verbindung der einzelnen Gesteinskörner untereinander sichert. Dies stellt auch den Übergang vom Frischbeton auf den Festbeton dar. Der Festbeton weist nach dem Erhärten ein mehr oder weniger dichtes Gefüge mit einer entsprechenden Festigkeit auf.

Zusammengefasst kann hier festgehalten werden:

- Frischbeton: Zementleim + Gesteinskörnungen,
- Festbeton: Zementstein + Gesteinskörnungen

Für die Eigenschaften des Betons ergeben sich hieraus die wesentlichen Einflussgrößen. Diese sind folgende:

- Eigenschaften des Zementsteins,
- Eigenschaften der Gesteinskörnung
- Verbindung zwischen Zementstein und Gesteinskörnung.

<sup>25</sup> Vgl. Bauer (2007); S.171f

Die Eigenschaften des Zementsteins spielen dabei die wesentlichste Rolle, da diese den Beton hinsichtlich seiner Druckfestigkeit, Wasserundurchlässigkeit, Frostbeständigkeit und Beständigkeit gegen chemische Angriffe am stärksten beeinflussen.<sup>26</sup>

### 3.1 Klassifizierung von Beton

Beton kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten eingeteilt werden. Nachstehend wird der Beton je nach Zusammensetzung, Erhärtungsgrad, besonderen Eigenschaften eingeteilt.

Nach dem Erhärtungszustand:

- Frischbeton
- junger Beton
- Festbeton

Nach der Konsistenz:

- steifer Beton
- plastischer Beton
- weicher Beton
- fließfähiger Beton
- Selbstverdichtender Beton

Nach der Rohdichte:

- Leichtbeton                    800 - 2.000 kg/m<sup>3</sup>
- Normalbeton                 2.000 - 2.600 kg/m<sup>3</sup>
- Schwerbeton                 > 2.600 kg/m<sup>3</sup>

Nach den Expositionsklassen bezogen auf die Umweltbedingungen:

- X0 kein Korrosions- oder Angriffsrisiko
- XC Korrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung und Dichtigkeit des Betongefüges
- XD Bewehrungskorrosion ausgelöst durch Chloride, ausgen. Meerwasser
- XF Betonangriff durch Frost, mit und ohne Taumittel
- XA Betonangriff durch chemischen Angriff (treibend und lösend)
- XM Verschleißbeanspruchung

<sup>26</sup> Vgl. Lohmeyer/Bergmann/Ebeling (2006); S.21

Nach Ort und Art der Herstellung:

- Baustellenbeton
- Transportbeton
- Ortbeton
- Fertigteile

Nach der Betonart:

- Pumpbeton
- Spritzbeton
- Unterwasserbeton (UB1, UB2)
- Sichtbeton
- Beton mit geringer Blutneigung
- Beton mit verlängerter Verarbeitungszeit
- Beton mit verzögerter Anfangserhärtung
- Selbstverdichtender Beton

Nach der Anwendung und Berechnung:

- unbewehrter Beton
- Stahlbeton (schlaaffe Bewehrung oder vorgespannte Bewehrung)<sup>27</sup>

In den weiteren Punkten werden die für diese Arbeit wesentlichsten Gesichtspunkte genauer erklärt. Dabei wird speziell auf den Frischbeton, den Festbeton und selbstverdichtenden Beton eingegangen.

### 3.2 Frischbeton

Unter Frischbeton versteht man einen Beton, der fertig gemischt ist, sich jedoch in einem verarbeitbaren Zustand befindet und durch das gewählte Verfahren verdichtet werden kann. Daraus lassen sich die wesentlichen Anforderungen an die Verarbeitbarkeit des Frischbetons ableiten. Die Frischbetonmischung muss gewährleisten, dass eine fachgerechte Verarbeitung (innerhalb 90 Minuten ab Herstellung) möglich und nach dem Einbau und Verdichten ein minimierter Luftgehalt vorhanden ist. Die Zusammensetzung des Frischbetons muss so sein, dass Transport und Einbau ohne wesentliche Entmischungerscheinungen durchgeführt werden können. Je nach Anwendungsfall werden unterschiedliche

<sup>27</sup> Vgl. Valentin/Potucek/Kidery/Fritze (2008); S. 19ff



Anforderungen an die Verarbeitbarkeit gestellt. Dabei gilt es zu unterscheiden zwischen:

- Förderart (z.B. Kran und Kübel oder Betonpumpe),
- Einbauverfahren (z.B. Schüttrohr oder im freien Fall),
- Verdichtungsart (z.B. Innenrüttler oder Rüttelbohle),
- Bewehrungsgrad und -abstände,
- Bauteilabmessungen.<sup>28</sup>

Wie kann die Verarbeitbarkeit von Frischbeton charakterisiert oder gemessen werden? Eine wesentliche Kenngröße dafür ist die Konsistenz.

### 3.2.1 Konsistenz

Durch die rheologisch<sup>29</sup> Kenngröße Konsistenz können die Eigenschaften von Frischbeton hinsichtlich der Steife der Mischung, die Beweglichkeit beim Fördern oder Einbauen und die Verdichtungsfähigkeit am besten beschrieben und erfasst werden. Dabei werden die Konsistenzen in Klassen eingeteilt, die den einschlägigen Normen entnommen werden können.<sup>30</sup>

Eine Übersicht über die Konsistenz- oder Ausbreitmaßklassen und die Verdichtungsmaßklassen bieten die Tabellen 5 und 6 der ÖNORM B 4710-1:2007 unter Punkt 4.2.1. Diese sehen wie folgt aus:

Klasse	Klassenbezeichnung in Österreich	Ausbreitmaß (Durchmesser)	Beschreibung
		mm	
F1 <sup>a</sup>	–	≤ 340	–
F2	F38	350 bis 410	plastisch
F3	F45	420 bis 480	weich
F4	F52	490 bis 550	sehr weich
F5	F59	560 bis 550	fließfähig
F6 <sup>a</sup>	–	≥ 630	–
	F66	630 bis 690	sehr fließfähig
	F73	700 bis 760	extrem fließfähig

<sup>a</sup> in Österreich nicht relevant

Tabelle 3-1: Ausbreitmaßklassen nach ÖNORM B 4710-1:2007<sup>31</sup>

<sup>28</sup> Vgl. Lohmeyer/Bergmann/Ebeling (2006); S.21f

<sup>29</sup> Proske (2007); S.11 Rheologie: Die Rheologie stellt ein Teilgebiet der Physik dar, welches sich mit der Beschreibung des dynamisch-mechanischen Verhaltens von Substanzen befasst, insbesondere der Messung des Fließverhaltens fließfähiger Substanzen.

<sup>30</sup> Vgl. Röhling/Eifert/Kaden; S.62

<sup>31</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.32

Klasse	Verdichtungsmaß	Beschreibung
C0	mindestens 1,46	sehr steif
C1	1,45 bis 1,26	steif
C2	1,25 bis 1,11	steif plastisch
C3 <sup>a</sup>	1,10 bis 1,04	–
C4 <sup>a</sup>	unter 1,04	–

<sup>a</sup> in Österreich nicht relevant

**Tabelle 3-2: Verdichtungsmaßklassen nach ÖNORM B 4710-1:2007<sup>32</sup>**

In der ÖNORM B 4710-1:2007 wird darauf hingewiesen, welche der oben angesprochenen Anforderungen die Konsistenzen zu erfüllen haben: „Wenn nicht anders vereinbart, ist zumindest die steifere Grenze der festgelegten Konsistenzklassen bis 90 Minuten nach Wasserzugabe vom Hersteller sicherzustellen.“

Die Konsistenz ist so zu wählen, dass der Beton mit den zur Verfügung stehenden Geräten einwandfrei eingebaut und praktisch vollständig verdichtet werden kann. Hierbei darf er sich nicht entmischen. Im Allgemeinen ist eine Konsistenzklasse F45 zweckmäßig.<sup>33</sup>

Die Ausbreitmaßklasse F45 wird auch als Regelkonsistenz bezeichnet, da sie für die meistens baupraktischen Anwendungen des Betons gut geeignet ist. Dabei kann der Beton als „weich“ beschrieben werden. Der Frischbeton zeigt sich dabei beim Schütten als schwach fließend. Das Verdichten erfolgt durch Rütteln, wobei an engen Stellen auch durch Stochern verdichtet werden kann. Durch die Regelkonsistenz kann eine hohe Einbauleistung unter vertretbarem Einbauaufwand erzielt werden. Nach dem Verdichten liegt ein homogener Betonbauteil vor.

Die Konsistenz ist vor Bau- oder Ausführungsbeginn festzulegen. Dabei sind die Verarbeitungsbedingungen auf der Baustelle, wie Wartezeiten bei Transportbeton, eingesetzte Geräte, Betonierabschnitte sowie die Lufttemperatur, zu berücksichtigen. Die Konsistenzmaße können mit Hilfe von Konsistenzprüfverfahren, beispielsweise nach ONR 23303:2010, ermittelt werden. Durch diese können die Konsistenzen den jeweiligen Klassen zugeordnet werden. Eine Überprüfung der Konsistenz ist bei Abnahme des Transportbetons und während der Baudurchführung durchzuführen. Grundsätzlich ist die Konsistenz keine Messgröße für die zu erwartende Betongüte, jedoch können durch Konsistenzänderungen, Abweichungen von vereinbarten Frischbetonzusammensetzungen abgeleitet werden.<sup>34</sup>

<sup>32</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.31

<sup>33</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.31

<sup>34</sup> Vgl. Röhling/Eifert/Kaden S.62f

### 3.2.2 Mehlkorngesamt

„Damit Beton gut verarbeitbar ist, ein geschlossenes Gefüge erhält und kein Wasser absondert, muss er eine vom Größtkorn des Gesteinskörnungsgemisches abhängige Menge an Mehlkorn enthalten. Unter Mehlkorn werden Korngrößen  $< 0,125$  mm verstanden. Ein ausreichender Mehlkorngesamt ist besonders bei Beton, der über längere Strecken oder Rohrleitungen gefördert wird, wichtig. Er ist aber auch erforderlich bei Beton für dünnwandige, eng bewehrte Bauteile, bei Beton mit hohem Wasseindringwiderstand und bei Sichtbeton. Zu hoher Mehlkorngesamt erhöht jedoch den Wasseranspruch, was das Schwinden und die Rissgefahr vergrößert. Zu geringer Mehlkorngesamt fördert das Entmischen und das Bluten des Betons.“<sup>35</sup>

Im Allgemein sind für Konsistenzen  $\leq$  F45 Mehlkorngesamter nach Tabelle 3-3 (Auszug aus der ÖNORM B4710-1) ausreichend. Bei Betonen  $\geq$  F52 sind größere Mehlkorngesamter zweckmäßig.

Größtkorn der Gesteinskörnung (GK)	empfohlener Mehlkorngesamt
	kg/m <sup>3</sup>
8	450 ± 25
16	375 ± 25
22	350 ± 25
32	325 ± 25

Tabelle 3-3: Empfohlener Mehlkorngesamt<sup>36</sup>

### 3.2.3 Entmischen<sup>37</sup>

„Eine der wichtigsten Anforderungen an den Frischbeton ist, dass er sich beim Transport, Einbau, Verdichten und in der daran anschließenden Zeit bis zum Erstarrungsbeginn nicht entmischt. Entmischungsvorgänge sind die Trennung von grober Gesteinskörnung und Feinmörtel, das Absetzen größerer Gesteinskörner nach dem Einbau oder die Bildung einer Wasser- oder Zementleimschicht an der Betonoberfläche. Der Zusammenhalt des Frischbetons wird vor allem durch einen ausreichenden Zement und Mehlkorngesamt [...] sichergestellt. Das Absondern von Wasser an die Betonoberfläche, das sog. Bluten, wird durch die unterschiedliche Dichte von Zement und Gesteinskörnung einerseits und Wasser andererseits ausgelöst. Werden betonverflüssigende Zusatzmittel oberhalb des sog. Sättigungspunktes zugegeben, sind alle Feinstteilchen in der Suspension dispergiert, wodurch die Neigung zu Entmischen und Bluten vergrößert wird. Das Bluten wirkt sich auf das Aussehen von Sichtbetonflächen, die Festigkeit,

<sup>35</sup> Goris/Hegger (2010); S.B23f

<sup>36</sup> ÖN B 4710-1; S.57

<sup>37</sup> Bergmeister/Fingerloss/Wörner (2010); S.330

insbesondere auf die Dauerhaftigkeit von horizontalen Betonoberflächen, aber auch auf den Verbund zwischen Beton und Bewehrung sehr nachteilig aus. Betontechnologische Maßnahmen zur Verringerung des Blutens sind u.a. eine Reduktion des Wassergehaltes, ein ausreichender Mehlkorngelalt, die Verwendung feinkörniger Betonzusatzstoffe bzw. fein gemahlener Zemente und der Einsatz von Stabilisierern als Betonzusatzmittel [...].“

### 3.3 Festbeton

Unter Festbeton versteht man einen Beton, der sich in einem festen Zustand befindet und eine gewisse Festigkeit entwickelt hat. Die wesentlichsten Charakterisierungsmerkmale für Festbeton sind die Druckfestigkeit und die Rohdichte.

Die hohe Druckfestigkeit  $f_{ck}$  (N/mm<sup>2</sup>) ist eine der bedeutendsten Eigenschaften von Beton. Sie liegt bei Normal- und Schwerbeton bei max. 60 N/mm<sup>2</sup> und bei Leichtbeton bei max. 55 N/mm<sup>2</sup>. Betone mit Druckfestigkeiten über diesen Werten werden hochfeste Betone genannt. Die Druckfestigkeit kann lt. ÖNORM B 4710-1 anhand der charakteristischen Festigkeit von Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge nach 28 Tagen oder der charakteristischen Festigkeit von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge nach 28 Tagen angegeben werden. Die Tabelle 7 der ÖNORM B 4710-1:2007 Punkt 4.3.1 gibt die Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton an.

Die Größe der Betondruckfestigkeit wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- **Betonzusammensetzung:**
  - Eigenschaften des Zements
  - Wassorzementwert w/z,
  - Wasserbindemittelwert w/b
  - Betonzusatzmittel/-stoffe
- **Erhärtungsbedingungen:**
  - ausreichende Feuchte
  - Temperatur
  - Hydratationsdauer

Einen eher untergeordneten Einfluss auf die Betondruckfestigkeit hat die verwendete Gesteinskörnung bei Normalbeton.<sup>38</sup>

Der Wassorzementwert w/z ist die für die Betondruckfestigkeit wichtigste Einflussgröße. Dies geht auch aus dem nachstehenden Bild 3.1. hervor.

<sup>38</sup> Vgl. Lohmeyer/Bergmann/Ebeling (2006); S.26

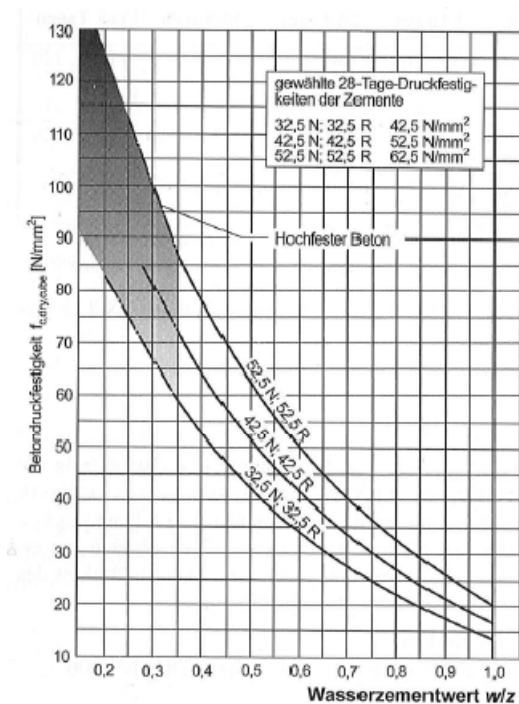


Bild 3.1: Diagramm Betondruckfestigkeit, Festigkeitsklasse Zement, w/z-Wert<sup>39</sup>

Es zeigt die charakteristische Betonzylinderfestigkeit im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vom w/z Wert und der Zementfestigkeitsklasse. Für Beton ist in der Regel die 28-Tage-Druckfestigkeit von Bedeutung. Jedoch kann, wenn ein frühzeitiges Ausschalen notwendig ist, die Betondruckfestigkeit in jüngerem bzw. in späterem Alter wichtig sein. Die Zementart kommt durch den Hydratationsgrad im Alter von 28 Tagen zum Ausdruck. In der Regel steigt der Hydratationsgrad mit steigender Zementfestigkeit, da die hochfesten Zemente im Allgemeinen schneller hydratisieren. Der Zementgehalt hat einen indirekten Einfluss auf die Betondruckfestigkeit. Wie aus dem Bild 3.1 hervorgeht, steigt die Betondruckfestigkeit bei steigendem Zementgehalt und konstantem Wassergehalt. Der Wasserelementwert w/z sinkt.<sup>40</sup>

### 3.4 Selbstverdichtender Beton

Selbstverdichtender Beton (SVB oder SCC) ist ein sehr fließfähiger Frischbeton (mit Ausbreitmaß über 70 cm), der sich unter dem Einfluss der Schwerkraft ohne Verdichtungsenergie beim Einbringen selbst entlüftet und den Raum zwischen der Bewehrung und komplizierter

<sup>39</sup> Zement-Merkblatt B4 (2007); S.2

<sup>40</sup> Vgl. Bergmeister/Fingerloss/Wörner (2010); S.342

Schalungsgeometrie vollständig ausfüllt. Es ist ein Beton, der bei sehr hohem Ausbreitmaß keine Entmischungserscheinungen zeigt. Dies wird durch die Zugabe von Zusatzmittel (z.B. Stabilisierer) sichergestellt.

Allgemein ist die Betonrezeptur von SCC bei üblichen Zementgehalten und Wasserzementwerten aufgrund des sehr hohen Mehlkorn- und Fließmittelanteils eine über die Normen hinausgehende Mischung. Der Mehlkorngehalt liegt bei SCC zwischen 450-600 kg/m<sup>3</sup>. Das Ausbreitmaß von  $\geq 70$  cm kann lediglich durch den Einsatz eines hochwirksamen Fließmittels erreicht werden. Die Menge des Fließmittels wird in Versuchen ermittelt, um die optimale Mischung aus Mehlkorn, Wasser und Fließmittel zu erreichen. Für den Mischungsentwurf ist eine Gesteinskörnung mit GK 16 mit einer Sieblinie in der Mitte des günstigen Bereichs zweckmäßig.

Grundsätzlich besitzt der selbstverdichtende Beton in seiner Druckfestigkeit, der Zugfestigkeit und der Karbonatisierungstiefe gleiche Eigenschaften wie Normalbeton. Lediglich der Luftgehalt liegt im Allgemeinen zwischen 1,5 % und 4,5 % und damit höher als bei Normalbeton. Die Wasserzementwerte liegen bei 0,5 bis 0,6.<sup>41 42</sup>

Durch speziell ausgeführte Schalungselemente mit Füllstützen findet der SVB neben den oben genannten Kriterien noch folgende baubetriebliche Anwendungen:

- Betonieren sehr hoher Wände. Dabei werden ca. 3,5 m von unten betoniert und nach dem Ansteifen erfolgt das Befüllen der restlichen Wandhöhe von oben,
- Ummanteln von Stahlstützen,
- Schnelleres Betonieren, da kein lagenweises Einbringen und Verdichten notwendig ist,
- Deckelbauweise (Einpumpen des Betons durch die Decke),
- Erstellen von Wänden unter bereits bestehenden Bauteilen.<sup>43</sup>

Die genannten Kriterien lassen darauf schließen, dass sich die Anwendung von Selbstverdichtendem Beton auf spezielle Anforderungen und Anwendungen reduziert.

<sup>41</sup> Vgl. Wendehorst (2004); S.519

<sup>42</sup> Vgl. Röhlings/eifert/Kaden (2000); S.273f

<sup>43</sup> Vgl. Staiger/Weith/Dehn (2004); S.226

### 3.5 Warmbeton

Extreme Witterungsbedingungen wie Froststellen zusätzliche Anforderungen an die Betonrezeptur dar. Um die geforderten Eigenschaften sowie die Qualität des Frisch- und Festbetons gewährleisten zu können, wird für den Winterbau unter anderem der Warmbeton verwendet.

Warmbeton ist ein Frischbeton, der nach dem Mischen spürbar warm ist (über 20 °C bis ca. 40 °C). Die Erwärmung kann dabei sowohl direkt im Mischer durch Heißwasser oder Dampfzufuhr als auch außerhalb durch Erwärmung des Zuschlags erfolgen. Auf den genauen Erwärmungsprozess wird unter Punkt 4.2.2 eingegangen.

Grundsätzlich sind bei Warmbetonrezepturen und der Anwendung von Warmbeton alle Vorschriften, Normen usw., die für Normalbeton gelten, einzuhalten. Des Weiteren sind Eignungsprüfungen zu empfehlen.

Die besonderen Anforderungen an die Warmbetonrezeptur werden hinsichtlich folgender Komponenten gestellt:

- Gesteinskörnung
- Zement
- Anmachwasser, Zugabewasser
- Zusatzmittel
- Wasserzementwert

Die Gesteinskörnung muss ein dichtes Gefüge für die Frostbeständigkeit aufweisen. Um nicht zu gefrieren, darf die Gesteinskörnung kein Wasser saugen und seine Mitteltemperatur muss über 0 °C liegen, wobei die Oberflächentemperatur wiederum 50 °C nicht übersteigen sollte. Die Warmbetonrezeptur sollte einen möglichst niedrigen Anteil an Feinkorn unter 0,5 mm enthalten.<sup>44</sup>

Die Eigenschaften von Zement müssen angesichts ihrer Festigkeits- und Wärmeentwicklung bei der Wärmezufuhr berücksichtigt werden. Da Zemente höherer Festigkeitsklassen (42,5 R bis 52,5 R) mehr Wärme entwickeln und daher schneller erhärten, sind diese für die Betonrezeptur bei tiefen Temperaturen besonders geeignet. Bei dicken Bauteilen können auf Grund der geringeren Wärmeableitung auch Zemente der Festigkeitsklassen 32,5 R und 42,5 verwendet werden.<sup>45</sup>

<sup>44</sup> Vgl. Riker (1996); S.495ff

<sup>45</sup> Vgl. Bayer/Kampen (1997); S.50

## 4 Betonproduktion

In Kapitel 4 wird die Betonproduktion von der Festlegung des Betons über die Betonherstellung und -lieferung hin zum Einbau und der Nachbehandlung beschrieben. Dabei werden relevante Auszüge aus den Normen angeführt und die gängigsten Verfahren zur Betonproduktion beschrieben.

### 4.1 Festlegung des Betons

Die ÖNORM B 4710-1:2007 legt genau fest, was der Verfasser der Festlegung des Betons angeben muss, um sicherzugehen, dass der Beton auch die gewünschte Qualität in Herstellung und Verarbeitung erreicht. Dazu der Punkt 6.1 der ÖNORM:

„Der Verfasser der Festlegung des Betons muss sicherstellen, dass alle relevanten Anforderungen für die Betoneigenschaften in der dem Hersteller zu übergebenden Festlegung enthalten sind. Spätestens der Verfasser der Festlegung, der diese an den Hersteller weitergibt, muss alle Anforderungen an Betoneigenschaften festlegen, die für den Transport nach der Lieferung, das Einbringen, die Verdichtung, die Nachbehandlung oder weitere Behandlungen erforderlich sind. Die Festlegung muss, falls erforderlich, alle besonderen Anforderungen (zB zur Erzielung einer Oberflächengestaltung) enthalten.

Der Verfasser der Festlegung muss Folgendes berücksichtigen:

- die Anwendung des Frisch- und Festbetons,
- die Nachbehandlungsbedingungen,
- die Abmessungen des Bauteils (die Wärmeentwicklung),
- die Einwirkungen der Umgebung, denen das Bauwerk ausgesetzt wird,
- gegebenenfalls alle Anforderungen an die Gesteinskörnung, die an der Bauteiloberfläche freiliegt oder für bearbeitete Betonoberflächen,
- gegebenenfalls alle Anforderungen, die sich aus der Betondeckung oder den Mindestquerschnittsmaßen ergeben, zB Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung,
- gegebenenfalls alle Beschränkungen der Verwendung von Ausgangsstoffen mit allgemein nachgewiesener Eignung, zB aufgrund von Expositionsklassen.<sup>46</sup>

<sup>46</sup> ÖN 4710-1 (2007); S.72



Beton kann entweder nach den Eigenschaften, der Zusammensetzung oder als Standardbeton festgelegt werden. Wird der Beton nach den Eigenschaften festgelegt, müssen Angaben hinsichtlich Expositionsklasse, Druckfestigkeitsklasse, Größtkorn der Gesteinskörnung (ohne Angabe ist GK 22 zu verwenden), Konsistenzklasse etc. getroffen werden. Wenn Eigenschaften wie blutarmer Beton, verlängerte Verarbeitungszeit oder verzögerte Anfangserhärtung gefordert sind, müssen diese eindeutig in der Leistungsbeschreibung angegeben werden.

Wird der Beton nach der Zusammensetzung festgelegt, gelten Anforderungen an den Zementgehalt, die Zementart und Festigkeitsklasse des Zements, den Wasserzementwert w/z sowie an die Art und Menge der Zusatzmittel oder Zusatzstoffe. Weitere Anforderungen sind den jeweiligen Normen zu entnehmen.

Beton als Standardbeton oder Rezeptbeton ist hinsichtlich seiner Zusammensetzung durch die am Verwendungsort geltende Norm festgelegt. Grundsätzlich darf Standardbeton nur als Normalbeton für bewehrte und unbewehrte Bauteile und für Baulose bis maximal 50 m<sup>3</sup> Beton verwendet werden.<sup>47</sup>

In der ÖNORM B 4710-1:2007 ist eine Tabelle mit Kurzbezeichnungen enthalten, die eine richtige Auswahl der Betonsorte ermöglicht.

Kurzbezeichnung	Abgedeckte Umweltklasse	W/B-Wert	Luftgehalt in %
B1	XC3 (A)	0,60	-
B2	XC3/XD2/XF1/XA1L/SB (A)	0,55	-
B3	XC3/XD2/XF3/XA1L/SB (A)	0,55	2,5 bis 5,0
B4	XC4/XD2/XF1/XA1L/SB (A)	0,50	-
B5	XC4/XD2/XF2/XA1L/SB (A)	0,50	2,5 bis 5,0
B6 <sup>a</sup> /C <sub>3</sub> A-frei	XC4/XD2/XF3/XA2L/XA2T/SB (A)	0,45	2,5 bis 5,0
B7	XC4/XD3/XF4/XA1L/SB (A)	0,45	4,0 bis 8,0
B8	XC3/UB1 (A)	0,60	-
B9	XC3/UB2 (A)	0,60	-
B10	XC3/XD2/XF1/XA1L/UB1 (A)	0,55	-
B10/C <sub>3</sub> Afrei	XC3/XD2/XF1/XA1L/XA1T/UB1/C <sub>3</sub> Afrei (A)	0,55	-
B11	XC3/XD2/XF1/XA1L/UB2 (A)	0,55	-
B11/C <sub>3</sub> Afrei	XC3/XD2/XF1/XA1L/XA1T/UB2/C <sub>3</sub> Afrei (A)	0,55	-
B12	XC4/XD2/XF1/XA1L/UB1 (A)	0,50	-
B12/C <sub>3</sub> Afrei	XC4/XD2/XF1/XA1L/XA1T/UB1/C <sub>3</sub> Afrei	0,50	-
HL-SW	XC4/XD3/XF3 <sup>b</sup> /XA3L <sup>c</sup> /XA3T <sup>c</sup>	0,34	-
HL-B	XC4/XD3/XF4 (A)	0,34	4,0 bis 8,0

<sup>a</sup> Gesteinskörnung ≤ 4mm mit CO<sub>2</sub>-Gehalt ≤ 15%  
<sup>b</sup> XF2 und XF4 bei Einhaltung der für die Expositionsklasse entsprechenden Anforderungen an L300 und AF gemäß Tabelle NAD 10  
<sup>c</sup> siehe 4.3.7.

Tabelle 4-1: Betonkurzbezeichnungen und damit abgedeckte Umweltklassen<sup>48</sup>

<sup>47</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.74f

<sup>48</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.115

## 4.2 Betonherstellung

Beton wird heute überwiegend in stationären Betonwerken hergestellt und als Frischbeton an die Baustellen angeliefert. Bei Großbaustellen, die weitab von Transportbetonwerken liegen, werden jedoch mobile Baustellen-Mischanlagen aufgestellt. Diese dienen dazu, eine kontinuierlich große Einbaumenge, die den qualitativ hochwertigen Anforderungen an den Beton genügt, abdecken zu können. Betonwerke, die Beton- und Stahlbetonfertigteile herstellen, arbeiten ebenfalls mit eigenen Betonmischanlagen.<sup>49</sup>

### 4.2.1 Mischanlage

Nach *Bauer*<sup>50</sup> sind für das Herstellen von Frischbeton folgende Arbeitsschritte zu unterscheiden:

- Betonzuschläge dosieren,
- Bindemittel dosieren,
- Wasser dosieren,
- Betonzusätze dosieren,
- Mischer beschicken,
- Beton mischen,
- Mischer entleeren.

Eine Betonmischanlage besteht daher aus folgenden Komponenten:

- dem Lager für die Betonzuschläge, Bindemittel und Betonzusätze,
- den Dosier- und Beschickungseinrichtungen (Waagen),
- dem Mischer.

Dazu kommen noch ein Steuerungssystem der Anlage, der Anschluss für Wasser und Energie (Strom, ggf. Druckluft), die Entsorgung (Rest- und Rückbeton-Recycling, Abwasser) sowie Einrichtungen für das Vorwärmen des Wassers und (ggf.) der Zuschläge bei Winterbetrieb.

Bei allen Mixchern werden Zuschläge, Zement, die Zugabe von Wasser und Zusatzmitteln über Waagen dosiert.

Bei Betonmischanlagen kann in Horizontal- und Vertikalanlagen unterschieden werden. Je nach den jeweiligen Standortbedingungen und

<sup>49</sup> Vgl. Bauer (2007); S.180f

<sup>50</sup> Bauer (2007); S.181

wirtschaftlichen Überlegungen werden die Anlagentypen ausgewählt. Horizontalanlagen werden speziell bei Großbaustellen, wie im Straßenbau, bei Betonpisten von Flughäfen, Tunneln etc., eingesetzt. Vertikale Mischanlagen hingegen werden als stationäre Anlagen in Transportbetonwerken und Fertigteilwerken eingesetzt. Sie sind als Turmanlagen auf große Betonierleistung im Dauerbetrieb ausgelegt. Auf den Aufbau und die Funktionsweisen der einzelnen Anlagentypen wird hier nicht näher eingegangen. Hier sei auf die einschlägige Literatur des Baubetriebs verwiesen.<sup>51</sup>

Eine wesentliche Rolle spielt die Betonherstellung in den Wintermonaten und den Sommermonaten. Hier verlangen die extremen Außentemperaturen Sondermaßnahmen der Transportbetonwerke. Nachfolgend seien die Herstellungsverfahren solcher Betone genauer erklärt.

#### 4.2.2 Maßnahmen für Sonderbetone<sup>52</sup>

Wie in Kapitel 3 eingehend beschrieben, bedarf es beim Betonieren unter extremen Witterungsbedingungen besondere Maßnahmen bei der Herstellung von Warmbeton oder gekühltem Beton im Mischwerk.

- **Warmbeton**

Warmbeton muss nach seiner Herstellung eine Temperatur über 20 °C und unter 40 °C aufweisen. Dies ist einerseits durch Wärmeenergiezufuhr durch das Anmachwasser oder andererseits durch Wärmeenergiezufuhr in die Gesteinskörnung im Mischwerk möglich. Die Erwärmung des Anmachwassers ist mit einfachen technischen Mitteln möglich, besonders wirksam und am wirtschaftlichsten. Bei Wassertemperaturen über 50 °C sollte der Zuschlag zuerst durch Mischen mit dem Anmachwasser erwärmt werden. Anschließend kann der Zement beigemengt werden. Andernfalls könnte dies zu einem Festigkeitsabfall und einem erhöhten Schwinden führen. Grundsätzlich sollte die Wärmeenergiezufuhr über das Anmachwasser als einziger Energieträger nur dann angewendet werden, wenn die Temperatur der Gesteinskörnung niedrig ist, aber noch über +5 °C bis 8 °C liegt. Liegt die Temperatur der Gesteinskörnung unter 5 °C, so muss diese entweder im Lagerungsbereich vor dem Mischer oder im Mischer erwärmt werden. Dabei wird der Zuschlag durch eine Heißöl- oder Warmluftheizungen vorgewärmt.

---

<sup>51</sup> Vgl. Bauer (2007); S.189

<sup>52</sup> Vgl. Riker (1996); S.495ff

### ▪ gekühlter Beton

Die Grundproblematik bei zu hohen Temperaturen im Inneren des erhärtenden Betons liegt darin, dass es durch einen Wärmeanstieg in Kombination mit der vorhandenen Hydratationswärme zu einer erhöhten Riss- und Bruchgefahr kommen kann. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, wird der Beton vor- und nachgekühlt. Dabei werden entweder die Betonausgangsstoffe oder der fertige Frischbeton gekühlt.

Zur Kühlung von Beton können folgende Methoden zum Einsatz kommen:

- Einhausung der Gesteinsdeponie zum Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung,
- Gesteinskörnung auf Förderband mit kühlem Wasser berieseln,
- Bandkühlung mit Kaltluft,
- Kühlung mit Scherbeneis,
- Kühlung mit flüssigem Stickstoff (Gesteinskörnung, Zement, Frischbeton im Mischer).

Die einfachste Lösung zur Kühlung der Gesteinskörnung stellen die ersten drei Punkte dar. Diese kommen zur Anwendung, wenn eine Temperatursenkung von 5 bis 10 °C gefordert ist. Mit Scherbeneis kann eine Temperaturabsenkung von 5 bis 15 °C erreicht werden, wobei darauf zu achten ist, dass die äquivalente Wassermenge bei der Zugabewassermenge berücksichtigt wird.

Durch das Kühlen von Beton im Mischer oder Fahrmischer mittels flüssigen Stickstoffs kann die Betontemperatur auf einfache Weise gesenkt werden. Im Mischwerk kann 1 m<sup>3</sup> Beton beispielsweise innerhalb weniger Minuten von 24 °C auf 12 °C abgekühlt werden. Auf Baustellen ist eine Temperaturreduktion von 6 °C in wenigen Minuten möglich. Die Vorteile liegen in der Zufuhr von größeren Kältemengen in kurzer Zeit, einer guten Regelung des Kühlprozesses und keiner Beeinflussung der Betonqualität, da der Stickstoff durch Verdampfen nicht mit den Betonbestandteilen reagiert. Der Nachteil gegenüber den anderen Verfahren liegt jedoch in den höheren Stoffkosten.<sup>53</sup>

## 4.3 Betontransport<sup>54</sup>

Transportbeton wird in werkgemischtem und fahrzeuggemischtem Beton unterschieden. Der werkgemischte Beton wird in der Mischanlage fertig

<sup>53</sup> Vgl. Riker (1996); S.500ff

<sup>54</sup> Vgl. Riker (1996); S.268ff

gemischt und mit Fahrmischern zur Einbaustelle transportiert. Dies bringt vor allem Qualitätsvorteile. Um eine entsprechende Qualität zu sichern, schreibt die DIN 1045-2 vor, dass Fahrmischer oder Fahrzeuge mit Rührwerk 90 Minuten nach der ersten Wasserzugabe zum Zement, Fahrzeuge ohne Mischer oder Rührwerk von Beton steifer Konsistenz 45 Minuten nach der ersten Wasserzugabe zum Zement entladen sein sollen.

Muss der Frischbeton über lange Fahrstrecken und unter starker Sonneneinstrahlung transportiert werden, wird mit Verzögerern gearbeitet, die das Austrocknen des Frischbetons verhindern. Unmittelbar vor dem Entladen ist der Frischbeton nochmals im Transportmischer durchzumischen, damit er auf der Baustelle mit gleicher Zusammensetzung übergeben werden kann. Wo Fahrstrecken zur Einbaustelle zu groß sind und nicht mit Verzögerern gearbeitet werden soll, wird der Zuschlag und Zement in den Fahrmischern dosiert, das Anmachwasser mitgeführt und der Frischbeton kurz vor oder auf der Baustelle gemischt. Man spricht hier von fahrzeuggemischtem Beton. Die Methode des werkgemischten Transportbetons hat sich in den Industrieländern durchgesetzt, da hier die Qualität des Betons ein entscheidendes Kriterium darstellt. Die Vor- und Nachteile der beiden Methoden werden folgend beschrieben.

werkgemischter Beton:

- erhöhte Investitionskosten durch Mischer und Energiebedarf,
- Qualität durch Zwangsmischer und Werkspezialist gesichert,
- Selbstabholung möglich,
- Konsistenz ist einstellbar und Korrektur leicht möglich,
- kurze Mischzeit,
- etwas höhere Transportleistung als bei Fahrzeugmischer,
- Lieferung entspricht dem Lieferschein und umgekehrt,
- Unabhängig von Umgebungstemperatur Warmbeton und gekühlter Beton möglich.

fahrzeuggemischter Beton:

- Investitionskosten und Energiekosten sind für Trockenfüllstation geringer,
- Transportmischer in Sonderausführung und damit teurer,
- Qualität des Frischbetons durch Fahrer nicht gesichert/garantiert,
- auf dem Lieferschein erscheinen nur Trockenstoffe, Nachtrag von Wasser und Wasserzementwert auf der Baustelle,

- KonsistenzEinstellung schwierig, nur mit großen Aufwand möglich,
- stark abhängig von Umgebungstemperaturen,
- Herstellung von Warmbeton und gekühlten Beton kaum möglich.

Wie bereits erwähnt, werden für den Transport des Frischbetons Transportmischer benutzt. Diese werden je nach den zulässigen Achslasten eingesetzt. Dabei wird zwischen drei- und vierachsigen Fahrzeugen sowie Sattelzugfahrzeugen unterschieden. Drei- und vierachsige Fahrzeuge kommen auf Grund ihrer großen Leistungsfähigkeit am häufigsten zum Einsatz. Das Verhältnis Transportvolumen/Leergewicht ist bei diesen Geräten besonders günstig. Sattelzugfahrzeuge sind dort vorteilhaft, wo die Zugmaschinen noch für andere Transporte (bspw. Zuschlagtransporte) eingesetzt werden müssen. Sie sind jedoch schwer manövrierbar und nur auf festen Straßen geeignet. Bild 4.1 zeigt die gängigsten Typen von Transportbetonmischern.




LKW-Typ	Nennfüllung m <sup>3</sup>	geometrischer Trommelinhalt m <sup>3</sup>	zulässiges Gesamtgewicht t
 3-Achs-Fahrzeug	7,0 bis 8,0	10,0 bis 14,0	26
 4-Achs-Fahrzeug	10,0 bis 12,0	18,0 bis 21,0	32
 Sattelzugfahrzeug	12,0	21,0	40

Bild 4.1: Transportbetonmischer in Anlehnung an Hoffmann<sup>55</sup>

Der Trommelantrieb erfolgt bei Transportbetonmischern entweder über den Fahrzeug- oder einen Separatmotor.

#### 4.4 Betonlieferung

Der Lieferung von Frischbeton auf die Einbaustelle bedarf es einer besonderen Betrachtung hinsichtlich der ÖNORM B 4710-1:2007 und den Verantwortungsbereichen. Bei der Lieferung von Frischbeton ist ein Austausch von Informationen zwischen dem Verwender und Betonhersteller unerlässlich.

<sup>55</sup> Vgl. Hoffmann (2006); S.590

Die ÖNORM B 4710-1:2007 schreibt fest, dass der Verwender mit dem Betonhersteller das Lieferdatum, die Uhrzeit und Menge vereinbaren muss und ihn über einen besonderen Transport auf der Baustelle (z.B. Länge der Pumpleitung), besondere Einbauverfahren sowie Beschränkungen der Lieferfahrzeuge (z.B. Größe, Höhe oder Bruttogewicht) zu informieren hat. Des Weiteren hat der Verwender dem Betonhersteller bekanntzugeben, welche Betonsorte oder Betonzusammensetzung benötigt wird. Der Verwender kann wiederum Angaben zur Betonzusammensetzung verlangen, die sowohl sachgerechtes Einbringen und Nachbehandeln des Frischbetons als auch die Abschätzung der Festigkeitsentwicklung erlauben. Der Betonhersteller hat auf Anfrage Informationen hinsichtlich Art der Festigkeitsklasse des Zements, Art der Gesteinskörnung, Art der Zusatzmittel, Zielgröße des Wasserzementwertes (W/B-Wert), Festigkeitsentwicklung etc. zu erteilen. Wird über die Konsistenz des Betons keine Angabe getroffen, gilt die Konsistenzklasse F45.<sup>56</sup>

Die Verantwortungsbereiche bei der Betonlieferung betreffen das Transportbetonwerk, das für das Transportieren verantwortlich ist, und den Bauunternehmer, der für das Fördern (Einbringen, Verdichten, Nachbehandeln) verantwortlich ist. Die Übergabe zwischen dem Transportieren und dem Fördern stellt das schwächste Glied in der Kette dar.

#### 4.4.1 Lieferschein für Transportbeton

Der Lieferschein ist ein wichtiges Dokument, das in Anbetracht von Gewährleistungsansprüchen sorgfältig zu führen ist. Vor dem Entladen des Betons muss der Hersteller dem Verwender einen Lieferschein für jede Betonladung übergeben. Darauf müssen folgende Angaben festgehalten sein (auszugsweise aus dem Punkt 7.3 ÖNORM B 4710-1:2007):

- Name des Transportbetonwerkes,
- Lieferscheinnummer,
- Datum und Zeit des Beladens, d.h. Zeitpunkt des ersten Kontakts zwischen Zement und Wasser,
- Bezeichnung und Lage der Baustelle,
- Zeitpunkt des Eintreffens des Betons auf der Baustelle,
- Zeitpunkt des Beginns bzw. des Beendens des Entladens.

<sup>56</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.75f

Der Lieferschein hat bei Beton nach Eigenschaften die Betonkurzbezeichnung oder Expositionsclassen, Festigkeitsklasse, Konsistenzklasse oder den Zielwert der Konsistenz, den Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung u.v.m. zu enthalten. Bei Beton nach Zusammensetzung sind entsprechende Angaben auf dem Lieferschein festzuschreiben. Weitere spezielle Angaben können dem Punkt 7.3 der ÖNORM B 4710-1 entnommen werden.<sup>57</sup>

#### 4.4.2 Konsistenz bei der Lieferung

Der Einhaltung der vorgegebenen Konsistenz ist bei der Lieferung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Eine Änderung der Konsistenz kann entscheidend die Verarbeitbarkeit des Frischbetons und in weiterer Folge die Qualität beeinflussen. Die ÖNORM B 4710-1:2007 schreibt unter Punkt 7.5 daher Folgendes fest:

„Im Allgemeinen ist jede Zugabe von Wasser und Zusatzmitteln bei Lieferung verboten. In besonderen Fällen darf die Konsistenz unter der Verantwortung des Herstellers durch die Zugabe von Wasser und/oder Zusatzmitteln auf den festgelegten Wert gebracht werden unter der Voraussetzung, dass die Grenzwerte, die nach der Festlegung erlaubt sind, nicht überschritten werden und dass die Zugabe von Zusatzmitteln im Entwurf des Betons vorgesehen sind. Die Mengen die jeweils im Verantwortungsbereich des Herstellers in den Fahrmischer zugegebenen Wassers oder Zusatzmittels müssen in jedem Fall auf dem Lieferschein vermerkt werden.[...]“<sup>58</sup>

Anderenfalls erlischt die Gewährleistung des Transportbetonwerkes für die Betongüte.

#### 4.5 Betonförderung auf der Baustelle

Das Fördern des Betons beginnt mit der Übergabe des Transportbetons auf der Baustelle, bei Baustellenbeton mit Entleeren des Mixers. Es endet an der Einbaustelle. Die Betonförderung auf der Baustelle kann auf unterschiedliche Arten durchgeführt werden, dabei muss jedoch in ein stetiges und unstetiges Fördern differenziert werden. Zu den stetigen Methoden zählen das Fördern mit Pumpe, Rutsche und Förderbändern. Die Förderung mit Kran und Kübel wird zu den unstetigen Methoden gezählt. Stetiges Fördern ist durch einen kontinuierlichen Arbeitsablauf gekennzeichnet. Es entstehen daher keine unproduktiven Zeitabschnitte.

<sup>57</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.77

<sup>58</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.79



Unstetiges Fördern hingegen kann als ein diskontinuierlicher Arbeitsablauf charakterisiert werden. Es ist gekennzeichnet durch Arbeitsspiele, wobei sich Lastfahrten, Leerfahrten und Pausen in unterschiedlichen Längen abwechseln. Der Anteil an unproduktiver Zeit (Leerfahrten, Pausen) an einem Arbeitsspiel ist im Gegensatz zum stetigen Fördern relativ hoch. Anzumerken sei hier noch, dass in der Praxis je nach Konsistenzklasse Verfahren ausgewählt werden.<sup>59</sup>

Allgemein gilt nach ÖNORM B 4710-1:2007, dass sich der Beton beim Fördern auf der Baustelle nicht entmischen, nicht austrocknen oder verwässern, zu sehr abkühlen oder zu stark erwärmen darf. Außerdem muss er rasch zur Einbaustelle gebracht werden, damit er innerhalb der Verarbeitungszeit eingebaut und verdichtet werden kann.

Die für diese Arbeit relevanten Verfahren sowie die für die Betonförderung benötigten Baugeräte werden in den nachfolgenden Punkten beschrieben.

#### 4.5.1 Förderung mit Kran und Kübel

Im Zusammenhang mit der Betonförderung im Hochbausektor ist der Turmdrehkran das universell einsetzbare Baugerät. Er ist in der Lage im Drehbereich des Auslegers die Baustelle flächendeckend und punktgenau mit Material zu versorgen. Neben dem Versetzen von großflächigen Schalungselementen können auch Baustahlmatten und Bewehrungsseisen an die jeweiligen Verlegestellen transportiert werden. Der Betontransport erfolgt stets in Kombination von Kran und Kübel.

- Kran

Die zur Auswahl eines Turmdrehkranes wichtigste technische Kenngröße ist das Lastmoment. Das Lastmoment wird in Metertonnen (mt) angegeben und kann wie folgt ermittelt werden:

$$\text{Lastmoment [mt]} = \text{Ausladung [m]} \times \text{Traglast [t]}$$

Für jede Auslegerlänge eines Krans gibt es eine Lastmomentenkurve. Dieser kann die maximal zulässige Traglast je nach Ausladung entnommen werden. In Bild 4.2 ist die Lastmomentkurve in Kombination mit der Traglasttabelle dargestellt.

---

<sup>59</sup> Vgl. Simons/Kolbe (1987); S. 409ff

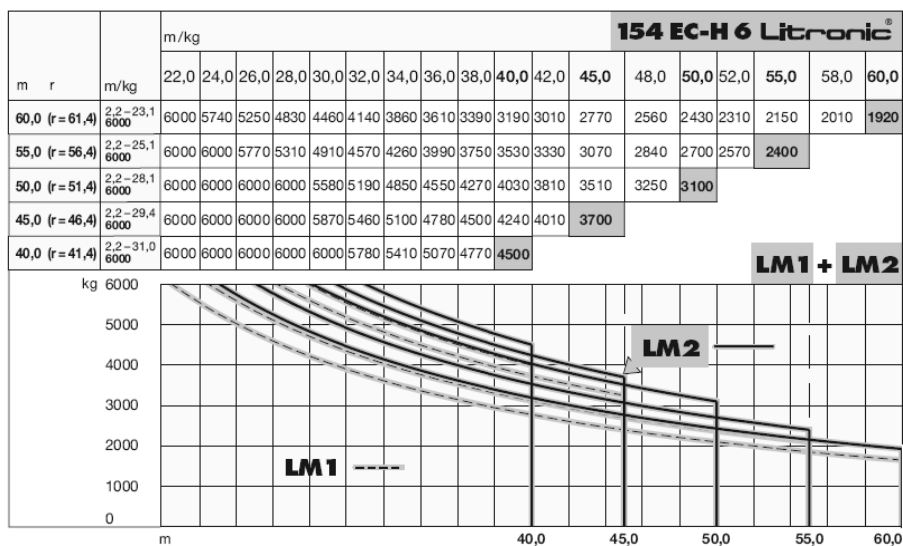


Bild 4.2: Lastmomentenkurve Turmdrehkran Liebherr<sup>60</sup>

Bei der Auswahl eines Krantypen sind weitere Merkmale, wie die spezielle Förderaufgabe, die Form und Beschaffenheit des Baukörpers, die Einsatzzeit, die Standsicherheit, Hakenhöhe, Höchstlast, Geschwindigkeit und Ausladung, entscheidend.

Je nach Konstruktion können obendrehende oder untendrehende Turmkrane zum Einsatz kommen. Diese sind dann mit unterschiedlichen Auslegerformen ausgestattet. Diese können sein:

- Nadelausleger
- Laufkatzausleger
- Teleskopausleger
- Knickausleger

Für die Förderleistung von Kran und Kübel sind die Spielzeiten, welche in Füllen, Entleeren, Anschlagen und Abschlagen eingeteilt werden können, ausschlaggebend. Hoffmann<sup>61</sup> unterscheidet bei der Ermittlung der Teilspielzeiten zwischen Fixzeiten, variable Zeiten und Überlappungszeiten. Die Fixzeiten können wie folgt berechnet werden, wobei  $V_R$  für die Transportmenge je Arbeitsspiel steht.

- Kübel füllen 0,7 bis 0,8  $V_R$  [min]
- Kübel entleeren 0,6 bis 0,8  $V_R$  [min]
- Lasten anschlagen 0,7 bis 2,0 [min]
- Lasten abschlagen 0,4 bis 1,0 [min]

<sup>60</sup> Liebherr: [http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products\\_cc.wfw/id-12601-0/measure-metric](http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products_cc.wfw/id-12601-0/measure-metric)

<sup>61</sup> Hoffmann (2011); S.733

Die variablen Zeiten für Drehen, Heben/Senken, Katzfahren sind von Krantyp zu Krantyp verschieden. Diese müssen aus Produktkennblättern entnommen werden. Für die Überlappungszeiten muss ein speziell auf die Baustelle abgestimmtes Spielzeitdiagramm erstellt werden.

Die Ermittlung der Transportleistung eines Turmdrehkrans ist speziell für das Betonieren mit dem Kübel notwendig. Dabei wird zuerst die Grundleistung und in weiterer Folge die Nutzleistung ermittelt. Die Grundleistung kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$Q_B = \frac{V_R \cdot 60}{t} \text{ [Einheit/h]}$$

Dabei steht  $V_R$  für die Transportmenge ( $m^3$ , t, Stück) je Arbeitsspiel. Die Gesamtspielzeit  $t$  setzt sich aus der Summe der Fixzeiten  $t_{fix}$  und variablen Zeiten  $t_{var}$  abzüglich der Überlappungszeiten  $t_{ub}$  zusammen.

Die Nutzleistung ergibt sich dann aus der Grundleistung multipliziert mit dem Nutzleistungsfaktor  $f_E$ . Der Nutzleistungsfaktor ist ein Abminderungsfaktor (0,84 bis 0,52), der die Baustellen- und die Betriebsbedingungen berücksichtigt.<sup>62</sup>

- Kübel

Das Kübelfördern von Frischbeton erfordert den Einsatz von zwei unabhängigen Geräten. Neben dem Kran gilt es auch den Kübel als Gerät zu beschreiben. Bei den Krankübeln können drei Arten unterschieden werden: ein In einen Krankübel mit Bodenentleerung, einer mit seitlicher Entleerung und einer mit Schlauchauslass. Der Schlauchauslass dient dazu, die maximal zulässige freie Fallhöhe von 1,50 m beim Betonieren von schlanken Bauteilen, wie Wänden und Stützen, nicht zu überschreiten.

Sämtliche Formen von Krankübeln können entweder von Hand oder mittels Hydraulik bedient werden. Das Fassungsvermögen der Kübel ist durch die maximale Tragfähigkeit der Hebezeuge beschränkt. Das Fassungsvermögen der im Hochbau eingesetzten Kübel liegt im Bereich von 0,5 bis 2,0  $m^3$ .<sup>63</sup>

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für die Förderung von Beton mittels Kran und Kübel die Auswahl des Krantyps entscheidend von der Bauwerksgeometrie, den örtlichen

<sup>62</sup> Vgl. Hoffmann (2011); S.733

<sup>63</sup> Vgl. Bauer (2007); S.202

Besonderheiten, der maximalen Ausladung, der maximal zu hebenden Last, der Bauzeit, der Einsatzkosten des Krans und den Sicherheitsbestimmungen abhängt. Bei der Auswahl des Kranstandortes sollte berücksichtigt werden, dass der Kran an irgendeiner Stelle über die Bauwerksgrundfläche hinausreichen muss, um ein Aufnehmen der Lasten zu ermöglichen. Sind mehrere Krane im Einsatz, sind diese so aufzustellen, dass sie sich nicht gegenseitig behindern und Flächen gleicher Arbeitsintensität überstreichen.<sup>64</sup>

#### 4.5.2 Förderung mit Pumpe

Das Fördern von Beton mit Pumpen stellt spezielle Anforderungen an die Zusammensetzung des Betons dar, damit der Beton überhaupt pumpfähig ist. Der Frischbeton muss eine gewisse Plastizität und ein gutes Zusammenhaltevermögen aufweisen. Die Zementleimenge ist so zu bemessen, dass sie alle Gesteinskörner umhüllt und dass alle Hohlräume ausgefüllt werden. Dadurch kann sich zwischen Beton und Rohrwandung ein Schmierfilm ausbilden, ohne den der Beton gar nicht pumpfähig wäre.

Die Konsistenz sollte bei pumpfähigem Frischbeton im Bereich von F38 bis F45 liegen. Zu fließfähiger oder sehr weicher Frischbeton neigt beim Pumpen zum Entmischen, da sich die flüssige Phase vom Feststoff separiert. Betonverflüssiger können die Pumpfähigkeit des Frischbetons verbessern. Neben der Konsistenz, dem Feinstoffanteil und dem Größtkornanteil sind für die Pumpfähigkeit des Betons auch alle Formänderungen der Förderleitung bestimmend. Die gefürchteten Verstopfer treten hauptsächlich an Verjüngungen und in engen Rohrbögen auf, wo sich Zuschlagskörner verkeilen können. Daher sollten Leitungen möglichst geradlinig verlegt werden. Pumpleitungen haben heute einen Nenndurchmesser von 100-150 mm.<sup>65</sup>

Auf der Baustelle können zwei Arten von Pumpen die Förderung des Betons vornehmen. Einerseits sprechen wir von „stationären“ Baustellenbetonpumpen und andererseits von Autobetonpumpen.

Baustellenbetonpumpen werden mit einer fest angeschlossenen Förderleitung und Verteilermast eingesetzt. Zur Verteilung des Betons werden Rundverteiler oder versetzbare Verteilermasten angeschlossen. Zwischen den Verteilermasten, die auf Bauwerken angeordnet sind, und jenen, die auf Fahrzeugen montiert sind, besteht kein Unterschied. Lediglich die Abstützung und Verankerung muss den Erfordernissen angepasst werden. Der Vorteil der Baustellenbetonpumpe liegt darin,

<sup>64</sup> Vgl. Drees, Krauß (2002); S.51f

<sup>65</sup> Vgl. Simons/Kolbe (1987); S.421ff

dass sie auch innerhalb des Gebäudes (Reichweite) zentral aufgestellt werden kann, um einen möglichst effektiven Wirkungsgrad zu erzielen.

Eine weitere Möglichkeit Beton durch Pumpen auf der Baustelle zu fördern, bietet der Einsatz von Autobetonpumpen. Autobetonpumpen sind eine Kombination aus Pumpe und ausklappbaren Verteilermast, welche auf einem LKW-Fahrgestell angebracht sind. Der Vorteil der Autobetonpumpen liegt in den geringen Rüstzeiten und den damit zusammenhängenden geringeren Lohnkosten, der Anpassungsfähigkeit an die örtlichen Verhältnisse und der hohen Förderleistung, besonders dort, wo nicht zu große Betonmengen zu fördern sind.

Das Pumpen von Beton entlastet die Baustellenkräne, sodass die anderen Transportvorgänge unabhängig vom Betonieren weiterlaufen können. Die Krane können dadurch häufig kleiner bemessen werden, wodurch sich die Krankosten reduzieren. Durch Betonpumpen lassen sich wesentlich höhere Förderweiten, -höhen und Einbauleistungen erzielen als mit Kran und Kübel. Die maximalen Reichweiten und -höhen können jedem Typenblatt der bekannten Hersteller entnommen werden.<sup>66</sup>

Eine Weiterentwicklung der Autobetonpumpe stellt die Kombination aus Fahrmascher und Autobetonpumpe dar. Diese sind vor allem dort wirtschaftlich, wo Autobetonpumpen zu groß oder zu teuer sind. Die möglichen Förderhöhen betragen, in Abhängigkeit der Leitungsdurchmesser, 21 m (DN 100 mm), 24 m (DN 125 mm), 26 m (DN 100 mm) und 30 m (DN 100 mm). Die Fördermengen variieren maximal zwischen 58 und 67 m<sup>3</sup>/h in Abhängigkeit des maximal möglichen Förderdrucks.

Für die Wahl einer ausreichend dimensionierten Betonpumpe haben die Hersteller Leistungs-Nomogramme entwickelt, mit denen von der gewünschten Fördermenge (in m<sup>3</sup>/h) auf die erforderliche Antriebsleistung (in kW) der Betonpumpe geschlossen werden kann.

#### 4.5.3 Kriterien zur Verfahrenswahl

Die Kriterien zur Verfahrensauswahl lassen sich aus den Überlegungen der vorangegangenen Beschreibungen der Verfahren zusammenfassen. Neben der der Betonkonsistenz und der Zusammensetzung des Betons, hängt die Wahl des Förderverfahrens entscheidend von den Standortbedingungen auf der Baustelle ab. Es müssen die Baustellengeometrie, die Verteilung der Betonmengen im Bauwerk (Betonierabschnitte), die Betonierfolge und der Betonierförderweg

<sup>66</sup> Vgl. Bauer (2007); S.203ff

(Mischer - Bauteil bzw. Anlieferpunkt - Bauteil) in die Überlegungen einbezogen werden. Speziell der Betonförderweg ergibt sich aus den Abmessungen des herzustellenden Bauwerks, wobei zwischen Horizontal- und Vertikaltransport zu unterscheiden ist. Hier ist vorausschauende Planung gefragt, da sich die Transportentfernungen mit Baufortschritt ändern. Um möglichst produktiv zu arbeiten, sind Förderwege zu minimieren, d.h. der Beton ist möglichst nahe am Fördergerät herzustellen oder breitzustellen. Im umgekehrten Fall ist das Fördergerät (Kran, Autobetonpumpe) so dicht wie möglich neben den jeweiligen Betonierabschnitt zu stellen. Anzumerken sei hier, dass es sich bei Pumpen um reine Fördermittel handelt. Im Gegensatz dazu stellt ein Kran ein universell einsetzbares Transportgerät dar.

Die Liefer- und Einbaubedingungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Betonförderung. Hier kann durch Wahl des geeigneten Verfahrens mit entsprechendem Gerät ein wirtschaftlicher und produktiver Bauablauf erzielt werden. Die Liefer- und Einbaubedingungen sind stark abhängig von der Art und Größe des zu betonierenden Bauteils. Es müssen die Steiggeschwindigkeiten des Frischbetons bzw. der Schalungsdruck bei feingliedrigen Bauteilen, wie Stützen und Wände, berücksichtigt werden. Solche Bauteile können nicht zügig betoniert werden, da der Beton in der Schalung lagenweise verdichtet werden muss. Bei Decken, großflächigen Fundamentplatten und massigen Bauteilen kann die Einbringleistung wesentlich größer sein. Daher sind die Verfahren und Geräte auf die maximal möglichen Liefer- und Einbaubedingungen anzupassen.<sup>67</sup>

Neben den baubetrieblichen Kriterien haben auch die wirtschaftlichen Kriterien einen wesentlichen Einfluss auf den Verfahrensvergleich zwischen Betoneinbau mittels Kran und Kübel oder mittels Pumpe. Wird der Kran nach wirtschaftlichen Überlegungen ausgewählt, so müssen die Kosten hinsichtlich An- und Abtransport, Auf- und Abbau sowie der Nutzung während der Bauphase berücksichtigt werden. Die Nutzungskosten entstehen bei Mietgeräten durch die Mietsätze und bei Geräten aus dem eigenen Bauhof durch Abschreibung, Verzinsung und Reparatur. Des Weiteren sind noch die Lohnkosten des Kranfahrers zu berücksichtigen. Wird eine Verfahrensvergleich zwischen den Einbauverfahren durchgeführt, so kann in einer ersten Näherung, wenn keine vertieften Spielzeitberechnungen durchgeführt werden, von einer Betoneinbauleistung mittels Kran und Kübel von 7 bis 10 m<sup>3</sup>/h ausgegangen werden.<sup>68</sup>

---

<sup>67</sup> Vgl. Bauer (2007); S.205ff

<sup>68</sup> Vgl. Schach/Otto (2008); S.28f

Werden die Autobetonpumpen oder Transportbetonmischer mit integrierter Betonpumpe nach wirtschaftlichen Kriterien betrachtet, so müssen Kosten für An- und Abtransport, eventuell Umstellungen sowie die Nutzungskosten berücksichtigt werden. Die Kosten für An- und Abtransport sowie der Umstellung werden von den Transportbetonwerken i.d.R. als Pauschalen, die Nutzungskosten meist in Abhängigkeit der geförderten Betonmenge ( $\text{€}/\text{m}^3$ ) verrechnet. Grundsätzlich schwanken diese Kosten regional und je nach anbietendem Transportbetonunternehmen.<sup>69</sup>

Im Allgemeinen empfiehlt sich bei komplexen Bauvorhaben ein kalkulatorischer Vergleich, um die wirtschaftlichste Einbaulösung auszuarbeiten.

## 4.6 Betoneinbau

Die österreichische und deutsche Norm regelt sehr genau, wie der Betoneinbau zu erfolgen hat. Dabei wird besonders auf das Vorbereiten der Einbaustelle vor dem Betonieren, die Verarbeitungszeit, die Temperatur beim Einbau, den Einbauvorgang (Betoniergeschwindigkeit, Fallhöhen etc.) und den Einsatz von qualifizierten Arbeitskräften sowie Führungspersonal hingewiesen. Die nachfolgenden Punkte erklären Schritt für Schritt, wie beim Einbau von Beton und das darauffolgende Verdichten vorzugehen ist. Von besonderem Interesse ist das Betonieren bei kühler und heißer Witterung, da hier die Außen- und Betontemperatur als wesentliche Faktoren zu berücksichtigen sind.

### 4.6.1 Vor dem Betonieren

Vor dem Betonieren sind grundsätzlich sämtliche Betonieröffnungen, Rüttelgassen und die Größe von Betonierabschnitten falls notwendig gemeinsam vom Planer und Verwender festzulegen. Alle betonberührenden Teile, wie Schalung, Bewehrung, der Untergrund und dgl., müssen vor dem Betonieren sauber sein. Speziell Eis, Schnee oder Abfälle aus der Bearbeitung des Bauteils, wie z.B. Nägel zur Fixierung der Bewehrung an der Schalung, Bindedraht, Holzspäne u.v.m., sind zu entfernen.

Um einen dichten Zusammenschluss von Betonschichten unterschiedlicher Betonierabschnitte zu erzielen, müssen Arbeitsfugen angeordnet werden. Diese sollten vom Planer nach Möglichkeit gemeinsam mit dem Verwender so festgelegt und ausgebildet werden,

<sup>69</sup> Vgl. Schach/Otto (2008); S.41f

dass die auftretenden Beanspruchungen durch äußere Lasten sowie Temperatur, Schwinden und Kriechen und sonstige Einwirkungen übertragen werden können. Bei Sichtbeton ist auch auf die optischen Anforderungen der Arbeitsfugenausbildung zu achten. Unmittelbar vor dem Einbau ist im Bereich der Fugenbänder die Sauberkeit zu kontrollieren. Die Anschlussfläche ist vor dem Betonieren anzufeuchten und die Oberfläche des älteren Betons darf nur mattfeucht sein, damit sich der Zementleim des neu eingebrachten Betons mit dem älteren Beton gut verbinden kann.<sup>70</sup>

#### 4.6.2 Verarbeitungszeit

Zur Verarbeitungszeit wird in der ÖNORM B 4710-1:2007 unter Punkt 14.3.2 Folgendes geschrieben:

„Der Beton ist nach dem Mischen so rasch wie möglich einzubauen und zu verdichten. Angesteifter Beton oder Beton, der die geforderte Konsistenz nicht mehr aufweist und daher mit den vorhandenen Verdichtungsgeräten nicht mehr vollständig verdichtbar ist, darf nicht verarbeitet werden. Der Einbau (einschließlich der Verdichtung) muss spätestens 105 Minuten nach Zugabe des Wassers im Werk beendet sein, wenn keine verlängerte Verarbeitungszeit gemäß 4.2.6 vereinbart wurde. Die jeweilige Verarbeitungszeit ist bei der Erstprüfung sowie bei Konformitäts- und Identitätsprüfungen nachzuweisen.

Bei Tragwerken, bei denen die Betonierung länger als 3 Stunden andauert [...], ist der Beton gemäß 4.2.7 so zu verzögern, dass eine annähernd gleichzeitige Erhärtung ermöglicht wird. Andernfalls ist mit Gefügestörungen des jungen Betons und/oder einem Loslösen der Bewehrung vom Beton zu rechnen.“<sup>71</sup>

#### 4.6.3 Einbau

Beim Einbau des Frischbetons ist nach der ÖNORM B 4710-1:2007 darauf zu achten, dass der Frischbeton die Bewehrung, Spannglieder, Fugenbänder und Einbauteile voll umschließt sowie vollständig in Schalungsecken eingebracht wird. Dadurch soll eine Hohlraumbildung vermieden werden.

Bei vertikalen Bauteilen, wie Wänden und Stützen, sollte in Lagen betoniert werden. Die Lagendicke darf dabei 50 cm nicht überschreiten. Wie schon mehrfach erwähnt, darf die Fallhöhe (Abstand der

<sup>70</sup> Vgl. ÖN 4710-1 (2007); S.116ff

<sup>71</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.117



Austrittsöffnung des Betons vom Betonspiegel) nicht größer als 1,50 m sein, da es sonst zu Entmischung kommen kann. Bei größeren Abständen als 1,50 m sind Schüttröhre bzw. flexible Schüttschläuche zu verwenden, die knapp über der Einbaustelle enden.<sup>72</sup>

Zur Betoniergeschwindigkeit beim Betoneinbau von vertikalen Bauteilen schreibt die ÖNORM B 4710-1:2007 unter Punkt 14.3.3 Folgendes vor:

„Die Betoniergeschwindigkeit im Betonierabschnitt ist in Abhängigkeit von statischen Gegebenheiten und der Höhe der gewählten Schalung sowie Betonkonsistenz so zu wählen, dass der zulässige Frischbetondruck (bei Serienschalung häufig 60 kN/m<sup>2</sup>) nicht überschritten wird. In Abhängigkeit von der Wandhöhe und dem um etwa 5 Stunden zeitversetzten Abklingen des Schalungsdruckes liegen somit die üblichen Betoniergeschwindigkeiten zwischen 0,5 m/h und 2,5 m/h.“<sup>73</sup>

Von den Schalungsherstellern wird i.d.R. die DIN 18218:2010 zur Bestimmung des Frischbetondrucks und der Betoniergeschwindigkeit herangezogen. Der Frischbetondruck mit sämtlichen Einflussfaktoren, wird im Kapitel 6 dieser Masterarbeit noch genauer behandelt. Festgehalten werden muss jedoch, dass die Bestimmung der ÖNORM im Gegensatz zu jenen der DIN einen großen Graubereich in der österreichischen Normung zu diesem Thema aufzeigt.

#### 4.6.4 Frischbetontemperatur

Der Einbau von Beton bei kühler oder heißer Witterung muss genauer betrachtet werden. Bei extremen Außentemperaturen sollte die Temperatur des Frischbetons ermittelt werden, da diese einen wesentlichen Einfluss auf das Erstarrungsverhalten und die Verarbeitbarkeit hat. Die Frischbetontemperatur kann nach folgender Formel ermittelt werden.

$$T_{b,fr} = \frac{z \cdot c_z \cdot T_z + g \cdot c_g \cdot T_g + w \cdot c_w \cdot T_w}{z \cdot c_z + g \cdot c_g + w \cdot c_w} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

mit:

$c_z$ ... spez. Wärmekapazität des Zements in kJ/(kg·K)

$c_g$ ... spez. Wärmekapazität der Gesteinskörnung in kJ/(kg·K)

$c_w$ ... spez. Wärmekapazität des Wassers in kJ/(kg·K)

<sup>72</sup> Vgl. ÖN 4710-1 (2007); S.117

<sup>73</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.117

- z... Zementgehalt in kg je m<sup>3</sup> Beton
- g... Gehalt an Gesteinskörnung in kg je m<sup>3</sup> Beton
- w... Wassergehalt in kg je m<sup>3</sup> Beton
- T<sub>z</sub>... Temperatur des Zements in °C
- T<sub>g</sub>... Temperatur der Gesteinskörnung in °C
- T<sub>w</sub>... Temperatur des Wassers in °C
- T<sub>b,fr</sub>... Temperatur des Frischbetons in °C<sup>74</sup>

Wie aus den vorhergehenden Kapiteln bekannt, kann durch gezielte Maßnahmen die gewünschte Frischbetontemperatur eingestellt werden. Diese unterliegt jedoch Vorgaben aus der ÖNORM B4710-1:2007. Unter Punkt 5.2.8 geht folgende Regelung hervor:

„Die Frischbetontemperatur darf zum Zeitpunkt der Lieferung nicht unter +5 °C liegen. Wenn eine Anforderung für eine Mindesttemperatur oder Höchsttemperatur für Frischbeton erforderlich ist, sind diese mit zulässigen Abweichungen festzulegen. Jede Anforderung hinsichtlich Kühlens oder Erwärmens des Betons vor der Lieferung muss zwischen Hersteller und Verwender vereinbart werden. Die Lufttemperatur an der Einbaustelle von mindestens +3 °C muss der Beton bei der Übergabe und beim Einbau eine Mindesttemperatur von +5 °C aufweisen. Bei Lufttemperaturen an der Einbaustelle von weniger als +3 °C muss der Beton bei der Übergabe und beim Einbau eine Mindesttemperatur von +10 °C aufweisen.“<sup>75</sup>

Die DIN 1045-3:2008<sup>76</sup> legt unter 8.3 noch fest, dass die Frischbetontemperatur im Allgemeinen 30 °C nicht überschreiten darf, sofern nicht durch geeignete Maßnahmen sichergestellt ist, dass keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind.

Was bedeuten diese Temperaturregelungen nun für das Betonieren bei kühler oder heißer Witterung? Die nachfolgenden Punkte sollen dies erklären.

#### 4.6.5 Betonieren bei kühler Witterung

Das Betonieren in der Winterperiode wird aufgrund des immer strengeren Ablaufplans der Bauvorhaben quasi unerlässlich. Dadurch

<sup>74</sup> VDZ (2002); S.299

<sup>75</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.56

<sup>76</sup> DIN 1045-3 (2008); S.19

werden Anforderungen an die Betonverarbeitung gestellt, die unbedingt einzuhalten sind. Grundsätzlich gilt es, die speziellen Anforderungen in der Arbeitsvorbereitung zu berücksichtigen, um Beeinträchtigungen des Bauablaufs zu vermeiden. Die Einwirkung des Winterwetters wie folgt beschrieben werden:

- Verzögerung der Erstarrung infolge der Abnahme der Temperatur des Frischbetons während des Transports und Einbaus, bis zum Stillstand der Hydratations- und Strukturbildungsprozesses bei weiterem Absinken der Betontemperatur.
- Bildung einer Eisschicht an den Oberflächen der Bewehrung und Schalung, die den Verbund mit dem erhärtenden Beton verhindert.
- Die Temperaturunterschiede zwischen Kern und Rand des Bauteils und vor allem zwischen Bauteiloberfläche und umgebener Luft können Eigen- und Zwängungsspannungen hervorrufen sowie Rissbildung begünstigen.
- Bei zu frühzeitigem Gefrieren des erhärtenden Betons treten Störungen im Mikrogefüge auf, die zu bleibenden Schäden (Abplatzungen) führen können. Diese betreffen im Besonderen die Festigkeit, die Wasserundurchlässigkeit und die Dauerhaftigkeit.<sup>77</sup>

Grundsätzlich tritt bei kühler Witterung und bei Frost eine Verzögerung des Erstarrens und der Festigkeitsentwicklung ein, wobei bei Frost die Festigkeitsentwicklung praktisch ganz zum Stillstand kommt. Die verzögerte Festigkeitsentwicklung sei dadurch verdeutlicht, dass ein Beton bei 5 °C Lagertemperatur etwa die doppelte Zeit benötigt, bis er die gleiche Festigkeit erreicht hat wie bei 20 °C Lagerung. Die Grundproblematik liegt darin, dass durch Gefrieren des Wassers im jungen Beton das Betongefüge zerstört wird. Die Ursache liegt im entstehenden Eisdruck, der durch Ausdehnung das Betongefüge lockern oder sprengen kann. Dies führt zum Verlust von Festigkeit und Dichte von bis zu 80 % der Normdruckfestigkeit. Daher sollte der Beton so zusammengesetzt und geschützt sein, dass er ein einmaliges Durchfrieren ohne Schädigung übersteht. Man spricht in diesem Fall auch von der „Gefrierbeständigkeit“ des Betons. Diese ist gegeben, wenn der Beton bereits eine Druckfestigkeit von 5 N/mm<sup>2</sup> (Erhärtungsprüfung erforderlich) erreicht hat. Um die Gefrierbeständigkeit zu erreichen, sollte der junge Beton einen Zementgehalt von mindestens 270 kg/m<sup>3</sup> und einen Wasserzementwert

<sup>77</sup> Vgl. Röhling/eifert/Kaden (); S.347f

von maximal 0,60 aufweisen. Ist ein Beton gefrierbeständig setzt die Erhärtung nach dem ersten Durchfrieren und Auftauen wieder ein und wird ohne Einbuße an Festigkeit und Dichte abgeschlossen.<sup>78</sup>

Ist mit einem wiederholten Frost-Tau-Wechsel zu rechnen, ist auch nach Erreichen der Gefrierbeständigkeit sicherzustellen, dass der Beton nicht durchfeuchtet wird. Er muss frostbeständig sein.<sup>79</sup>

Steege<sup>80</sup> beschreibt, dass die Frostempfindlichkeit des Frischbetons umso größer ist,

- je niedriger seine Temperatur beim Einbringen ist,
- je größer der Wassergehalt ist,
- je kleiner der Zementzusatz ist,
- je weniger Wärme der verwendete Zement entwickelt,
- je langsamer der Beton erhärtet,
- je schlechter der Beton verdichtet wird.

Zusammenfassend können folgende betontechnologische Maßnahmen zur Ausführung von Betonarbeiten im Winter durchgeführt werden:

- Verwendung von Zementen mit hoher Hydratationswärme,
- Senkung des Wasserzementwertes,
- Zugabe von chemischen Zusatzmitteln (Erstarrungsbeschleuniger, luftporenbildende Zusatzmitteln),
- Zuführung von Wärme während des Herstellungs-, Verarbeitungs- und Erhärtungsprozesses,
- Herstellen von Warmbeton (nach Herstellung liegt die Frischbetontemperatur bei  $\geq 20$  °C bis 40 °C).

Die Einhaltung der Frischbetontemperatur gilt als Grundvoraussetzung für das Betonieren bei kühler Witterung. Die Regelungen zu den Frischbetontemperaturen sind dem Punkt 4.6.4 dieser Arbeit zu entnehmen.

Es können auch baubetriebliche Maßnahmen zur Betonproduktion im Winter getroffen werden. Darunter fallen beispielsweise das äußere Erwärmen des Betons nach dem Einbau in die Schalung durch Heizgeräte oder das innere Erwärmen des Betons nach dem Einbau

<sup>78</sup> Vgl. Bayer/Kampen (1997); S.49

<sup>79</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.119

<sup>80</sup> Steege (1967); S.289

bspw. durch Heizdrähte. Besteht die Möglichkeit können Bauteile auch durch Einhausungen gegen die kühle Witterung geschützt werden.<sup>81</sup>

Jede Winterbaumethode sollte nach baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgewählt und ausgeführt werden.

#### 4.6.6 Betonieren bei heißer Witterung

Betonieren bei heißer Witterung stellt insofern ein Problem dar, als höhere Lufttemperaturen und niedrigere Luftfeuchte sowohl die Frischbetonparameter bei der Herstellung und Verarbeitung als auch die Erhärtung des Betons beeinflussen. Die Folge können Risse in den Bauteilen oder Veränderungen der Eigenschaften des Betons sein. Der Grund für die Veränderung der Eigenschaften liegt darin, dass die höheren Temperaturen zu einem größeren Wasserbedarf führen. Dadurch wird mehr Wasser benötigt, um die Frischbetonmischung mit geeigneter Konsistenz zu erhalten. Der daraus resultierende höhere w/z-Wert würde zwangsläufig zu geringeren Festigkeiten führen, sodass die Zugabe von Verflüssigern erforderlich wird. Dadurch kann unter Einhaltung der Rezeptur die angestrebte Konsistenz erreicht werden. Die Konsistenz des Frischbetons nimmt bei höheren Temperaturen schneller ab und die Verarbeitungszeit des Frischbetons wird verkürzt, da der Beton schneller ansteift.

Die Festigkeitseigenschaften des Betons werden durch heiße Temperaturen erheblich beeinflusst. Bei einem Anstieg der Frischbeton- und Erhärtungstemperatur nimmt zwar die Frühfestigkeit zu, die Endfestigkeit jedoch in Abhängigkeit der Temperaturerhöhung ab. Der Grund dafür liegt in der veränderten Mikrostruktur des Zementsteins. Bei höheren Temperaturen werden gröbere Hydrate gebildet, die in Verbindung mit einer größeren Porosität den Festigkeitsabfall verursachen.<sup>82</sup>

Zur Einhaltung der Frischbetontemperatur während heißer Witterung wird auf Punkt 4.6.4 dieser Arbeit verwiesen.

Die *ÖNORM B 4710-1:2007*<sup>83</sup> sieht unter Punkt 14.4.4 bei zu erwartenden Lufttemperaturen mit einer Tagesspitze von +28 °C und darüber besondere Maßnahmen vor.

- „Auswahl entsprechender Betonzusammensetzung mit möglichst geringer Wärmeentwicklung,

<sup>81</sup> Vgl. Röbling/Eifert/Kaden (2000); S.349ff

<sup>82</sup> Vgl. Röbling/Eifert/Kaden (2000); S.357

<sup>83</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.120

- Kühlen des Frischbetons (zB durch Scherbeneis oder Stickstoff oder Kühlung der Ausgangsstoffe),
- Kühlen des Bauteils (zB durch Wahl einer hellen Schalung, Berieselung des Bauteils zur Nutzung der Verdunstungskälte, Vornässen der Bewehrungseisen, Aufbringen von Verdunstungsschutz auf frei liegende Betonoberflächen, Schutz der Bauteile vor direkter Sonneneinstrahlung),
- entsprechende Einbaumaßnahmen (zB wassergekühlte Pumpleitungen, zügiger Einbau, eventuell Verzögerung des Frischbetons zur Vermeidung von Arbeitsfugen, Abdecken der Betonoberfläche mit hellem Vlies),
- Betonieren in den Nachmittags- und Abendstunden (geringe Temperaturerhöhung während der Nachtstunden).“

Das Betonieren bei extremen Witterungsbedingungen sollte immer in Abstimmung mit dem Betonhersteller und unter Einbeziehung von baulichen Maßnahmen und Einrichtungen erfolgen.

#### 4.7 Betonverdichtung

Der Beton muss nach Einbringen in die Schalung verdichtet werden, da die geforderten Eigenschaften des Festbetons (Festigkeit, Dichtigkeit, glatte Sichtfläche, Korrosionsschutz der Bewehrung) nur durch eine gute Verdichtung des Frischbetons erreicht werden können. Durch die Verdichtungsenergie werden die inneren Reibungskräfte innerhalb des Betongefüges vermindert. Gleichzeitig entweichen das Überschusswasser, das durch Kapillarität und Oberflächenspannung festgehalten ist, sowie die vorhandenen Luftbläschen an die Oberfläche. Durch die Verdichtung soll der Luftgehalt auf ca. 1 bis 2 % herabgesetzt werden. Das Ziel ist eine möglichst dichte und hohlraumarme Lagerung der Betonbestandteile. Eine Verdichtung des Frischbetons auf 0 % Luftporengehalt ist nicht möglich. Die Verdichtung ist besonders bei dichter Bewehrung und in den Schalungsecken sorgfältig durchzuführen.

Die Konsistenz des Frischbetons ist der wesentliche Faktor zur Auswahl der Verdichtungsart und der aufzubringenden Verdichtungsenergie. Je plastischer die Konsistenz, desto weniger Energie ist erforderlich. Betone mit einer sehr fließfähigen Konsistenz können bspw. im Allgemeinen durch Stochern verdichtet werden, jene im plastischen bis weichen Bereich durch Vibrieren. Daraus geht hervor, dass das Ausbreitmaß und das Verdichtungsmaß als qualitative Beurteilung für die Verdichtungswilligkeit herangezogen werden können.

Am häufigsten wird als Verdichtungsverfahren das Vibrieren oder Rütteln angewendet, wobei durch mechanische Schwingungen von möglichst 200 Hz eine dichtere Lagerung erreicht wird. Die mechanischen

Schwingungen werden dabei entweder direkt oder indirekt über die Schalung in den Frischbeton eingeleitet. Auf die jeweiligen Verdichtungsverfahren und -geräte wird in den nachfolgenden Punkten noch genauer eingegangen.

Der Verdichtungsprozess kann beendet werden, wenn das Aufsteigen der Luftblasen merklich nachlässt und sich an der Oberfläche eine dünne glänzende Schicht (Schlempe) bildet.<sup>84 85</sup>

#### 4.7.1 Verdichten durch Innenrüttler

Innenrüttler, auch als Flaschenrüttler oder Tauchrüttler bezeichnet, werden in den Frischbeton eingetaucht und verdichten dort den Beton durch Abgabe von Schwingungen. Innenrüttler haben i.d.R. einen Flaschendurchmesser von 24 bis 140 mm, Flaschenlängen von 320 bis 900 mm und arbeiten in einem Frequenzbereich von 7000 bis 20000 Schwingungen pro Minute.<sup>86</sup>

Um die bestmögliche Verdichtungswirkung zu erzielen, sollte der Rüttlerabstand etwa das 10-fache seines Durchmessers betragen. Dadurch kommt es zum Überschneiden der Wirkungskreise. Wird in Schichten „frisch auf frisch“ betoniert, ist der Innenrüttler noch zusätzlich durch die oberste frisch eingebrachte Schicht etwa 10-15 cm in die darunter liegende bereits verdichtete Schicht einzuführen und nach kurzem Verweilen wieder langsam herauszuziehen. Durch die folgende Formel kann die technische Grundleistung eines Innenrüttlers berechnet werden.

$$Q_T = n_T \cdot n \cdot t \cdot A \quad [\text{m}^3 / \text{h}]$$

mit:

- Q<sub>T</sub>... Volumen des unverdichteten Frischbetons in m<sup>3</sup>/h
- n<sub>T</sub>... mögliche Anzahl der Tauchvorgänge eines Rüttlers
- n... Anzahl der eingesetzten Rüttler
- t... Tauchtiefe (0,30 m ≤ t ≤ 0,70 m)
- A... Wirkungsbereich

Der Wirkungsbereich A errechnet sich wiederum aus der Multiplikation der Rüttlerabstände mit der Bauteildicke (z.B. Wandbreite).<sup>87</sup>

<sup>84</sup> Vgl. Röbling/Eifert/Kaden (2000); S.106f

<sup>85</sup> Vgl. Wendehorst (2004); S.461f

<sup>86</sup> Vgl. Bauer (2007); S.240

<sup>87</sup> Heck (2008); S.82

In Bild 4.3 ist eine schematische Anordnung der Rüttlerabstände und deren Wirkungsbereiche dargestellt. Des Weiteren zeigt es die Verbindung der einzelnen horizontalen Schüttilagen, auch Vernähen genannt.

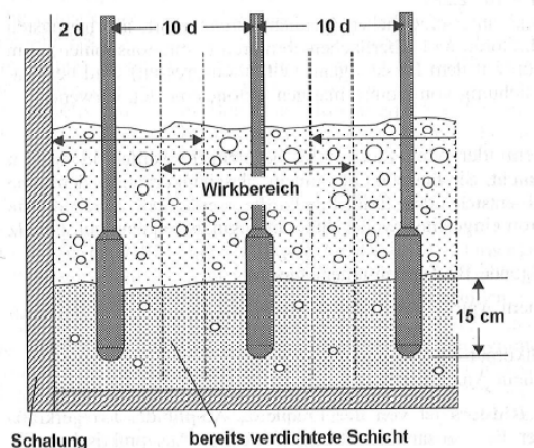


Bild 4.3: Verdichten von Frischbeton<sup>88</sup>

Grundsätzlich ist die Verdichtung durch Innenrüttler durch eine einfache Handhabung gekennzeichnet. Das Verdichtungsergebnis wird jedoch stark von den Fähigkeiten und der Erfahrung des Personals beeinflusst.<sup>89</sup>

#### 4.7.2 Verdichten durch Außenrüttler

Außenrüttler, auch Schalungsrüttler genannt, werden direkt an der Schalung bzw. deren Unterstützungsstruktur angebracht. Sie werden in elektrisch oder pneumatisch angetriebene Geräte mit umlaufender Unwucht unterschieden. Sie versetzen die Schalung und den dahinter liegenden Beton in Schwingung.

Außenrüttler werden vor allem bei schlanken Bauteilen mit eng liegender Bewehrung, bei Stahlschalungen in Fertigteilverken und bei Bauteilen, die wegen beengten Platzverhältnissen (Untertagebau, bei Einsatz von Schalwagen) nicht verdichtet werden können, angewendet.<sup>90</sup>

Grundsätzlich muss bei Außenrüttler die Schalung entsprechend stabil und zur Weiterleitung der Schwingungsenergie geeignet sein.

<sup>88</sup> Röhling/Eifert/Kaden (2000); S.108

<sup>89</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.118

<sup>90</sup> Vgl. Bauer (2007); S.250



### 4.7.3 Nachverdichten von Beton<sup>91</sup>

Das Nachverdichten des Betons ist eine zusätzliche Maßnahme zur Steigerung oder Sicherung der geplanten Qualitätseigenschaften. Der Frischbeton ist dabei nach dem normalen Verdichtungsverfahren nachzuverdichten. Es sollte dabei ein Zeitraum gewählt werden, in dem der Beton noch verformbar ist. Beim Nachrütteln werden Hohlräume, die sich unter waagrechten Bewehrungsstäben oder Aussparungen gebildet haben, geschlossen. Dadurch kann ein dichteres Betongefüge erreicht und die Rissneigung verringert werden.

Die Nachverdichtung von Beton ist vor allem bei schlanken, hohen und schnell betonierten Bauteilen (Stützen, Wänden) sowie Sichtbetonflächen vorteilhaft.

## 4.8 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung dient dazu, den noch jungen Beton vor dem vorzeitigen Austrocknen und chemischen Angriffen zu schützen, das zu starke Erwärmen und Abkühlen der Oberfläche sowie starke Temperaturänderungen zu verhindern. Die Nachbehandlung soll demnach sicherstellen, dass auch in den oberflächennahen Bereichen genügend Wasser für die Hydratation des Zements zur Verfügung steht. Grundsätzlich kommt die Hydratation zum Stillstand, wenn die relative Feuchte im Porensystem unter 80 % fällt. Da der junge Beton noch wenig dicht ist, gibt er ohne Schutzmaßnahmen sehr schnell Wasser ab. Mit der Nachbehandlung sollte unmittelbar nach dem Verdichten des Betons bzw. dem Bearbeiten der Betonoberfläche begonnen werden.

Wenn die Betonoberfläche durch die Schalung geschützt wird oder wenn die natürlichen Witterungsbedingungen (regnerisches, sehr feuchtes oder nebeliges Wetter) während der ersten Tage nach der Betonherstellung die Verdunstung über der Betonoberfläche weitestgehend verhindern, kann auf zusätzliche Nachbehandlungsmaßnahmen im Allgemeinen verzichtet werden.<sup>92</sup>

Es sei hier jedoch darauf hingewiesen, dass eine mangelhafte oder unsachgemäße Nachbehandlung eine Schädigung des Betons in Form von Rissbildung und zu geringer Festigkeit zur Folge hat.

Aus kalkulatorischer und rechtlicher Sicht fällt die Nachbehandlung von Beton unter Nebenleistungen gemäß der ÖNORM B 2110:2009

<sup>91</sup> Vgl. Kampen (2008); S.6

<sup>92</sup> Vgl. Bergmeister/Fingerloss/Wörner (2010); S.330

Abschnitt 6.2.3 sowie der ÖNORM B 2211:2009 Abschnitt 5.4. und ist mit den vereinbarten Preisen abgegolten.<sup>93</sup>

#### 4.8.1 Nachbehandlungsarten

Die möglichen Nachbehandlungsarten können entweder nur die Austrocknung des jungen Betons behindern oder aber auch wasserzuführend sein. Diese Methoden können allein sowie auch in Kombination angewendet werden. Generell sind Praktiken, bei denen Wasser zugeführt wird, wirksamer als jene, die nur das Austrocknen behindern. Zu den Nachbehandlungsarten zählen je nach Witterungsbedingungen:

- Bauteile in der Schalung belassen (bei Sichtbeton jedoch problematisch),
- Abdecken der Betonoberfläche mit dampfdichter Folie (gegen Durchzug schützen),
- wasserspeichernde Abdeckungen aufbringen (bei gleichzeitigem Verdunstungsschutz),
- flüssige Nachbehandlungsmittel aufsprühen,
- kontinuierliches Besprühen mit Wasser oder Fluten.

Bei der Anwendung der Nachbehandlungsmethoden ist grundsätzlich sorgfältig vorzugehen. Es ist beispielsweise zu beachten, dass das Besprühen einer warmen Betonoberfläche mit kaltem Wasser eine Temperaturschockbeanspruchung zur Folge haben kann und damit Oberflächenrisse entstehen können.<sup>94</sup>

#### 4.8.2 Dauer der Nachbehandlung

Die Dauer der erforderlichen Nachbehandlung hängt von der Expositionsklasse, Nachbehandlungsempfindlichkeit des Betons, der Betontemperatur, den Umweltbedingungen und der weiteren Beanspruchung des Bauwerks ab.

Die Nachbehandlungsempfindlichkeit des Betons wird durch seine Zusammensetzung (die Zementnormfestigkeit, der Wasserzementwert, das Zusatzmittel) bestimmt. Die Umweltbedingungen sind speziell während und unmittelbar nach der Nachbehandlung entscheidend. Hohe Temperaturen, Sonneneinstrahlung und Wind beschleunigen die

<sup>93</sup> Vgl. ÖN B 2111 (2009); S.14

<sup>94</sup> Vgl. Bergmeister/Fingerloss/Wörner (2010); S.331

Austrocknung des ungeschützten Betons, was zur Folge hat, dass die Dauer der Nachbehandlung zu verlängern ist, da der Beton sonst sehr schnell austrocknet.<sup>95</sup>

Die Mindestnachbehandlungszeiten werden in der ÖNORM B 4710-1 durch die Tabelle NAD 17 beschrieben. Die Mindestdauer der Nachbehandlung wird hier anhand der zulässigen Betonsorte hinsichtlich der Expositionsklasse und der Festigkeitsentwicklungs-klasse angegeben.

Zulässige Betonsorte	Mindestdauer der Nachbehandlung bei Festigkeits- entwicklungs-klasse <sup>a</sup>			
	ES	EM	EL	E0
X0	12h	12h	24h	2 Tage
sämtliche Festigkeitsklassen XC1, XC2, XC3, XF1, XA1, XM1	2 Tage	3 Tage	4 Tage	7 Tage
alle anderen Betonsorten	3 Tage	7 Tage	10 Tage <sup>b</sup>	14 Tage
<sup>a</sup> siehe Tabelle 12				
<sup>b</sup> stets bei HL-SW und HL-B				

Tabelle 4-2: Mindestdauer der Nachbehandlung nach Tabelle NAD 17<sup>96</sup>

Um die Tabelle anwenden zu können, ist es erforderlich, zuerst die Festigkeitsentwicklungs-klassen zu kennen. Diese sind in Tabelle 4-3 aus der ÖNORM B 4710-1:2007 wiedergegeben. Die Festigkeits-entwicklungs-klassen (ES-schnell, EM-mittel, EL-langsam, EO-sehr langsam) stehen hier für eine Festigkeitsentwicklung von Beton bei 20 °C.

Festigkeitsentwicklung	Klassen	Schätzwert des Festigkeitsverhältnisses $f_{cm,2}/f_{cm,28}$
Schnell	ES	über 0,5
Mittel	EM	über 0,3 bis 0,5
Langsam	EL	von 0,15 bis 0,30
Sehr langsam	EO	unter 0,15

Tabelle 4-3. Festigkeitsentwicklung von Beton bei 20 °C<sup>97</sup>

Der Schätzwert des Festigkeitsverhältnisses ergibt sich aus dem Quotienten der mittleren Druckfestigkeit des Betons nach 2 Tagen ( $f_{cm,2}$ ) und der mittleren Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen ( $f_{cm,28}$ ). Die Werte für die mittleren Druckfestigkeiten (nach 2 oder 28 Tagen) ergeben sich aus der Erstprüfung des Betons. Es können aber auch Werte aus dem Verhalten von Betonen vergleichbarer Zusammen-setzungen herangezogen werden.<sup>98</sup>

<sup>95</sup> Vgl. Bergmeister/Fingerloss/Wörner (2010); S.331

<sup>96</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.120

<sup>97</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.76

<sup>98</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007) ; S.120

## 4.9 Ausschalen

Grundsätzlich darf mit dem Ausschalen und Entfernen der Rüstung erst begonnen werden, wenn sich der verantwortliche Bauleiter vergewissert hat, dass der Beton eine ausreichende Festigkeit erreicht und keine Frostschäden erlitten hat. Die Ausschalfristen sind in der ÖNORM B 4710-1:2007 bei einer mittleren Tagestemperatur von +12 °C bis +20 °C und nach den Festigkeitsentwicklungsklassen sowie Druckfestigkeitsklassen angegeben. So beträgt beispielsweise die Ausschalfrist für einen Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30 und Festigkeitsentwicklungsklassen schnell, mittel und langsam, einen Tag. Liegen jedoch Zweifel an der Festigkeit des Betons gemäß den Tabellen der ÖNORM vor, so muss durch eine Erhärtungsprüfung am entsprechenden Bauteil nachgewiesen werden, dass der Beton eine Druckfestigkeitsklasse von mindestens 3,0 N/mm<sup>2</sup> erreicht hat. In die ÖNORM B 4710-1:2007 werden noch weitere Regelungen (Punkt 14.6.4) zur Verlängerung oder Verkürzung der Ausschalfristen unter gewissen Temperaturbedingungen angeführt. Auf diese wird hier nicht näher eingegangen.<sup>99</sup>

## 4.10 Betonprüfung

Die Prüfung des Betons umfasst nach ÖNORM B 4710-1:2007 eine Erstprüfung, einen Konformitätsnachweis und eine Identitätsprüfung. Die jeweiligen Zuständigkeiten zur Durchführung der Prüfungen und Nachweise werden in den folgenden Punkten genauer erläutert. Die ONR 23303:2010 „Prüfverfahren Beton (PVB)“ regelt die Durchführung aller geforderten Prüfungen nach ÖNORM B 4710-1:2007.

### 4.10.1 Erstprüfung<sup>100</sup>

Durch die Erstprüfung soll festgestellt werden, wie ein Beton zusammengesetzt sein muss, um alle vorher festgelegten Anforderungen an den Frisch- und Festbeton zu erfüllen. Die Erstprüfungen haben dabei vor der Verwendung eines neuen Betons oder einer neuen Betonfamilie zu erfolgen. Erstprüfungen müssen wiederholt werden wenn, eine wesentliche Änderung der Ausgangsstoffe oder der vorher festgelegten Anforderungen eingetreten ist.

Eine neuerliche Erstprüfung kann entfallen bei:

- Änderung der Zemente innerhalb der Festigkeitsklasse N auf R,

<sup>99</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.121

<sup>100</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.123

- Erhöhung der Zementfestigkeitsklasse um eine Klasse (Frischbetonprüfung durchführen),
- gleichen Betonausgangsstoffen (bei Änderung von Fließmittel, Betonverflüssiger ist eine Frischbetonprüfung durchzuführen),
- Einhaltung der erforderlichen Vorhaltemaße (Zementdosierung  $\pm 15 \text{ kg/m}^3$ , Dosierung AHWZ  $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ , W/B Wert max  $\pm 0,02$ ),
- Konsistenzänderung bei Interpolation aus bestehenden Mischungsverhältnissen,
- Änderung des GK der Gesteinskörnungen auf die benachbarten GK Klassen (Frischbetonprüfung durchführen).

Das Betonwerk hat nach der Erstprüfung die Mischanweisung, die personellen Anforderungen, die gerätetechnische Ausstattung, die Angabe der geforderten Betonsorte sowie Art und Umfang der Konformitätskontrolle zu dokumentieren.

Die Zuständigkeiten bei der Erstprüfung sind in der ÖNORM B 4710-1: 2007 genau geregelt. Demnach gilt, dass für die Erstprüfung eines Betons nach Eigenschaften der Hersteller, bei Beton nach Zusammensetzung der Planverfasser, der Ausschreibende oder der Besteller verantwortlich ist.

#### 4.10.2 Konformitätsnachweis

Der Konformitätsnachweis oder die Konformitätsprüfung dient dem Hersteller im Rahmen einer werkseigenen Produktionskontrolle zur Aufrechterhaltung der Konformität des Betons. Der Ort, an dem der Konformitätsnachweis geführt wird, ist so zu wählen, dass sich zwischen diesem und dem Ort der Übergabe die Betoneigenschaften und die Zusammensetzung nicht wesentlich verändern.

Die Konformitätsprüfung für Beton nach Eigenschaften muss an zufällig ausgewählten Betonproben gemäß ONR B 23303: 2010 durchgeführt werden. Für Beton nach Zusammensetzung muss die Konformität jeder Charge mit dem Zementgehalt, dem Nennwert des GK, der Kornverteilung Gesteinskörnung sowie dem Wasserzementwert und mit dem Gehalt an Zusatzmitteln und Zusatzstoffen nachgewiesen werden.<sup>101</sup>

Folgende Maßnahmen hat der Hersteller im Fall einer Nichtkonformität des Betons zu ergreifen:<sup>102</sup>

<sup>101</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.79

<sup>102</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.91

- Nachprüfen der Prüfergebnisse,
- Wiederholungsprüfung; Nachprüfung der maßgebenden Verfahren der Produktionskontrolle,
- Ausschreibende und Verwender verständigen, um Folgeschäden zu vermeiden,
- Maßnahmen dokumentieren.

Sollte die Nichtkonformität des Betons auf die Zugabe von Wasser oder Zusatzmitteln auf der Baustelle zurückzuführen sein, hat der Hersteller nur Maßnahmen zu ergreifen, wenn er diese Zugabe veranlasst hat.

#### 4.10.3 Identitätsprüfung

„Die Identitätsprüfung gibt an, ob ein definiertes Betonvolumen einer definierten Menge einer Betonsorte zu derselben Grundgesamtheit gehört, für die die Konformität mit der charakteristischen Festigkeit und den sonstigen Anforderungen mittels Konformitätsnachweis durch den Hersteller beurteilt wurde.“<sup>103</sup>

Die Prüfung erfolgt auf Veranlassung des Auftraggebers (z.B. Planer, Bauherr) und darf nicht vom Hersteller selbst durchgeführt werden. Dabei sind sämtliche Frisch- und Festbetonprüfungen nach den entsprechenden Prüfnormen vorzunehmen. Der Hersteller muss von der geplanten Identitätsprüfung vor der Durchführung informiert werden, wobei für die Durchführung die ONR 23301 gilt. Vor der Prüfung ist ein entsprechendes Betonvolumen wie folgt zu definieren:

- einzelne Charge oder Ladung bei Zweifel an der Qualität,
- gelieferter Beton je Geschoß, Bauteilgruppen (z.B. Wände/Stützen) oder äquivalente Teile anderer Bauwerke,
- innerhalb einer Woche gelieferter Beton,
- nicht mehr als 400 m<sup>3</sup> Beton.

Der Auftraggeber muss die Anzahl der Proben, die Art der Frisch- und Festbetonprüfungen, den Prüfort (Übergabestelle oder Einbaustelle) sowie die akkreditierte Prüfstelle angeben.

Grundsätzlich hat sich der Bauherr durch eine Identitätsprüfung von der Qualität bei Betonen  $\geq C 25/30$  oder einem W/B Wert  $\leq 0,55$  zu überzeugen, wenn die Gesamtkubatur mehr als 50 m<sup>3</sup> beträgt. Unter Gesamtkubatur der Betonsorten wird die mengenmäßige Summe aller Betonsorten, die im Baulos einbaut werden, verstanden. Die

<sup>103</sup> ÖN B 4710-1 (2007); S.127

Identitätsprüfung hat an einer verwendeten Betonsorte zu erfolgen, wobei diese dann auch für alle anderen im Baubereich verwendeten Betonsorten gilt, auch wenn diese nicht geprüft wurden. Eine erste Prüfung sollte bei Baubeginn durchgeführt werden, weitere dann zumindest alle 2000 m<sup>3</sup>, bei feingliedrigen Bauteilen alle 1000 m<sup>3</sup> Kubatur.<sup>104</sup>

Im Zuge der Identitätsprüfung wird einerseits eine Standard Prüfung und - wenn gefordert - zusätzliche Prüfungen nach ONR 23303:2010 durchgeführt. *Kremnitzer*<sup>105</sup> hat diese zusammengefasst.

Zur Standard Identitätsprüfung zählen:

- Rohdichte, Luftgehalt, Konsistenz, Wassergehalt am Frischbeton
- Luft- und Frischbetontemperatur
- Bindemittelgehalt
- W/B - Wert
- Druckfestigkeit

Sind noch zusätzliche Prüfungen vom Bauherrn gefordert, umfassen diese:

- Kornzusammensetzung am Frischbeton
- Bluten
- Temperaturanstieg
- LP-Werte am Festbeton
- Wassereindringtiefe usw.

Auf die einzelnen Verfahren der Frischbetonprüfungen wird hier nicht näher eingegangen, diese können der ONR 23303:2010 entnommen werden.

---

<sup>104</sup> Vgl. ÖN B 4710-1 (2007); S.127f

<sup>105</sup> Kremnitzer (2008); S.150

## 5 Betonpreis

Der Baustoffmarkt kann als Markt im klassischen betriebswirtschaftlichen Sinn verstanden werden, als jener Ort an dem Angebot und Nachfrage zusammentreffen und sich aus diesem Aufeinandertreffen der Preis für das Wirtschaftsgut entwickelt.<sup>106</sup>

Das Transportbetonwerk als Betrieb ist Teil des Baustoffmarktes, das dazu dient, den Baumarkt mit den gewünschten Baustoffen (Betonarten) zu versorgen. Bei der Auswahl des jeweiligen Lieferanten aus Sicht des Bauunternehmens ist sowohl die Preisentwicklung als auch die technische Bewertung der einzelnen Lieferungen und Leistungen sowie der Zahlungsbedingungen von entscheidender Bedeutung.

Speziell bei Beton sind das Wissen und die Information über die Qualität angesichts der Einsatzmöglichkeiten nicht nur eine Frage der Auswahl bei gegebenen Anforderungen, sondern oft bestimmend für Alternativlösungen der Bauwerksgestaltung und für die Verfahrenswahl in der Bauausführung.<sup>107</sup>

### 5.1 Standortfrage eines Transportbetonwerkes

Grundsätzlich liegt die Preisgestaltung für den Betonabsatzmarkt in der Frage der Standortwahl. Der Standort hängt im Wesentlichen von den auftretenden Kosten ab, die in weiterer Folge durch die Preise gedeckt werden sollen. Die Wahl des Standortes in der Betonfertigung und Verteilung ist ein Transport- und Logistikproblem. Daher muss jeder Unternehmer aus wirtschaftlicher Sicht die Transportwege von Zuschlag und Zement und damit die Kosten bis zum Markt (Einbaustelle) genau bedenken.<sup>108</sup>

Für ein Transportbetonwerk ergeben sich zusammenfassend aus diesen Überlegungen folgende Beweggründe zur Standortwahl:

- Sachliche Zwänge: Dabei ist der Standort des Betriebes durch die Natur vorgegeben. Der Standort liegt bspw. an Steinbrüchen oder Kiesgruben. Man spricht daher auch von einem gebunden Standort.

<sup>106</sup> Vgl. Messner, Kreidl, Wala (2007); S.16

<sup>107</sup> Vgl. Seeling (1995), S.13

<sup>108</sup> Vgl. Riker (1996); S.187



- Wirtschaftliche Erwägungen: Die Wahl des Standortes wird auf Grund des Abwägens von Kosten- und Absatzvorteilen getroffen.<sup>109</sup>

Aus diesen Beweggründen ergibt sich unter Berücksichtigung eines vorhandenen Marktes oder sich entwickelnden Marktes der optimale Standort für eine Transportbetonanlage. In alle Überlegungen sind auch Straßenverhältnisse, Steigungen und die allgemeinen Verkehrsverhältnisse einzubeziehen.

Riker hat versucht, in sechs Beispielen aufzuzeigen, was bei der Planung von Betonbereitungsanlagen zu berücksichtigen ist. In Bild 5.1 wird speziell auf die Entfernungen des Betriebsstandortes bezüglich seines Beschaffungs- und Absatzmarktes eingegangen.

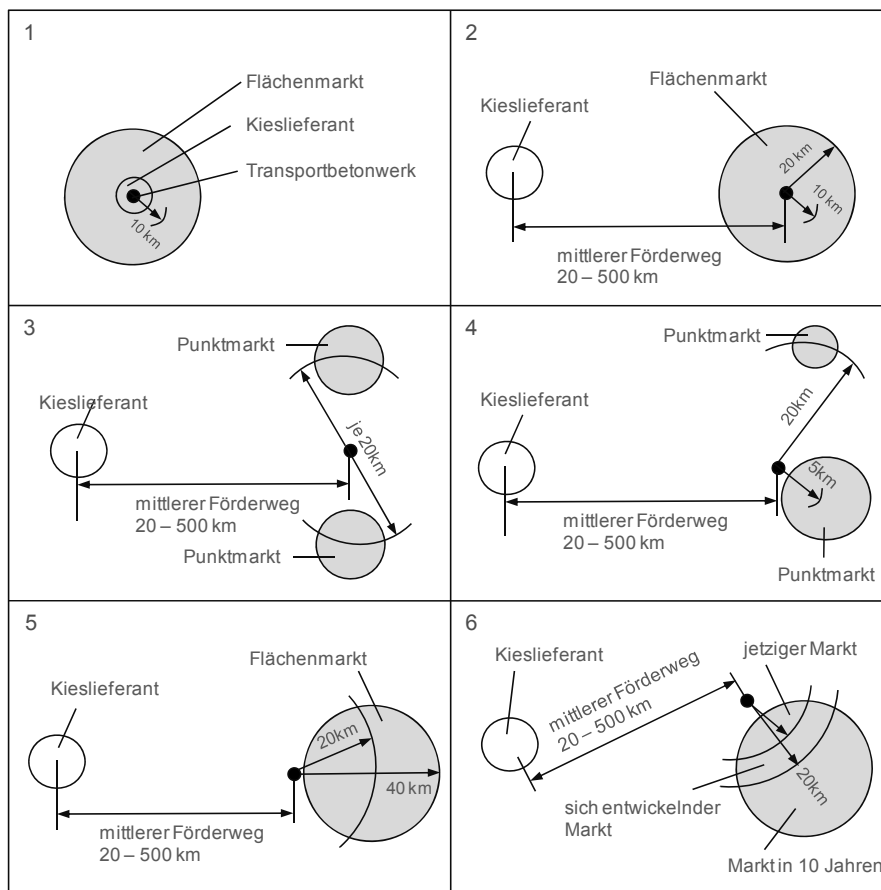


Bild 5.1 Standortfrage eines Transportbetonwerkes<sup>110</sup>

In Bild 5.1 stellt Beispiel 1 optimale Verhältnisse dar, da das Transportbetonwerk den Flächenmarkt abdeckt und gleichzeitig einen sehr geringen Transportweg zum Kieslieferanten hat. Lediglich der

<sup>109</sup> Vgl. Kümmel (2001); S.326f

<sup>110</sup> Riker (1996); S.187

Zement muss über größere Entfernungen antransportiert werden. In den Beispielen 2 bis 6 sind unterschiedliche Entfernungen zum Flächenmarkt und den Lieferanten (Zuschlag und Zement) skizziert. Aus diesen Beispielen geht hervor, dass bei gleichbleibendem Förderweg die Stellung des Betonlieferwerkes zu den jeweiligen Absatzmärkten entscheidend ist.<sup>111</sup>

Ist die Entscheidung über den Standort unter den oben genannten Gesichtspunkten erfolgt, gilt es nun, die Kosten, die während des laufenden Betriebs entstehen, zu erfassen. Der m<sup>3</sup>-Preis wird neben der Bauart der Mischanlage, den Lohn-, Energie- und Verschleißkosten, Antransportkosten des Zuschlags und Zements auch durch den Auslastungsgrad der Anlage bestimmt. Die Kosten pro m<sup>3</sup> Beton und Auslastungsgrad folgen dabei einem regressiven Verlauf. Durch einen höheren Auslastungsgrad wird mehr Beton produziert, womit sich die Fixkosten auf mehrere Einheiten verteilen.

Wie können nun die Kosten abhängig und unabhängig vom Standort gering gehalten werden? Dazu folgende Möglichkeiten:

- Zementeinsparungsmöglichkeit durch Technik;
- Kurzer Antransport von Zuschlag und Zement und/oder günstigstes Transportmittel;
- Kurzer Transport des Frischbetons zur Einbaustelle. Volle Ladung und große Transporteinheiten;
- Optimale Ausnutzung einer Anlage;
- Personaleinsparung durch Automatisierung;
- Verschleißkosten durch Einsatz von Qualitätsteilen niedrig halten.<sup>112</sup>

Sämtliche Maßnahmen wirken sich direkt auf den m<sup>3</sup>-Preis des Betons aus, da dadurch die Fixkosten reduziert werden können.

Der zu erwartende Betonabsatz stellt ebenfalls ein Kriterium zur Standortwahl einer Betonbereitungsanlage dar, da je nach regionaler Nachfrage des Betonbedarfs entweder eine leicht umsetzbare Anlage oder eine stationäre Anlage zu errichten ist. Angaben zum Betonabsatz können den Jahresberichten des Güteverbands Transportbeton entnommen werden. Dadurch lässt sich eine schwache, mittlere und starke Bautätigkeit herleiten.<sup>113</sup>

---

<sup>111</sup> Vgl. Riker (1996); S.187f

<sup>112</sup> Vgl. Riker (1996); S.234

<sup>113</sup> Vgl. Riker (1996); S.188

## 5.2 Durchschnittspreise

Um die Herstellkosten von Betonarbeiten kalkulieren zu können, müssen entsprechend den Anforderungen an den Beton Preise angegeben werden. Die in Tabelle 5-1 angegebenen Preise sind ermittelte Durchschnittspreise nach den Preislisten ausgewählter Betonsorten der Firma Cemex aus den Bundesländer Wien, Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark und Kärnten. Anzumerken sei hier, dass das Land Steiermark den höchsten Betonpreis je Betonsorte angibt, das Land Wien den niedrigsten.

Betonpreis frei Bau für 1m³ verdichteten Beton				
Betonsorte	Konsistenz- klasse	Klasse Deutschland	Aufzahlung für Sonderleistungen	Preis €/m³
C 25/30 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	C0 bis F45	F1 bis F3		103,82
C 25/30 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 52	F4	Aufzahlung auf F45: 3,52 €/m³	107,34
C 25/30 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 59	F5	Aufzahlung auf F45: 6,74 €/m³	110,56
C 25/30 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 66	F6	Aufzahlung auf F45: 9,96 €/m³	113,78
C 25/30 GK 16	SCC	SVB	Aufzahlung auf F45: 35,70 €/m³	139,52
C 30/37 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	C0 bis F45	F1 bis F3		109,12
C 30/37 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 52	F4	Aufzahlung auf F45: 3,52 €/m³	112,64
C 30/37 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 59	F5	Aufzahlung auf F45: 6,74 €/m³	115,86
C 30/37 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 66	F6	Aufzahlung auf F45: 9,96 €/m³	119,08
C 30/37 GK 16	SCC	SVB	Aufzahlung auf F45: 35,70 €/m³	144,82
C 35/45 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	C0 bis F45	F1 bis F3		115,10
C 35/45 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 52	F4	Aufzahlung auf F45: 3,52 €/m³	118,62
C 35/45 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 59	F5	Aufzahlung auf F45: 6,74 €/m³	121,84
C 35/45 B2 CEM II 32,5 R/42,5 N GK 32 EM	F 66	F6	Aufzahlung auf F45: 9,96 €/m³	125,06
C 35/45 GK 16	SCC	SVB	Aufzahlung auf F45: 35,70 €/m³	150,80

Tabelle 5-1: Durchschnittsbetonpreise Firma Cemex 2011<sup>114</sup>

Die Preislisten verstehen sich immer frei Bau für 1 m³ verdichteten Beton innerhalb der Normalarbeitszeit. Sämtliche Preise werden anhand der Druckfestigkeitsklassen, einer Standardzementklasse (CEM II 32,5 R/42,5 N), der Festigkeitsentwicklung (EM), der Konsistenz (F45) und einem fixen Größtkorn (GK 32) angegeben. Aufzahlungen müssen in weiterer Folge für eine Änderung der Konsistenzklasse, des Größtkorn, der Zemente und für Zusätze (Fließmittel, Luftporenmittel, Verzögerer etc.) getätigt werden.

Von Transportbetonunternehmen werden i.d.R. noch Rabatte auf die oben angeführten Listenpreise in einer Höhe von 10-15 % gewährt. Die Höhe solcher Rabatte hängt stark von der Entfernung zu den Baustellen, der Größe der Baustellen (Mengen) sowie von der Entfernung der Anlieferung der Zemente und Zuschlagstoffe zum Transportbetonwerk ab.

Aus kalkulatorischer Sicht interessant sind noch die Preise für die Betonförderung durch eine Pumpe (Autobetonpumpe auf Fahrmischer)

<sup>114</sup> Vgl. Cemex: [http://www.cemex.at/un/un\\_id\\_pl.html](http://www.cemex.at/un/un_id_pl.html)

und die Kosten für Betonprüfungen. Diese sind in den folgenden Tabellen 5-2 , 5-3 und 5-4 zusammengefasst.

Betontechnologische Leistung	Prüfung	Werk	Baustelle
Konsistenzprüfung	Ausbreitmaß bzw. Verdichtungsmaß	€ 33,40	€ 106,00
Frischbetonprüfung	1 Serie Probewürfel, W/B-Wert-Best.	€ 307,40	€ 377,40
Frischbetonrohddichte		€ 53,25	€ 113,33
Rückprallhammerprüfung	am Bauwerk		€ 83,50
Baustoffprüfer -Regiestunde			€ 63,60

Tabelle 5-2: Durchschnittspreise betontechnologische Leistungen

Betontransportzuschläge	Leistung	Preis	EH
Wintererschwerniszuschlag	Im Zeitraum vom 01.11-20.03	6,54	€/m³
Mindermengenzuschlag	Bei Betonmengen unter 5m³	19,40	€/m³
Überstundenzuschlag	Mo-Fr: 06.00-07.00 Uhr & 19.00 - 20.00 Uhr Sa: 06.00-13.00 Uhr	12,00	€/m³
Überschreitung Entladezeit	nach kostenfreier halbstündigen Entladezeit, je begonnene Viertelstunde; bei Kran 3/4 Std. frei	16,50	€/m³

Tabelle 5-3: Betontransportzuschläge

Betonförderung	Leistung	Preis	EH
Betonförderung mit PUMI	Pauschale für An- und Abfahrt, Aufstellen	99,00	€-PA
Betonförderung mit PUMI	Pumpleistung/m³	15,75	€/m³
kein Einsatz der Pumpe	zum vereinbarten Termin	416,8	€-PA

Tabelle 5-4: Durchschnittspreise Betonförderung

Vom Transportbetonwerk werden weitere Zuschläge für Überstunden und Überschreitung der Wartezeit verlangt. Die Überstundenzuschlagsregelungen variieren unter den Transportbetonlieferanten in der Art der Vergütung und den Zeitregelungen. Grundsätzlich gibt es zwei Varianten für die Vergütung von Überstunden. Entweder es wird für die betreffenden Zeiträume ein €/m³-Preis angegeben oder eine Pauschale für die Zustellung je Fahrzeug und Fuhre verlangt. Die genauen Zeitregelungen sowie Pauschalen und m³-Preise können den Preislisten der Lieferanten entnommen werden.

Kann der Beton nicht innerhalb der normativ geregelten 105 Minuten vollständig eingebaut und verdichtet werden, ist ein Verzögerer der Betonrezeptur beizugeben. Die Kosten für einen Verzögerer von bis zu 6 h betragen durchschnittlich 5,50 €/m³.

Mit jeder Lieferung Frischbeton sind Vorgaben des Betonlieferanten verbunden, die der Auftraggeber zu erfüllen hat. Diese können den Preislisten oder Lieferbedingungen der Transportbetonunternehmen entnommen werden. Folgende Auflagen gilt es seitens des Auftraggebers (Baufirma) zu beachten:

- Sämtliche Betonbestellungen müssen um 12.00 Uhr des Vortages beim jeweiligen Transportbetonwerk eingehen.
- Der Auftraggeber (AG) ist verpflichtet, die Voraussetzungen für einen unbehinderten Einsatz der Fahrmischer und Betonpumpen zu schaffen.
- Bereitstellung eines befahrbaren Anfahrtsweges und für die Aufstellung der Pumpe geeigneter Standort sowie ausreichend Hilfspersonal für Auf- und Abbau der Förderanlage.
- Behördliche Genehmigungen für die Straßenbenützung oder Gehsteigabspernungen sind vom AG rechtzeitig zu beschaffen sowie erforderliche Schutzmaßnahmen durchzuführen.

Des Weiteren weist der Transportbetonlieferant darauf hin, dass er für Folgeschäden im Falle eines Gebrechens der Betonpumpe nicht haftet.<sup>115</sup>

---

<sup>115</sup> Vgl. Cemex (2001); S.3

## 6 Frischbetondruck

Der Frischbetondruck auf vertikale Bauteile stellt in der Ortbetonbauweise einen wichtigen baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Faktor dar. Um einen optimalen Bauablauf unter Berücksichtigung einer kostengünstigen Fertigung zu erzielen, gilt es, das Schalungssystem auf die jeweilig geforderte Frischbetonkonsistenz und damit zusammenhängende maximale Steiggeschwindigkeit bestmöglich abzustimmen. Es sind daher zweckmäßig im Zusammenhang mit dem Frischbetondruck einerseits die Vorgaben und Berechnungsmöglichkeiten der Norm (in diesem speziellen Fall der DIN 18218:1980) zu erläutern und andererseits die baubetrieblichen Aspekte im Zuge der Fertigung zu untersuchen.

### 6.1 Allgemein

Die Tendenz zur Verwendung von Betonen der Konsistenzklassen F5, F6 und SVB, welche wesentlich höhere Frischbetondrücke erzeugen, machte eine Überarbeitung der bisherigen DIN 18218 unerlässlich.

Die DIN 18218 in der Ausgabe aus dem Jahr 2010 trägt den neuen Anforderungen an die Verarbeitbarkeit von Frischbeton Rechnung, indem fließfähige, sehr fließfähige Konsistenzklassen sowie selbstverdichtende Betone in die Ermittlung des Frischbetondrucks einbezogen wurden. Gegenüber der alten DIN 18218:1980 wurden folgende Änderungen vorgenommen:<sup>116</sup>

- „Anpassung von Begriffen an die technische Entwicklung und Begriffsbildung in Bezugnormen;
- Anpassung an die Lastermittlung an das Teilsicherheitskonzept;
- Einfluss der Frischbetontemperaturen;
- Einfluss der Betonverdichtung (Rütteln);
- Bestimmung des Frischbetondrucks insbesondere bei den Konsistenzklassen F5, F6 und SVB;
- Festlegung von Prüfverfahren zur Ermittlung des Erstarrungsendes von Beton.“<sup>117</sup>

Den Frischbetondruck gilt es, vor allem für vertikale Bauteile ab Betonierhöhen über 3,30 m zu bestimmen, da hier die Betonierleistung von der maximalen Steiggeschwindigkeit erheblich beeinflusst wird.

<sup>116</sup> Vgl. Dehn (2010); S.2

<sup>117</sup> Din 18218 (2010); S.3

Falsche Berechnungen können zu starken Verformungen, Schäden und Versagen der Schalungskonstruktion sowie des Bauteils führen.

## 6.2 Frischbetondruck auf vertikale Bauteile

In der DIN 18218:2010 sind die ermittelten Frischbetondrücke maßgebend auf die Bemessung von lotrechten und bis zu  $\pm 5^\circ$  von der Lotrechten abweichenden Schalungen sowie von Selbstverdichtendem Beton (SVB) mit einem Größtkorn der Gesteinskörnungen bis 63 mm bezogen.<sup>118</sup>

Grundsätzlich nimmt mit abnehmendem Neigungswinkel der Frischbetondruck stark zu, jedoch treten bei kleinen Abweichungen im Normalfall noch keine Drucksteigerungen auf, da außerhalb des Wirkungsbereiches des Rüttlers der Frischbeton eine Schubtragfähigkeit besitzt und andererseits Reibungskräfte zwischen dem Frischbeton und geneigten Schalungsoberfläche wirksam werden.<sup>119</sup>

### 6.2.1 Frischbetondruck nach DIN 18218

In der Literatur werden viele verschiedene Einflussgrößen auf den Frischbetondruck angegeben, wobei festgehalten wird, dass der größte Einfluss die Steiggeschwindigkeit  $v_b$  einnimmt. Alle übrigen Einflüsse treten in Abhängigkeit der speziellen Betonierbedingungen mit unterschiedlichem Gewicht hervor und beeinflussen sich oftmals gegenseitig. Für den üblichen Baubetrieb und den Berechnungen nach DIN 18218 sind folgende Einflussgrößen maßgebend:

- Steiggeschwindigkeit,
- Frischbetonrohweite,
- Art der Verdichtung,
- Rütteltiefe (bei Verwendung von Innenrüttlern),
- Frischbetonkonsistenz,
- Frischbetontemperatur,
- Erstarrungsverhalten bzw. Erstarrungsende  $t_E$ ,
- Betonzusatzmittel.<sup>120</sup>

<sup>118</sup> Vgl. DIN 18218 (2010); S.4

<sup>119</sup> Vgl. Hofstadler (2008); S.169f

<sup>120</sup> Vgl. Hofstadler (2008); S.171

Die hier angeführten Einflussgrößen finden sich in den Diagrammen und Tabellen zur Berechnung des Frischbetondrucks wieder. Dabei wird in folgende Arten von Frischbetondrücken unterschieden:

- absoluter Wert (Maximalwert-Frischbetondruck)
- Verlauf des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe
- $\sigma_{hk}$ ...charakteristischer Wert des horizontalen Frischbetondrucks
- $\sigma_{hd}$ ... Bemessungswert des horizontalen Frischbetondrucks

Für die Bemessung der Schalung und Rüstung inkl. Anker legt die DIN 18218: 2010 Folgendes fest:

- Der Frischbetondruck ist als ruhende Last zu betrachten.
- Die Bemessung von Schalung und Rüstung inkl. Anker muss mit dem Bemessungswert ( $\sigma_{hd} = \gamma_F \cdot \sigma_{hk}$ ) durchgeführt werden.
- Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$  zur Bestimmung des Bemessungswertes ( $\sigma_{hd}$ ) kann der DIN EN 12812 „Traggerüste - Anforderungen, Bemessung und Entwurf“ entnommen werden.
- Bei ungünstiger Einwirkung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$  von 1,5 anzusetzen.
- Bei günstiger Einwirkung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$  von 1,0 anzusetzen.

### 6.2.2 Verlauf des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe

Im nachfolgenden Bild 6.1 ist der Verlauf des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe dargestellt. Anzumerken sei hier, dass der Verlauf des Frischbetondrucks wesentlich von der Betonierhöhe bei Erreichen des Erstarrungsendes abhängt. Die Erstarrungstiefe kann nach folgender Formel ermittelt werden.

$$h_E = v \cdot t_E$$

v...Steiggeschwindigkeit (Betoniergeschwindigkeit) [m/h]

$t_E$ ...Erstarrungsende [h]

Für die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind zwei Verläufe maßgebend. Für den Fall das  $H < h_E$ , ist zur Bemessung der Schalung über die Schalungshöhe H die ungünstige Laststellung der Frischbetondruckverteilung an Abhängigkeit des Betonspiegels maßgebend. Bei einer Schalungshöhe  $H > h_E$  tritt die Frischbetondruckverteilung nach dieser Abbildung als Wanderlast über die Schalungshöhe ein. Für einen Nachweis im Grenzzustand der



Gebrauchstauglichkeit zur Ermittlung der Schalungsverformung ist nach der DIN 18218:2010 ein geeignetes Lastbild anzunehmen.<sup>121</sup>

In der DIN 18218:2010 ist folgende Verteilung des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe vorgegeben:

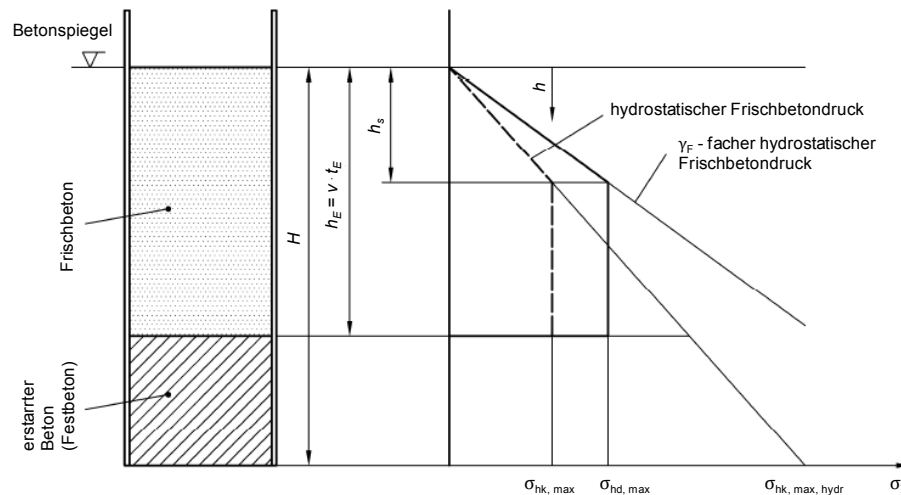


Bild 6.1: Verteilung des Frischbetondrucks über die Schalungshöhe<sup>122</sup>

Das Diagramm zeigt einen bilinearen Verlauf mit einem Knickpunkt in der Höhe  $h_s$ . Die Höhe  $h_s$  gibt die hydrostatische Druckhöhe an, also jene Stelle, an der der maximale Frischbetondruck auftritt.

### 6.2.3 Diagramm und Tabelle zur Bestimmung des Absolutwertes

Zur Ermittlung des charakteristischen Wertes des maximalen Frischbetondrucks (Absolutwert), gibt die DIN 18218 eine numerische und graphische Lösungsmöglichkeit an. Dafür sind in der Norm die Tabelle 1 angegeben und fünf Diagramme dem Anhang B beigefügt. Den Gleichungen der Tabelle 1 und den Diagrammen des Anhangs B liegen folgende Randbedingungen zu Grunde:

- Die Frischbetonrohichte  $\gamma_c$  beträgt  $25 \text{ kN/m}^3$ . [...];
- Das tatsächliche Erstarrungsende des in die Schalung eingebauten Frischbetons überschreitet  $t_E$  nicht;
- Der Frischbeton der Konsistenzklassen F1, F2, F3, F4, F5 und F6 wird mit Innenrüttlern verdichtet;
- Die Schalung ist dicht (z.B. Großflächenschalung aus beschichteten Furniersperrholz)

<sup>121</sup> Vgl. DIN 18218 (2010); S.7

<sup>122</sup> DIN 18218 (2010); S.7

- Die mittlere Steiggeschwindigkeit  $v$  beträgt bei Verwendung der Betone der Konsistenzklassen F1, F2, F3, F4 an jedem Punkt höchstens 7,0 m/h;
- Der Betoneinbau erfolgt gegen die Steigrichtung (von oben).

Die Tabellen und Diagramme der DIN 18218:2010 sind für einen Betoneinbau von oben ausgelegt. Wird der Beton jedoch wie beispielsweise bei SVB zweckmäßig durch Pumpen von unten eingebracht, so ist für den maximalen horizontalen Frischbetondruck  $\sigma_{hd,max}$  mindestens der hydrostatische Frischbetondruck bezogen auf die Einfüllstelle anzusetzen. Des Weiteren ist zu beachten, dass die maximale Höhendifferenz zwischen der Einfüllstelle und dem Betonspiegel zu keinem Zeitpunkt mehr als 3,50 m betragen darf. Es ist für einen kontinuierlichen Betoneinbau zu sorgen, wobei Unterbrechungen nicht länger als 10 min dauern sollten. Grundsätzlich sind auch längere Unterbrechungen und größere Höhendifferenzen möglich, sofern sich die rheologischen Eigenschaften des Frischbetons während des Betoneinbaus nicht erheblich verändern.<sup>123</sup>

Auf Grundlage der Angaben der Tabelle 1 dieser Norm kann für verschiedene Steiggeschwindigkeiten und Konsistenzklassen der maximal mögliche Frischbetondruck  $\sigma_{hk,max}$  berechnet werden. Über den Faktor  $K1$  aus Tabelle 2 wird das Erstarrungsverhalten berücksichtigt. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Die Tabelle 6-1 gibt die Tabelle 1 der DIN 18218.2010 wieder.

	1	2
1	Konsistenzklasse	maximaler horizontaler Frischbetondruck bei Einbau gegen die Steigrichtung (von oben) $\sigma_{hk,max}$ kN/m <sup>2</sup>
2	F1	$(5 \cdot v + 21) \cdot K1 \geq 25$
3	F2	$(10 \cdot v + 19) \cdot K1 \geq 25$
4	F3	$(14 \cdot v + 18) \cdot K1 \geq 25$
5	F4	$(17 \cdot v + 17) \cdot K1 \geq 25$
6	F5	$25 + 30 \cdot v \cdot K1 \geq 30$
7	F6	$25 + 38 \cdot v \cdot K1 \geq 30$
8	SVB	$25 + 33 \cdot v \cdot K1 \geq 30$
Dabei ist		
$v$ die Steiggeschwindigkeit (Betoniergeschwindigkeit) in m/h;		
$K1$ der Faktor zur Berücksichtigung des Erstarrungsverhaltens nach Tabelle 2.		

Tabelle 6-1: Charakteristische Werte des max. Frischbetondrucks  $\sigma_{hk,max}$ <sup>124</sup>

<sup>123</sup> DIN 18218 (2010); S.8

<sup>124</sup> DIN 18218 (2010); S.9

	1	1	1	1	1
1	Konsistenz- klasse	Faktoren $K1$			
2		Erstarrungsende $t_E = 5h$	Erstarrungsende $t_E = 10h$	Erstarrungsende $t_E = 20h$	Allgemeines <sup>b</sup>
3	F1 <sup>a</sup>	1,0	1,15	1,45	$1+0,03 \cdot (t_E - 5)$
4	F2 <sup>a</sup>	1,0	1,25	1,80	$1+0,053 \cdot (t_E - 5)$
5	F3 <sup>a</sup>	1,0	1,40	2,15	$1+0,077 \cdot (t_E - 5)$
6	F4 <sup>a</sup>	1,0	1,70	3,10	$1+0,014 \cdot (t_E - 5)$
7	F5, F6, SVB	1,0	2,00	4,00	$t_E / 5$
<sup>a</sup> Gilt für Betonierabschnitte mit einer Höhe $H$ bis 10 m.					
<sup>b</sup> Gilt für $5 h \leq t_E \leq 20 h$ ; $t_E$ in h.					

**Tabelle 6-2: Faktoren  $K1$  zur Berücksichtigung des Erstarrungsverhaltens<sup>125</sup>**

Mit dem Wert für den maximalen horizontalen Frischbetondruck kann ein Schalungssystem entsprechend dieser Belastung ausgewählt werden.

Aus den fünf Diagrammen des Anhangs B kann der Höchstwert des anzusetzenden charakteristischen Frischbetondrucks in Abhängigkeit der Steiggeschwindigkeit für verschiedene Konsistenzklassen bei unterschiedlichem Erstarrungsende ( $t_E = 5$  h-20 h) direkt abgelesen werden. Bei dieser Ermittlung kann der maximale horizontale Frischbetondruck, also die maximale Belastung der Schalung gewählt, und dadurch die Steiggeschwindigkeit ermittelt werden. Umgekehrt kann jedoch auch die Steiggeschwindigkeit vorgegeben und der jeweilige Höchstwert des Frischbetondrucks ermittelt werden. Treten Zwischenwerte beim Erstarrungsverhalten, beispielsweise 6h, 9h auf, dürfen diese Werte gemäß der Tabelle 2 (Tabelle 6-2) linear interpoliert werden. Der ermittelte Frischbetondruck ist danach mit dem Faktor  $K1$  zu multiplizieren.

Das Diagramm in Bild 6.2 wurde für ein Erstarrungsende  $t_E = 5$  h und einer Frischbetonrohichte  $\gamma_c = 25$  kN/m<sup>3</sup> aus der Norm wiedergegeben.

<sup>125</sup> DIN 18218 (2010); S.9

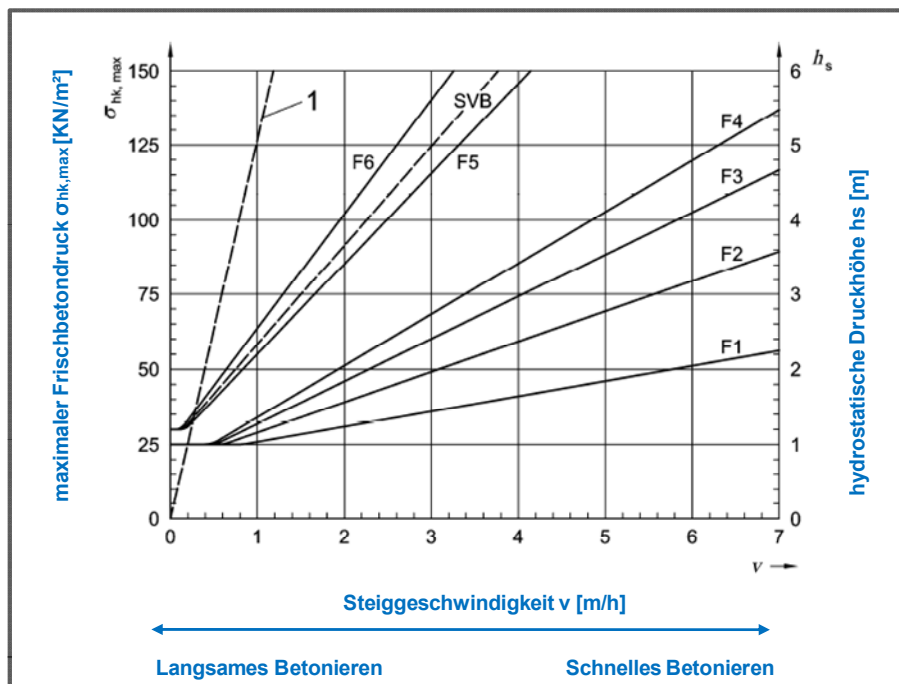


Bild 6.2: Diagramm für die Bestimmung des Frischbetondrucks  $\sigma_{hk,max}$ <sup>126</sup>

Auf der linken vertikalen Achse ist der maximale Frischbetondruck von 0 - 150 kN/m<sup>2</sup> aufgetragen. Die Konsistenzen sind nach den Ausbreitmaßklassen der DIN 1045-2:2007 angegeben. Ein entsprechender Bezug zu den Ausbreitmaßklassen in Österreich kann der ÖNORM B 4710-1:2007 entnommen werden. Im Gegensatz zur DIN 18218:1980 wurde hier auf die Angabe der Verdichtungsmaßklassen nach Walz verzichtet. Auf der rechten vertikalen Achse ist die hydrostatische Druckhöhe von 0 - 6 m angegeben. Auf der horizontalen Achse kann die Steiggeschwindigkeit von 0 - 7 m/h abgelesen werden.

### 6.3 Einflüsse auf die Größe des Frischbetondrucks

Wie eingangs schon erwähnt, liegen der DIN 18218:2010 gewisse Einflussgrößen zugrunde. Unter Punkt 6.2.3 dieser Arbeit wurden die Randbedingungen dargelegt, unter denen die Tabellen und Diagramme zu betrachten sind. Treten nun Abweichungen oder Änderungen dieser Randbedingungen ein, müssen diese berücksichtigt werden. Abweichungen von den Randbedingungen treffen vor allem das Erstarrungsende, die Frischbetontemperatur und die Frischbetonrohrwichte.

<sup>126</sup> Vgl. DIN 18218 (2010); S.16

### 6.3.1 Erstarrungsverhalten bzw. Erstarrungsende $t_E$

„Das Erstarren beschreibt jene Phase der Hydratation, in welcher die Viskosität des Betons ansteigt und dieser von der flüssigen in die feste Phase übergeht. Nach Abschluss dieses Erstarrungsvorgangs (gekennzeichnet durch das Erstarrungsende  $t_E$ ) erfolgt dann die Festigkeitsentwicklung.“<sup>127</sup>

Das Erstarrungsende ist Teil der Zustandsänderung vom flüssigen Zementleim in den festen Zementstein. Diese Zustandsänderung ist eine kennzeichnende Eigenschaft des Zements. Die Zustände Ansteifen, Erstarren und Erhärten treten dabei immer in dieser Reihenfolge in einem bis zu einem gewissen Grad zeitlich beeinflussbaren Ablauf auf. Der zeitliche Ablauf lässt sich dabei über die Veränderung der Konsistenz über die Zeit registrieren.<sup>128</sup>

In baupraktischen Fällen wird bei einem Beton beispielsweise der Konsistenzklasse F 52 die Veränderung des Ausbreitmaßes bis 105 Minuten nach Wasserzugabe gemessen. Tritt ab diesem Zeitpunkt keine Veränderung mehr ein, kann dieser Zeitpunkt als Erstarrungsbeginn registriert werden. Dies sei in der folgenden Abbildung dargestellt. Festgehalten werden muss das die diese Kurve nur eine Annäherung darstellt.

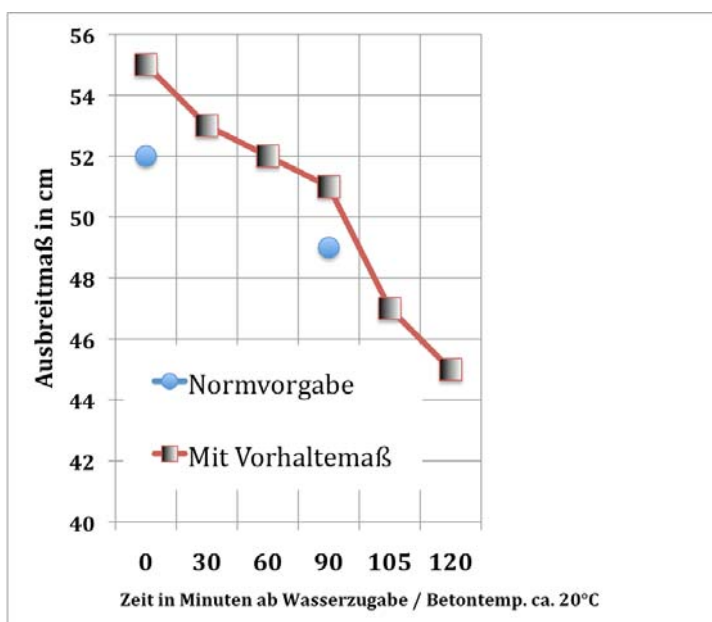


Bild 6.3: Konsistenzänderung in Abhängigkeit von der Zeit<sup>129</sup>

<sup>127</sup> Dehn/Reinisch/Angerer (2010); S.4

<sup>128</sup> Vgl. [http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/KompodiumZementBeton/1-4\\_Hydratation.pdf](http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/KompodiumZementBeton/1-4_Hydratation.pdf); Datum: 26.04.2011, 14:15

<sup>129</sup> Dipl.-Ing. Dr.techn. Roland Travnicek, SV-Büro für Betontechnologie und Betontechnik Wien, am 23.05.2011

Im Regelfall wird bei der Auslieferung des Frischbetons, das Ausbreitmaß immer etwas höher angesetzt um die Normenvorgabe sicher zu erreichen.<sup>130</sup>

Nach dem registrieren des Erstarrungsbeginns, beginnt der Erstarrungsvorgang. Wie eingangs erwähnt wird der Abschluss des Erstarrungsvorgangs vom Erstarrungsende  $t_E$  gekennzeichnet. Eine genaue Vorhersage des Erstarrungsendes  $t_E$  ist jedoch insofern schwierig, da dieses von den folgenden Faktoren abhängt, welche mehr oder weniger in Wechselwirkung stehen.

- w/z-Wert
- Bindemittel, Zement, Betonzusatzstoffe
- Zusatzmittel (Fließmittel, Verzögerer)
- Temperaturbedingungen (Frischbetontemperatur, Einbautemperatur, Umgebungstemperatur)

Ein Erstarrungsende von 5 h, 7 h kann lediglich mit  $\pm 1$  h eingestellt werden. Es ist daher immer auch mit einer gewissen Unsicherheit was den Frischbetondruck betrifft behaftet. Ein Erstarrungsende von 10h ist lediglich nur mehr mit einer Schwankung von  $\pm 2$  h einzustellen. Festzuhalten gilt es, dass ein Erstarrungsende von über 12 h Betontechnologisch gar nicht einstellbar ist.<sup>131</sup>

Welchen Einfluss das Erstarrungsende  $t_E$  auf den Frischbetondruck hat, zeigt Bild 6.4. Dabei wird von einem maximalen Frischbetondruck bei gleichbleibender Konsistenz F4/F52 in Abhängigkeit unterschiedlicher Werte für das Erstarrungsende  $t_E$  ausgegangen. Daraus geht hervor das beispielsweise bei einer angenommen Steiggeschwindigkeit von 2 m/h, lediglich Betone mit einem Erstarrungsende unter 9 h einen max. Frischbetondruck von unter 80 kN/m<sup>2</sup> aufweisen. Liegen die Erstarrungszeiten darüber, hat dies auch höhere Frischbetondrücke zur Folge.<sup>132</sup>

<sup>130</sup> Fachgespräch mit Dipl.-Ing. Dr.techn. Roland Travnicek, SV-Büro für Betontechnologie und Betontechnik Wien, am 23.05.2011

<sup>131</sup> Vgl. Fachgespräch mit Dipl.-Ing. Dr.techn. Roland Travnicek, SV-Büro für Betontechnologie und Betontechnik Wien, am 14.04.2011

<sup>132</sup> Vgl. Dehn/Reinisch/Angerer (2010); S.3f

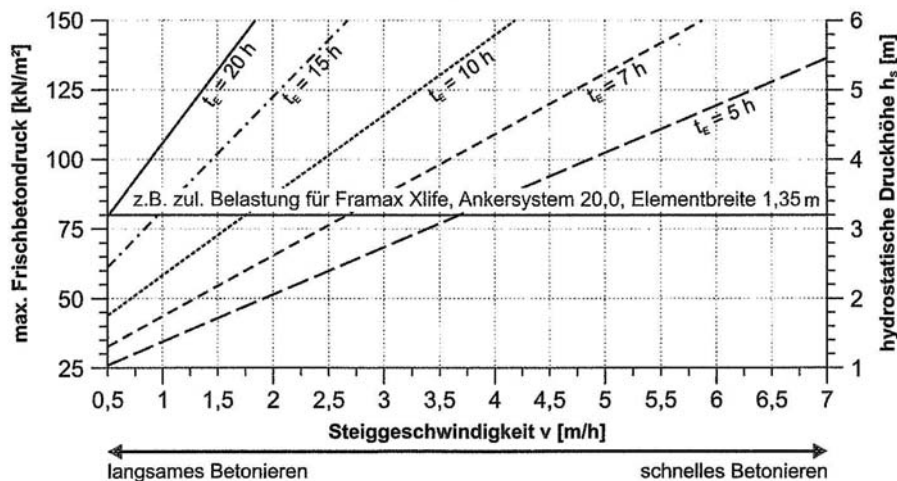


Bild 6.4: Unterschiedliches Erstarrungsende  $t_E$  bei gleicher Konsistenz  $F_4$ <sup>133</sup>

Zur Bestimmung der Erstarrungszeiten wird in der DIN 18218 das Knetbeutelverfahren vorgeschlagen. Dabei ergibt sich der Wert für  $t_E$  aus der Gleichung  $t_E = 1,25 \cdot t_{E,Knet}$ . Der Wert  $t_{E,Knet}$  wird dabei als Zeitspanne gemessen die von der ersten Wasserzugabe bis zu jenem Zeitpunkt vergeht, an dem der Beton den Grenzwert „erstarrt“ einnimmt. Der Grenzwert „erstarrt“ ist nach Tabelle A.1. der DIN 18218:2010, welche zur Beschreibung des Erstarrungszustandes von Betonen herangezogen wird, definiert. Eine Beschreibung der Versuchsdurchführung kann der DIN 18218:2010 entnommen werden.

Da die Temperaturbedingungen einen wesentlichen Einflussfaktor auf das Erstarrungsende darstellen, sind diese beim Einbau des Frischbetons zu berücksichtigen. Je nach Festigkeitsentwicklung (langsam, mittel, schnell) und den Betontemperaturen kann von einem gewissen Erstarrungsende ausgegangen werden. In Tabelle 6-3 sind die Angaben aus der DIN 18218.2010 zusammengefasst.

Festigkeitsentwicklung	Beton-temperatur [°C]	Erwartungswerte [h]
schnell	> 15	5
mittel	> 20	
schnell	> 10	7
mittel	> 15	
langsam	> 20	

Tabelle 6-3: Erwartungswerte zum Erstarrungsende<sup>134</sup>

<sup>133</sup> Dehn/Reinisch/Angerer (2010); S.4

<sup>134</sup> Vgl. DIN 18218 (2010); S.8

Voraussetzungen für diese Erwartungswerte sind, dass keine verzögernd wirkenden Zusatzmittel eingesetzt und das Betone mit einer Festigkeitsklasse von mindestens C 20/25 verwendet werden.

Diese Temperaturangaben können als Referenztemperaturen  $T_{c,Ref}$  angenommen werden. Die Referenztemperaturen  $T_{c,Ref}$  sind für die Anwendung der Diagramme wesentlich. Treten nun Abweichungen von der Referenztemperatur auf, sind Anpassungen vorzunehmen. Diese werden unter Punkt 6.2.2 erläutert.

### 6.3.2 Frischbetontemperatur

Ist die Frischbetontemperatur beim Einbau des Betons  $T_{c,Einbau}$  höher als die Referenztemperatur  $T_{c,Ref}$  so darf der Frischbetondruck für je ein 1 °C Temperaturdifferenz um 3 % vermindert werden.

Ist die Frischbetontemperatur beim Einbau niedriger als die Referenztemperatur oder kann eine höhere Frischbetontemperatur nicht aufrechterhalten werden, so muss der maximale hydrostatische Frischbetondruck bei den Konsistenzklassen F1 bis F4 um 3 % je 1 °C Temperaturdifferenz vergrößert werden und bei Konsistenzklassen F5, F6 und SVB um 5 % je 1 °C Temperaturdifferenz. In keinem Fall darf die Differenz zwischen der Referenztemperatur und der Einbautemperatur bei den Konsistenzklassen F1 bis F4 mehr als 10 °C betragen und bei Betonen der Konsistenzklassen F5, F6 und SVB nie mehr als 5 °C. Kann dies nicht gewährleistet werden, ist das Erstarrungsende neu zu bestimmen.<sup>135</sup>

Die folgende Abbildung soll den Einfluss der Temperatur auf den Frischbetondruck noch einmal verdeutlichen.

---

<sup>135</sup> Vgl DIN 18218 (2010); S.10



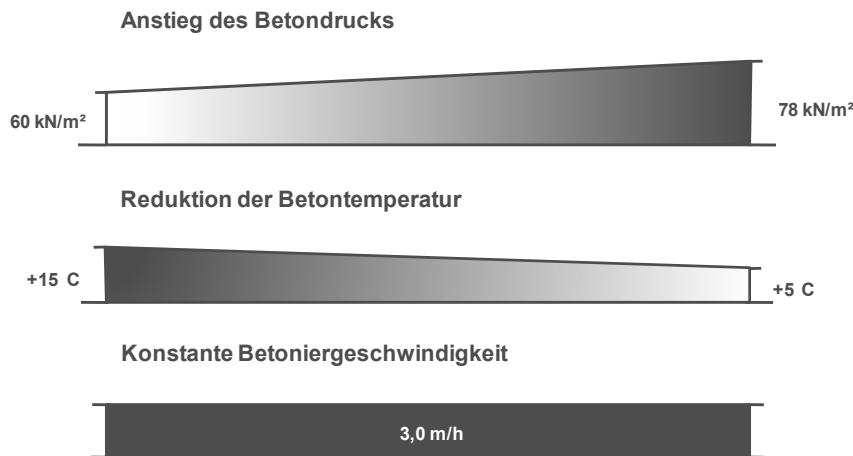


Bild 6.5: Einfluss der Frischbetontemperatur auf den Frischbetondruck<sup>136</sup>

In Bild 6.5 sind die Auswirkungen eines Temperatursturzes von +15 °C auf +5 °C dargestellt. Unter solchen Bedingungen müsste die Schalung bei gleichbleibender Betoniergeschwindigkeit auf einen max. Frischbetondruck von 78 kN/m<sup>2</sup> dimensioniert sein. Um daraus resultierende Schäden zu vermeiden, muss die Steiggeschwindigkeit auf 2 m/h reduziert werden. Damit würde der max. Frischbetondruck von 60 kN/m<sup>2</sup> eingehalten werden.

### 6.3.3 Frischbetonrohichte

Eine Abweichung der Frischbetonrohichte  $\gamma_c$  von  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$  hat insofern eine Auswirkung auf den Frischbetondruck, als dass er sich entweder verringert oder erhöht. Dabei ist der ermittelte Frischbetondruck  $\sigma_{hk,max}$  mit dem Faktor  $K2 = \gamma_c/25$  ( $\gamma_c$  in kN/m<sup>3</sup>) zu multiplizieren. Die hydrostatische Druckhöhe  $h_s$  verändert sich durch eine Änderung der Frischbetonrohichte nicht.<sup>137</sup>

### 6.3.4 Verdichten

Bei der Ermittlung des Frischbetondrucks nach den Tabellen und Diagrammen ist das Verdichten mit Innenrüttlern vorgesehen. Dabei sollte die Eintauchtiefe des Innenrüttlers  $h_v$ , bei Betonen mit den Konsistenzen F1 bis F4 die hydrostatische Druckhöhe  $h_s$  nicht überschreiten.<sup>138</sup>

<sup>136</sup> Vgl. Angerer (2008); S.6

<sup>137</sup> Vgl DIN 18218 (2010); S.11

<sup>138</sup> Vgl DIN 18218 (2010); S.11

### 6.3.5 Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe

Betonzusatzmittel und -zusatzstoffe beeinflussen im Wesentlichen die Frischbetonkonsistenz und das Erstarrungsende. Damit ist in weiterer Folge auch eine Veränderung des Frischbetondrucks gegeben. Die neue Norm hält dazu nur fest, dass sich bei Verwendung von Beton mit Festigkeitsentwicklung „sehr langsam“ und verzögernden Zusatzmitteln das Erstarrungsende nur schwer abzuschätzen ist.

In der alten Norm war die Zugabe von Erstarrungsverzögerern durch einen Faktor in Abhängigkeit der Verzögerungsstunden und Konsistenz zu berücksichtigen.<sup>139</sup>

## 6.4 Berechnungsbeispiel lotrechte Wand

Die Firma Doka hat zur Berechnung des Frischbetondrucks ein Tool im Jänner 2011 veröffentlicht. Dabei kann unter Berücksichtigung der oben angesprochenen Randbedingungen der Frischbetondruck bestimmt werden. Als Anschauungsbeispiel wird nachstehend der Frischbetondruck einmal graphisch und rechnerisch über das Diagramm ermittelt und einmal über den Frischbetondruckrechner von Doka. Die beiden Ergebnisse werden dann einander gegenübergestellt.

### 6.4.1 Angabe

Im nachfolgenden Beispiel sei die Ermittlung des Frischbetondrucks über das Diagramm und zur Überprüfung anhand des Frischbetondruckrechners von Doka kurz dargestellt. Dabei wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Frischbetonkonsistenz                      F4 / F52
- Frischbetonrohichte ( $\gamma_c$ )                23,5 kN/m<sup>3</sup>
- Erstarrungsende ( $t_E$ )                        5 h
- Referenztemperatur ( $T_{c,Ref}$ )                20 °C
- Einbautemperatur                             $T_{c, Einbau} = 17$  °C
- Festigkeitsentwicklung                      EM
- Schalung                                        dicht
- Wandhöhe ( $W_H$ )                              5,50 m
- Steiggeschwindigkeit ( $v$ )                    2,40 m/h

<sup>139</sup> Vgl DIN 18218 (2010); S.11

### 6.4.2 Lösung über Diagramm

Ausgehend von der vorgegebenen Steiggeschwindigkeit wird eine Vertikale mit der Geraden für die Konsistenzklasse F4 zum Schnitt gebracht. Von diesem Schnittpunkt wird eine Horizontale bis zur linken Ordinate, welche den Frischbetondruck definiert, gezogen. Der Frischbetondruck beträgt demnach 58 kN/m<sup>2</sup>. Zusätzlich kann noch die hydrostatische Druckhöhe mit 2,38 m von der rechten Ordinate abgelesen werden.

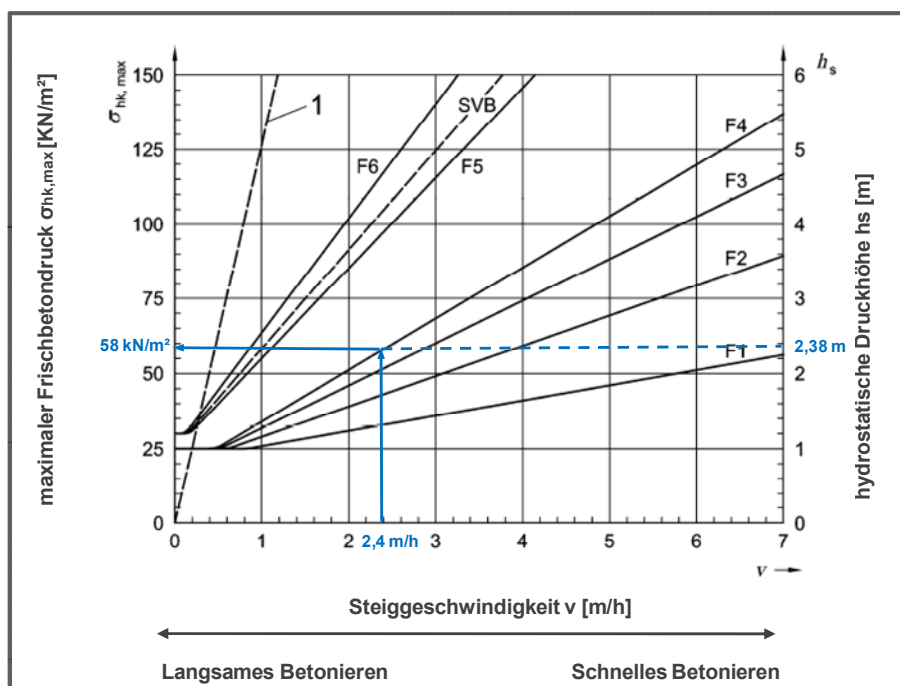


Bild 6.6: Bestimmung des Frischbetondrucks über Diagramm  $t_E=5h^{140}$

Wie unter 6.2 beschrieben, gelten diese Werte für die vorgegebenen Randbedingungen. Aus der Angabe geht jedoch hervor, dass diese von den vorgegebenen Randbedingungen abweichen. Daher muss der Frischbetondruck entsprechend angepasst werden.

Die Frischbetonrohichte ist mit  $\gamma_c = 23,5 \text{ kN/m}^3$  angegeben. Daher muss der Frischbetondruck mit dem Faktor  $K2$  multipliziert werden.

$$\sigma_{hk,max}(\gamma_c=23,5) = 58 \text{ kN/m}^2 \cdot K2 = 58 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{23,5 \text{ kN/m}^3}{25 \text{ kN/m}^3} = 54,5 \text{ kN/m}^2$$

<sup>140</sup> Vgl. DIN 18218 (2010); S.15

Des Weiteren ist eine Temperaturdifferenz zwischen Referenztemperatur und Einbautemperatur von 3 °C gegeben. Daher muss der Frischbetondruck, da die Konsistenz F4/F52 verwendet wird, um 9 % erhöht werden. Daraus folgt:

$$\sigma_{hk,max}(T_{C,Ref}) = \sigma_{hk,max}(\gamma_C=23,5) \cdot 1,09 = 54,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,09 = 59,4 \text{ kN/m}^2$$

Die hydrostatische Druckhöhe ergibt sich aus dem Quotient des Frischbetondrucks und der Frischbetonrohichte.

$$h_s = \frac{\sigma_{hk,max}}{\gamma_C} = \frac{59,4 \text{ kN/m}^2}{23,5 \text{ kN/m}^3} = 2,52 \text{ m}$$

Es muss nun noch überprüft werden, ob der Frischbetondruck über die gesamte Schalungshöhe anzusetzen ist, oder ob der Beton im unteren Bereich schon erstarrt ist. Die Berechnung der Erstarrungstiefe erfolgt durch Einsetzen in die nachstehende Formel.

$$h_E = v \cdot t_E = 2,40 \text{ m/h} \cdot 5,00 \text{ h} = 12 \text{ m}$$

Aus der Berechnung geht hervor, dass der Frischbetondruck über die gesamte Schalungshöhe anzusetzen ist. Es darf daher keine Wanderlast angenommen werden.

### 6.4.3 Lösung über Frischbetondruckrechner nach Doka

Der Frischbetondruckrechner von Doka erfordert die Eingabe der Konsistenzklasse, Referenztemperatur, Einbautemperatur und Betonierhöhe. Wahlweise kann entweder die Steiggeschwindigkeit oder der maximale horizontale Frischbetondruck eingegeben werden. Wenn sich die Frischbetonrohichte gegenüber den 25 kN/m<sup>3</sup> ändert, handelt es sich um einen Sonderfall, bei dem zusätzlich noch die niedrigste Einbautemperatur bis zum Erstarrungsende  $t_E$  anzugeben ist. Bei diesem Beispiel ist diese äquivalent zur Einbautemperatur  $T_{c, Einbau}$ .

**Bauen Sie auf Schalungs-Kompetenz**  
**Frischbetondruckrechner**  
 nach DIN 18218:2010-01

Konsistenzklasse: info F4 (=F52)  
 Erstarrungsende tE bei T<sub>c,Ref</sub>: h 5  
 Referenztemperatur T<sub>c,Ref</sub>: °C 20  
 Einbautemperatur T<sub>c,Einbau</sub>: °C 17  
 Betonierhöhe H: m 5,50

Standardfall Sonderfall  
 Niedrigste Betontemperatur bis tE: 17,00 °C  
 Betonwichte γ<sub>c</sub>: 23,5 kN/m³  
 Einsatz von LH-Zementen

Frischbetondruck oh<sub>k,max</sub> Steiggeschwindigkeit v  
 kN/m² m/h  
 59 <--> Rechnen 2,4  
 In Zwischenablage kopieren

Hydrostatischer Frischbetondruck  
 Frischbetondruck oh<sub>k,max</sub>

www.doka.com **doka** Die Schalungstедmiker

Bild 6.7: Berechnungsbeispiel mit Frischbetondruckrechner Doka<sup>141</sup>

Die Berechnungen haben einen maximalen horizontalen Frischbetondruck unter Berücksichtigung sämtlicher Randbedingungen von 59 kN/m<sup>2</sup> ergeben. Dieser stimmt mit dem Wert aus der graphischen und rechnerischen Ermittlung überein. Einzig die hydrostatische Druckhöhe muss mit dieser Methode händisch ermittelt werden.

#### 6.4.4 Auswahl der Schalung<sup>142</sup>

Die Auswahl der Schalung ist allgemein unter folgenden Gesichtspunkten durchzuführen:

- wirtschaftliche Kriterien,
- fertigungstechnische Kriterien (maximale Elementhöhen, Elementbreiten, Gewicht, Flexibilität, Versetzbarkeit etc.),
- max. Frischbetondruck.

In weiterer Folge wird die Auswahl der Wandschalungen nach der Produktpalette der Firma Doka erläutert.

Für Wandschalungen können zwei Systeme zum Einsatz kommen. Entweder eine Rahmenschalung (Stahl, Aluminium) oder eine Trägerschalung. Die Rahmenschalungen sind in ihren möglichen Belastungen mit einem max. Frischbetondruck von 60 bis 80 kN/m<sup>2</sup>

<sup>141</sup> Doka: [http://www.doka.com/frischbetondruckrechner/betondruckrechner\\_de.html](http://www.doka.com/frischbetondruckrechner/betondruckrechner_de.html)

<sup>142</sup> Vgl. Hofstadler

limitiert. Mit Rahmenschalungen aus Stahl können Frischbetondrücke bis  $80 \text{ kN/m}^2$  aufgenommen werden. Das Schalungssystem kann dabei beliebig an die Bauteilabmessungen angepasst werden. Die Großelemente haben eine Schalfläche von ca.  $9,00 \text{ m}^2$  je Element möglich. Rahmenschalungen aus Aluminium werden aufgrund ihres geringen Gewichtes dort eingesetzt wo kein Kran zum Versetzen der Elemente verfügbar ist. Die Rahmenelemente haben hier eine Fläche von ca.  $2,50 \text{ m}^2$  und können einen Frischbetondruck von  $60 \text{ kN/m}^2$  aufnehmen.<sup>143</sup>

Sind Wandschalungssysteme als Trägerschalungen ausgeführt so sind diese in ihrer Grundauführung mit einem max. Frischbetondruck von  $70 \text{ kN/m}^2$  limitiert. Dies geht auch aus den Bemessungsbehelf der Firma Doka hervor. Die Bemessungstabellen mit den zulässigen Frischbetondrücken und Trägerabständen sind für Schalungshöhen von 2,50 bis 6,00 m den Anwenderinformationen für die Trägerschalungen beigelegt.<sup>144</sup>

Im Zusammenhang mit SVB ergibt sich die Forderung nach höheren zulässigen Schalungsdrücken um den Frischbeton mit höheren Steiggeschwindigkeiten in die Schalung einbringen zu können. Im Gegensatz zu den Rahmenschalungssystemen können die Trägerschalungssysteme in ihrer Tragfähigkeit verändert werden. Durch Variation der Trägerabstände und Wahl von Ankersystemen mit einer hohen Tragkraft ( $150 \text{ kN}$ ) können Frischbetondrücke bis zu  $120 \text{ kN/m}^2$  aufgenommen werden. Dies würde hydrostatische Druckverhältnisse und eine unbeschränkte Steiggeschwindigkeit bedeuten. Anzumerken sei hier, dass solche Anforderungen gesonderte statische Berechnungen erfordern.

Für den Einsatz von selbstverdichtendem Beton werden Elemente der Schalungshersteller mit einem speziellen Füllstutzen zum Einbringen des Betons von unten angeboten. Des Weiteren können Sperrschieber zum Absperrern des Pumpenschlaues eingesetzt werden.<sup>145</sup>

## 6.5 Nachweis der Ebenheitstoleranzen

Durch die Schalhaut und die Schalungskonstruktion müssen die Ebenheitstoleranzen gemäß ÖNORM DIN 18202:2010 eingehalten werden.

<sup>143</sup> Vgl. Hofstadler (2008); S.101f

<sup>144</sup> Vgl. Doka (2008), S. 78f

<sup>145</sup> Vgl. Doka (2008), S. 69

Dabei gilt Allgemein, dass Toleranzen der Begrenzung der Abweichungen von Nennmaßen der Größe, Gestalt und der Lage von Bauteilen und Bauwerken dienen. Die die Einhaltung von Toleranzen soll gewährleistet werden, dass trotz unvermeidbarer Ungenauigkeiten beim Messen, bei der Fertigung und Montage für nachfolgende Gewerke des Roh- und Ausbaus ein funktionsgerechtes Zusammenfügen von Bauwerken und Bauteilen ohne Nacharbeiten möglich ist. Des Weiteren schreibt die ÖNORM DIN 18202 fest, dass alle Bezugspunkte vor der Bauausführung festzulegen sind.

Unter den Maßtoleranzen werden Grenzabweichungen, Grenzwerte für Winkelabweichungen und Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen festgelegt. Grenzabweichungen gelten in der Tabelle 1 (ÖNORM DIN 18202) für Längen, Breiten, Höhen, Rastermaße sowie Querschnittsmaße und für Öffnungen. Die Grenzwerte für Winkelabweichungen sind Stichmaße welche für vertikale, horizontale und geneigte Fläche, sowie Öffnungen gelten.

Die Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen gelten als Stichmaße für Wände, Decken, Estriche und Bodenbelege. Für flächenfertige und nichtflächenfertige Wände werden in der folgenden Tabelle Werte aus der DIN 18202 Tabelle 3 wiedergegeben.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Bezug	Stichmaße als Grenzwerte in mm bei Messpunkteabständen in m bis				
		0,1	1	4	10	15
5	Nichtflächenfertige Wände und Unterseiten von Rohdecken	5	10	15	25	30
6	Flächenfertige Wände und Unterseiten von Decken z.B. geputzte Wände, Wandbekleidungen	3	5	10	20	25

**Tabelle 6-4: Auszug aus der DIN 18202 Grenzwerte für Ebenheitsabweichungen**

Die Ebenheitsanforderungen an die Schalung müssen der Zeile 6 der Tabelle 3 entsprechen.

## 6.6 Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Bedeutung

Baubetrieblich stellt sich die Frage: „Wie lange wird ein konkreter Betoneinbau dauern?“ Diese Frage wird bei vertikalen Bauteilen von der Steiggeschwindigkeit und von der Förderleistung der eingesetzten Geräte (z.B. Pumpe oder Kran mit Kübel) beeinflusst. Ausgehend von den Kapazitäten der Betonförderung sind Leistungen bei Pumpen von 40 m<sup>3</sup>/h und mehr möglich. Die jeweiligen Pumpenleistungen sind den Angaben der Maschinenhersteller zu entnehmen. Die maximale Leistung beim Betoneinbau mit Kran und Kübel ergibt sich aus der Spielzeit und dem Kübelinhalt. Zu untersuchen gilt es nun, welches Einbauverfahren bezogen auf die Betonmenge anzuwenden ist. Die Betonmenge und Betonierleistung wird dabei von der Art des Bauteils bestimmt. Bei

filigranen Stützen und Wänden ist oft aufgrund der geringen Betonmenge der Einbau mit Kran und Kübel ausreichend.

Auf Grundlage der theoretischen Ausführung zum Frischbetondruck auf lotrechte Schalungen nach DIN 18218 dieses Kapitels werden nun baubetriebliche Zusammenhänge rund um die Steiggeschwindigkeit des Betons in der Schalung dargestellt. Dazu werden die Interaktionsdiagramme nach *Hofstadler* für den Betoneinbau bei Wänden in einem Beispiel angewendet.<sup>146</sup>

Mit dem folgenden Interaktionsdiagramm werden baubetriebliche Zusammenhänge bei Betoneinbau von Wänden grafisch dargestellt. Im Diagramm werden die Beziehungen zwischen

- Höhe der Wand [m],
- Fläche des Querschnitts [m<sup>2</sup>],
- Wanddicke [m],
- Betonmenge [m<sup>3</sup>],
- Länge der Wand [m],
- Dauer des Betoneinbaus [h],
- Betonierleistung [m<sup>3</sup>/h],
- und Steiggeschwindigkeit des Betons [m/h] hergestellt.“

Anhand eines Anwendungsbeispiels wird das Interaktionsdiagramm erklärt. Durch die grafische Ermittlung der Dauer und Betonierleistung wird der Zusammenhang mit der Steiggeschwindigkeit hergestellt. Für das Beispiel gelten folgende Angaben:

▪ Wandhöhe ( $W_H$ )	3,40 m
▪ Wanddicke ( $W_D$ )	0,30 m
▪ Wandlänge ( $W_L$ )	12 m
▪ Konsistenzklasse	F3 / F45
▪ Frischbetonrohichte ( $\gamma_c$ )	25 kN/m <sup>3</sup>
▪ Referenztemperatur ( $T_{c,Ref}$ )	15 °C
▪ Einbautemperatur ( $T_{c,Einbau}$ )	15 °C
▪ Erstarrungsende ( $t_E$ )	5 h
▪ Zulässiger Frischbetondruck ( $\sigma_{hk,max}$ )	60 kN/m <sup>2</sup>

<sup>146</sup> Vgl. Hofstadler (2006); S.97



Bevor das Interaktionsdiagramm angewendet werden kann, muss entweder über den Frischbetondruckrechner von Doka oder über das Diagramm der DIN 18218, die maximal zulässige Steiggeschwindigkeit ermittelt werden. Unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen ging aus dem Diagramm hervor, dass die zulässige Steiggeschwindigkeit maximal 3,00 m/h betragen darf.

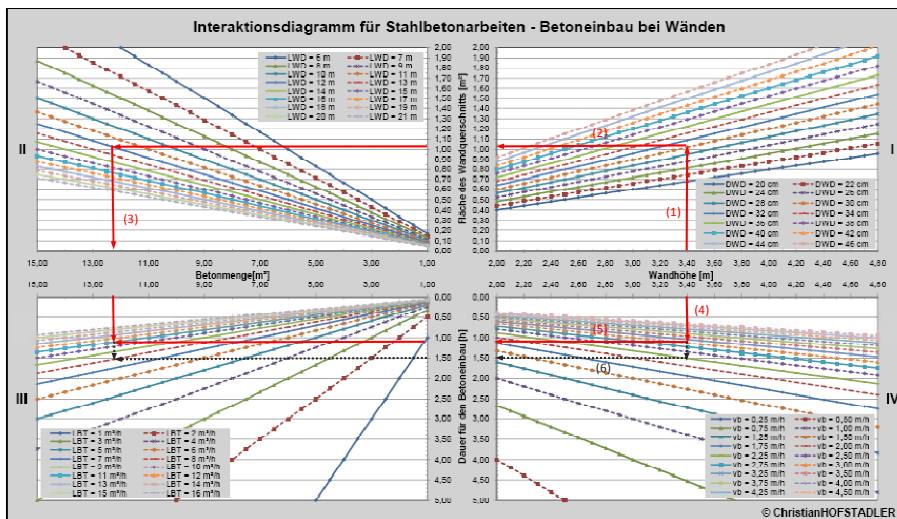


Bild 6.8: Interaktionsdiagramm-Betoneinbau bei Wänden<sup>147</sup>

Begonnen wird bei der Ermittlung der Betonierdauer und Betonierleistung im ersten Quadranten. Bei 3,40 m Wandhöhe wird von der Abszisse ausgehend eine Vertikale (1) nach oben gezeichnet und mit der Geraden für 30 cm Wanddicke zum Schnitt gebracht. Vom Schnittpunkt wird die Horizontale (2) nach links gezogen, bis sich der Schnittpunkt mit der Ordinate ergibt. Auf dieser ist die Fläche des Wandquerschnitts von 0,00 bis 2,00 m<sup>2</sup> aufgetragen. Für das konkrete Beispiel beträgt die Fläche des Wandquerschnitts ca. 1,05 m<sup>2</sup>.

Die Ordinate des zweiten Quadranten stimmt mit jener des dritten Quadranten überein. Die Horizontale (2) aus dem ersten Quadranten wird in den zweiten Quadranten verlängert und mit der Geraden für die Wandlänge von 12 m zum Schnitt gebracht. Vom Schnittpunkt wird wiederum eine Vertikale (3) zur Bestimmung der Betonmenge nach unten gezogen. Diese ist auf den Abszissen des zweiten und dritten Quadranten aufgetragen. Mit ca. 12,25 m<sup>3</sup> ist der Wert für die Betonmenge bestimmt. Für die Bestimmung der Betonierdauer wird die entsprechende Wandhöhe auf der Abszisse des vierten Quadranten ausgewählt. Bei 3,40 m wird eine Vertikale (4) nach unten gezeichnet und mit der Geraden für „v<sub>B</sub> = 3,00 m/h“ für die Steiggeschwindigkeit geschnitten. Vom Schnittpunkt wird eine Horizontale (5) nach links

<sup>147</sup> Vgl. Hofstadler (2006); S.98

gezogen bis sie auf die Ordinate, welche für die Betonierdauer (0,00 bis 5,00 h) steht, trifft. Auf der Ordinate wird die Dauer mit ca. 1,10 h abgelesen.

Die Betonierleistung ergibt sich nun, indem die Horizontale (5) nach links in den dritten Quadranten verlängert wird. Gleichzeitig wird die Vertikale (3) nach unten verlängert und mit (5) geschnitten. Der Schnittpunkt liegt zwischen den Geraden „ $L_{BT} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$  und  $L_{BT} = 11 \text{ m}^3/\text{h}$ “. Damit ist die Betonierleistung mit ca.  $10,5 \text{ m}^3/\text{h}$  bestimmt.

Aus baubetrieblicher Sicht ist nun die Frage interessant „Wie sich eine Reduktion der Steiggeschwindigkeit auf  $2,25 \text{ m/h}$  auf die Betonierdauer und -leistung auswirkt?“. Alle übrigen Parameter bleiben dabei konstant. Dazu wird im vierten Quadranten die Vertikale (4) bis zur Geraden für die Steiggeschwindigkeit von „ $v_b = 2,00 \text{ m/h}$ “ nach unten verlängert und mit dieser geschnitten. Vom Schnittpunkt wird die Horizontale (6) nach links bis zur Ordinate gezogen, wo sich der Wert für die Einbringdauer von  $1,50 \text{ h}$  ergibt. Die Verlängerung der Vertikalen (3) und der Horizontalen (6) in den dritten Quadranten ergibt einen Schnittpunkt auf der Geraden „ $L_{BT} = 8 \text{ m}^3/\text{h}$ “. Die Leistung der Betoneinbringung für die Wand hat sich also auf ca.  $8 \text{ m}^3/\text{h}$  verringert. Wird nun die Steiggeschwindigkeit um  $0,75 \text{ m/h}$  reduziert, ergibt dies eine Verlängerung der Betonierdauer von  $0,25 \%$  gegenüber der Ausgangsberechnung.<sup>148</sup>

## 6.7 Zusammenfassung

Wie in diesem Kapitel dargelegt werden konnte, unterliegt der Frischbetondruck komplexer Zusammenhänge. Er wird von mehreren Faktoren beeinflusst, die es zu berücksichtigen gilt, insbesondere bei der Auswahl der richtigen Schalung bzw. des richtigen Schalungssystems. Die Wahl der erforderlichen Schalung hat sowohl wirtschaftliche als auch baubetriebliche Auswirkungen, wie in dieser Arbeit noch gezeigt werden wird.

Das Interaktionsdiagramm trägt wesentlich dazu bei, baubetriebliche Zusammenhänge für den Betoneinbau bei vertikalen Bauteilen, wie z.B. Wänden, graphisch verknüpft darzustellen. Des Weiteren ist ersichtlich, welcher erheblichen baubetrieblichen Einfluss die Steiggeschwindigkeit auf Herstellungsprozesse von Stützen und Wänden einnimmt, insbesondere wenn Bauablaufstörungen oder Abweichungen vom Bauablauf eintreten.<sup>149</sup>

<sup>148</sup> Vgl. Hofstadler (2006); S.98ff

<sup>149</sup> Vgl. Hofstadler (2006); S.103

## 7 Das baubetriebliche Rechnungswesen

Nach *Wolkerstorfer, Drees, Hoffmann und der KLR Bau* wird die Bauauftragsrechnung, auch (Bau-) Kalkulation genannt, als Teil der Kosten und Leistungsrechnung eines Unternehmens angesehen. Um dies zu veranschaulichen, sei nachfolgend die Stellung der Bauauftragsrechnung im baubetrieblichen Rechnungswesen dargestellt.

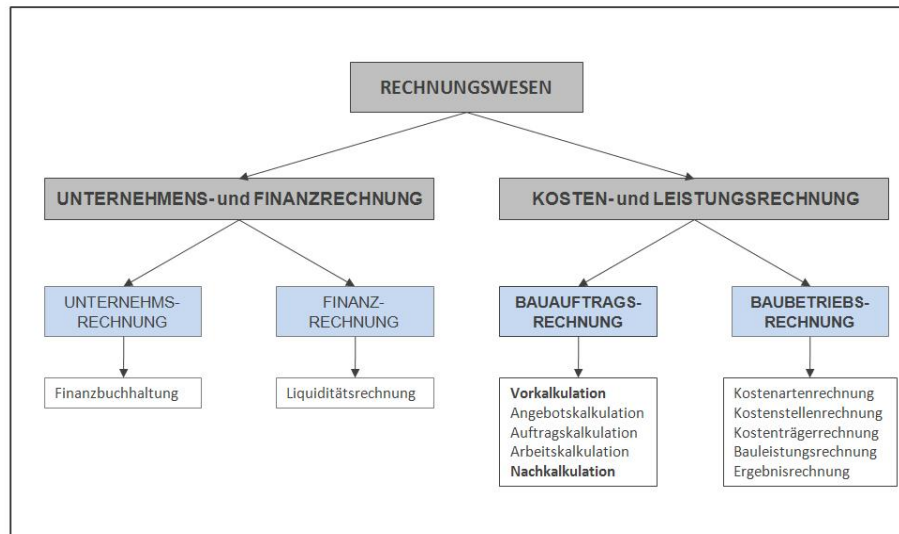


Bild 7.1: System des baubetrieblichen Rechnungswesens<sup>150</sup>

Auf die Unternehmens- und Finanzrechnung, die den außerbetrieblichen Werteverzehr einer Unternehmung aus den Geschäftsbeziehungen zur Umwelt (Kunden, Lieferanten, Lieferanten, Gläubiger) und die dadurch bedingten Veränderungen der Vermögens- und Kapitalverhältnisse erfasst, wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.<sup>151</sup>

In den nachstehenden Punkten werden die Kosten- und Leistungsrechnung sowie die Baubetriebsrechnung im Einzelnen erklärt.

### 7.1 Kosten- und Leistungsrechnung

Wie eingangs erwähnt, ist die Kosten- und Leistungsrechnung (KLR) Gegenstand des internen Rechnungswesens eines Unternehmens. Sie bildet eine unternehmensindividuelle Struktur, die durch gesetzliche Bestimmungen nicht reglementiert ist. Die Kosten- und Leistungsrechnung geht von den Leistungserstellungsprozessen eines Unternehmens aus und liefert durch detaillierte Ermittlung von Kosten

<sup>150</sup> Wolkerstorfer/Lang (2008); S.16

<sup>151</sup>Vgl. Drees/Paul (2010); S.17

und Leistungen eine Ziel-, Entscheidungs- und Führungsunterstützung im Unternehmen. Sie ist daher für die Planung und Steuerung des Leistungserstellungsprozesses ein zentrales und unverzichtbares Arbeitsinstrument. Es können folgende Aufgaben abgeleitet werden:<sup>152</sup>

- „Systematische Ermittlung und Auswertung von Kosten, Leistungen und Ergebnissen mit dem Ziel die Prozesse der Leistungserstellung nach dem Gebot der Wirtschaftlichkeit zu steuern und überwachen [...],
- Lieferung von Grundwerten für die Ermittlung des Fertigstellungsgrades eines Projektes, einer Leistung für den Jahresabschluss,
- Mengen- und Wertangaben für die betrieblichen Planungsprozesse,
- Schaffung von Grundlagen für Investitionsentscheidungen“.<sup>153</sup>

Die für das Bauwesen relevante Kosten- und Leistungsrechnung gliedert sich in die Bereiche Bauauftragsrechnung und Baubetriebsrechnung. Die KLR Bau 2001 sieht zusätzlich zu diesen Rechnungen noch die Soll-/Ist-Vergleichsrechnung und die Kennzahlenrechnungen vor. Auf die Baubetriebsrechnung, die Soll-/Ist Vergleichsrechnung und die Kennzahlenrechnung wird hier jedoch nicht näher eingegangen.

## 7.2 Die Bauauftragsrechnung

Die Bauauftragsrechnung eines Bauunternehmens unterscheidet sich stark von der Auftragsrechnung eines stationären Industriebetriebes. Durch die auftragsbezogene Einzelfertigung, die besondere Form des Preiswettbewerbes und die Vergabe von Bauleistungen in der Bauwirtschaft sind andere Kalkulationsverfahren als im stationären Industriebetrieb unerlässlich.<sup>154</sup>

Die Hauptaufgaben der Bauauftragsrechnung bestehen nun in der Kostenermittlung für Bauleistungen vor, während und nach Leistungserstellung. Ermittelt werden die Kosten der für die Herstellung der Bauleistung benötigten Dienste und Güter nach Menge und Wert. Die Kostenermittlung wird im allgemeinen Sprachgebrauch des Bauwesens häufig nur als Kalkulation oder Baukalkulation bezeichnet. Jedoch besteht die Baukalkulation aus zwei Teilen, einmal aus der Vorkalkulation und einmal der Nachkalkulation, die je nach Stand der

<sup>152</sup> Vgl. Girmscheid/Motzko (2007); S.89

<sup>153</sup> Girmscheid/Motzko (2007); S.89

<sup>154</sup> Vgl. Drees/Paul (2010); S.18

Leistungserstellung unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen haben. Die Vorkalkulation besteht wiederum aus der Angebotskalkulation, der Auftragskalkulation, der Arbeitskalkulation und der Nachtragskalkulation. Sie dient der Kostenermittlung vor Leistungserstellung. Die Aufgabe der Nachkalkulation liegt in der Kostenermittlung während und nach der Leistungserstellung.<sup>155</sup>

Nachstehend sind die Phasen der Kalkulation noch einmal in Abhängigkeit vom Stand der Auftragsabwicklung dargestellt.

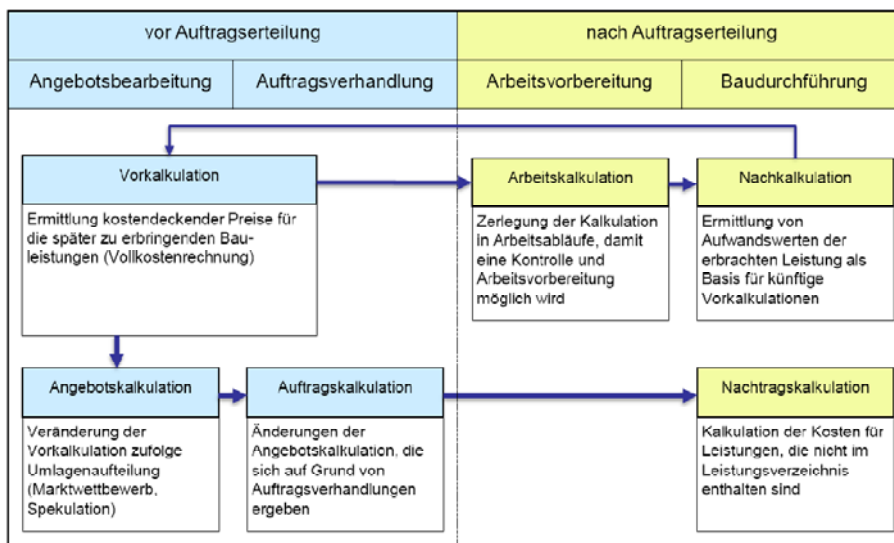


Bild 7.2: Phasen der Kalkulation im Bauwesen<sup>156</sup>

### 7.2.1 Vorkalkulation

Die Vorkalkulation kann als Überbegriff der Kostenermittlung vor Auftragserteilung verstanden werden.

### 7.2.2 Angebotskalkulation

Die Angebotskalkulation wird auf der Grundlage der Ausschreibungsunterlagen des Auftraggebers durchgeführt. Aufgrund der im Leistungsverzeichnis beschriebenen Teilleistungen und unter Berücksichtigung der Bauwerks-, Baustellen-, Bauverfahrens- und Betriebsbedingungen können die Kosten und in weiterer Folge die Angebotspreise der Leistungen ermittelt werden.<sup>157</sup>

<sup>155</sup> Vgl. KLR BAU (2001); S.30

<sup>156</sup> Hofstadler (2008); S.296

<sup>157</sup> Hofstadler (2008); S.297

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Preis der Angebotskalkulation zwei Kriterien zu erfüllen hat. Einerseits muss er so niedrig sein, dass er zum Auftrag führt und andererseits so hoch sein, dass er einen erwarteten Überschuss ergibt bzw. keine Verluste verursacht.<sup>158</sup>

### 7.2.3 Auftragskalkulation

Die zum Zeitpunkt der Vergabe gültige Angebotskalkulation wird als Auftrags- oder Vertragskalkulation bezeichnet. Die Angebotskalkulation ist mit der Auftragskalkulation dann ident, wenn sich keine Änderungen durch Auftragsverhandlungen ergeben. Änderungen können sich durch Folgendes ergeben:<sup>159</sup>

- „Preisnachlässe,
- Zahlungsplananpassungen,
- Mehr- oder Mindermengen,
- Pauschalierung von Leistungen,
- Änderung der Qualitätsstandards,
- Verschiebung von Fristen.“<sup>160</sup>

*Hofstadler*<sup>161</sup> listet dazu noch weitere Änderungen auf:

- Streichung von Positionen
- Aufnahme neuer Positionen
- Ersatz von Normal- durch Wahlpositionen
- Behandlung von Alternativvorschlägen
- geänderte Bauherrnwünsche
- neue Erkenntnisse aus Verhandlungsgesprächen
- neue Unterlagen

Diese Änderungen können in die Angebotskalkulation eingearbeitet werden.

<sup>158</sup> Vgl. Bauer (2007); S.669

<sup>159</sup> Vgl. Girmscheid/Motzko (2007); S.97

<sup>160</sup> Girmscheid/Motzko (2007); S.97

<sup>161</sup> Hofstadler (2008); S.298

### 7.2.4 Arbeitskalkulation

Nach Auftragserteilung beginnt die Arbeitsvorbereitung für das Bauvorhaben. Die Arbeitsvorbereitung hat zum Ziel das Bauwerk mit maximaler Wirtschaftlichkeit und unter den gegebenen Bedingungen (Bauverfahren, Bauablaufplanung etc.) zu erstellen. Da sich hier Änderungen in den Ausführungsmaßnahmen ergeben können, dient die Arbeitskalkulation dazu, diese Kostenauswirkungen zu ermitteln. Die Arbeitskalkulation ist also eine Weiterentwicklung der Angebots- und Auftragskalkulation unter der Berücksichtigung einer optimalen Bauausführung.<sup>162</sup>

Zusammengefasst hat die Arbeitskalkulation folgenden Aufgaben zu erfüllen:

- „Überprüfung des Preisniveaus des Gesamtauftrages (Soll-Spanne = Allgemeine Geschäftskosten, Gewinn und Wagnis) und der einzelnen Positionen.
- Richtlinie für die Bauleitung bei der wirtschaftlichen Abwicklung des Bauvorhabens (Wirtschaftlichkeitsvergleiche, Akkordvorgaben usw.).
- Vorgaben für die Kosten- und Leistungskontrolle mit Soll-Ist-Vergleich.
- Grundlage für die Leistungsermittlung.“<sup>163</sup>

### 7.2.5 Nachkalkulation

In der Nachkalkulation werden die bei der Bauausführung tatsächlich entstandenen Kosten- und Aufwandswerte ermittelt. Die Ermittlung dieser Werte erfolgt während und nach der Leistungserstellung. Dadurch können die Ansätze der Vorkalkulation überprüft werden. Darüber hinaus sollen durch die Nachkalkulation Richtwerte für künftige Angebotskalkulationen ähnlicher Bauvorhaben oder Teilleistungen gewonnen werden.<sup>164</sup>

Die Erfassung von Richtwerten bedingt die Unterscheidung der Nachkalkulation in eine:

- „Technische Nachkalkulation: Erfassung und Verarbeitung von Mengen- und Leistungsdaten.

<sup>162</sup> Vgl. Drees/Paul (2010); S.21

<sup>163</sup> KLR Bau (2001); S.31

<sup>164</sup> Vgl. Drees/Paul (2010); S.21

- Kaufmännische Nachkalkulation: Erfassung und Verarbeitung von Kostendaten.<sup>165</sup>

Um eine Nachkalkulation erstellen zu können, sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- „Die Umarbeitung der Angebotskalkulation in die Auftragskalkulation.
- Die Aufstellung einer Arbeitskalkulation.
- Eine exakte Kostenartenbestimmung zwischen der Arbeitskalkulation und der baustellenbezogenen Baubetriebsrechnung in der Buchführung.“<sup>166</sup>

### 7.2.6 Nachtragskalkulation

Die ÖNORM B 2110 (Jänner 2009) Pkt. 7.1 lautet auszugsweise: „Der AG ist berechtigt den Leistungsumfang zu ändern, sofern dies zur Erreichung des Leistungsziels notwendig und dem AN zumutbar ist.“<sup>167</sup>

In der Nachtragskalkulation werden daher Preise für Bauleistungen ermittelt, die nicht im Hauptvertrag vereinbart waren oder für die sich die Grundlage der Preisermittlung geändert haben. Sie wird zur Vorkalkulation gezahlt, obwohl sie nicht zum Bereich der Kalkulation vor der Bauausführung gezahlt wird. Grundsätzlich hat sich der Preis bei einer Nachtragskalkulation an vergleichbaren Positionen zu orientieren.<sup>168</sup>

## 7.3 Verfahren der Bauauftragsrechnung

Die Auftragsrechnung allgemein dient dazu, die Kosten der einzelnen Erzeugnisse und Produkte und in weiterer Folge deren Preise zu ermitteln. Hierzu sind mehrere Verfahren bekannt, jedoch ist nicht jedes im Bauwesen anwendbar. Bei den Verfahren gilt es zu unterscheiden in:

- Divisionskalkulation,
- Äquivalenzziffernkalkulation,
- Zuschlagskalkulation (mit vorberechneten Zuschlägen oder über die Endsumme),

<sup>165</sup> Girmscheid/Motzko (2007); S.105

<sup>166</sup> Leimböck/Klaus/Hölckermann (2007); S.3

<sup>167</sup> [ÖN 2110]; S.26

<sup>168</sup> Vgl. Drees/Paul (2010); S.21



- Verrechnungssatzkalkulation.<sup>169</sup>

In der Regel wird im Bauwesen die Zuschlagskalkulation zur Ermittlung der Kosten und Preise der einzelnen Teilleistungen angewendet. Daher wird auf die Zuschlagskalkulation im folgenden Punkt näher eingegangen. Da die anderen Verfahren für das Bauwesen eher eine untergeordnete Rolle spielen, werden sie nicht behandelt.

Das Verfahren der Zuschlagskalkulation erlaubt es, die unterschiedlichen Kosten, die bei mehrstufigen Produktionsabläufen auftreten, zu erfassen und zu berechnen. Dabei wird vom Prinzip ausgegangen, auf Grundlage eines Leistungsverzeichnisses die Kosten in (direkt zurechenbare) Einzelkosten und (indirekt zurechenbare) Gemeinkosten zu unterteilen. Die Einzelkosten werden dabei direkt der jeweiligen Teilleistung zugerechnet. Die Gemeinkosten sowie Wagnis und Gewinn werden über Zuschlagsätze (in %) den jeweiligen Positionen aufgeschlagen. In weiterer Folge errechnet sich der Einheitspreis einer Position aus der Summe der Einzelkosten und den umgelegten Gemeinkosten.<sup>170</sup>

Das Schema der Zuschlagskalkulation wird in Bild 7.2 dargestellt.

Einzelkosten der Teilleistung
+ Gemeinkosten der Baustelle
<hr/>
= <b>HERSTELLKOSTEN</b>
+ Allgemeine Geschäftskosten
+ Bauzinsen
<hr/>
= <b>SELBSTKOSTEN</b>
+ Wagnis und Gewinn
<hr/>
= <b>ANGEBOTSSUMME ohne Umsatzsteuer</b>
+ Umsatzsteuer
<hr/>
= <b>ANGEBOTSSUMME mit Umsatzsteuer</b>

Bild 7.3: Schema Zuschlagskalkulation

Die Zuschlagskalkulation kann je nach Art der Umlage der Gemeinkosten der Baustelle, der Geschäftsgemeinkosten, Wagnis und Gewinn, differenziert werden in:

- Kalkulation über die Angebotssumme
- Kalkulation mit vorberechneten Zuschlagssätzen

Die Kalkulation über die Angebotssumme stellt innerhalb der Zuschlagskalkulation das Regelverfahren dar. Die Vorgehensweise sieht dabei so aus, dass zunächst die Einzelkosten der Teilleistungen auf Grundlage des Leistungsverzeichnisses ermittelt werden. Die

<sup>169</sup> Vgl. Berner/Kochendörfer/Schach (2007); S.124

<sup>170</sup> Vgl. Berner/Kochendörfer/Schach (2007); S.125

Gemeinkosten der Baustelle werden in zeitabhängige und zeitunabhängige Kosten unterschieden und berechnet. In weiterer Folge werden die Beträge aus den Gemeinkosten der Baustelle, den Geschäftsgemeinkosten sowie aus Wagnis und Gewinn zusammengefasst und nach Ermittlung der Angebotssumme in Form eines Zuschlagsatzes den Einzelkosten der Teilleistung zugerechnet. Die Gemeinkosten der Baustelle, die Geschäftsgemeinkosten sowie die Ansätze für Wagnis und Gewinn müssen für jedes Projekt von neuem ermittelt werden.

Die Kalkulation mit vorberechneten Zuschlagsätzen ist vor allem bei Bauprojekten, die sich durch Baumassen, Bauleistungen und Auftragsvolumen ähnlich sind, geeignet. Es stellt ein verkürztes Verfahren dar, wobei die Einzelkosten der Teilleistungen spezifisch ermittelt werden. Die Gemeinkosten der Baustelle, die Geschäftsgemeinkosten sowie Wagnis und Gewinn, werden jedoch mit vorberechneten oder vorbestimmten Zuschlägen den Einzelkosten zugerechnet. Auf eine projektspezifische Ermittlung der Zuschlagsätze wird in diesem Verfahren verzichtet. Voraussetzung für die Anwendung von vorbestimmten Zuschlägen ist, dass sich die Kosten in ihrem Verhältnis zueinander nur gering oder gar nicht ändern. Festgehalten sei hier, dass die Kalkulation mit vorberechneten Zuschlagsätzen nur eine angenäherte Kostenermittlung ermöglicht.<sup>171</sup>

---

<sup>171</sup> Vgl. Berner/Kochendörfer/Schach (2007); S.126f

## 8 Kosten- und Preisermittlung nach ÖNORM B 2061

In Kapitel 8 wird die Kalkulation unter Anwendung der ÖNORM B 2061 von den Grundlagen über den Aufbau der Kostenermittlung bis hin zur Kalkulation des Baupreises erklärt. Dadurch sollen die wesentlichen Grundlagen für das Verständnis der Kalkulationsbeispiele geschaffen werden.

### 8.1 ÖNORM B 2061

Die ÖNORM B 2061 ist eine Verfahrensnorm zur Preisermittlung von Bauleistungen auf Grundlage eines Leistungsverzeichnisses und eine Darstellung der Kalkulation. Durch die Regelung der Preisermittlung soll diese einheitlich, übersichtlich und für Dritte nachvollziehbar sein. Die Norm wird unter den nachfolgenden Punkten nach deren Inhalt beschrieben. Der Aufbau der Kosten- und Preisermittlung in der ÖNORM B 2061 folgt dem Aufbau der Zuschlagskalkulation (siehe Kapitel 7 Pkt. 7.3.1 dieser Arbeit).

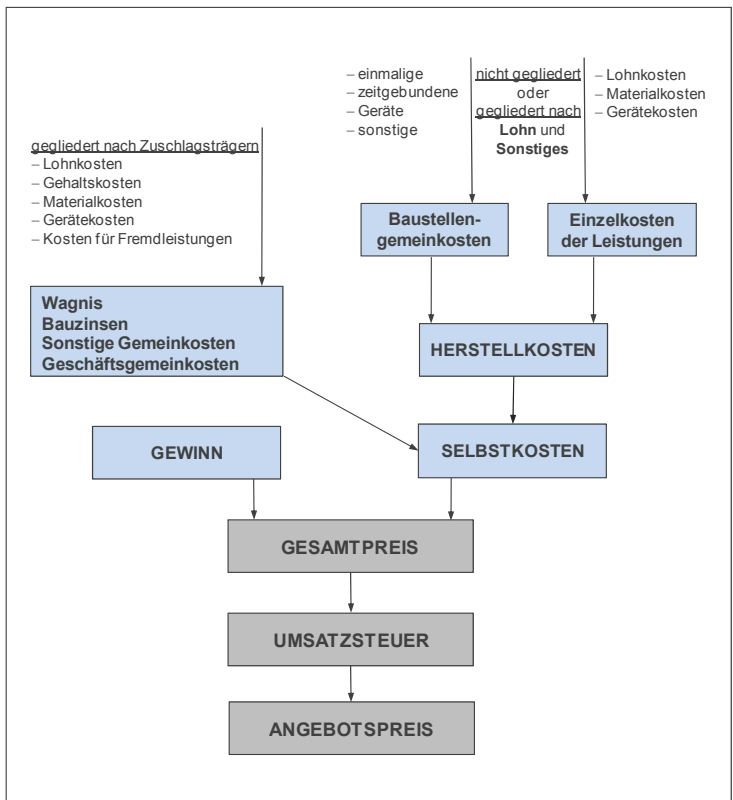


Bild 8.1: Aufbau Kosten- und Preisermittlung nach ÖNORM B 2061<sup>172</sup>

<sup>172</sup> Vgl. Wolkerstorfer/Lang (2008); S.26

Die ÖNORM B 2061 sieht unabhängig davon, ob die Kosten auf der Baustelle oder im Gesamtbetrieb entstehen, die Gliederung in folgende Kostenartengruppen vor.

- Personalkosten
- Materialkosten
- Gerätekosten
- Kosten für Fremdleistungen
- Zinskosten
- Andere Kosten

Die Grundlage der Personalkosten bilden die Löhne und Gehälter, deren Höhe von kollektivvertraglichen und betrieblichen Vereinbarungen sowie gesetzlichen Bestimmungen abhängig ist. Die Lohnkosten können nach ÖNORM B 2061 folgend eingeteilt werden:

- kollektivvertragliche Löhne,
- Aufzahlung aus Zusatzkollektivverträgen,
- Überkollektivvertragliche Mehrlöhne,
- Aufzahlung für Mehrarbeit, Erschwernisse und dgl.,
- Sondererstattungen (Wegzeiten, Trennungsgelder, Reisekosten und dgl.).

Die ÖNORM B 2061 merkt an, dass die Zusammensetzung der Gehaltskosten sinngemäß den Lohnkosten entspricht.

Zu den Lohnkosten zählen noch die Lohnnebenkosten, welche in direkte Lohnnebenkosten, umgelegte Lohnnebenkosten und andere lohnggebundene Kosten eingeteilt werden können. Welche zusätzlichen Zahlungen (Versicherung, Urlaubsgeld, Abgaben) zu den jeweiligen Lohnnebenkosten zu zählen sind, kann der ÖNORM B 2061 unter Pkt. 4.1.1 Tabelle 1 entnommen werden.

Die Materialkosten entsprechen den Einkaufspreisen ab Auslieferungsstelle oder frei Baustelle. Dabei wird in Baumaterial, Hilfsmaterial (Gerüst- und Schalungsmaterial) und Betriebsstoffe (Treibstoffe, elektrische Energie) unterschieden.

Zu den Gerätekosten zählen die Kosten für Abschreibung und Verzinsung sowie für die Instandhaltung (Reparatur) der Geräte. Üblicherweise werden Geräte aus der „ÖBGL-Österreichische Baugeräteliste“ ermittelt.

Unter Kosten für Fremdleistungen werden bspw. Angebote Drittunternehmen oder Tarife und Richtpreise verstanden.

Zinskosten werden durch die Bereitstellung des Kapitals verursacht, welches für die Betriebsführung, Durchführung des Bauauftrages und

eventuelle Vorfinanzierung in Abhängigkeit der Haftungs- und Zahlungsbedingungen notwendig ist.<sup>173</sup>

## 8.2 Aufbau der Kostenermittlung<sup>174</sup>

Der Aufbau der Kostenermittlung nach der ÖNORM B 2061 erfolgt auf Grundlagen der Kostenarten, welche in Abschnitt 4 dieser Norm angeführt sind und welche unter Punkt 8.1.1 dieser Arbeit beschrieben wurden. Die ÖNORM B 2061 weist des Weiteren darauf hin, dass die Bestimmungen der Werkvertragsnormen bei der Erstellung von Angeboten zu beachten sind.

Gemäß den Kostenarten-Grundlagen können folgende Kosten für konkrete Leistungen ermittelt werden:

- Einzelkosten
- Baustellen-Gemeinkosten
- Geschäftsgemeinkosten
- Sonstige Gemeinkosten
- Bauzinsen
- Wagnis
- Gewinn

Die oben angeführten Kosten, die der Kostenermittlung dienen, werden unter den nachstehenden Punkten im Einzelnen genauer erklärt.

### 8.2.1 Einzelkosten

„Einzelkosten sind Kosten der Leistungserbringung, die einer bestimmten Leistung direkt zugeordnet werden können.“<sup>175</sup>

Sie setzen sich aus fixen und variablen Kosten zusammen und können folgendermaßen unterteilt werden:

- Einzellohnkosten
- Einzelmaterialkosten
- Einzelgerätekosten

<sup>173</sup> Vgl. ÖN B 2061 (1999); S.7ff

<sup>174</sup> Vgl. ÖN B 2061 (1999); S.9ff

<sup>175</sup> ÖN B 2061 (1999); S.6

Die Einzelkosten sind Zuschlagsträger, d.h. auf sie wird der Gesamtzuschlag aufgeschlagen.

Die Einzellohnkosten je Leistungseinheit ergeben sich aus dem kalkulierten Zeitaufwand (Aufwandswert) für die jeweilige Leistung (inkl. Gerätebedienung) und den Mittellohnkosten. Des Weiteren zählen zu den Einzellohnkosten noch die Lohnkosten der Lade- und Lagerungsarbeiten, der Baumaterialien, der Lohnanteil der Geräteinstandhaltung (Reparatur) und der Lohnanteil von Fremdleistungen.

Die Einzelmaterialkosten je Leistungseinheit ergeben sich unter Zugrundelegung der Materialkosten aus dem kalkulierten Bedarf an Bau- und Hilfsmaterialien, Betriebsstoffen und der Verschleiß- und Wartungskosten von Geräten. Weiters zählen dazu noch der Materialkostenanteil der Geräteinstandhaltung (Reparatur) und die Kosten von Fremdleistungen.

Die Einzelgerätekosten je Leistungsgerät ergeben sich aus dem angenommenen Zeitaufwand (Aufwandswert) für die Erbringung der jeweiligen Leistung und den Kosten für Abschreibung und Verzinsung. Des Weiteren zählt zu den Einzelgerätekosten noch der Geräteanteil der Kosten für Fremdleistungen. Die Kosten, die durch Vorhaltegeräte entstehen, sind in eigenen Positionen den Gemeinkosten der Baustelle zuzuordnen. Als Hilfsmittel zur Ermittlung der Gerätekosten kann die österreichische Baugeräteliste herangezogen werden, wobei unternehmensspezifische Erfahrungswerte diese ersetzen oder abändern können.<sup>176</sup>

### 8.2.2 Baustellen-Gemeinkosten

Baustellen-Gemeinkosten sind „Kosten der Leistungserbringung, die den einzelnen Leistungspositionen nicht unmittelbar zugeordnet werden können. Die Kosten können auf der Baustelle oder im Unternehmen anfallen.“<sup>177</sup>

Baustellen-Gemeinkosten bestehen aus fixen und variablen Kosten und sind grundsätzlich in eigenen Positionen zu erfassen. Sie sind nach zeitlichen sowie technischen Abschnitten des Bauablaufs und nach allfälligen Stillliegezeiten genau zu gliedern. Sie sind Zuschlagsträger des Gesamtzuschlags und setzen sich sinngemäß wie die Einzelkosten aus Personalkosten, Materialkosten und Gerätekosten zusammen. Die Gemeinkosten der Baustelle können wie folgt aufgegliedert werden:

<sup>176</sup> Vgl. ÖN B 2061 (1999); S.9

<sup>177</sup> ÖN B 2061 (1999); S.5

- Einmalige Kosten der Baustelle: Lohnkosten für die Baustelleneinrichtung und -räumung, sowie die dazugehörigen Stoff-, Transport- und Gerätekosten.
- Zeitgebundene Kosten der Baustelle: Fallen bei der Leistungserbringung in annähernd gleicher Höhe je Zeiteinheit an und laufen auch bei Bauunterbrechungen weiter. Sie sind in eigenen Positionen je Zeiteinheit zu erfassen. Zu diesen Kosten zählen die Personalkosten (Löhne und Gehälter) für die in der Baudurchführung eingesetzten Angestellten sowie für unproduktives Personal und die Kosten für den Betrieb der Baustelle (Beleuchtung, Telefon etc.).
- Gerätekosten der Baustelle: Kosten für die Abschreibung und Verzinsung sowie Instandhaltung (Reparatur) der Vorhaltegeräte, also Geräte, die nicht als Einzelgerätekosten in den Leistungspositionen erfasst sind.
- Sonstige Kosten der Baustelle: Umfassen sämtliche Kosten, die über den üblichen Leistungsumfang hinausgehen, jedoch für die Leistungserbringung erforderlich sind. Hierbei können Kosten für auftragsbezogene Planung, Aufnahme des Probetriebes sowie der Dokumentation anfallen.<sup>178</sup>

### 8.2.3 Gesamtzuschlag

Die Kosten der Zuschlagträger werden durch Beaufschlagung des Gesamtzuschlages zu Preisen. Zuschlagträger des Gesamtzuschlages sind Lohnkosten, Gehaltskosten, Materialkosten, Gerätekosten und Fremdleistungskosten. Der Gesamtzuschlag setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- Geschäftsgemeinkosten
- sonstige Gemeinkosten
- Bauzinsen
- Wagnis
- Gewinn

Kosten, die im Unternehmen anfallen, gehen als Geschäftsgemeinkosten in die Kalkulation ein. Zu den Geschäftsgemeinkosten zählen Gehälter, Steuern, Bürokosten, Kosten für Versicherung etc. Diese sind jährlich aufgrund der entstandenen oder geplanten Kosten über den Umsatz zu ermitteln. Der ermittelte Prozentsatz dient der weiteren Preisermittlung.

<sup>178</sup> Vgl. ÖN B 2061 (1999); S.10f

Zu den sonstigen Gemeinkosten gehören fallweise auftretende, auf den Umsatz bezogene Kosten (z.B. besondere Versicherungen, Vorfinanzierungen).

Unter den Bauzinsen versteht man die Kosten des für die Baudurchführung erforderlichen Kapitals und die Kosten für Sicherstellungen. Die für die Betriebsführung und für die Gerätekosten erforderlichen Zinskosten gehören nicht dazu.

Zur Abdeckung des Unternehmerwagnisses ist den Kosten der Leistungserbringung ein Wagniszuschlag zuzurechnen. Dieser lässt sich erfahrungsgemäß oder vergleichsweise abschätzen. Er dient der Berücksichtigung der Risiken in Ausschreibung, Angebot und Bauausführung. Ist ein Wagnis durch eine Versicherung gedeckt, so ist die Prämie den sonstigen Kosten der Baustelle zuzurechnen.

Der Gewinn wird zu den Kosten der Leistungserbringung als Zuschlag in der Kalkulation eingerechnet. Aus ihm ist ein etwaiges ungedecktes Wagnis zu bestreiten.<sup>179</sup>

#### 8.2.4 Preisanteile

In der Regel werden die Positionen eines Leistungsverzeichnisses in zwei Preisanteile aufgegliedert. Dabei ist in einen Preisanteil „Lohn“, welcher durch die Einzellohnkosten zuzüglich des Gesamtzuschlags gebildet wird, und in einen Preisanteil „Sonstiges“, welcher durch die Einzelmaterialkosten und die Einzelgerätekosten jeweils zuzüglich des Gesamtzuschlages gebildet wird, zu differenzieren.<sup>180</sup>

<sup>179</sup> Vgl. ÖN B 2061 (1999); S.11

<sup>180</sup> Vgl. ÖN B 2061 (1999); S.13



### 8.3 Durchführung der Preisermittlung

Die ÖNORM B 2061 kennt zwei Verfahren zur Preisermittlung von Bauleistungen. Dabei kann die Ermittlung der Preise entweder über die Kostenkalkulation oder die Preiskalkulation durchgeführt werden. Das für diese Arbeit relevante Verfahren ist jenes der Kostenkalkulation. Daher wird auf die Preiskalkulation nicht näher eingegangen. Das Ergebnis jeder Preisermittlung sind die Einheits- und Pauschalpreise.

Bei der Kostenkalkulation werden aus den Kosten die Einheits- und Pauschalkosten (Herstellkosten) der Einzelleistung berechnet und in weiterer Folge durch Beaufschlagung des Gesamtzuschlages die Einheits- und Pauschalpreise gebildet. Das folgende Schema soll zur Veranschaulichung den Verlauf der Kostenkalkulation von den Herstellkosten zum Positionspreis zeigen.

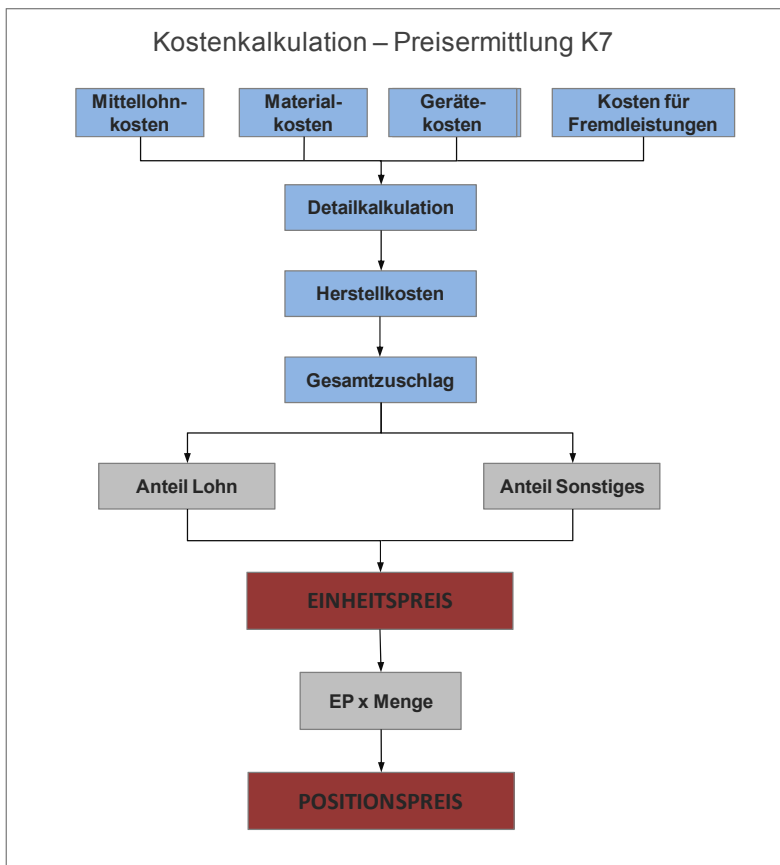


Bild 8.2: Schema Kostenkalkulation<sup>181</sup>

Für die Durchführung der Preisermittlung wird von der ÖNORM B 2061 die Anwendung der Kalkulationsformblätter empfohlen. Diese sind zur Ermittlung wie folgt zu unterscheiden:

<sup>181</sup> Wolkerstorfer/Lang (2008); S.33

- Formblatt K3 Mittellohnkosten, Regielohnkosten, Gehaltskosten
- Formblatt K4 Materialkosten
- Formblatt K5 Kosten für Produkte, Leistungen
- Formblatt K6 Gerätekosten
- Formblatt K6A Gerätekosten (Ergänzung)
- Formblatt K7 Preisermittlung

Im Formblatt K3 werden zusätzlich zu den Personalkosten auch noch die Gesamtzuschläge ermittelt.<sup>182</sup>

Auf den Aufbau der einzelnen Kalkulationsformblätter wird hier nicht weiter eingegangen. Hier sei auf den Anhang A der ÖNORM B 2061: 1999 verwiesen.

## 8.4 Kalkulation von Betonarbeiten

Um die Herstellungskosten einzelner Bauteile zu ermitteln, müssen die Lohn-, Geräte- und Materialkosten kalkuliert werden. Für die Kalkulation von Betonarbeiten müssen neben den Materialkosten für Beton auch die Gerätekosten für die Pumpe sowie Kran berücksichtigt werden

### 8.4.1 Kalkulation der Lohnkosten

Die Lohnkosten für die Betonarbeiten folgen aus der Multiplikation des Aufwandswertes und des Mittellohns. In einer ersten groben Kalkulation können die Mittellohnkosten von vergleichbaren Projekten herangezogen werden. In weiterer Folge sollten jedoch die Mittellohnkosten im K3-Blatt je nach Mannschaftsständen auf der Baustelle für das Projekt spezifisch ermittelt werden. Dabei fließen folgende Randbedingungen ein:

- Kalkulierte Mannschaft (Facharbeiter, Hilfsarbeiter etc.)
- Arbeitszeitmodell
- Kollektivvertraglicher Mittelohn
- Überkollektivvertragliche Mehrlöhne
- Aufzahlung für Mehrarbeit
- Aufzahlung für Erschwernisse
- Umgelegte Lohnnebenkosten etc.

<sup>182</sup> Vgl. ÖN B 2061 (1999); S. 14

Diese Parameter können in den Hilfsblättern H1 bis H3, welche dem K3-Blatt beigelegt sind, berechnet werden.<sup>183</sup>

#### 8.4.2 Kalkulation der Materialkosten

Unter die Materialkosten fallen Kosten für Kleinteile, Kleinmaterial und die Baustoffkosten. Die Baustoffkosten werden Bestandteil des zu errichtenden Bauteils und in weiterer Folge des Bauwerks. Baustoffe sind nach den Einkaufspreisen der Lieferanten incl. Rabatt, excl. Umsatzsteuer und je eingebauter Mengeneinheit zu kalkulieren. Hinzu kommen noch die Transportkosten zur Baustelle, eventuell Kosten für Förderung auf der Baustelle und die Kosten für Verlust (Erfahrungszuschlag zu den Materialkosten).<sup>184</sup>

#### 8.4.3 Preisermittlung von Betonarbeiten

Die Preisermittlung für die Herstellung von Bauleistungen erfolgt wie schon erwähnt im Kalkulationsformblatt K7. Dabei ist zu unterscheiden, ob der Betoneinbau mit Kran und Kübel erfolgt oder ob der Beton mittels einer Pumpe in die Schalung eingebracht wird. Dadurch gilt es, unterschiedliche Lohn- und Gerätekosten zu berücksichtigen. Erfahrungsgemäß müssen für den Betoneinbau mit Kran und Kübel 3 Arbeitskräfte und 2 bis 3 für den Einbau mit Pumpe eingesetzt werden. Die Gerätekosten für den Kran werden normalerweise den Gemeinkosten der Baustelle zugerechnet. Für einen Vergleich zwischen den Gerätekosten der Pumpe und den Gerätekosten des Krans, können jedoch die Krankosten auf die Einzelkosten der Teilleistung verursachungsgerecht umgelegt werden. Durch die Pumpe fallen Pauschalkosten durch das Auf- und Abbauen der Pumpe auf der Baustelle an. Diese müssen in weiterer Folge noch auf die Einbaumenge umgelegt werden.

---

<sup>183</sup> Vgl. Hofstadler (2008); S.300

<sup>184</sup> Vgl. Oberndorfer/Kuckacka (2002); S.73

## 9 Kennzahlen von Betonarbeiten

Aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht müssen zwei essentielle Kennzahlen definiert werden: der Leistungs- und Aufwandswert. Der Aufwandswert ist die entscheidende Kennzahl zur Ermittlung der Lohnkosten von arbeitsintensiven Tätigkeiten. Die Leistungswerte können sich wiederum einerseits auf die Produktivität von Arbeitskräften oder andererseits auf die Leistungsfähigkeit von Arbeitsgruppen oder Geräten beziehen. Dies sei eingehender in den nachfolgenden Punkten erklärt.

### 9.1 Begriffe

Unter Punkt 9.1 werden die variablen Größen Arbeitszeit, Zeitstunden und Lohnstunden, welche für die Ermittlung der Aufwands- und Leistungswerte definiert werden müssen, kurz erklärt.

#### 9.1.1 Arbeitszeit

Nach *Oberndorfer*<sup>185</sup> ist die Arbeitszeit AZ [h/d] eines Menschen die Zeit, während der ein Arbeitnehmer seine Arbeitskraft dem Arbeitgeber zur Verfügung stellt. Sie wird als die Zeit vom Beginn bis zum Ende der Arbeit ohne Ruhepausen verstanden. Die Tagesarbeitszeit ist die Arbeitszeit innerhalb eines ununterbrochenen Zeitraums von 24 Stunden.

#### 9.1.2 Zeitstunden<sup>186</sup>

Die Zeitstunden sind die für die Ausführung der Leistung erforderliche Zeit ausgedrückt in Stunden [h].

#### 9.1.3 Lohnstunden

„Wird in der Kalkulation zunächst für jeden Arbeitsvorgang einer Teilleistung erfasst und erst in einem weiteren Bearbeitungsschritt in die Lohnkosten umgerechnet. Die Lohnstunde dient damit als Maßeinheit für die menschliche Arbeit.“<sup>187</sup>

<sup>185</sup>Vgl. Oberndorfer/Jodl (2001); S. 20

<sup>186</sup> Aigner (2003); S.14

<sup>187</sup> Brüssel (2002); S.237f

Eine weitere Definition der Lohnstunden lautet: „Die auf den Mannschaftsstand bezogene Anzahl von Stunden, die für die Erbringung der Leistung erforderlich sind. Die Lohnstunden werden auch als Mannstunden bezeichnet. Sie sind das Produkt aus Arbeitskräften und Zeitstunden.“<sup>188</sup>

Lohnstunden [Std] = Arbeitskräfte [Std/h] · Zeitstunden [h]

#### 9.1.4 Leistungswerte

„Leistungswerte für Stahlbetonarbeiten geben an, welche Betonmengen, bezogen auf eine bestimmte (gewählte) Zeiteinheit, durchschnittlich „eingebaut“ werden.“<sup>189</sup>

Die Leistung kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$L_{\text{STB}} = \frac{AK_{\text{STB}} \cdot AZ_{\text{STB}}}{AW_{\text{STB}}}$$

Der Zähler dieser Formel errechnet sich aus der Anzahl der Arbeitskräfte  $AK_{\text{STB}}$  [Std/h] multipliziert mit der täglichen Arbeitszeit  $AZ_{\text{STB}}$  [h/d]. Im Nenner steht der Gesamt-Aufwandswert  $AW_{\text{STB}}$  [Std/m<sup>3</sup>] für Stahlbetonarbeiten.

Für eine grobe Betrachtung der Tätigkeiten genügt es, den Leistungswert als Durchschnittswert zu ermitteln, d.h. es werden bspw. für die Berechnung mittlere Aufwandswerte herangezogen. In dieser Arbeit wird jedoch eine detaillierte Betrachtung der Stahlbetonarbeiten an vertikalen Bauteilen durchgeführt, daher ist es zielführend, genaue Aufwandswerte der einzelnen Arbeiten heranzuziehen. Sind Leistungswerte für andere Bauleistungen wie Schalungs- oder Bewehrungsarbeiten zu berechnen, sind hierfür die jeweiligen Aufwandswerte in die angeführte Formel einzusetzen.<sup>190</sup>

Die Leistungswerte für Baugeräte können nach folgender Formel berechnet werden:<sup>191</sup>

<sup>188</sup> Aigner (2003); S.15

<sup>189</sup> Hofstadler (2007); S.108

<sup>190</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.108f

<sup>191</sup> Hoffmann (2011); S.982

$$\text{Leistungsansatz} = \frac{\text{ausgeführte Menge}}{\text{Zeiteinheit}}$$

Dabei steht die ausgeführte Menge z.B. für den m<sup>3</sup> geförderten Beton und die Zeiteinheit wird in Stunden angegeben. Für den Betoneinbau bei Wänden oder Stützen ist diese Angabe besonders bei der Auswahl des Fördergerätes von Bedeutung, da danach das Fördergerät Kran und Kübel oder Pumpe ausgewählt wird.

### 9.1.5 Aufwandswerte

Aufwandswerte stellen in jeder Phase der Kalkulation eine wesentliche Größe dar. In der Angebotsphase dienen sie der Kosten- und Zeitberechnung der einzelnen Leistungen. In der Phase der Arbeitsvorbereitung können Ressourceneinsätze sowie Fertigungsabläufe über die Berechnung der Dauer der einzelnen Vorgänge geplant werden. Für die Berechnung der Dauer werden die Aufwandswerte als Grundlage herangezogen. In der Nachkalkulation werden Aufwandswerte aufgezeichnet und als Erfahrungswerte für spätere ähnliche Bauvorhaben herangezogen. Im Zuge der Bauausführung dient der Aufwandswert als Kontrolle des Bauablaufs.<sup>192</sup>

Definition nach *Hofstadler*<sup>193</sup>: „Der Aufwandswert  $AW_{a,v,i}$  [Std/Eh] ist der Quotient aus der Summe der Lohnstunden  $\Sigma L_{Std,a,v,i}$  [Std] und der Produktionsmenge  $M_{a,v,i}$  [Eh (m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>,to)] und wird nach folgender Formel berechnet.“

$$AW_{a,v,i} = \frac{\Sigma L_{Std,a,v,i}}{M_{a,v,i}}$$

Der Aufwandswert wird in seiner Größenordnung von mehreren Faktoren beeinflusst. Dabei kann einerseits in baubetriebliche und andererseits in bauwirtschaftliche Einflüsse differenziert werden. Diese Einflüsse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Generelle Baustellenbedingungen (Witterung, unvorhersehbare Ereignisse);
- Allgemeine Betriebsbedingungen (Leistungswille und Qualifikation der Mannschaft, Qualität der Arbeitsvorbereitung);

<sup>192</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.19f

<sup>193</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.20

- Spezifische Bauwerksbedingungen (Baustoffe, Baustellen- und Arbeitsplatzbedingungen, Bauweise);
- Einflüsse des Bauverfahrens (Art des Einbauverfahrens, Kranabhängigkeit).<sup>194</sup>

Für den Aufwandswert von Betonarbeiten sind vor allem die Bauwerks- und Bauteilgeometrie als Einflussfaktor hervorzuheben. Die Bauwerksgeometrie hat einen Einfluss auf die Transportwege und damit auf die Transportleistung der einzelnen eingesetzten Geräte. Des Weiteren werden die Betonierabschnitte und die Fugenanordnung wesentlich durch die Bauwerksgeometrie beeinflusst. Die Bauteilgeometrie und -abmessung haben einen Einfluss auf den Aufwandswert, da in schlanke und dicht bewehrte Bauteile der Beton schwieriger einzubringen und zu verdichten ist als in massige leicht bewehrte Bauteile. Diesem Umstand wird durch die differenzierte Betrachtung von horizontalen Bauteilen (Decken) und vertikalen Bauteilen (Wände, Stützen) Rechnung getragen.

Des Weiteren beeinflussen die betontechnologischen Eigenschaften wie die Betongüte, Konsistenz und der Kornaufbau der Zuschlagsstoffe den Aufwandswert von Betonarbeiten. Diese Einflussgrößen werden in der Literatur kaum bis gar nicht berücksichtigt, obwohl die Konsistenz bspw. einen erheblichen Einfluss hat. Davon ist die Auswahl der Geräte und Verfahren, der Transport- und Verteilungsaufwand, die Verdichtungsintensität sowie die über das Verdichtungsmaß gemessene mögliche effektive Leistung betroffen.<sup>195</sup>

Zu den Aufwandswerten sind noch Lohnstunden für vorbereitende und abschließende Arbeiten hinzuzurechnen. Diese beinhalten neben dem Aufbau und Abbau von Gerüsten und Pumpleitungen auch noch das Bereitstellen von Rüttlergeräten, das Säubern der Einbaustelle und allgemeine Nacharbeiten. Diese Tätigkeiten können i.d.R. von einem Mann oder Zwei-Mann durchgeführt werden.<sup>196</sup>

Als Anhaltspunkt seien in den Tabellen 9-1 Aufwandswerte für das Betonieren von Wänden aus der Literatur wiedergegeben.

<sup>194</sup> Vgl. Schub/Meyran (1982); S.66f

<sup>195</sup> Vgl. Schub/Meyran (1982); S.76f

<sup>196</sup> Vgl. Fleischmann (1999); S.18

Aufandswerte Wände betonieren			
Wände bis 5m Höhe			
Bauteilabmessungen	EH	Stundensatz	EH
d = 10 bis 15 cm	m <sup>3</sup>	1,00 bis 1,40	Std
d = 16 bis 25 cm	m <sup>3</sup>	0,80 bis 1,20	Std
d = 26 bis 40 cm	m <sup>3</sup>	0,60 bis 1,00	Std
d = 41 bis 60 cm	m <sup>3</sup>	0,40 bis 0,80	Std
d > 60 cm	m <sup>3</sup>	0,35 bis 0,60	Std

Tabelle 9-1: Aufandswerte Wände betonieren<sup>197</sup>

Zu den bauwirtschaftlichen Einflussfaktoren, die nach einer baubetrieblichen Betrachtung herangezogen werden sollten, zählen neben den Bauwerks-, Baustellen- und Betriebsbedingungen auch noch die Bauverfahren, die Marktsituation und die Einkaufssituation.<sup>198</sup>

Der Ermittlung der Aufandswerte von Betonarbeiten unter besonderer Berücksichtigung der Steiggeschwindigkeit des Frischbetons wird das folgende Kapitel gewidmet.

<sup>197</sup> Hoffmann (2011); S.1061

<sup>198</sup> Vgl. Hofstadler (2008); S.308



## 10 Ermittlung der Aufwandswerte

Das folgende Kapitel behandelt die Ermittlung der Aufwandswerte für die Betonarbeiten in Abhängigkeit unterschiedlicher Wandabschnittslängen. Ausgehend von der Ermittlung der Betonierleistung für Pumpe sowie Kran und Kübel wird die Ermittlung des Aufwandswertes aufgezeigt. Einerseits werden baubetriebliche Einflussgrößen wie die Wahl unterschiedlicher Steiggeschwindigkeiten oder die Wahl unterschiedlicher Schalungssysteme beleuchtet. Andererseits sollen betontechnologische Aspekte wie die Wahl verschiedener Konsistenzklassen, das Eintreten unterschiedlicher Erstarrungsenden oder verschiedene Einbautemperaturen untersucht werden.

### 10.1 Betonierleistung

Die Grundleistungen für Pumpe sowie Kran und Kübel wird spezifisch für jede Wandsituation neu ermittelt. Durch die Ankerung der Schalung ist ein kontinuierliches Betonieren nicht möglich, da der Betonierschlauch oder das Schüttrohr je nach Ankerabstand neu versetzt werden muss. Der Zeitverlust, der sich dadurch beim Betonieren ergibt, muss in die Leistung eingerechnet werden. Je nach Wandabschnittslänge ergeben sich daher größere Unterbrechungszeiten. Dies sei in der folgenden Abbildung noch einmal schematisch dargestellt.

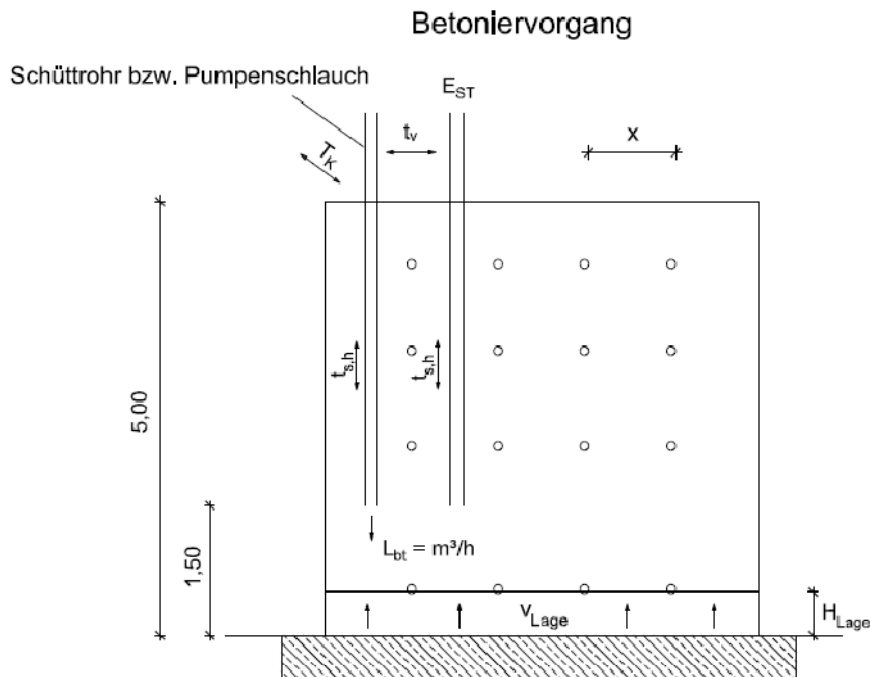
Dabei sind die Abkürzungen folgendermaßen zu verstehen:

$v_{Lage}$	Lagensteiggeschwindigkeit [m]
$H_{Lage}$	Höhe der Betonierlage [m]
$L_{Bt}$	Betonierleistung [ $m^3/h$ ]
$t_h$	Zeit Heben Schüttrohr/Pumpenschlauch [min]
$t_s$	Zeit Senken Schüttrohr/Pumpenschlauch [min]
$t_v$	Zeit für Versetzen des Schüttrohrs/Pumpenschlauchs [min]
$T_K$	Kranspielzeit [min]
$x$	horizontaler Ankerabstand [m]
$E_{St}$	Anzahl der Einbringstellen [-]

Dabei kann die Lagensteiggeschwindigkeit wie folgt berechnet werden:

$$v_{Lage} = \frac{H_{Lage}}{t_{Lage}} = [m/h]$$

Dabei ist mit  $t_{\text{Lage}}$  die Gesamtzeitdauer für das Betonieren einer Lage zu verstehen.



**Bild 10.1: Betoniervorgang schematisch**

Hier mit  $E_{\text{St}}$  bezeichnet bezieht sich auf die Anzahl der Einbringstellen des Betons am Bauteil. Als Einbringstelle kann der Raum zwischen den Schalungsankern verstanden werden. Die Anzahl variiert je nach ermittelten Ankerabständen, welche durch die Schalung vorgegeben sind.

Es ist anzumerken, dass bei einer Schüttlage von maximal 50 cm ein zu schnelles Entleeren des Kübels oder Betonfördern der Pumpe zu einem Überschreiten der zulässigen Steiggeschwindigkeit führt. Die Betoniergeschwindigkeit darf maximal gleich der maximalen Steiggeschwindigkeit sein. Ansonsten würde der zulässige Frischbetondruck überschritten werden.

### 10.1.1 Ermittlung der Betonierleistung der Pumpe

Wie aus Bild 10.1 hervorgeht, gilt es, bei der Ermittlung der Betonierleistung neben der maximalen Steiggeschwindigkeit des Frischbetons noch die Verteilzeiten für das Senken und Heben sowie Versetzen des Pumpenschlauchs zu berücksichtigen. Die folgenden Berechnungen sollen die Überlegungen, die dahingehend anzustellen sind, verdeutlichen.

Für das Beispiel gelten folgende Randbedingungen:

- Wandhöhe ( $W_H$ ): 5,00 m
- Wanddicke ( $W_D$ ): 0,25 m
- Wandlänge ( $W_L$ ): 5,00 m
- Konsistenz: F3 / F45
- Frischbetondruck: 80,00 kN/m<sup>2</sup>
- Steiggeschwindigkeit ( $v$ ): 4,40 m/h
- Einbautemperatur ( $T_{c, \text{Einbau}}$ ): 15 °C
- Erstarrungsende ( $t_E$ ): 5 h
- Lagenhöhe ( $H_{\text{Lage}}$ ): 0,50 m
- Verteilzeit ( $t_{s, h, v}$ ): 0,18 min
- Ankerabstände 1,0 m
- Einbringstellen ( $E_{St}$ ) 5
- Verdichtungsmaß (VM) 1,10

Die Steiggeschwindigkeit wurde unter Annahme des maximal zulässigen Frischbetondrucks, der Einbautemperatur und dem Erstarrungsende mit dem Betondruckrechner der Firma Doka ermittelt.

Angemerkt sei hier, dass es sich bei den Verteilzeiten für Heben, Senken und Versetzen um Annahmen handelt. Sie werden für einen Vorgang zu einer Gesamtdauer zusammengefasst.

In weiterer Folge wird nun die Berechnung der Pumpenleistung Schritt für Schritt erläutert. Ausgehend von der normativen Empfehlung in Lagen von 50 cm zu betonieren, muss für jede Wandabschnittslänge die Kubatur einer solchen Schüttlage ermittelt werden. Die Kubatur ( $BT_{M, \text{Lage}}$ ) ergibt sich dabei aus der Multiplikation der Lagendicke mit der aus Bauteillänge und Bauteildicke ermittelten Fläche. Es handelt sich dabei um die Frischbetonkubatur.

$$BT_{M, \text{Lage}} = W_L \cdot W_D \cdot H_{\text{Lage}} = 5,00 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,50 \text{ m} =$$

$$BT_{M, \text{Lage}} = 0,625 \text{ m}^3 \text{ – Frisch}$$

Nach der Ermittlung der Kubatur einer Lage wird die Betonierdauer ( $t_{\text{max, Lage}}$ ) einer Lage ermittelt, die sich unter Berücksichtigung der maximalen Steiggeschwindigkeit ergibt.

$$t_{\max, \text{Lage}} = \frac{H_{\text{Lage}}}{v_b} = \frac{0,50 \text{ m}}{4,40 \text{ m/h}} = 0,1136 \text{ h} = 6,82 \text{ min}$$

Durch die Verteilzeiten erhöht sich die Zeitdauer für das Betonieren einer Lage noch um die Summe der Verteilzeiten  $t_{s, h, v}$  multipliziert mit der Anzahl der Einbringstellen, an denen diese Vorgänge durchgeführt werden. Daraus ergibt sich folgende Gesamtdauer  $t_{\text{Lage}}$  für das Betonieren einer Schütflage:

$$t_{\text{Lage}} = \frac{t_{\max, \text{Lage}} + t_{s, h, v} \cdot E_{\text{st}}}{60} = [\text{h}]$$

$$t_{\text{Lage}} = \frac{6,82 \text{ min} + 0,18 \text{ min} \cdot 5}{60 \text{ min/h}} = \frac{7,72 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} = 0,1286 \text{ h}$$

Die Betonierleistung errechnet sich nun aus der Betonkubatur einer Lage und der Dauer des Betoniervorgangs.

$$L_{\text{BT}} = \frac{BT_{\text{M, Lage}}}{t_{\text{Lage}}} = \frac{0,625 \text{ m}^3}{0,1286 \text{ h}} = 4,86 \text{ m}^3 \text{ Frisch/h}$$

Anhand der Betonierleistung kann nun der Aufwandswert für das Betonieren ermittelt werden. Angemerkt sei hier, dass sich die Betonierleistung auf den Frischbeton bezieht. Es können daher über das Verdichtungsmaß zwei Aufwandswerte ermittelt werden, jener für Frischbeton und jener für Festbeton. Für die Kalkulation der Betonarbeiten ist der Aufwandswert für Festbeton der maßgebende. Die Ermittlung des Aufwandswertes wird unter Punkt 10.2 gezeigt.

### 10.1.2 Ermittlung der Betonierleistung Kran und Kübel

Für die Ermittlung der Betonierleistung ergeben sich die gleichen Überlegungen wie bei jener der Pumpleistung. Hier müssen ebenfalls die Verteilzeiten für Senken, Heben und Versetzen des Krankübels, inklusive des Betonerschlauchs berücksichtigt werden. Hinzu kommen noch die Zeiten für das Kranspiel. Ein weiterer Unterschied liegt in der vorgegeben Fördermenge durch den Krankübel. Für die hier durchgeführte Berechnung der Betonierleistung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Wandhöhe ( $W_H$ ): 5,00 m
- Wanddicke ( $W_D$ ): 0,25 m

- Wandlänge ( $W_{L,1}$ ): 5,00 m
- Wandlänge ( $W_{L,2}$ ): 9,00 m
- Frischbetondruck: 80,00 kN/m<sup>2</sup>
- Steiggeschwindigkeit ( $v_b$ ): 4,40 m/h
- Einbautemperatur ( $T_{c, \text{Einbau}}$ ): 15 °C
- Lagenhöhe ( $H_{\text{Lage}}$ ): 0,50 m
- Verteilzeit ( $t_{s, h, v}$ ): 0,20 min
- Ankerabstände: 1,0 m
- Einbringstellen ( $E_{\text{St}}$ ): 5 / 9
- Verdichtungsmaß: 1,10
- Nenninhalt Kübel ( $BT_{M, K}$ ): 1 m<sup>3</sup>
- Kranspiel ( $T_K$ ): 3,00 min

Für die Ermittlung der Betonierleistung sind im Falle des Betonförderns mit Kran und Kübel zwei unterschiedliche Fälle zu unterscheiden. Wiederum ausgehend von einer Schüttlagenhöhe von 0,50 m muss die Betonmenge ( $B_{M, \text{Lage}}$ ) für die Schüttlage ermittelt werden. Bei gewissen Wandabschnittslängen wird aufgrund der begrenzten Kubatur nicht der ganze Kübelinhalt entleert. Die Differenzmenge wird in einer neuen Schüttlage eingebaut. Nach vollständigem Entleeren des Kübels wird das Kranspiel an der Beladestelle beendet und beginnt von Neuem für die neue Schüttlage. Nachstehend die Berechnung zur ersten Situation.

Zuerst wird die Fläche aus Wandlänge ( $W_L$ ) und Wanddicke ( $W_D$ ) gebildet.

$$A_{L,D} = W_{L,1} \cdot W_D = 5,00 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} = 1,25 \text{ m}^2$$

Die Lagenhöhe  $H_{\text{Lage},i}$  ergibt sich dann aus der Division der Betonmenge Frischbeton (Nenninhalt Kübel) und der Fläche  $A_{L,D}$ .

$$H_{\text{Lage},i} = \frac{BT_{M, K}}{A_{L,D}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{1,25 \text{ m}^2} = 0,80 \text{ m}$$

Damit würde bei einem Entleervorgang die max. Lagenhöhe von 0,50 m überschritten werden. Daher muss zuerst der Kübel bis zu einer Schütthöhe von 0,50 m entleert werden, um ein normengerechtes Einbringen zu berücksichtigen. In einem weiteren Entleervorgang wird die restliche Betonmenge wiederum unter Berücksichtigung der max. Steiggeschwindigkeit in Lagen betoniert. Diesbezüglich sind die

Verteilzeiten für beide Entleervorgänge zu berücksichtigen. In einem ersten Schritt wird die Betonierdauer der Lage  $H_{\text{Lage}, j}$  für 0,50 m berechnet.

$$t_{\text{max, Lage}, j} = \frac{H_{\text{Lage}, j}}{v_b} = \frac{0,50 \text{ m}}{4,40 \text{ m/h}} = 0,1136 \text{ h} = 6,82 \text{ min}$$

Dann muss die Betonierdauer der restlichen Lage berechnet werden, wobei sich die restliche Lage aus der Differenz der Lage  $H_{\text{Lage}, i}$  und  $H_{\text{Lage}, j}$  bildet.

$$H_{\text{Lage}, i-j} = H_{\text{Lage}, i} - H_{\text{Lage}, j} = 0,80 \text{ m} - 0,50 \text{ m} = 0,30 \text{ m}$$

$$t_{\text{max, Lage}, i-j} = \frac{H_{\text{Lage}, i-j}}{v_b} = \frac{0,30 \text{ m}}{4,40 \text{ m/h}} = 0,068 \text{ h} = 4,08 \text{ min}$$

Nun kann die Gesamtdauer des Betoniervorgangs bestimmt werden. Im Zähler der nachfolgenden Gleichung stehen die Betonierzeiten der Lagen zuzüglich der Verteilzeiten und des Kranspiels. Im Nenner steht der Umrechnungsfaktor 60 (min/h).

$$t_{\text{Lage}} = \frac{t_{\text{max, Lage}, j, i-j} + T_K + t_{s, h, v} \cdot E_{\text{St}} \cdot 2}{60} = [\text{h}]$$

$$t_{\text{Lage}} = \frac{6,82 \text{ min} + 4,08 \text{ min} + 3,00 \text{ min} + 0,20 \text{ min} \cdot 5 \cdot 2}{60 \text{ min/h}} = 0,265 \text{ h}$$

Die Betonierleistung berechnet sich nun aus dem Nenninhalt des Krankübels dividiert durch die Gesamtdauer  $t_{\text{Lage}}$ .

$$L_{\text{BT}} = \frac{BT_{M, K}}{t_{\text{Lage}}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{0,265 \text{ h}} = 3,77 \text{ m}^3 \text{ Frisch/h}$$

Der andere Fall, der bei einer Betrachtung über mehrere Wandabschnittslängen eintreten kann, ist der, dass der Kübelinhalt genau für die Betonage einer Lage mit 0,50 m ausreicht oder

gegebenenfalls darunter liegt. Nachfolgend sei dazu die Berechnung angeführt. Es wurde eine Wandlänge  $W_L$  von 9,00 m gewählt.

$$A_{L,D} = W_{L,2} \cdot W_D = 9,00 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} = 2,25 \text{ m}^2$$

Die Lagenhöhe  $H_{Lage,i}$  ergibt sich dann wiederum aus der Division der Betonmenge Frischbeton (Nenninhalt Kübel) und der Fläche  $A_{L,D}$ .

$$H_{Lage,i} = \frac{BT_{M,K}}{A_{L,D}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{2,25 \text{ m}^2} = 0,44 \text{ m}$$

Durch die Fördermenge eines Kranspiels wird die vorgegebene Schütthöhe nicht überschritten. Die Dauer des Betoniervorgangs wird mit der berechneten Lagenhöhe ermittelt.

$$t_{\max, Lage, i} = \frac{H_{Lage}}{v_b} = \frac{0,44 \text{ m}}{4,40 \text{ m/h}} = 0,1010 \text{ h} = 6,06 \text{ min}$$

Die Gesamtdauer des Betoniervorgangs für die errechnete Lagenhöhe kann nun folgendermaßen berechnet werden.

$$t_{Lage} = \frac{t_{\max, Lage} + T_K + t_{s, h, v} \cdot F_{st} \cdot 2}{60} = [\text{h}]$$

$$t_{Lage} = \frac{6,06 \text{ min} + 3,00 \text{ min} + 0,20 \text{ min} \cdot 9}{60 \text{ min/h}} = 0,211 \text{ h}$$

Die Betonierleistung berechnet sich nun aus dem Nenninhalt des Krankübels dividiert durch die Gesamtdauer  $t_{Lage}$ .

$$L_{BT} = \frac{BT_{M,K}}{t_{Lage}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{0,211 \text{ h}} = 4,74 \text{ m}^3 \text{ Frisch/h}$$

Durch die ermittelten Betonierleistungen lassen sich nun die Aufwandswerte je Wandabschnittslänge berechnen. Die Ermittlungen der Betonierleistungen für die nachfolgenden Diagramme sind dem Anhang zu entnehmen.

## 10.2 Ermittlung der Aufwandswerte

Für die Berechnung der Aufwandswerte müssen die Anzahl der eingesetzten Arbeiter und die Rüttlerleistung festgelegt werden. Für den Betoneinbau mit Pumpe werden 2 bis 3 Arbeitskräfte und mit Kran und Kübel 3 Arbeitskräfte eingesetzt. Wenn die Betonierleistung größer als die mögliche Verdichtungsleistung ist, muss ein weiterer Rüttler zur Verdichtung eingesetzt werden.

### 10.2.1 Berechnung der Rüttlerleistung

Da sich die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte nach der jeweiligen Leistung des Innenrüttlers richtet, muss diese zuerst bestimmt werden. Nach der Formel aus Kapitel 4 Punkt 4.7.1 wurde die Leistung wie folgt berechnet.

$$Q_T = nT \cdot n \cdot t \cdot A \text{ [m}^3\text{-Frisch/h]}$$

Es wird eine Rüttelflasche mit einem Durchmesser von 65 mm verwendet. Die Eintauchtiefe ergibt sich aufgrund der „Vernadelung“ der einzelnen Schüttlagen mit 0,60 m. Die Anzahl der möglichen Tauchvorgänge wurden mit 75 pro Stunde angenommen.

Der Wirkungsbereich A errechnet sich aus der Multiplikation der Wandbreite [t] und der Tauchabstände der Rüttler [b]. Daraus folgt:

$$b = (8-9) \cdot d = 9 \cdot 0,065 = 0,585 \text{ m}$$

Anhand der Tauchabstände kann nun der Wirkungsbereich der Rüttler berechnet werden.

$$A = b \cdot t = 0,585 \cdot 0,25 = 0,146 \text{ m}^2$$

Damit ergibt sich für die technische Grundleistung eines Innenrüttlers.

$$Q_T = nT \cdot n \cdot t \cdot A = 75 \cdot 1 \cdot 0,60 \cdot 0,146 = 6,57 \text{ m}^3\text{-Frisch/h}$$

Anhand der Grundleistung des Innenrüttlers kann nun die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte in Abhängigkeit der Betonierleistung bestimmt werden.



### 10.2.2 Berechnung der Aufwandswerte

Für die in Punkt 10.1.1 ermittelte Betonierleistung der Pumpe von 4,86 m<sup>3</sup>-Frisch/h kann der Aufwandswert anhand der nachstehenden Berechnungen ermittelt werden. Die Betonierleistung ist gegenüber der maximal möglichen Rüttlerleistung aus 10.2.1 geringer. Daher kann eine Betonierkolonne von 2 Arbeitskräften angesetzt werden.

$$AW_{BT, \text{Frisch}} = \frac{AK}{L_{BT}} = \frac{2 \text{ Std/h}}{4,86 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,41 \text{ Std/m}^3 \text{ Frisch}$$

Zuzüglich zum Aufwandswert für den eigentlichen Betoniervorgang ist noch der Aufwandswert, welcher durch die Rüstzeit entsteht, zu berücksichtigen. Rüstzeiten sind Vorbereitungszeiten (Zeitstunden), die für jeden Betonierabschnitt zu beachten sind. Darunter fallen folgende Tätigkeiten:

- Bereitstellung der Geräte und Werkzeuge;
- Vorbereitung zum Betonieren;
- Reinigen der Geräte (Krankübel, Rüttler, Werkzeuge etc.);
- Reinigung der Stellplätze für Transportbetonmischer oder Autobetonpumpe.

Im folgenden Berechnungsbeispiel werden die Rüstzeiten unabhängig von den Witterungsbedingungen, Baustellen- und Bauwerksbedingungen etc. mit 0,5 Zeitstunden angesetzt.

Der Aufwandswert fürs Rüsten bezieht sich auf die einzubauende Betonmenge. Die einzubauende Betonmenge  $BT_{M, \text{Frisch}}$  ist die um das Verdichtungsmaß größere, als die Menge nach Aufmaß. Das Verdichtungsmaß muss hier für einen Beton nach Konsistenzklasse F45 herangezogen werden. Das Verdichtungsmaß für einen Beton der Klassifizierung „weich“ beträgt 1,10.

$$BT_{M, \text{Frisch}} = W_L \cdot W_D \cdot W_H \cdot 1,10 = 5,00 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 5,00 \text{ m} \cdot 1,10 =$$

$$BT_{M, \text{Frisch}} = 6,88 \text{ m}^3$$

$$AW_{RÜ, \text{Frisch}} = \frac{D_{RÜ} \cdot AK}{BT_{M, \text{Frisch}}} = \frac{0,5 \text{ h} \cdot 2 \text{ Std/h}}{6,88 \text{ m}^3} = 0,15 \text{ Std/m}^3 \text{ Frisch}$$

Der Gesamtaufwandswert wird durch die Summe des Aufwandswertes für das Betonieren und des Aufwandswertes für das Rüsten gebildet.

$$AW_{\text{Ges, Frisch}} = AW_{\text{BT, Frisch}} + AW_{\text{RÜ, Frisch}} = 0,41 \text{ Std/m}^3 + 0,15 \text{ Std/m}^3 =$$

$$AW_{\text{Ges, Frisch}} = 0,56 \text{ Std/m}^3 \text{ Frisch}$$

Wie eingangs bereits erwähnt, ist für die Kalkulation jedoch der Aufwandswert für Festbeton von Relevanz. Daher muss der Gesamtaufwandswert für Frischbeton noch mit dem Verdichtungsmaß multipliziert werden. Daraus folgt:

$$AW_{\text{Ges, Fest}} = AW_{\text{Ges, Frisch}} \cdot 1,10 = 0,56 \text{ Std/m}^3 \cdot 1,10 = 0,62 \text{ Std/m}^3 \text{ Fest}$$

Für eine Betonförderung mit Kran und Kübel ergibt sich die gleiche Vorgangsweise.

### 10.3 Diagramme

Der Zusammenhang zwischen Aufwandswert und Wandabschnittslänge wird in den folgenden Punkten in Diagrammen dargestellt. Es wird von einer Wandhöhe von 5,00 m und einer Wanddicke von 0,25 m ausgegangen. Die Wandabschnittslängen variieren zwischen 5,00 und 16,00 m. Es werden zwei maximale Frischbetondrücke repräsentativ für zwei unterschiedliche Schalungssysteme miteinander verglichen.

Die Aufwandswerte können nun vergleichend für verschiedene Baustellensituationen ermittelt werden. Dabei wird speziell auf den Einfluss der Einbautemperatur, des Erstarrungsendes, die Wahl unterschiedlicher Steiggeschwindigkeiten, die Wahl unterschiedlicher Konsistenzklassen und die Wahl verschiedener Abstände der Förderstellen eingegangen. Es werden wiederum als Fördergeräte die Pumpe mit Kran und Kübel verglichen.

Die für die Anzahl der Arbeitskräfte maßgebende Rüttlerleistung wurde in Punkt 10.2.1 mit 6,57 m<sup>3</sup>/h berechnet. Diese gilt für sämtliche den Diagrammen zugrunde gelegten Ermittlungen der Arbeitskräfte.

Es sei hier angemerkt, dass es sich bei den in Diagrammen dargestellten Aufwandswerten um Aufwandswerte bezogen auf den Festbeton handelt. Die Berechnungen dazu können dem Anhang entnommen werden. Die Zeitdauern für Kranspiel sowie den Verteilzeiten  $t_{s, h, v}$  sind

den Berechnungsbeispielen der Punkte 10.1.1 und 10.2.1 zu entnehmen.

### 10.3.1 Vergleich der Einbautemperaturen $T_{c, \text{Einbau}}$

Das folgende Diagramm zeigt den Einfluss der Einbautemperatur auf den Aufwandswert in Abhängigkeit der Wandlänge bei einem Erstarrungsende von 5 h und Betoneinbau mittels Pumpe. Der maximale Frischbetondruck wurde mit  $60 \text{ kN/m}^2$  und  $80 \text{ kN/m}^2$  festgelegt. Die Anzahl der notwendigen Arbeitskräfte wird auf Grundlage der maximal möglichen Betonierleistung gewählt.

Für einen Frischbetondruck von  $60 \text{ kN/m}^2$  und von  $80 \text{ kN/m}^2$  sind je nach Einbautemperatur des Betons und Einbauverfahren unterschiedliche Steiggeschwindigkeiten des Betonspiegels möglich. In der folgenden Tabelle sind diese zusammengefasst.

$T_{c, \text{Einbau}}$	Steiggeschwindigkeit bei $\sigma_{hk, \text{max}} = 60 \text{ kN/m}^2$	Steiggeschwindigkeit bei $\sigma_{hk, \text{max}} = 80 \text{ kN/m}^2$
20°C	3,80 m/h	5,40 m/h
15°C	3,00 m/h	4,40 m/h
10°C	2,40 m/h	3,70 m/h
5°C	2,00 m/h	3,10 m/h

Tabelle 10-1: Steiggeschwindigkeit in Abhängigkeit von  $T_{c, \text{Einbau}}$  und  $\sigma_{hk, \text{max}}$

Durch unterschiedliche Steiggeschwindigkeiten ergeben sich in den folgenden Diagrammen unterschiedliche Kurvenverläufe für Aufwandswerte in Abhängigkeit der Wandabschnittslänge. Die Wandabschnittslänge in m ist auf der Abszisse, der Aufwandswert in  $\text{Std/m}^3$  auf der Ordinate des Diagramms aufgetragen. Das Hauptintervall auf der Ordinate wurde mit  $0,1 \text{ Std/m}^3$ , das Hilfsintervall mit  $0,02 \text{ Std/m}^3$  festgelegt. Das Hauptintervall auf der Abszisse wurde mit  $1,00 \text{ m}$  und das Hilfsintervall mit  $0,5 \text{ m}$  gewählt.

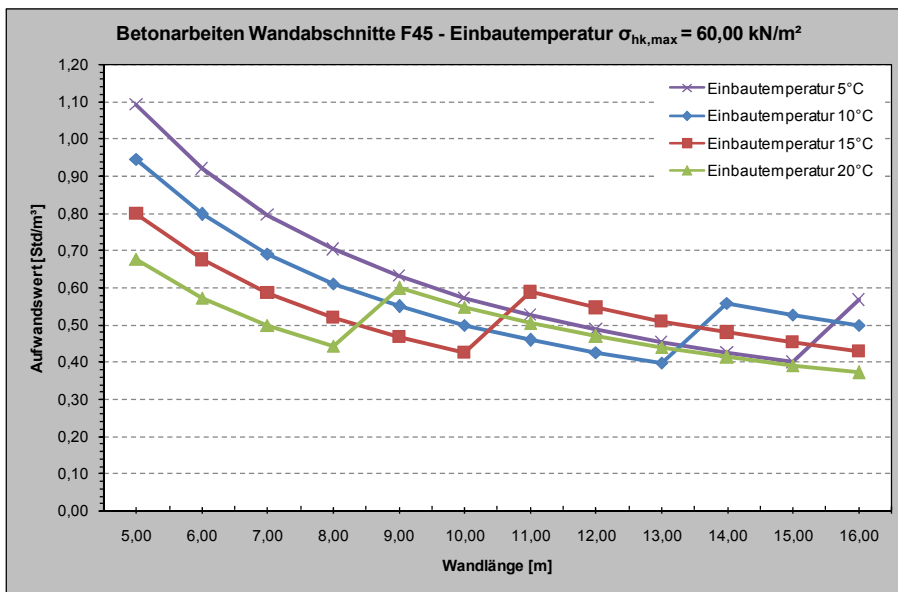


Bild 10.2: Vergleich  $T_{c, \text{Einbau}}$  bei  $\sigma_{hk, \text{max}}$  60 kN/m<sup>2</sup> mit Betoneinbau Pumpe

Die Kurve, die für eine Einbautemperatur von 20 °C steht, zeigt ab einer Wandlänge von 8,00 m eine Erhöhung des Aufwandswertes von 0,44 Std/m<sup>3</sup> auf 0,60 Std/m<sup>3</sup>, was auf eine zusätzliche AK, die einen weiteren Rüttler zur Verdichtung bedienen muss, zurückzuführen ist. Dieser Umstand ist auf die hohe Einbauleistung der Pumpe zurückzuführen. Es muss daher die Verdichtungsleistung auf die Einbauleistung abgestimmt werden, um unter gleichbleibender Betoniergeschwindigkeit weiterarbeiten zu können. Die Kurve für  $T_{c, \text{Einbau}}$  15 °C zeigt ab 10,00 m ebenfalls einen Sprung im Verlauf. Hier erhöht sich der Aufwandswert von 0,43 Std/m<sup>3</sup> auf 0,59 Std/m<sup>3</sup>. Für ein  $T_{c, \text{Einbau}}$  von 10 °C erhöht sich der Aufwandswert ab einer Wandlänge von 13,00 m von 0,40 auf 0,56 Std/m<sup>3</sup>. Bei einem  $T_{c, \text{Einbau}}$  von 5 °C ein, müsste erst ab einer Wandlänge von 15,00 m eine zusätzliche Arbeitskraft eingesetzt werden. Ab diesem Wandabschnitt erhöht sich der Aufwandswert von 0,40 Std/m<sup>3</sup> auf 0,57 Std/m<sup>3</sup>. Hier ist aufgrund der niedrigen Einbautemperatur ein schnelles Betonieren nicht möglich. Die Einbauleistung ist dementsprechend niedrig.

Es gilt festzuhalten, dass eine Anpassung der Betoniergeschwindigkeit an die jeweilige maximale Verdichtungsleistung je Wandabschnitt zu einer gleichbleibenden Anzahl an Arbeitskräften führen würde. Die Berechnungen zu den Aufwandswerten für das Diagramm aus Bild 10.2 kann dem Anhang A.1.1 entnommen werden.

Durch die Verwendung einer Schalung mit einer maximal möglichen Belastung von 80 kN/m<sup>2</sup> kann der Frischbeton schneller in die Schalung eingebracht werden, wie der Vergleich der Steiggeschwindigkeiten der Tabelle 10-1 deutlich zeigt. Dadurch erhöht sich einerseits die Betonierleistung, aber auch die notwendige Verdichtungsleistung.

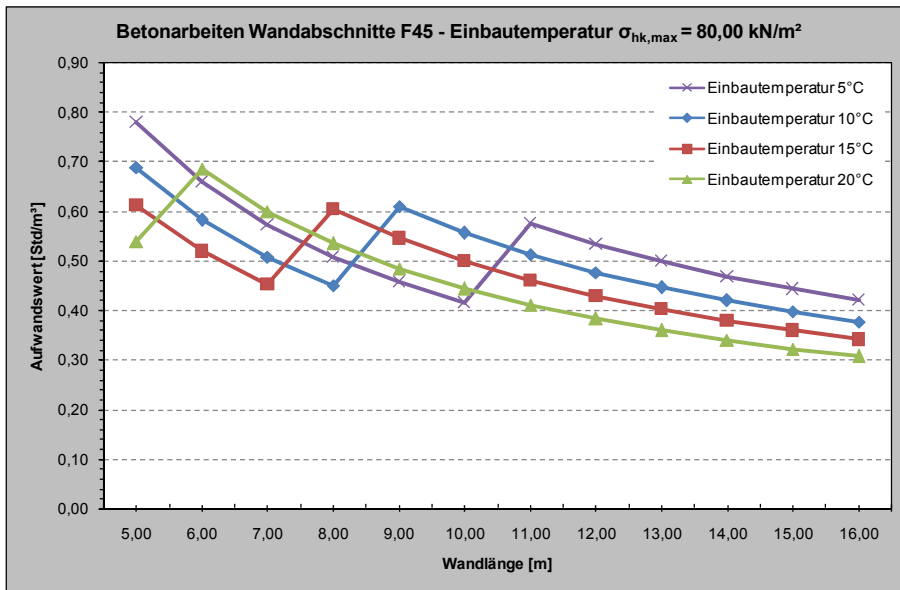


Bild 10.3: Vergleich  $T_{c, \text{Einbau}}$  bei  $\sigma_{hk, \text{max}} 80 \text{ kN/m}^2$  mit Betoneinbau Pumpe

Im Gegensatz zu den vorherigen Kurvenverläufen zeigen sich bei einem  $\sigma_{hk, \text{max}}$  von  $80 \text{ kN/m}^2$  früher Erhöhungen der Aufwandswerte. Bei einer Einbautemperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  müsste schon ab einer Wandlänge von  $5,00 \text{ m}$  eine zusätzliche Arbeitskraft eingesetzt werden. Für ein  $T_{c, \text{Einbau}}$  von  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  ist ab einer Wandlänge von  $7,00 \text{ m}$  eine weitere Arbeitskräfte für die Betonverdichtung vorzusehen. Für ein  $T_{c, \text{Einbau}}$  von  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  folgen die Erhöhungen ab  $8,00$  und  $10,00 \text{ m}$ . Auffallend ist, dass sich der Verlauf der Aufwandswerte für eine Einbautemperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ab einer Wandlänge von  $11,00 \text{ m}$  am niedrigsten einstellt. Hier könnte ein schnelles Betonieren voll ausgenutzt werden.

Die Berechnungen zum Diagramm aus Bild 10.3. können dem Anhang A.1.2 entnommen werden.

Ein weiterer Vergleich sollte mit einem anderen Einbauverfahren durchgeführt werden, da sich die möglichen Einbauleistungen unterschiedlicher Fördergeräte wesentlich auf den Aufwandswert auswirken. Daher wird als weiteres Verfahren der Betoneinbau mit Kran und Kübel zum Vergleich herangezogen. Um die mögliche Betonierleistung zu ermitteln, müssen ausgehend von der Wahl des Krankübels auch die Spielzeiten sowie die maximale Steiggeschwindigkeit berücksichtigt werden. Für die folgenden Diagramme wurde ein Silokübel mit einem Nenninhalt von  $1 \text{ m}^3$  gewählt. Die maximalen Steiggeschwindigkeiten können wiederum der Tabelle 10-1 entnommen werden.

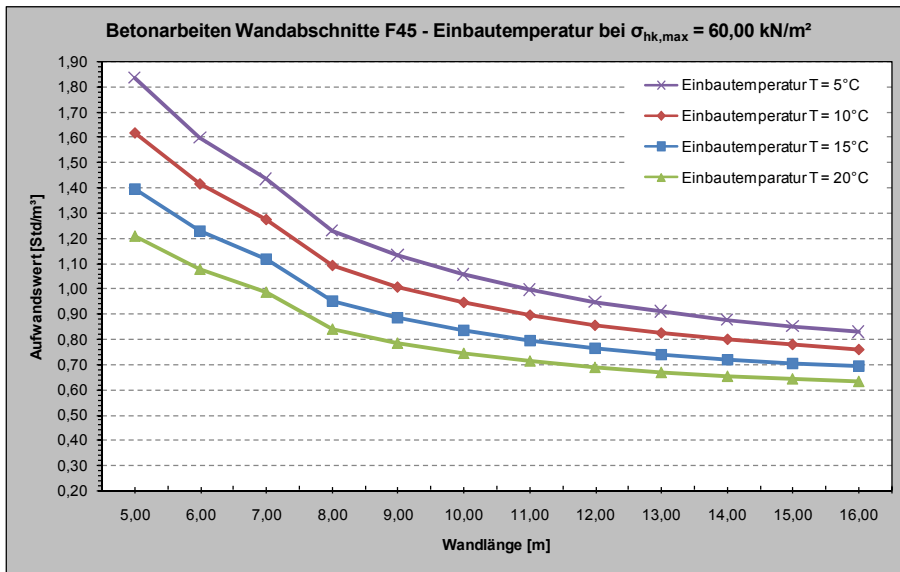


Bild 10.4: Vergleich  $T_{c, \text{Einbau}}$  bei  $\sigma_{hk, \text{max}} 60 \text{ kN/m}^2$  mit Betoneinbau Kran/Kübel

Die Kurven zeigen einen regressiven Verlauf mit einem Sprung von der Wandlänge 7,00 m auf 8,00 m. Hier kommen die zwei Fälle aus der Beschreibung in Punkt 10.1.2 zum Tragen. Bis zu einer Wandabschnittslänge von 7,00 m muss der Krankübel bei einem Kranspiel zwei Lagen betonieren. Dies verlängert die Dauer der Betoneinbringung. Die Folge ist, dass der Leistungswert sinkt und der Aufwandswert dementsprechend steigt. Eine wesentliche Schlussfolgerung daraus ist, dass bei kleinen Wandabschnitten der Nenninhalt des Krankübels an die maximal mögliche Einbaumenge anzupassen ist, wenn ein Einbringen in Lagen vorgesehen ist. Für die weiteren Abschnittslängen 8,00 bis 16,00 m ergibt sich ein konstant abnehmender Verlauf der Aufwandswerte.

Die Anzahl von 3 eingesetzten Arbeitskräften bleibt über die gesamten Abschnittslängen gleich.

Die Berechnungen der Aufwandswerte für das Diagramm aus Bild 10.4 kann dem Anhang A.1.3 entnommen werden.

Bei einem möglichen Frischbetondruck von  $80,00 \text{ kN/m}^2$  ergeben aufgrund der höheren möglichen Steiggeschwindigkeiten sich niedrigere Aufwandswerte gegenüber jenen aus dem Diagramm 10.4. Es ergibt sich wiederum ein Sprung bei einer Wandabschnittslänge von 7,00 m auf 8,00 m.

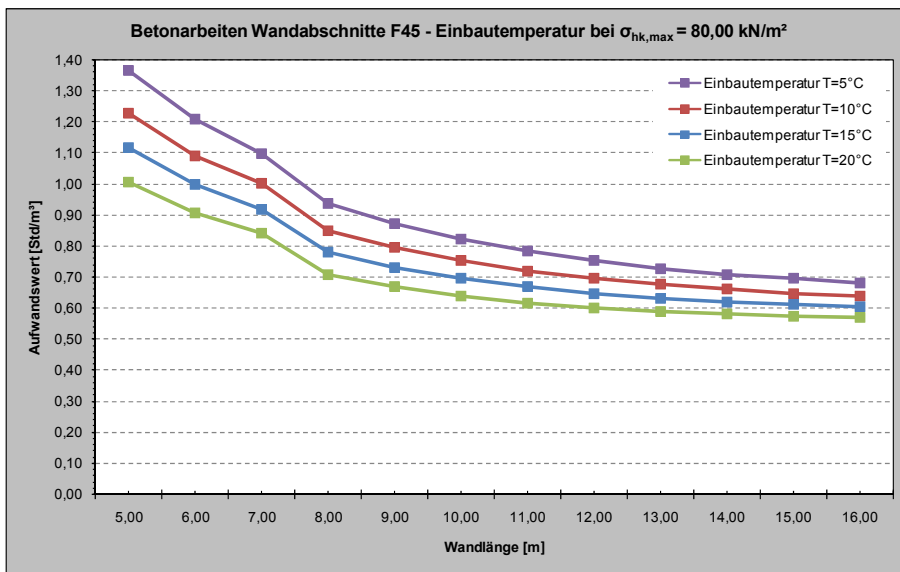


Bild 10.5: Vergleich  $T_{c, Einbau}$  bei  $\sigma_{hk, max}$  80 kN/m<sup>2</sup> mit Betoneinbau Kran/Kübel

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Einbautemperaturen, welche durch die äußeren Witterungsverhältnisse und der betontechnologischen Herstellung bestimmt werden, einen erheblichen Einfluss auf den Betonierfortschritt haben. Durch den Betoneinbau mittels Kran und Kübel ist die Einbauleistung einerseits durch den Nenninhalt des Kübels, andererseits durch die Spielzeiten des Krans vorgegeben. Damit ist die mögliche Betonierleistung wesentlich geringer als bei einer Betonförderung mit Pumpe. Jedoch kann bei einem Betoneinbau mittels Kübel eine gleichbleibende Anzahl an eingesetzten Arbeitskräften festgestellt werden.

Die Berechnungen der Aufwandswerte sind dem Anhang unter A.1.4 zu entnehmen.

### 10.3.2 Vergleich der Erstarrungsenden $t_E$

Das Erstarrungsende  $t_E$  wird, wie aus Kapitel 6 bekannt, sämtlichen Diagrammen und Tabellen zur Berechnung des Frischbetondrucks oder der Steiggeschwindigkeit zu Grunde gelegt. Die Auswirkungen der Schwankungsbreite des Erstarrungsendes auf den Aufwandswert sollen die folgenden Diagramme verdeutlichen. Dabei wird von einem  $\sigma_{hk, max}$  von 60 kN/m<sup>2</sup> und 80 kN/m<sup>2</sup> und einer Einbautemperatur von 15 °C ausgegangen. Der Einfluss wird für Erstarrungsenden von 5 h bis 12 h untersucht, da wie schon erwähnt, höhere Erstarrungsenden betontechnologisch nicht herstellbar sind. Dies bedeutet nicht, dass höhere Erstarrungsenden nicht eintreten können, jedoch wird hier auf baupraktisch relevante Fälle eingegangen.

Für unterschiedliche Frischbetondrücke und Erstarrungsenden sind auch hier unterschiedliche Steiggeschwindigkeiten anzusetzen. Diese sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

$t_E$	Steiggeschwindigkeit bei $\sigma_{hk,max} = 60 \text{ kN/m}^2$	Steiggeschwindigkeit bei $\sigma_{hk,max} = 80 \text{ kN/m}^2$
5h	3,00 m/h	4,40 m/h
6h	2,70 m/h	4,00 m/h
7h	2,40 m/h	3,70 m/h
8h	2,20 m/h	3,40 m/h
9h	2,00 m/h	3,10 m/h
10h	1,80 m/h	2,80 m/h
11h	1,60 m/h	2,60 m/h
12h	1,50 m/h	2,40 m/h

Tabelle 10-2: Steiggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von  $t_E$  und  $\sigma_{hk,max}$

Als Fördergerät wird in einem ersten Vergleich wieder die Pumpe herangezogen.

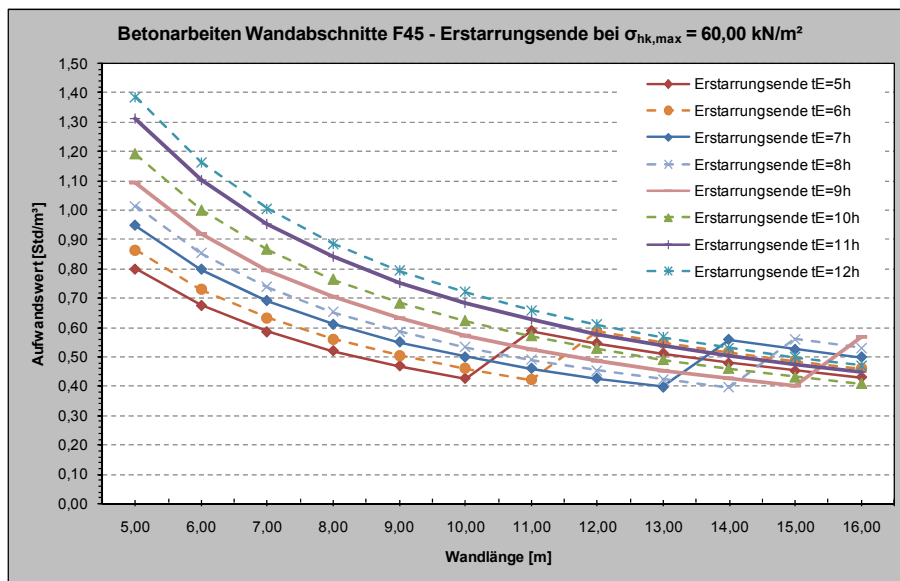


Bild 10.6: Vergleich Erstarrungsenden  $t_E$  bei  $\sigma_{hk,max} 60 \text{ kN/m}^2$  mit Pumpe

Die im Diagramm gezeigten Kurvenverläufe für Erstarrungsenden von 5 h, 6 h, 7 h, 8 h und 9 h weisen ab einer Wandlänge von 10,00 m einen Anstieg des Aufwandswertes je weiterer Wandlänge auf. Ein konstant fallender Verlauf ohne Ressourcenerhöhung ergibt sich für die Aufwandswerte der Erstarrungsenden 10 h, 11 h und 12 h.

Die Berechnungen zu den Aufwandswerten des Diagramms aus Bild 10.6 sind dem Anhang A.1.5 zu entnehmen.

Kommt eine Schalung zum Einsatz, die einen max. Frischbetondruck von  $80 \text{ kN/m}^2$  aufnehmen kann, zeigt sich, dass bei Wandlängen von 7,00 m bis 14,00 m die Aufwandswerte aufgrund der zusätzlichen AK sehr stark variieren (siehe folgendes Bild).



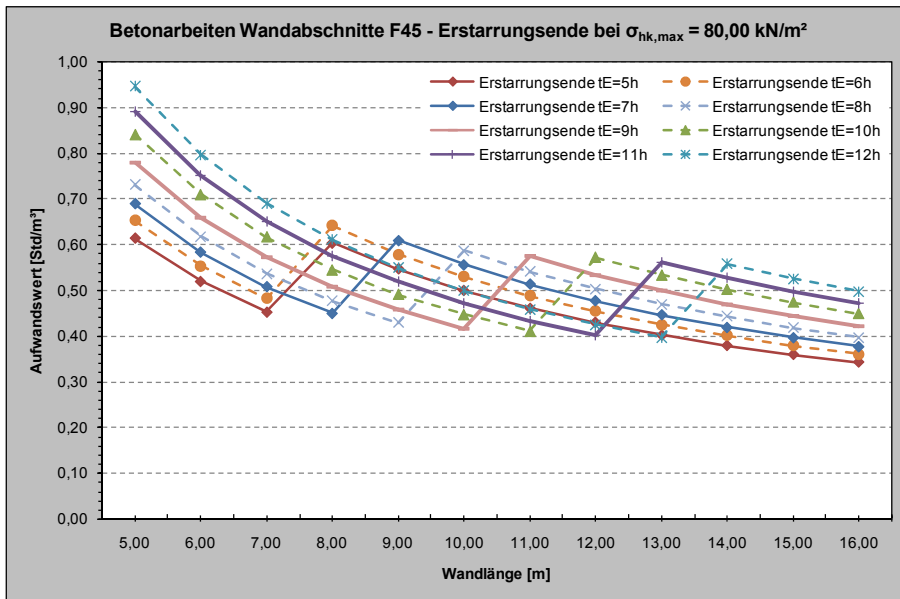


Bild 10.7: Vergleich Erstarrungsenden  $t_E$  bei  $\sigma_{hk,max}$  80 kN/m<sup>2</sup> mit Pumpe

Hier wird verdeutlicht, dass ein Abschätzen des Aufwandswertes anhand des Erstarrungsendes äußerst schwierig ist. Durch die Schwankungsbreite von durchschnittlich  $\pm 1$  h können solche Werte höchstens Anhaltspunkte sein.

Die Berechnungen zu den Aufwandswerten aus Bild 10.7 sind dem Anhang unter A.1.6 zu entnehmen.

Werden Aufwandswerte in Abhängigkeit der Erstarrungsenden bezogen auf die Wandabschnittslängen für einen Betoneinbau mittels Kran und Kübel betrachtet, sollten hier wieder Erstarrungsende von 5 h bis 12 h herangezogen werden. Für einen Frischbetondruck von 60 kN/m<sup>2</sup> ergeben sich maximale Steiggeschwindigkeiten:

$t_E$	Steiggeschwindigkeit bei $\sigma_{hk,max} = 60 \text{ kN/m}^2$
5h	3,00 m/h
6h	2,70 m/h
7h	2,40 m/h
8h	2,20 m/h
9h	2,00 m/h
10h	1,80 m/h
11h	1,60 m/h
12h	1,50 m/h

Tabelle 10-3: Steiggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von  $t_E$  und  $\sigma_{hk,max}$

Die dazugehörigen Kurvenverläufe sind nachfolgend dargestellt.

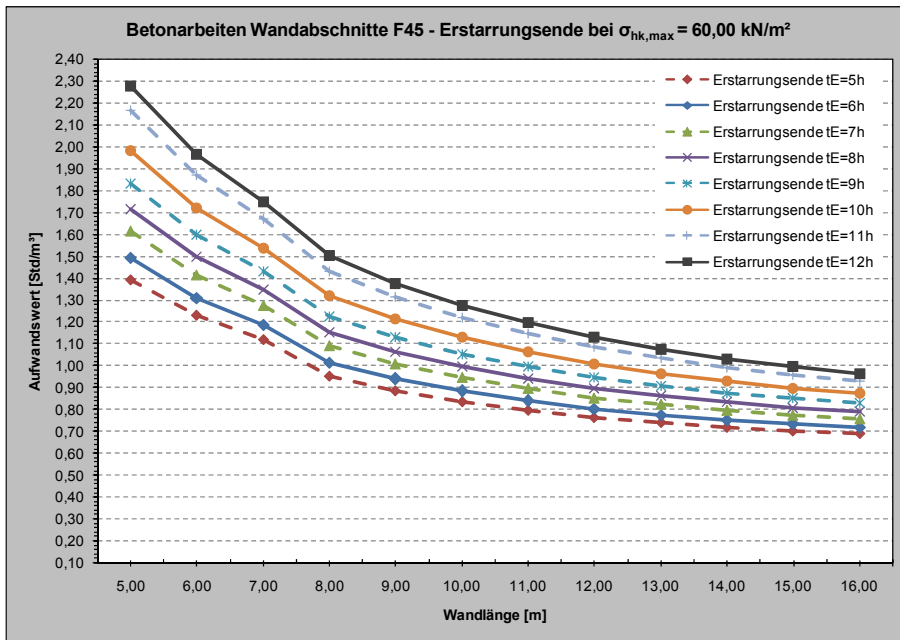


Bild 10.8: Vergleich Erstarrungsenden  $t_E$  bei  $\sigma_{hk,max}$  60 kN/m<sup>2</sup> mit Kran und Kübel

Grundsätzlich liegen die Aufwandswerte hier wieder höher als bei einem Betoneinbau mit Pumpe. Für Wandabschnittslängen von 5,00 bis 7,00 m ergeben sich auch höhere Aufwandswerte, weil der Krankübel länger am Bauteil gebunden ist. Dies macht sich in einem steil fallenden Verlauf bemerkbar. Ab einer Wandlänge von 8,00 m nehmen die Kurven wieder einen konstant fallenden Verlauf ein.

Die Berechnungen zu den Aufwandswerten aus Bild 10.8 sind dem Anhang unter A.1.7 zu entnehmen.

Für einen maximalen Frischbetondruck von 80 kN/m<sup>2</sup> ergeben sich qualitativ gleiche Kurvenverläufe wie für einen Frischbetondruck von 60 kN/m<sup>2</sup>. Auch hier ist aufgrund der niedrigen Betonierleistung eine Erhöhung der Aufwandswerte durch zusätzliche Arbeitskräfte nicht gegeben. Es ergibt sich jedoch wiederum der Sprung, der sich auch schon bei einem Vergleich der Einbautemperaturen ergeben hat.

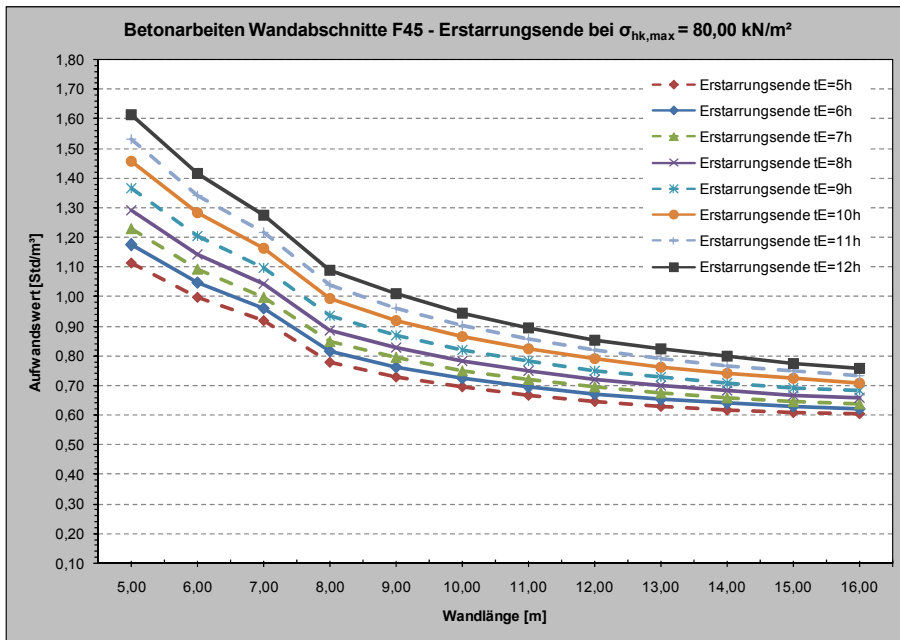


Bild 10.9: Vergleich Erstarrungsenden  $t_E$  bei  $\sigma_{hk,max}$  80 kN/m<sup>2</sup> mit Kran und Kübel

Die Berechnungen zu den Aufwandswerten aus Bild 10.9 sind dem Anhang unter A.1.8 zu entnehmen.

### 10.3.3 Vergleich der Steiggeschwindigkeiten

Der Vergleich unterschiedlicher Steiggeschwindigkeiten zeigt, wie sich diese auf den Ressourceneinsatz auswirken. Dabei kann festgestellt werden, dass hohe Steiggeschwindigkeiten zu unwirtschaftlichen Betonierkolonnen führen können. Es wurden Steiggeschwindigkeiten bis 2,40 m/h gewählt, weil damit noch ein wirtschaftlich sinnvoller Einsatz einer Betonpumpe gewährleistet ist. Es wurde von einem Erstarrungsende von 5 h und einer Einbautemperatur von 15 C ausgegangen.

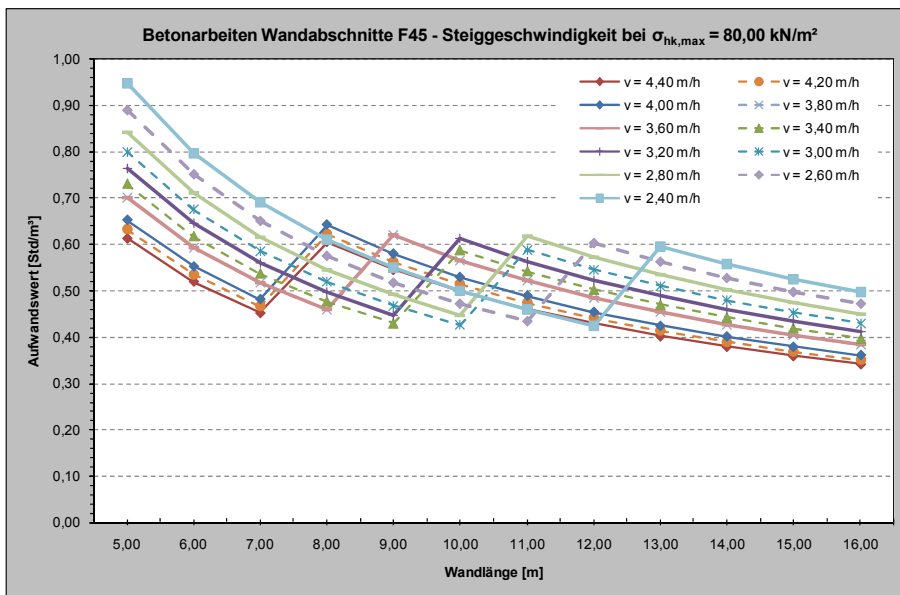


Bild 10.10: Vergleich der Steiggeschwindigkeiten bei  $\sigma_{hk,max} 80 \text{ kN/m}^2$

Die in Bild 10.10 dargestellten Kurvenverläufe zeigen für Betoniergeschwindigkeiten von 4,40 bis 4,00 m/h, Erhöhungen der Betonierkolonne von 2 AK auf 3 AK ab Wandabschnittslängen von 7,00 bis 8,00 m. Betoniergeschwindigkeiten von 3,80 m/h bis 2,40 m/h zeigen Erhöhungen von 2 AK auf 3 AK ab Wandabschnittslängen von 8,00 m bis 13,00 m. Dies zeigt wiederum, dass die Wahl der Steiggeschwindigkeit des Frischbetons in Abstimmung mit der möglichen Wandabschnittslänge durchzuführen ist, um zum wirtschaftlichsten Aufwandswert zu gelangen. Dies wird vor allem durch den Umstand verdeutlicht, dass sich bspw. bei Wandlängen von 5,00 bis 7,00 m und von 13,00 bis 16,00 m eine Steiggeschwindigkeit von 4,40 m/h am günstigsten auf den Aufwandswert auswirkt.

Ist ein zulässiger Frischbetondruck von  $60 \text{ kN/m}^2$  vorgegeben, dann wäre die Betoniergeschwindigkeit auf maximal 3,00 m/h beschränkt. Dies würde zu äquivalenten Kurvenverläufen führen, wie sie in Bild 10.10 für die entsprechende Steiggeschwindigkeit (3,00 m/h bis 2,40 m/h) zu dargestellt sind.

Die Berechnungen zu den Aufwandswerten aus Bild 10.10 sind dem Anhang unter A.1.9 zu entnehmen.

### 10.3.4 Vergleich der Einbaustellen

Der mögliche Abstand der Einbaustellen des Frischbetons wird maßgeblich von den horizontalen Abständen der Anker bestimmt. Diese hängen wiederum vom verwendeten Schalungssystem und deren Elementabmessungen ab.

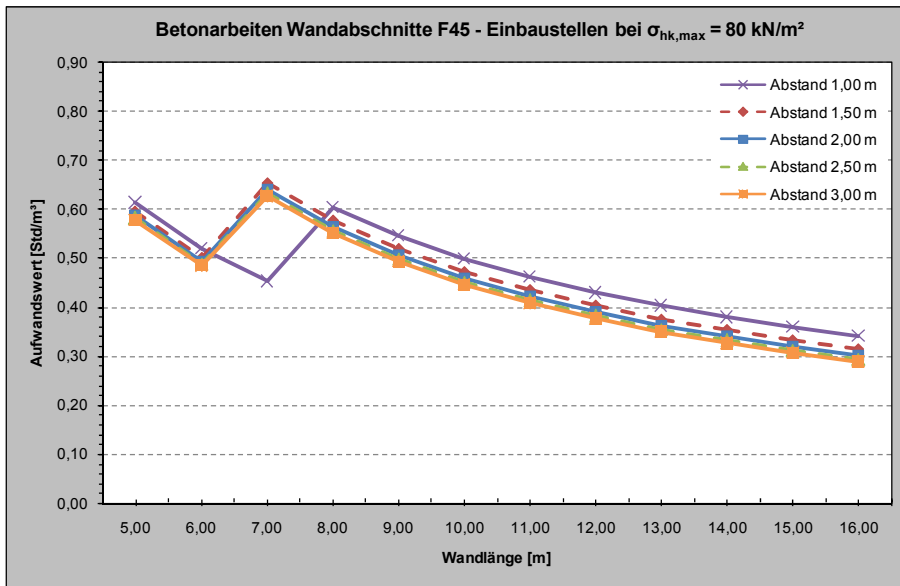


Bild 10.11: Variation der Förderabstände

Es wurde hier von einem  $\sigma_{hk,max}$  von  $80 \text{ kN/m}^2$  bei einer Steiggeschwindigkeit von  $4,40 \text{ m/h}$  einer Einbautemperatur von  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  und einem Erstarrungsende von  $5 \text{ h}$  ausgegangen. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, ergibt sich der wesentlichste Unterschied für einen Förderabstand von  $1,00 \text{ m}$  gegenüber den jeweiligen Erhöhungen um  $0,50 \text{ m}$ . Für eine Wandabschnittslänge von  $7,00 \text{ m}$  ergibt sich für einen Förderabstand von  $1,00 \text{ m}$  ein Aufwandswert von  $0,45 \text{ Std/m}^3$ . Dies markiert den niedrigsten Wert für eine solche Abstandwahl, da sich in weitere Folge der Aufwandswert aufgrund einer zusätzlichen Arbeitskraft wieder erhöht. Für einen Förderabstand von  $3,00 \text{ m}$  ergeben sich zwischen  $5,00$  und  $6,00 \text{ m}$ , Aufwandswerte von  $0,58$  bis  $0,48 \text{ Std/m}^3$ . Die Aufwandswerte zwischen  $1,00 \text{ m}$  und  $3,00 \text{ m}$  bewegen sich im Bereich von  $0,60 \text{ Std/m}^3$  bis  $0,40 \text{ Std/m}^3$ . Es gilt daher festzuhalten, dass der Einfluss der Ankerabstände und der daraus resultierenden Anzahl an Einbaustellen, bei den getroffenen Annahmen von max. Frischbetondruck, maximaler Steiggeschwindigkeit und den jeweiligen Verteilzeiten als gering zu interpretieren ist.

Die Berechnungen zu den Aufwandswerten aus Bild 10.11 sind dem Anhang unter A.1.10 zu entnehmen.

### 10.3.5 Vergleich der Konsistenzen

Der Vergleich der Konsistenzen wurde auf einen max. Frischbetondruck von  $80 \text{ kN/m}^2$  bezogen, da dieser aus baubetrieblicher Sicht für die Auswahl der Schalung für fließfähigere Betone zweckmäßig erscheint. Die maximalen Steiggeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Konsistenzen, einem Erstarrungsende von  $t_E 5 \text{ h}$  und einer

Einbautemperatur von 15°C können folgender Tabelle entnommen werden.

Konsistenz	Steiggeschwindigkeit bei $\sigma_{hk,max} = 80 \text{ kN/m}^2$
F38	6,10 m/h
F45	4,40 m/h
F52	3,70 m/h
F58	1,80 m/h
F66	1,40 m/h
SCC	1,00 m/h

Tabelle 10-4: Steiggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Konsistenz

Anhand der in der Tabelle angeführten Steiggeschwindigkeiten und in Kombination mit den Kurvenverläufen kann abgeleitet werden, dass die Konsistenzklassen F38 bis F52 durchwegs niedrigere Aufwandswerte aufweisen als fließfähigere Betone der Klassen F58 bis SCC.

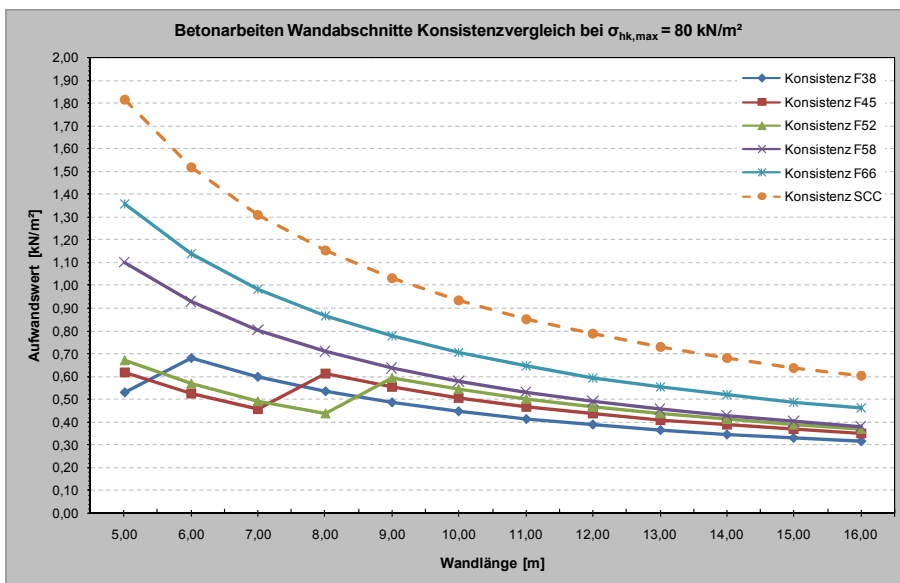


Bild 10.12: Vergleich der Konsistenzen bei  $\sigma_{hk,max} 80 \text{ kN/m}^2$  mit Pumpe

Fließfähigere Betone gewährleisten jedoch einen durchwegs gleichbleibenden Einsatz an Arbeitskräften. Dies ist auch auf die geringere Verdichtungsarbeit zurückzuführen. Demgegenüber steht dennoch eine wesentlich längere Betonierdauer aufgrund der langsameren Betoniergeschwindigkeit. Hier müssten die verwendeten Schalungssysteme auf höhere Frischbetondrücke ausgerichtet werden, um ähnliche Betonierdauern wie bei plastischen bis sehr weichen Betonen zu erreichen.

Der Kurvenverlauf für selbstverdichtenden Beton spiegelt nicht ganz die eigentlichen Möglichkeiten, die dieser Beton hat, wieder. Bei einem Betoneinbau von oben ist die Steiggeschwindigkeit mit 1,00 m/h beschränkt, da sonst Luft im Beton eingeschlossen werden kann. Bei

einem Betoneinbau von unten könnte die Steiggeschwindigkeit frei gewählt werden. Die Schalung müsste auf hydrostatische Druckverhältnisse und damit auf einen Schalungsdruck von mind.  $120 \text{ kN/m}^2$  ausgelegt sein.

Die Berechnungen zu den Aufwandswerten aus Bild 10.12 sind dem Anhang unter A.1.11 zu entnehmen.

### 10.3.6 Zusammenfassung

Durch die Diagramme, welche den Zusammenhang der Aufwandswerte zur Wandabschnittslänge hergestellt haben, konnten die wesentlichen Einflüsse auf die Aufwandswerte von Betonarbeiten nach Punkt 9.1.5 aufgezeigt werden. Festzuhalten gilt, dass die Wahl der Abschnittsgröße immer auch in Hinblick auf die mögliche Vorhaltemenge an Schalung auf der Baustelle durchzuführen ist. Der Betoneinbau mit Pumpe hat den Vorteil einer höheren Einbauleistung, jedoch muss berücksichtigt werden, dass dies auch zu einer Steigerung der Anzahl an AK führen kann bzw. wird, wie die Diagramme eindeutig belegen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Betoniergeschwindigkeit von folgenden Faktoren abhängt:

- max. Steiggeschwindigkeit des Frischbetons,
- max. Frischbetondruck auf die Schalung,
- Betonkonsistenz,
- Erstarrungsverhalten,
- Einbautemperatur,
- Wandgeometrie,
- Fördergerät,
- Spielzeiten der Fördergeräte (Kranspielzeit, Verteilzeiten, Stehzeiten),
- Nenninhalt des Krankübels,
- horizontale Ankerabstände.

Die Betoniergeschwindigkeit wird im Wesentlichen von der maximalen Steiggeschwindigkeit, welche durch den maximalen zulässigen Frischbetondruck vorgegeben ist, beeinflusst. Das Schalungssystem ist an die Wandgeometrie anzupassen. Daraus ergeben sich die Ankerabstände, welche einen kontinuierlichen Betoniervorgang verhindern. Diese Unterbrechungszeiten sind bestimmend für die Betonierdauer. Sie müssen daher in die mögliche Betonierleistung eingerechnet werden.

## 11 Kalkulationsbeispiele

Im folgenden Kapitel wird die Kalkulation von Betonarbeiten anhand von Beispielen durchgeführt. Dabei wird speziell auf die Wechselwirkung von Steiggeschwindigkeit zur Einbauleistung eingegangen. Es werden zwei verschiedene Betoneinbauverfahren sowie die Einzelkosten von zwei unterschiedlichen Wandhöhen und 6 verschiedenen Wandlängen in einem kalkulatorischen Vergleich gegenübergestellt. Um den baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Einfluss der Witterung zu erfassen, werden diesbezüglich weitere Berechnungen angestellt.

### 11.1 Bauteilbeschreibung

Beim vorliegenden Bauteil handelt es sich um eine Wand mit einer Höhe von 9,00 m und einer Wanddicke von 24 cm. Die Wandlänge variiert von 5,00 m bis 10,00 m.

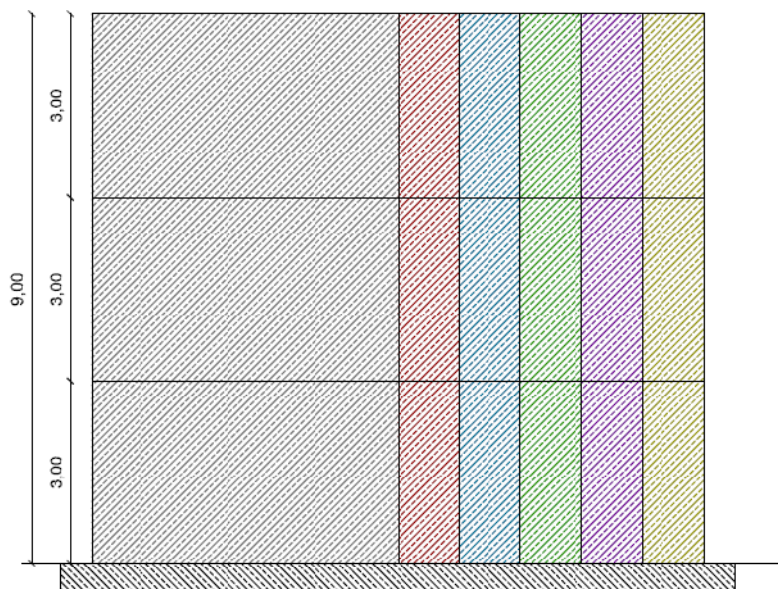
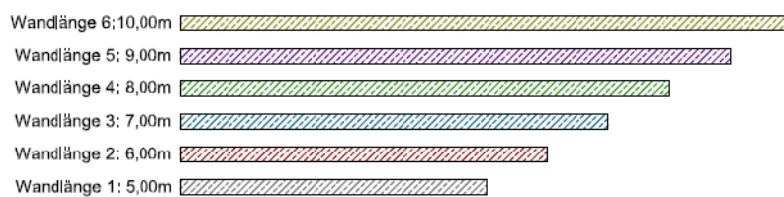


Bild 11.1: Wandsituationen

Es ist davon auszugehen, dass die Wand einmal in drei Betonierabschnitten zu je 3,00 m Höhe hergestellt wird und einmal über die volle Höhe von 9,00 m betoniert wird. Die Wandabschnittslängen gelten für beide Betonierhöhen.



Die folgende Tabelle zeigt die Mengenermittlung je nach Wandabschnittslänge und Wandabschnittshöhe für Frisch- und Festbeton. Das Verdichtungsmaß, hier VM, für einen Beton der Konsistenzklasse F52 dient zur Umrechnung von benötigtem Frischbeton zu Festbeton.

Mengenermittlung											
W <sub>H</sub>	EH	W <sub>D</sub>	EH	W <sub>L</sub>	EH	BT <sub>M, Fest</sub>	EH	VM	EH	BT <sub>M, Frisch</sub>	EH
3,00	m	0,24	m	5,00	m	3,60	m <sup>3</sup>	1,04	-	3,74	m <sup>3</sup>
3,00	m	0,24	m	6,00	m	4,32	m <sup>3</sup>	1,04	-	4,49	m <sup>3</sup>
3,00	m	0,24	m	7,00	m	5,04	m <sup>3</sup>	1,04	-	5,24	m <sup>3</sup>
3,00	m	0,24	m	8,00	m	5,76	m <sup>3</sup>	1,04	-	5,99	m <sup>3</sup>
3,00	m	0,24	m	9,00	m	6,48	m <sup>3</sup>	1,04	-	6,74	m <sup>3</sup>
3,00	m	0,24	m	10,00	m	7,20	m <sup>3</sup>	1,04	-	7,49	m <sup>3</sup>
W <sub>H</sub>	EH	W <sub>B</sub>	EH	W <sub>L</sub>	EH	W <sub>F</sub>	EH	VM	EH	S <sub>F</sub>	EH
9,00	m	0,24	m	5,00	m	10,80	m <sup>3</sup>	1,04	-	11,23	m <sup>3</sup>
9,00	m	0,24	m	6,00	m	12,96	m <sup>3</sup>	1,04	-	13,48	m <sup>3</sup>
9,00	m	0,24	m	7,00	m	15,12	m <sup>3</sup>	1,04	-	15,72	m <sup>3</sup>
9,00	m	0,24	m	8,00	m	17,28	m <sup>3</sup>	1,04	-	17,97	m <sup>3</sup>
9,00	m	0,24	m	9,00	m	19,44	m <sup>3</sup>	1,04	-	20,22	m <sup>3</sup>
9,00	m	0,24	m	10,00	m	21,60	m <sup>3</sup>	1,04	-	22,46	m <sup>3</sup>

Tabelle 11-1: Mengenermittlung Wandsituationen

Die Mengenermittlung dient in weiterer Folge noch der Aufwands- und Leistungswertermittlung sowie der Kalkulation. Sie wird den Berechnungen für ein besseres Verständnis beigelegt.

## 11.2 Kalkulation der Krankkosten

Die Krankkosten werden üblicherweise als Vorhaltekosten den Baustellengemeinkosten hinzugerechnet. Sie können für einen Vergleich der Gerätekosten zwischen Pumpe und Kübelförderung auch als Einzelkosten direkt den Leistungspositionen zugeordnet werden.

Die Auswahl der Krangröße erfolgt unter Berücksichtigung der Geometrie und der Ablaufplanung der Herstellung des Bauteils. Die Krangröße muss nach der maximal zu hebenden Last, in der dafür erforderlichen Ausladung, ausgewählt werden. Für das Kalkulationsbeispiel wurde ein Turmdrehkran Liebherr 90 EC-B6<sup>199</sup> mit Laufkatzausleger ausgewählt. Es sei angenommen, dass der Kran im Zuge der Baustelleneinrichtung schon aufgestellt wurde. Es sind daher keine Kosten für das Auf- und Abbauen in den Kalkulationsbeispielen hinzuzurechnen.

Im K6E-Blatt, welches in Bild 11.2 abgebildet ist, wurde die Kalkulation der Krankkosten und Krankübel durchgeführt. Um die Krankkosten als

<sup>199</sup> Vgl. Liebherr: [http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products\\_cc.wfw/id-12597-0/measure-metric](http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products_cc.wfw/id-12597-0/measure-metric);

Gerätekosten in der Kalkulation der Betonarbeiten berücksichtigen zu können, müssen diese als Gerätekosten je Stunde berechnet werden. Hierfür werden unter Bezug auf die Einsatzstunden des Krans je Monat, die Beistellkosten je Stunde für Lohn, Stoff und Gerät berechnet. Die Einsatzstunden des Krans pro Monat ergeben sich aus dem Arbeitszeitmodell, welches in den Hilfsblättern des K3-Blatts zur Mittellohnkalkulation festgelegt wird. Für das vorliegende Beispiel wurde von einer 44 Stunden Woche ausgegangen. Umgelegt auf 4,33 Wochen pro Monat ergibt dies 190,52 Zeitstunden pro Monat. Zu den Lohnkosten, welche für die Reparatur des Gerätes veranschlagt werden, kommen noch die Lohnstunden für die Bedienung inkl. Wartung des Krans hinzu. Die anfallenden Lohnkosten werden für die Kalkulation der Betonarbeiten in weiterer Folge zusammengefasst ausgedrückt. Die Gerätekosten je Stunde für Stoff und Gerät werden künftig als Sonstige Kosten ausgewiesen.

BAUGERÄTE-BETRIEBSKOSTEN					Formblatt K6E				
Bau: Masterarbeit			Datum: 03.05.2011		Seite				
Angebot Nr.:			Firma:		Preisbasis: 2011		1		
A	ÖBGL-Nr.: C.0.10.0090	Gerät: Turmdrehkran mit Laufkatzausleger							
	Nutzi.: Ln = 0	Masse: 17,6 to		mittl. NW: 189.000,00					
B					A+V		Reparatur		
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	KW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€
1,00	C.0.10.0090	Turmdrehkran	34,00	17,50	189.000,00	2,10	3.969,00	1,10	2.079,00
1,00	C.3.04.1000	Silokübel		0,65	2.840,00		128,00		91,00
C Summe:			34,00	18,15 to	191.840,0		4.097,0		2170,00
D GHP - Index			111,60%		214.093,4		4.572,3		2.421,7
E Abminderung A+V und REP			60,00%	80,00%			2.743,4		1.937,4
Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff							60,00%	40,00%	
Kostenentwicklung je Einheit					LohnStd	Lohn €	Stoff €	Gerät €	
F	Beistellkosten je Monat					1.162,4	775,0	2.743,4	
G	Beistellkosten je Stunde		190,5	h/mon		6,10	4,07	14,40	
H	Bedienung			incl. Wartung	1,10				
I	Betriebsstoffe kWh*/l/kwh*€/kWh*1.2 l/kwh:		0,15	€/kWh:	0,16		0,97		
J	Sonstige Kosten, Verschleißteile								
K	Mittellohnkosten			32,5	€/Std				
L	Gerätekosten je Stunde		Summe: F bis J		0,16	35,75	6,10	5,03	14,40

Bild 11.2: Formblatt K6E- Kalkulation Gerätekosten Kran

Des Weiteren wurde noch der Betonkübel in der Kalkulation der Gerätekosten berücksichtigt. Es wurde ein Silokübel mit Bodenentleerung und angebauten Personenaufnahmekorb mit einem Kübelinhalt von 1000 l aus der ÖBGL ausgewählt.

### 11.3 Ermittlung der Aufwands- und Leistungswerte

Die für die Kalkulation von Betonarbeiten benötigten Aufwands- und Leistungswerte werden im folgenden Kapitel ermittelt. Ausgehend von den Bauteilabmessungen müssen grundlegende Leistungsermittlungen durchgeführt werden.

#### 11.3.1 Rüttlerleistung

Die Verdichtungsleistung von Innenrüttlern wird anhand der Gleichung, welche unter Punkt 4.7.1 beschrieben worden ist, berechnet.

$$Q_T = nT \cdot n \cdot t \cdot A = [\text{m}^3\text{-Frisch/h}]$$

Für das vorliegende Kalkulationsbeispiel wird eine Rüttelflasche mit einem Durchmesser von 65 mm verwendet. Die Eintauchtiefe ergibt sich aufgrund der „Vernadelung“ der einzelnen Schüttilagen mit 0,60 m. Die Anzahl der möglichen Tauchvorgänge wurden mit 75 pro Stunde angenommen.

Der Wirkungsbereich A errechnet sich aus der Multiplikation der Wandbreite [t] und der Tauchabstände der Rüttler [b]. Daraus folgt:

$$b = (8-9) \cdot d = 9 \cdot 0,065 = 0,59 \text{ m}$$

Anhand der Tauchabstände kann nun der Wirkungsbereich der Rüttler berechnet werden.

$$A = b \cdot t = 0,59 \cdot 0,24 = 0,14 \text{ m}^2$$

Damit ergibt sich für die technische Grundleistung eines Innenrüttlers:

$$Q_T = nT \cdot n \cdot t \cdot A = 75 \cdot 1 \cdot 0,60 \cdot 0,14 = 6,30 \text{ m}^3\text{-Frisch/h}$$

Die Verdichtungsleistung bestimmt im Wesentlichen die Zusammensetzung der Betonierkolonne, wobei auch die Einbauleistung des Fördergerätes als Kriterium herangezogen werden müssen.

### 11.3.2 Grundleistung Pumpe und Kran/Kübel

Die Grundleistungen für Pumpe und Kran/Kübel werden spezifisch für jede Wandsituation neu ermittelt. Durch die Ankerung der Schalung ist ein kontinuierliches Betonieren nicht möglich, da der Betonierschlauch je nach Ankerabstand neu versetzt werden muss. Der Zeitverlust, der sich dadurch beim Betonieren ergibt, muss in die Leistung eingerechnet werden. Je nach Wandabschnittslänge ergeben sich daher längere und kürzere Unterbrechungszeiten. Für das vorliegende Kalkulationsbeispiel wurde ein durchschnittlicher Ankerabstand von 1,0 m gewählt.

Die Betonierleistung bei einer Betonförderung mit Kran und Kübel wird wesentlich von der Kranspielzeit bestimmt. Daher wurden unter Annahme der Entfernungen von Wand zu Kranstandort die Spielzeiten berechnet.

Spielzeitberechnung Turmdrehkran 90 EC-B 6				
Teilvorgang	Streckenlänge	Geschwindigkeit	Vorgangsdauer	Parallele Teilvorgänge
	m oder U/min	m/min od. U/min	min	
Beladen	-	-	0,70	-
Heben	3,00	Stufe 1: 6,2	0,48	-
	14 / 6	Stufe 2: 28	0,5/0,25	-
Schwenken	0,25	0,80	0,31	-
Katzfahren	10,00	63,00	0,15	-
Senken	3,00	Stufe 1: 6,2	0,48	-
	14 / 6	Stufe 2: 28	0,5/0,25	-
Entladen	-	-	-	-

Bild 11.3: Spielzeitberechnung Kran

Die Spielzeitberechnung hat eine Kranspielzeit ohne Entladen von 3,10 min für eine Wandhöhe von 9,00 m ergeben. Dabei wurde von einer maximalen Hubhöhe von 14,00 m ausgegangen. Für eine Wandhöhe von 3,00 m ergibt sich eine Spielzeit von 2,60 min. Hier wurde von einer maximalen Hubhöhe von 6,00 m ausgegangen.

Die Spielzeit wird deshalb ohne Entladen angegeben, weil sich das Entladen an die maximale Steiggeschwindigkeit in der Schalung anpassen muss. Dementsprechend darf der Kübel nicht auf einmal entleert werden.

### 11.3.3 Allgemeines zur Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte

Die für die Aufwandswerte notwendige Ermittlung der Steiggeschwindigkeiten je nach Wandsituationen wurde mit dem Frischbetondruckrechner der Firma Doka durchgeführt, wobei in der nachfolgenden Tabelle die Steiggeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Randbedingungen (Wandhöhe, Einbautemperatur) zusammengefasst sind. Folgende Randbedingungen gelten für beide Wandhöhen:

- Frischbetonkonsistenz F52
- Erstarrungsende ( $t_E$ ) 5 h
- Zulässiger Frischbetondruck ( $\sigma_{hk,max}$ ) 80,00 kN/m<sup>2</sup>

$T_{c, Einbau}$	Steiggeschwindigkeit bei $W_H = 3,00$ m	Steiggeschwindigkeit bei $W_H = 9,00$ m
20°C	5,50 m/h	4,50 m/h
15°C	5,50 m/h	3,70 m/h
10°C	5,50 m/h	3,10 m/h

Tabelle 11-2: max. Steiggeschwindigkeiten Kalkulation

Nachdem die wesentlichsten Randbedingungen festgelegt sind, wird nun die Ermittlung der Aufwands- und Leistungswerte in den folgenden Tabellen dargestellt. Für die Rüstzeiten sind wiederum 0,5 Zeitstunden anzusetzen.

Des Weiteren gelten für die Berechnungen der Zeitdauern für das Heben, Senken und Versetzen, dass diese zur Zeitdauer  $t_{s, h, v}$  zusammengefasst wurden. Die Zeitdauer  $t_{s, h, v}$  wird differenziert für das jeweilige Bauteil und das jeweilige Geräte betrachtet. Es wurde ein Ankerabstand von 1,00 m angenommen. Daher müssen die Verteilzeiten mit der jeweiligen Wandlänge multipliziert werden, um auf die Gesamtdauer der Verteilzeiten zu kommen. Je nach Wandhöhe sind unterschiedliche Vorgangszeiten zu berücksichtigen; diese werden bei den jeweiligen Berechnungen angeführt.

#### 11.3.4 Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte $W_H$ 3,00 m

Der folgende Punkt behandelt die Aufwands- und Leistungswertermittlung für eine Wandhöhe von 3,00 m und für eine Betonförderung mit Pumpe sowie Kran und Kübel.

Wie in Kapitel 10 ausführlich zu den Aufwandswerten erklärt, ergeben sich die wesentlichen Unterschiede zwischen Pumpe, Kran und Kübel durch die maximal mögliche Betonierleistung. Die Mannschaftsstärke wird durch die maximal mögliche Leistung des eingesetzten Rüttlers bestimmt.

Für die Ermittlung der Aufwands- und Leistungswerte können die Mengen für eine Wandhöhe von 3,00 m der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

Betonmengen 3,00 m					
$W_H$ [m]	$W_D$ [m]	$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	VM [-]	$BT_{M,Frisch}$ [m <sup>3</sup> ]
3,00	0,24	5,00	3,60	1,04	3,74
3,00	0,24	6,00	4,32	1,04	4,49
3,00	0,24	7,00	5,04	1,04	5,24
3,00	0,24	8,00	5,76	1,04	5,99
3,00	0,24	9,00	6,48	1,04	6,74
3,00	0,24	10,00	7,20	1,04	7,49

Tabelle 11-3: Betonmengen  $W_H$  3,00 m

Die Steiggeschwindigkeit  $v$  wurde für eine Wandhöhe von 3,00 m mit 5,50 m/h gewählt, um den Vorteil von hydrostatischen Druckverhältnissen optimal auszunutzen. Wie aus Tabelle 11-2 ersichtlich, hat die Einbautemperatur bei einer Wandhöhe von 3,00 m keinen Einfluss auf die maximale Steiggeschwindigkeit. Daher können die ermittelten Aufwands- und Leistungswerte für alle drei Einbautemperaturen herangezogen werden.

Die für die Ermittlung der Leistungswerte relevanten Zeitdauern wurden folgendermaßen angenommen bzw. errechnet.

Für die Verteilzeiten gelten folgende Zeitdauern:

- Kran/Kübel 3,00 m:  $T_K$  2,60 min  
 $t_{s, h, v}$  0,14 min
- Pumpe 3,00 m:  $t_{s, h, v}$  0,12 min

Für die Leistungswertberechnung in den nachfolgenden Tabellen wurden die Werte bereits von Minuten auf Stunden umgerechnet.

Der Vollständigkeit halber sind die Berechnungsschritte zur Ermittlung der Betonierleistung bei einer Betonförderung mit Pumpe bezogen auf den Frischbeton  $L_{BT, Frisch}$  nachfolgend noch einmal angeführt. Die Leistungsberechnung wird auf eine Wandabschnittslänge von 5,00 m bezogen. Die Betonmenge der Schüttlage wird als Frischbetonmenge errechnet.

$$BT_{M, Lage} = A_{L, D} \cdot H_{Lage} = 1,20 \text{ m}^2 \cdot 0,50 \text{ m} = 0,60 \text{ m}^3 \text{-Frisch}$$

Nach der Ermittlung der Kubatur einer Lage wird die Betonierdauer ( $t_{max, Lage}$ ) einer Lage ermittelt, die sich unter Berücksichtigung der maximalen Steiggeschwindigkeit ergibt.

$$t_{max, Lage} = \frac{H_{Lage}}{v} = \frac{0,50 \text{ m}}{5,50 \text{ m/h}} = 0,091 \text{ h} = 5,46 \text{ min}$$

Durch die Verteilzeiten erhöht sich die Zeitdauer für das Betonieren einer Lage noch um die Summe der Verteilzeiten  $t_{s, h, v}$  multipliziert mit der Anzahl der Einbaustellen, an denen diese Vorgänge durchgeführt werden. Daraus ergibt sich folgende Gesamtdauer für das Betonieren einer Schüttlage:

$$t_{\text{Lage}} = \frac{t_{\text{max,Lage}} + t_{s, h, v} \cdot E_{\text{st}}}{60} = [\text{h}]$$

$$t_{\text{Lage}} = \frac{5,46 \text{ min} + 0,12 \text{ min} \cdot 5}{60 \text{ min/h}} = \frac{6,06 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} = 0,1009 \text{ h}$$

Die Betonierleistung errechnet sich nun aus der Frischbetonkubatur einer Lage und der Dauer des Betoniervorgangs.

$$L_{\text{BT, Frisch}} = \frac{BT_{\text{M,Lage}}}{t_{\text{Lage}}} = \frac{0,60 \text{ m}^3}{0,1009 \text{ h}} = 5,95 \text{ m}^3 \text{ Frisch/h}$$

Anhand der Betonierleistung bezogen auf den Frischbeton  $L_{\text{BT, Frisch}}$  kann nun der Aufwandswert jeweils für Frisch- und Festbeton bestimmt werden.

$$AW_{\text{BT, Frisch}} = \frac{AK}{L_{\text{BT}}} = \frac{2 \text{ Std/h}}{5,95 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,34 \text{ Std/m}^3 \text{ Frisch}$$

Zusätzlich zum Aufwandswert für das Betonieren muss noch der Aufwandswert für das Rüsten berechnet werden. Die Rüstzeit wird wiederum mit 0,5 Zeitsunden angenommen. Der Aufwandswert fürs Rüsten bezieht sich auf die einzubauende Betonmenge. Die einzubauende Betonmenge  $BT_{\text{M, Frisch}}$  ist die um das Verdichtungsmaß größere Menge als die Menge nach Aufmaß. Das Verdichtungsmaß muss hier für einen Beton nach Konsistenzklasse F52 herangezogen werden. Das Verdichtungsmaß für einen Beton dieser Klassifizierung beträgt 1,04.

$$BT_{\text{M, Frisch}} = W_L \cdot W_D \cdot W_H \cdot VM = 5,00 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} \cdot 3,00 \text{ m} \cdot 1,04 = 3,74 \text{ m}^3$$

$$AW_{RÜ, Frisch} = \frac{D_{RÜ} \cdot AK}{BT_{M, Frisch}} = \frac{0,5 \text{ h} \cdot 2 \text{ Std/h}}{3,74 \text{ m}^3} = 0,27 \text{ Std/m}^3 \text{ Frisch}$$

Der Gesamtaufwandswert wird durch die Summe des Aufwandswertes für das Betonieren und des Aufwandswertes für das Rüsten gebildet.

$$AW_{Ges, Frisch} = AW_{BT, Frisch} + AW_{RÜ, Frisch} = 0,34 \text{ Std/m}^3 + 0,27 \text{ Std/m}^3 =$$

$$AW_{Ges, Frisch} = 0,61 \text{ Std/m}^3 \text{ Frisch}$$

Wie eingangs bereits erwähnt, ist für die Kalkulation jedoch der Aufwandswert für Festbeton von Relevanz. Daher muss der Gesamtaufwandswert für Frischbeton noch mit dem Verdichtungsmaß multipliziert werden, um den Aufwandswert bezogen auf den Festbeton zu erhalten. Daraus folgt:

$$AW_{Ges, Fest} = AW_{Ges, Frisch} \cdot VM = 0,61 \text{ Std/m}^3 \cdot 1,04 = 0,63 \text{ Std/m}^3 \text{ Fest}$$

Diese Berechnung kann in weiterer Folge in den Tabellen nachvollzogen werden.

Für dieses Beispiel sei darauf hingewiesen, dass sich die Querschnittsfläche  $A_{L, D}$  durch Multiplikation der Wanddicke und Wandlänge aus Tabelle 11-3 errechnet. Die Angabe der Wandlängen dient zur Orientierung und Zuordnung der ermittelten Leistungs- und Aufwandswerte zur jeweiligen Wandabschnittslänge. Sämtliche angegebenen Frisch- und Festbetonmengen, die in den nachfolgenden Tabellen angeführt sind, sind der Tabelle 11-3 zu entnehmen.

Leistungsberechnung Pumpe 3,00 m										
$W_H$	3,00 m									
$v$	5,50 m/h									
$T_c, \text{Einbau}$	15 °C									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$W_L$	$E_{st}$	$A_{L, D}$	$H_{Lage}$	$BT_{M, Lage}$	$t_{max, Lage}$	$t_{s, h, v}$	$t_{s, h, v} \cdot E_{st}$	$t_{Lage}$	$V_{Lage}$	$L_{BT, Frisch}$
[m]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
				3 * 4	4 / v		1 * 7	7 + 8	4 / 5	5 / 9
5,00	5	1,20	0,50	0,600	0,0909	0,0020	0,010	0,1009	4,95	5,95
6,00	6	1,44	0,50	0,720	0,0909	0,0020	0,012	0,1029	4,86	7,00
7,00	7	1,68	0,50	0,840	0,0909	0,0020	0,014	0,1049	4,77	8,01
8,00	8	1,92	0,50	0,960	0,0909	0,0020	0,016	0,1069	4,68	8,98
9,00	9	2,16	0,50	1,080	0,0909	0,0020	0,018	0,1089	4,59	9,92
10,00	10	2,40	0,50	1,200	0,0909	0,0020	0,020	0,1109	4,51	10,82

Tabelle 11-4: Leistungsberechnungen Pumpe  $W_H$  3,00 m



Der ermittelte Leistungswert aus Tabelle 11-4 wird zur Ermittlung des Aufwandswertes in die Tabelle 11-5 übertragen.

Aufwandswertberechnung Pumpe 3,00 m									
v		5,50 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W <sub>L</sub>	BT <sub>M, Frisch</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	D <sub>RÜ</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frish</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m³]	[m³/h]	[Std/h]	[h]	[Std/m³]	[Std/m³]	[Std/m³]	[-]	[Std/m³]
					4*5/2	4/3	6+7		8*9
5,00	3,74	5,95	2	0,50	0,27	0,34	0,60	1,04	0,63
6,00	4,49	7,00	3	0,50	0,33	0,43	0,76	1,04	0,79
7,00	5,24	8,01	3	0,50	0,29	0,37	0,66	1,04	0,69
8,00	5,99	8,98	3	0,50	0,25	0,33	0,58	1,04	0,61
9,00	6,74	9,92	3	0,50	0,22	0,30	0,53	1,04	0,55
10,00	7,49	10,82	3	0,50	0,20	0,28	0,48	1,04	0,50

Tabelle 11-5: Aufwandswertberechnung Pumpe 3,00 m

Der Aufwandswert für Festbeton AW<sub>Fest</sub> wird in der Kalkulation zur Ermittlung der Lohnkosten herangezogen. Durch Berücksichtigung der Rüttlerleistung ergeben sich ab einer Wandabschnittslänge von 6,00 m Betonierkolonnen von 3 Mann.

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Pumpe 3,00 m									
v		5,50 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	BT <sub>M, Frisch</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	VM	BT <sub>M, Fest</sub>	L <sub>BT, Fest</sub>	D <sub>BT</sub>	V <sub>BT</sub>	
[m]	[m]	[m³]	[m³/h]	[-]	[m³]	[m³/h]	[h]	[m/h]	
						4/5	6/7	2/8	
5,00	3,00	3,74	5,95	1,04	3,60	5,72	0,63	4,76	
6,00	3,00	4,49	7,00	1,04	4,32	6,73	0,64	4,67	
7,00	3,00	5,24	8,01	1,04	5,04	7,70	0,65	4,58	
8,00	3,00	5,99	8,98	1,04	5,76	8,63	0,67	4,50	
9,00	3,00	6,74	9,92	1,04	6,48	9,54	0,68	4,41	
10,00	3,00	7,49	10,82	1,04	7,20	10,40	0,69	4,33	

Tabelle 11-6: D<sub>BT</sub> und V<sub>BT</sub> Pumpe 3,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Für die Kalkulation sind noch die Betonierdauer sowie die Betonierleistung von Relevanz, da über die Betonierleistung die Entladezeiten der Transportbetonfahrzeuge berechnet werden. Die Betonierdauer hat wiederum einen wesentlichen Einfluss auf die Betonrezeptur. Wie aus Kapitel 4 Punkt 4.6.2 hervorgeht, muss der Beton 105 Minuten ab Wasserzugabe im Werk vollständig ins Bauteil eingebaut und verdichtet werden. Ansonsten sind Verzögerer für eine verlängerte Verarbeitungszeit hinzuzugeben.

Die Betonierdauer errechnet sich aus der Division der Festbetonmenge durch die Betonierleistung bezogen auf den Festbeton. Für eine Wandlänge von 5,00 m ergibt sich daher:

$$D_{BT} = \frac{BT_{M, Fest}}{L_{BT, Fest}} = \frac{3,60 \text{ m}^3}{5,72 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,63 \text{ h}$$

Die Betoniergeschwindigkeit für eine Wandabschnittslänge von 5,00 m ergibt sich dann aus der Division der Wandhöhe durch die Betonierdauer.

$$v_{BT} = \frac{W_H}{D_{BT}} = \frac{3,00 \text{ m}}{0,63 \text{ h}} = 4,76 \text{ m/h}$$

Diese Berechnungsschritte gelten für alle nachfolgenden Berechnungen gleichermaßen.

Für die Berechnung der Kennzahlen bei einer Betonförderung mit Kran und Kübel gelten die gleichen Eingangsparameter wie bei der Pumpe. Der Vollständigkeit halber seien auch hier die wesentlichsten Berechnungsschritte noch einmal angeführt.

Zuerst wird die Fläche aus Wandlänge ( $W_L$ ) und Wanddicke ( $W_D$ ) gebildet.

$$A_{L,D} = W_{L,1} \cdot W_D = 5,00 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} = 1,20 \text{ m}^2$$

Die Lagenhöhe  $H_{Lage,i}$  ergibt sich dann aus der Division der Betonmenge Frischbeton (Nenninhalt Kübel) und der Fläche  $A_{L,D}$ .

$$H_{Lage,i} = \frac{BT_{M,K}}{A_{L,D}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{1,20 \text{ m}^2} = 0,83 \text{ m}$$

Damit würde bei einem Entleervorgang die max. Lagenhöhe von 0,5 m überschritten werden. Daher muss zuerst der Kübel bis zu einer Schütthöhe von 0,5 m entleert werden, um ein normengerechtes Einbringen zu berücksichtigen. In einem weiteren Entleervorgang wird die restliche Betonmenge wiederum unter Berücksichtigung der max. Steiggeschwindigkeit in Lagen betoniert. Diesbezüglich sind die Verteilzeiten für beide Entleervorgänge zu berücksichtigen. In einem ersten Schritt wird die Betonierdauer der Lage  $H_{Lage,j}$  für 0,50 m berechnet.

$$t_{\max, Lage,j} = \frac{H_{Lage,j}}{v_b} = \frac{0,50 \text{ m}}{5,50 \text{ m/h}} = 0,091 \text{ h} = 5,45 \text{ min}$$

Dann muss die Betonierdauer der restlichen Lage berechnet werden, wobei sich die restliche Lage aus der Differenz der Lage  $H_{Lage,i}$  und  $H_{Lage,j}$  bildet.

$$H_{Lage, i-j} = H_{Lage, i} - H_{Lage, j} = 0,83 \text{ m} - 0,50 \text{ m} = 0,33 \text{ m}$$

$$t_{\max, Lage, i-j} = \frac{H_{Lage, i-j}}{v_b} = \frac{0,33 \text{ m}}{5,50 \text{ m/h}} = 0,060 \text{ h} = 3,60 \text{ min}$$

Nun kann die Gesamtdauer des Betoniervorgangs bestimmt werden. Dieser ergibt sich aus den Betonierzeiten der Lagen zuzüglich der Verteilzeiten und des Kranspiels.

$$t_{Lage} = \frac{t_{\max, Lage, j, i-j} + T_K + t_{s, h, v} \cdot E_{St} \cdot 2}{60} = [\text{h}]$$

$$t_{Lage} = \frac{5,45 \text{ min} + 3,60 \text{ min} + 2,60 \text{ min} + 0,14 \text{ min} \cdot 5 \cdot 2}{60 \text{ min/h}} = 0,218 \text{ h}$$

Die Betonierleistung berechnet sich nun aus dem Nenninhalt des Krankübels dividiert durch die Gesamtdauer  $t_{Lage}$ .

$$L_{BT} = \frac{BT_{M,K}}{t_{Lage}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{0,218 \text{ h}} = 4,59 \text{ m}^3 \text{ Frisch/h}$$

Der andere Fall, der bei einer Betrachtung über mehrere Wandabschnittslängen eintreten kann, ist der, dass der Küberinhalt genau für die Betonage einer Lage mit 0,50 m ausreicht oder gegebenenfalls darunter liegt. Nachfolgend sei dazu die Berechnung angeführt. Es wurde eine Wandlänge  $W_L$  von 9,00 m gewählt.

$$A_{L,D} = W_{L,2} \cdot W_D = 9,00 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} = 2,16 \text{ m}^2$$

Die Lagenhöhe  $H_{Lage,i}$  ergibt sich dann wiederum aus der Division der Betonmenge Frischbeton (Nenninhalt Küber) und der Fläche  $A_{L,D}$ .

$$H_{\text{Lage},i} = \frac{BT_{M,K}}{A_{L,D}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{2,16 \text{ m}^2} = 0,46 \text{ m}$$

Durch die Fördermenge eines Kranspiels wird die vorgegebene Schütthöhe nicht überschritten. Die Dauer des Betoniervorgangs wird mit der berechneten Lagenhöhe ermittelt.

$$t_{\text{max, Lage},i} = \frac{H_{\text{Lage}}}{v_b} = \frac{0,46 \text{ m}}{5,50 \text{ m/h}} = 0,084 \text{ h} = 5,04 \text{ min}$$

Die Gesamtdauer des Betoniervorgangs für die errechnete Lagenhöhe kann folgendermaßen berechnet werden:

$$t_{\text{Lage}} = \frac{t_{\text{max, Lage}} + T_K + t_{s, h, v} \cdot F_{\text{st}}}{60} = [\text{h}]$$

$$t_{\text{Lage}} = \frac{5,04 \text{ min} + 2,60 \text{ min} + 0,14 \text{ min} \cdot 9}{60 \text{ min/h}} = 0,148 \text{ h}$$

Die Betonierleistung berechnet sich nun aus dem Nenninhalt des Krankübels dividiert durch die Gesamtdauer  $t_{\text{Lage}}$ .

$$L_{\text{BT}} = \frac{BT_{M,K}}{t_{\text{Lage}}} = \frac{1,00 \text{ m}^3}{0,148 \text{ h}} = 6,75 \text{ m}^3 \text{ Frisch/h}$$

Über die ermittelten Betonierleistungen lassen sich nun die Aufwandswerte je Wandabschnittslänge berechnen.

Die Aufwandswertberechnung wird gleich durchgeführt wie jene der Pumpe. Wiederum wird die Betonierleistung in die Aufwandswertberechnung übertragen.

Nachfolgend sind die Berechnungen für Kran und Kübel angeführt. Es sei darauf hingewiesen, dass die Berechnungen der Leistungswerte für Kran und Kübel aufgrund der zwei unterschiedlichen Rechenwege in den Tabellen geteilt wurden.

Leistungsberechnung Kran und K黚el 3,00 m														
W <sub>H</sub>		3,00 m												
v		5,50 m/h												
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,I</sub>	H <sub>Lage,J</sub>	H <sub>Lage,IJ</sub>	t <sub>maxLage,I</sub>	t <sub>maxLage,IJ</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,n,v</sub> +E <sub>st</sub> *2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,n,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	v <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
			3 / 2		4 - 5	5 / v	6 / v			10+9*1*2		7+8+11	4/13	3/13
5	1,20	1,00	0,83	0,50	0,33	0,0909	0,06	0,0023	0,0433	0,0663	-	0,2178	3,83	4,59
6	1,44	1,00	0,69	0,50	0,19	0,0909	0,04	0,0023	0,0433	0,0709	-	0,1972	3,52	5,07
7	1,68	1,00	0,60	0,50	0,10	0,0909	0,02	0,0023	0,0433	0,0755	-	0,1837	3,24	5,44
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,I</sub>	H <sub>Lage,J</sub>	H <sub>Lage,IJ</sub>	t <sub>maxLage,I</sub>	t <sub>maxLage,IJ</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,n,v</sub> +E <sub>st</sub> *2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,n,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	v <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
			3 / 2			4 / v					10+9*1	7+12	0,31	3/13
8	1,92	1,00	0,52	-	-	0,0947	-	0,0023	0,0433	-	0,0617	0,1564	3,33	6,39
9	2,16	1,00	0,46	-	-	0,0842	-	0,0023	0,0433	-	0,0640	0,1482	3,12	6,75
10	2,40	1,00	0,42	-	-	0,0758	-	0,0023	0,0433	-	0,0663	0,1421	2,93	7,04

Tabelle 11-7: Leistungsberechnung Kran und K黚el 3,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Die Zeiten f黵 das Kranspiel und die jeweiligen Verteilzeiten wurden bereits in Stunden umgerechnet.

Aufandswertberechnung Kran und K黚el 3,00 m										
v		5,50 m/h								
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
W <sub>L</sub>	BT <sub>M,Frisch</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	D <sub>RÜ</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>	
					4*5/2	4/3	6+7		8*9	
5,00	3,74	4,59	3	0,50	0,40	0,65	1,05	1,04	1,10	
6,00	4,49	5,07	3	0,50	0,33	0,59	0,93	1,04	0,96	
7,00	5,24	5,44	3	0,50	0,29	0,55	0,84	1,04	0,87	
8,00	5,99	6,39	3	0,50	0,25	0,47	0,72	1,04	0,75	
9,00	6,74	6,75	3	0,50	0,22	0,44	0,67	1,04	0,69	
10,00	7,49	7,04	3	0,50	0,20	0,43	0,63	1,04	0,65	

Tabelle 11-8. Aufandswertberechnung Kran und K黚el 3,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Wie schon aus den Diagrammen zur Aufandswertbestimmung in Kapitel 10 hervorgeht, liegt hier der Aufandswert von Kran und K黚el deutlich h鰄er als jener der Pumpe. Die Betonierkolonne ergibt sich wiederum aus 3 Arbeitskräften.

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Kran und K黚el 3,00 m									
v		5,50 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	BT <sub>M,Frisch</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	VM	BT <sub>M,Fest</sub>	L <sub>BT,Fest</sub>	D <sub>BT</sub>	v <sub>BT</sub>	
						4/5	6/7	2/8	
5,00	3,00	3,74	4,59	1,04	3,60	4,41	0,82	3,68	
6,00	3,00	4,49	5,07	1,04	4,32	4,88	0,89	3,39	
7,00	3,00	5,24	5,44	1,04	5,04	5,23	0,96	3,12	
8,00	3,00	5,99	6,39	1,04	5,76	6,15	0,94	3,20	
9,00	3,00	6,74	6,75	1,04	6,48	6,49	1,00	3,00	
10,00	3,00	7,49	7,04	1,04	7,20	6,77	1,06	2,82	

Tabelle 11-9: D<sub>BT</sub> und v<sub>BT</sub> Kran und K黚el 3,00m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

### 11.3.5 Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte $W_H$ 9,00 m

Der folgende Punkt behandelt die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte bei einer Wandhöhe von 9,00 m und einem Betoneinbau mit Pumpe sowie Kran und Kübel. Im Gegensatz zu einer Wandhöhe von 3,00 m, haben bei einer Wandhöhe von 9,00 m verschiedene Einbautemperaturen einen wesentlichen Einfluss auf die Steiggeschwindigkeit, wie aus Tabelle 11-2 ersichtlich. Die jeweiligen Steiggeschwindigkeiten und Einbautemperaturen sind bei den Berechnungen zur Orientierung angeführt.

Betonmengen 9,00 m					
1	2	3	4	5	6
$W_H$ [m]	$W_D$ [m]	$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	$VM$ [-]	$BT_{M,Frisch}$ [m <sup>3</sup> ]
9,00	0,24	5,00	10,80	1,04	11,23
9,00	0,24	6,00	12,96	1,04	13,48
9,00	0,24	7,00	15,12	1,04	15,72
9,00	0,24	8,00	17,28	1,04	17,97
9,00	0,24	9,00	19,44	1,04	20,22
9,00	0,24	10,00	21,60	1,04	22,46

Tabelle 11-10: Betonmenge 9,00 m

Für die Verteilzeiten gelten folgende Zeitdauern:

- Kran/Kübel 9,00 m.  $T_K$  3,10 min  
 $t_{s, h, v}$  0,34 min
- Pumpe 9,00 m:  $t_{s, h, v}$  0,32 min

In den Berechnungen der Leistungswerte wurden diese Werte bereits von Minuten auf Stunden umgerechnet.

Die Berechnung der Leistungs- und Aufwandswerte werden analog jenen für eine Wandhöhe von 3,00 m durchgeführt, jeweils differenziert in Pumpe sowie Kran und Kübel.

In den ersten Berechnungen werden die Aufwands- und Leistungswerte für einen Betoneinbau mit Pumpe betrachtet. Die jeweiligen maximal zulässigen Steiggeschwindigkeiten sind in den Tabellen vermerkt.

Leistungsberechnung Pumpe 9,00 m										
$W_H$		9,00 m								
$v$		4,50 m/h								
$T_{c, Einbau}$		20 °C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$W_L$	$E_{st}$	$A_{L, D}$	$H_{Lage}$	$BT_{M, Lage}$	$t_{max, Lage}$	$t_{s, h, v}$	$E_{st} \cdot t_{s, h, v}$	$t_{Lage}$	$v_{Lage}$	$L_{BT, Frisch}$
[m]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
				3 * 4	4 / v		1*7	7+8	4 / 5	5 / 9
5,00	5	1,20	0,50	0,600	0,1111	0,0020	0,0267	0,1378	3,63	4,35
6,00	6	1,44	0,50	0,720	0,1111	0,0020	0,0320	0,1431	3,49	5,03
7,00	7	1,68	0,50	0,840	0,1111	0,0020	0,0373	0,1484	3,37	5,66
8,00	8	1,92	0,50	0,960	0,1111	0,0020	0,0427	0,1538	3,25	6,24
9,00	9	2,16	0,50	1,080	0,1111	0,0020	0,0480	0,1591	3,14	6,79
10,00	10	2,40	0,50	1,200	0,1111	0,0020	0,0533	0,1644	3,04	7,30

Tabelle 11-11: Leistungswert Pumpe bei  $W_H$  9,00 m für  $T_{c, Einbau}$  20 °C

Zur Berechnung des Aufwandswertes wird der Leistungswert aus Tabelle 11-10 in die Tabelle 11-11 übertragen.

Aufwandswertberechnung Pumpe 9,00 m									
$v$		4,50 m/h							
$T_{c, Einbau}$		20 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$W_L$	$BT_{M, Frisch}$	$L_{BT, Frisch}$	$AK_{BT}$	$D_{RÜ}$	$AW_{RÜ}$	$AW_{BT}$	$AW_{Frisch}$	$VM$	$AW_{Fest}$
[m]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[h]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>3</sup> ]
					4*5/2	4/3	6+7		8*9
5,00	11,23	4,35	2	0,50	0,09	0,46	0,55	1,04	0,57
6,00	13,48	5,03	2	0,50	0,07	0,40	0,47	1,04	0,49
7,00	15,72	5,66	2	0,50	0,06	0,35	0,42	1,04	0,43
8,00	17,97	6,24	2	0,50	0,06	0,32	0,38	1,04	0,39
9,00	20,22	6,79	3	0,50	0,07	0,44	0,52	1,04	0,54
10,00	22,46	7,30	3	0,50	0,07	0,41	0,48	1,04	0,50

Tabelle 11-12: Aufwandswerte Pumpe bei  $W_H$  9,00 m für  $T_{c, Einbau}$  20 °C

Für eine Einbautemperatur von 20 °C ergibt sich ab einer Wandabschnittslänge von 9,00 m eine Erhöhung der Arbeitskräfte von 2 auf 3.

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Pumpe 9,00 m								
$v$		4,50 m/h						
$T_{c, Einbau}$		20 °C						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$W_L$	$W_H$	$BT_{M, Frisch}$	$L_{BT, Frisch}$	$VM$	$BT_{M, Fest}$	$L_{BT, Fest}$	$D_{BT}$	$v_{BT}$
[m]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /h]	[-]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /h]	[h]	[m/h]
						4/5	6/7	2/8
5,00	9,00	11,23	4,35	1,04	10,80	4,19	2,58	3,49
6,00	9,00	13,48	5,03	1,04	12,96	4,84	2,68	3,36
7,00	9,00	15,72	5,66	1,04	15,12	5,44	2,78	3,24
8,00	9,00	17,97	6,24	1,04	17,28	6,00	2,88	3,13
9,00	9,00	20,22	6,79	1,04	19,44	6,53	2,98	3,02
10,00	9,00	22,46	7,30	1,04	21,60	7,02	3,08	2,92

Tabelle 11-13:  $D_{BT}$  und  $v_{BT}$  Pumpe 9,00 m  $T_{c, Einbau}$  20 °C

Anhand der Betoniergeschwindigkeit ist zu erkennen, dass die maximal zulässige Steiggeschwindigkeit über das gesamte Bauteil eingehalten ist. Dies ist auf ein Einhalten der maximal zulässigen Steiggeschwindigkeit bei lagenweisem Einbau zurückzuführen.

Für eine Einbautemperatur von 15 °C muss die Steiggeschwindigkeit um 0,8 m/h reduziert werden. Dadurch reduziert sich die Betonierleistung gegenüber einer Einbautemperatur von 20 °C.

Leistungsberechnung Pumpe 9,00 m										
W <sub>H</sub>		9,00 m								
v		3,70 m/h								
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W <sub>L</sub>	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	E <sub>st</sub> * t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
[m]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
				3 * 4	4 / v		1 * 7	7 + 8	4 / 5	5 / 9
5,00	5	1,20	0,50	0,600	0,1351	0,0020	0,0267	0,1618	3,09	3,71
6,00	6	1,44	0,50	0,720	0,1351	0,0020	0,0320	0,1671	2,99	4,31
7,00	7	1,68	0,50	0,840	0,1351	0,0020	0,0373	0,1725	2,90	4,87
8,00	8	1,92	0,50	0,960	0,1351	0,0020	0,0427	0,1778	2,81	5,40
9,00	9	2,16	0,50	1,080	0,1351	0,0020	0,0480	0,1831	2,73	5,90
10,00	10	2,40	0,50	1,200	0,1351	0,0020	0,0533	0,1885	2,65	6,37

Tabelle 11-14: Leistungswert Pumpe bei W<sub>H</sub> 9,00 m für T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Aufwandswertberechnung Pumpe 9,00 m									
v		3,70 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W <sub>L</sub>	BT <sub>M, Frisch</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	D <sub>RÜ</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
					4 * 5 / 2	4 / 3	6 + 7		8 * 9
5,00	11,23	3,71	2	0,50	0,09	0,54	0,63	1,04	0,65
6,00	13,48	4,31	2	0,50	0,07	0,46	0,54	1,04	0,56
7,00	15,72	4,87	2	0,50	0,06	0,41	0,47	1,04	0,49
8,00	17,97	5,40	2	0,50	0,06	0,37	0,43	1,04	0,44
9,00	20,22	5,90	2	0,50	0,05	0,34	0,39	1,04	0,40
10,00	22,46	6,37	3	0,50	0,07	0,47	0,54	1,04	0,56

Tabelle 11-15: Aufwandswerte Pumpe bei W<sub>H</sub> 9,00 m für T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Für eine Einbautemperatur von 15 °C muss ab einer Wandabschnittslänge von 10,00 m eine zusätzliche Arbeitskraft eingesetzt werden.

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Pumpe 9,00 m									
v		3,70 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	BT <sub>M, Frisch</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	VM	BT <sub>M, Fest</sub>	L <sub>BT, Fest</sub>	D <sub>BT</sub>	v <sub>BT</sub>	
[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /h]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /h]	[h]	[m/h]	
							4/5	6/7	2/8
5,00	9,00	11,23	3,71	1,04	10,80	3,57	3,03	2,97	
6,00	9,00	13,48	4,31	1,04	12,96	4,14	3,13	2,88	
7,00	9,00	15,72	4,87	1,04	15,12	4,68	3,23	2,79	
8,00	9,00	17,97	5,40	1,04	17,28	5,19	3,33	2,70	
9,00	9,00	20,22	5,90	1,04	19,44	5,67	3,43	2,63	
10,00	9,00	22,46	6,37	1,04	21,60	6,12	3,53	2,55	

Tabelle 11-16: D<sub>BT</sub> und v<sub>BT</sub> Pumpe 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Die Betoniergeschwindigkeit ist entsprechend der niedrigeren Steiggeschwindigkeit des Frischbetons um durchschnittlich 0,44 m/h niedriger als bei einer Einbautemperatur von 20 °C.



Für eine Einbautemperatur von 10 °C ergibt sich eine deutliche Reduktion der Steiggeschwindigkeit. Hier muss die Steiggeschwindigkeit gegenüber einer Einbautemperatur von 20 °C um 1,40 m/h reduziert werden und einer Einbautemperatur von 15 °C um 0,60 m/h reduziert werden.

Leistungsberechnung Pumpe 9,00 m										
W <sub>H</sub>		9,00 m								
v		3,10 m/h								
T <sub>c, Einbau</sub>		10 °C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W <sub>L</sub>	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	E <sub>st</sub> * t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
[m]	[-]	[m²]	[m]	[m³]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m³/h]
				3 * 4	4 / v		1 * 7	7+8	4 / 5	5 / 9
5,00	5	1,20	0,50	0,600	0,1613	0,0020	0,0267	0,1880	2,66	3,19
6,00	6	1,44	0,50	0,720	0,1613	0,0020	0,0320	0,1933	2,59	3,72
7,00	7	1,68	0,50	0,840	0,1613	0,0020	0,0373	0,1986	2,52	4,23
8,00	8	1,92	0,50	0,960	0,1613	0,0020	0,0427	0,2040	2,45	4,71
9,00	9	2,16	0,50	1,080	0,1613	0,0020	0,0480	0,2093	2,39	5,16
10,00	10	2,40	0,50	1,200	0,1613	0,0020	0,0533	0,2146	2,33	5,59

Tabelle 11-17: Leistungswert Pumpe bei W<sub>H</sub> 9,00 m für T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

Aufwandswertberechnung Pumpe 9,00 m									
v		3,10 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		10 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W <sub>L</sub>	BT <sub>M, Frisch</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	D <sub>RÜ</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m³]	[m³/h]	[Std/h]	[h]	[Std/m³]	[Std/m³]	[Std/m³]	[-]	[Std/m³]
					4*5/2	4/3	6+7		8*9
5,00	11,23	3,19	2	0,50	0,09	0,63	0,72	1,04	0,74
6,00	13,48	3,72	2	0,50	0,07	0,54	0,61	1,04	0,64
7,00	15,72	4,23	2	0,50	0,06	0,47	0,54	1,04	0,56
8,00	17,97	4,71	2	0,50	0,06	0,42	0,48	1,04	0,50
9,00	20,22	5,16	2	0,50	0,05	0,39	0,44	1,04	0,45
10,00	22,46	5,59	2	0,50	0,04	0,36	0,40	1,04	0,42

Tabelle 11-18: Aufwandswerte Pumpe bei W<sub>H</sub> 9,00 m für T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

Aufgrund der geringen Einbauleistung kann bei einer Einbautemperatur von 10 °C, durchwegs mit 2 Arbeitskräften betoniert werden.

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Pumpe 9,00 m								
v		3,10 m/h						
T <sub>c, Einbau</sub>		10 °C						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	BT <sub>M, Frisch</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	VM	BT <sub>M, Fest</sub>	L <sub>BT, Fest</sub>	D <sub>BT</sub>	v <sub>BT</sub>
[m]	[m]	[m³]	[m³/h]	[-]	[m³]	[m³/h]	[h]	[m/h]
							4/5	6/7
5,00	9,00	11,23	3,19	1,04	10,80	3,07	3,52	2,56
6,00	9,00	13,48	3,72	1,04	12,96	3,58	3,62	2,49
7,00	9,00	15,72	4,23	1,04	15,12	4,07	3,72	2,42
8,00	9,00	17,97	4,71	1,04	17,28	4,53	3,82	2,36
9,00	9,00	20,22	5,16	1,04	19,44	4,96	3,92	2,30
10,00	9,00	22,46	5,59	1,04	21,60	5,38	4,02	2,24

Tabelle 11-19: D<sub>BT</sub> und v<sub>BT</sub> Pumpe 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

Nachfolgend sind die weiteren Berechnungen der Aufwands- und Leistungswerte für einen Betoneinbau mit Kran und Kübel angeführt. Auf eine genauere Erklärung wird hier nicht mehr eingegangen.

Leistungsberechnung Kran und Kübel 9,00 m														
W <sub>H</sub>		9,00 m												
v		4,50 m/h												
T <sub>c, Einbau</sub>		20 °C												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,I</sub>	H <sub>Lage,J</sub>	H <sub>Lage,IJ</sub>	t <sub>Lage,I</sub>	t <sub>Lage,IJ</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub> *2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
			3 / 2		4 - 5	5 / v	6 / v			10+9*1*2	10+9*1	7+8+11	4/12	3/13
5	1,20	1,00	0,83	0,50	0,33	0,11	0,09	0,0057	0,0512	0,1082	-	0,3094	2,69	3,23
6	1,44	1,00	0,69	0,50	0,19	0,11	0,05	0,0057	0,0512	0,1196	-	0,2833	2,45	3,53
7	1,68	1,00	0,60	0,50	0,10	0,11	0,03	0,0057	0,0512	0,1310	-	0,2679	2,22	3,73
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,I</sub>	H <sub>Lage,J</sub>	H <sub>Lage,IJ</sub>	t <sub>maxLage,I</sub>	t <sub>maxLage,IJ</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub> *2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
			3 / 2			4 / v					10+9*1	7+12	0,31	3/13
8	1,92	1,00	0,52	-	-	0,12	-	0,0057	0,0512	-	0,0968	0,2125	2,45	4,70
9	2,16	1,00	0,46	-	-	0,10	-	0,0057	0,0512	-	0,1025	0,2054	2,25	4,87
10	2,40	1,00	0,42	-	-	0,09	-	0,0057	0,0512	-	0,1082	0,2008	2,08	4,98

Tabelle 11-20: Leistungsberechnung Kran/Kübel bei 9,00 m und T<sub>c, Einbau</sub> 20 °C

Aufwandswertberechnung Kran und Kübel 9,00 m									
v		4,50 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		20 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W <sub>L</sub>	BT <sub>M,Frisc</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>	AK <sub>BT</sub>	D <sub>RÜ</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[h]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>3</sup> ]
					4*5/2	4/3	6+7		8*9
5,00	11,23	3,23	3	0,50	0,13	0,93	1,06	1,04	1,10
6,00	13,48	3,53	3	0,50	0,11	0,85	0,96	1,04	1,00
7,00	15,72	3,73	3	0,50	0,10	0,80	0,90	1,04	0,93
8,00	17,97	4,70	3	0,50	0,08	0,64	0,72	1,04	0,75
9,00	20,22	4,87	3	0,50	0,07	0,62	0,69	1,04	0,72
10,00	22,46	4,98	3	0,50	0,07	0,60	0,67	1,04	0,70

Tabelle 11-21: Aufwandswerte Kran/Kübel bei W<sub>H</sub> 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 20 °C

Die Aufwandswerte liegen hier wiederum höher als bei einem Betoneinbau mit Pumpe bei gleichen Temperaturverhältnissen.

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Kran und Kübel 9,00 m								
v		4,50 m/h						
T <sub>c, Einbau</sub>		20 °C						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	BT <sub>M,Frisc</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>	VM	BT <sub>M,Fest</sub>	L <sub>BT,Fest</sub>	D <sub>BT</sub>	v <sub>BT</sub>
[m]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /h]	[-]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /h]	[h]	[m/h]
						4/5	6/7	2/8
5,00	9,00	11,23	3,23	1,04	10,80	3,11	3,48	2,59
6,00	9,00	13,48	3,53	1,04	12,96	3,39	3,82	2,36
7,00	9,00	15,72	3,73	1,04	15,12	3,59	4,21	2,14
8,00	9,00	17,97	4,70	1,04	17,28	4,52	3,82	2,36
9,00	9,00	20,22	4,87	1,04	19,44	4,68	4,15	2,17
10,00	9,00	22,46	4,98	1,04	21,60	4,79	4,51	2,00

Tabelle 11-22: D<sub>BT</sub> und v<sub>BT</sub> Kran/Kübel 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 20 °C

Auch für ein Betonieren bei einer Einbautemperatur von 20 °C ergeben sich gegenüber einer Betonförderung mit Pumpe Betonierdauern um 4 h. Dies ist in der Kalkulation in den Materialkosten und Gerätekosten zu berücksichtigen. Deutlich zu erkennen ist die verringerte

Betoniergeschwindigkeit bei einem Betoneinbau mit Kran und Kübel. Dies resultiert hauptsächlich aus dem Kranspiel, was ein Fördern ohne Unterbrechungen verhindert. Dies wirkt sich bei einer Wandhöhe von 9,00 m jedoch gravierender aus als bei einer Wandhöhe von 3,00 m.

Leistungsberechnung Kran und Kübel 9,00 m														
W <sub>H</sub>		9,00 m												
v		3,70 m/h												
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,i</sub>	H <sub>Lage,j</sub>	H <sub>Lage,i,j</sub>	t <sub>Lage,i</sub>	t <sub>Lage,j</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub> *2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
			3 / 2		4 - 5	5 / v	6 / v			10+9*1*2	10+9*1	7+8+11	4/12	3/13
5	1,20	1,00	0,83	0,50	0,33	0,14	0,09	0,0057	0,0512	0,1082	-	0,3334	2,50	3,00
6	1,44	1,00	0,69	0,50	0,19	0,14	0,05	0,0057	0,0512	0,1196	-	0,3073	2,26	3,25
7	1,68	1,00	0,60	0,50	0,10	0,14	0,03	0,0057	0,0512	0,1310	-	0,2919	2,04	3,43
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,i</sub>	H <sub>Lage,j</sub>	H <sub>Lage,i,j</sub>	t <sub>maxLage,i</sub>	t <sub>maxLage,j</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub> *2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
			3 / 2			4 / v					10+9*1	7+12	0,31	3/13
8	1,92	1,00	0,52	-	-	0,14	-	0,0057	0,0512	-	0,0968	0,2376	2,19	4,21
9	2,16	1,00	0,46	-	-	0,13	-	0,0057	0,0512	-	0,1025	0,2276	2,03	4,39
10	2,40	1,00	0,42	-	-	0,11	-	0,0057	0,0512	-	0,1082	0,2208	1,89	4,53

Tabelle 11-23. Leistungsberechnung Kran/Kübel bei 9,00 m und T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Leistungsberechnung Kran und Kübel 9,00 m										
W <sub>H</sub>		9,00 m								
v		3,70 m/h								
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
W <sub>L</sub>	BT <sub>M,Frisch</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	D <sub>RÜ</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>	
					4*5/2	4/3	6+7		8*9	
5,00	11,23	3,00	3	0,50	0,13	1,00	1,13	1,04	1,18	
6,00	13,48	3,25	3	0,50	0,11	0,92	1,03	1,04	1,07	
7,00	15,72	3,43	3	0,50	0,10	0,88	0,97	1,04	1,01	
8,00	17,97	4,21	3	0,50	0,08	0,71	0,80	1,04	0,83	
9,00	20,22	4,39	3	0,50	0,07	0,68	0,76	1,04	0,79	
10,00	22,46	4,53	3	0,50	0,07	0,66	0,73	1,04	0,76	

Tabelle 11-24: Aufwandswerte Kran/Kübel bei W<sub>H</sub> 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Kran und Kübel 9,00 m									
v		3,70 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		15 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	BT <sub>M,Frisch</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	VM	BT <sub>M,Fest</sub>	L <sub>BT,Fest</sub>	D <sub>BT</sub>	V <sub>BT</sub>	
						4/5	6/7	2/8	
5,00	9,00	11,23	3,00	1,04	10,80	2,88	3,75	2,40	
6,00	9,00	13,48	3,25	1,04	12,96	3,13	4,14	2,17	
7,00	9,00	15,72	3,43	1,04	15,12	3,29	4,59	1,96	
8,00	9,00	17,97	4,21	1,04	17,28	4,05	4,27	2,11	
9,00	9,00	20,22	4,39	1,04	19,44	4,22	4,60	1,96	
10,00	9,00	22,46	4,53	1,04	21,60	4,35	4,96	1,81	

Tabelle 11-25: D<sub>BT</sub> und V<sub>BT</sub> Kran/Kübel 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Leistungsberechnung Kran und Kübel 9,00 m														
W <sub>H</sub>		9,00 m												
v		3,10 m/h												
T <sub>c, Einbau</sub>		10 °C												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,i</sub>	H <sub>Lage,j</sub>	H <sub>Lage,i,j</sub>	t <sub>Lage,i</sub>	t <sub>Lage,j</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub> +2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
			3 / 2		4 - 5	5 / v	6 / v			10+9*1+2	10+9*1	7+8+11	4/12	3/13
5	1,20	1,00	0,83	0,50	0,33	0,16	0,09	0,0057	0,0512	0,1082	-	0,3596	2,32	2,78
6	1,44	1,00	0,69	0,50	0,19	0,16	0,05	0,0057	0,0512	0,1196	-	0,3334	2,08	3,00
7	1,68	1,00	0,60	0,50	0,10	0,16	0,03	0,0057	0,0512	0,1310	-	0,3180	1,87	3,14
E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,i</sub>	H <sub>Lage,j</sub>	H <sub>Lage,i,j</sub>	t <sub>maxLage,i</sub>	t <sub>maxLage,j</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub> +2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
			3 / 2			4 / v					10+9*1	7+12	0,31	3/13
8	1,92	1,00	0,52	-	-	0,17	-	0,0057	0,0512	-	0,0968	0,2648	1,97	3,78
9	2,16	1,00	0,46	-	-	0,15	-	0,0057	0,0512	-	0,1025	0,2518	1,84	3,97
10	2,40	1,00	0,42	-	-	0,13	-	0,0057	0,0512	-	0,1082	0,2426	1,72	4,12

Tabelle 11-26: Leistungsberechnung Kran /Kübel bei 9,00 m und T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

Aufwandwertberechnung Kran und Kübel 9,00 m 10°C									
v		3,10 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		10 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W <sub>L</sub>	BT <sub>M,Frisch</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	D <sub>R</sub>	AW <sub>R</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
					4*5/2	4/3	6+7		8*9
5,00	11,23	2,78	3	0,50	0,13	1,08	1,21	1,04	1,26
6,00	13,48	3,00	3	0,50	0,11	1,00	1,11	1,04	1,16
7,00	15,72	3,14	3	0,50	0,10	0,95	1,05	1,04	1,09
8,00	17,97	3,78	3	0,50	0,08	0,79	0,88	1,04	0,91
9,00	20,22	3,97	3	0,50	0,07	0,76	0,83	1,04	0,86
10,00	22,46	4,12	3	0,50	0,07	0,73	0,79	1,04	0,83

Tabelle 11-27: Aufwandswerte Kran/Kübel bei W<sub>H</sub> 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

Dauer und Betoniergeschwindigkeit Kran und Kübel 9,00 m									
v		3,10 m/h							
T <sub>c, Einbau</sub>		10 °C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
W <sub>L</sub>	W <sub>H</sub>	BT <sub>M,Frisch</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	VM	BT <sub>M,Fest</sub>	L <sub>BT,Fest</sub>	D <sub>BT</sub>	V <sub>BT</sub>	
						4/5	6/7	2/8	
5,00	9,00	11,23	2,78	1,04	10,80	2,67	4,04	2,23	
6,00	9,00	13,48	3,00	1,04	12,96	2,88	4,49	2,00	
7,00	9,00	15,72	3,14	1,04	15,12	3,02	5,00	1,80	
8,00	9,00	17,97	3,78	1,04	17,28	3,63	4,76	1,89	
9,00	9,00	20,22	3,97	1,04	19,44	3,82	5,09	1,77	
10,00	9,00	22,46	4,12	1,04	21,60	3,96	5,45	1,65	

Tabelle 11-28: D<sub>BT</sub> und V<sub>BT</sub> Kran/Kübel 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

Aufgrund der maximal zulässigen Steiggeschwindigkeit von 3,10 m/h ergeben sich bei einer Wandhöhe von 9,00 m Betonierdauern über 4 h.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch eine Betonförderung mit Pumpe eine höhere Betoniergeschwindigkeit erzielt werden kann als mit Kran und Kübel. Es muss nun die Frage geklärt werden, ob dies neben baubetrieblichen auch zu wirtschaftlichen Vorteilen führen kann. Diese Frage soll unter Punkt 11.4 geklärt werden.



## 11.4 Kalkulation

Die Kalkulation der Einzelkosten für Lohn und Sonstiges wird für die eingangs beschriebenen Wandsituationen durchgeführt. Anzumerken sei hier, dass auf die Beaufschlagung der Einzelkosten für Lohn und Sonstiges mit einem Gesamtzuschlag verzichtet wird. Im Vordergrund dieser Kalkulation steht die Ermittlung der Einzelkosten und nicht die Ermittlung eines Einheits- oder Positionspreises. Dies wäre für das angegebene Kalkulationsbeispiel auch nicht sinnvoll, da keine weiterführenden Mengenangaben vorhanden sind. Es sollen lediglich die Auswirkungen der Wahl unterschiedlicher Wandabschnittsgrößen aufgezeigt werden. Aufgrund des Umfangs der jeweiligen Kalkulationssituationen wurde auf eine Ermittlung und Darstellung in K7-Blätter verzichtet.

Die für die Kalkulation herangezogenen Preise in der Tabelle 11-29 sind Durchschnittspreise der Firma Cemex Österreich aus dem Jahr 2011. Der Rabatt auf den Listenpreis Beton frei Bau basiert auf Verkäuferinformationen der Firma Cemex. Die Mittellohnkosten wurden in dieser Größe angenommen und können je nach Arbeitszeitmodell variieren.

Angaben zur Kalkulation der Betonarbeiten	
<b>Materialkosten</b>	
C25/30 F52 B2	91,24 [€/m <sup>3</sup> inkl. 15% Rabatt]
Verlust	2,00 [% auf Betonmenge]
<b>Betontransportzuschläge</b>	
Entladezeit	16,50 [€/m <sup>3</sup> ]
Mindermengenzuschlag	19,40 [€/m <sup>3</sup> ]
Verzögerer bis 6 h	5,50 [€/m <sup>3</sup> ]
Wintererschweriszuschlag	6,54 [€/m <sup>3</sup> ]
<b>Betonförderung</b>	
Pauschale An- und Abfahren	99,00 [€-PA]
Pumpleistung	15,75 [€/m <sup>3</sup> ]
<b>Lohnkosten</b>	
Mittellohnkosten	32,50 [€/Std]

Tabelle 11-29: Angaben zur Kalkulation der Betonarbeiten

Neben den Angaben aus Tabelle 11-11 müssen für das Verständnis der nachfolgenden Kalkulationsbeispiele noch Festlegungen hinsichtlich des Transportvorganges vom Transportbetonwerk zur Baustelle (zum Bauteil) getroffen werden. Die Entladezeit bezieht sich immer auf das auf der Baustelle befindliche Transportbetonfahrzeug. Je nach Wandabschnittslänge, Wandhöhe und der dazugehörigen Betonkubatur wird die Transportbetonfahrzeugkette definiert. Hier können keine einheitlichen Regelungen getroffen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Transportbetonfahrzeuge einen Nenninhalt von 6 bis 8 m<sup>3</sup> zur Verfügung haben. Bei der Fahrmischerbetonpumpe kann

von einem Nenninhalt von 4 bis 5 m<sup>3</sup> ausgegangen werden. Je nach Betonierleistung ergeben sich daher unterschiedliche Entladezeiten. Der Mindermengenzuschlag ist jeweils die auf die Gesamtmenge bezogene Mindermenge. Dies wird im anschließenden Kalkulationsbeispiel verdeutlicht.

Als Ergebnis sollen in einem Kostenvergleich die zwei Wandhöhen unter verschiedenen Einbaubedingungen anhand der Einzelkosten gegenübergestellt werden.

#### 11.4.1 Kalkulation der Betonarbeiten Wandhöhe 3,00 m

Einleitend wird die Ermittlung der Einzelkosten ausführlich erklärt. In weiterer Folge wird auf eine eingehendere Erklärung verzichtet.

Die Kalkulation der Lohnkosten erfolgt durch Multiplikation des Aufwandswertes (Std/m<sup>3</sup>) mit den Mittelohnkosten (€/Std). Die Materialkosten und Gerätekosten werden immer für den m<sup>3</sup> verdichteten Beton berechnet. Daher ist die Festbetonmenge die zur Kostenermittlung maßgebende Menge.

Der Preis für den m<sup>3</sup> - Beton wird inkl. eines 15 % Rabatts angegeben. Des Weiteren muss noch 2 % Verlust auf die Betonmenge hinzugerechnet werden. Die Entladezeit wird für eine Betonförderung mit Pumpe auf eine halbe Stunde beschränkt. Für Kran und Kübel beträgt sie eine Dreiviertelstunde. Jede weitere angefangene Viertelstunde bedeutet einen Zuschlag für Übertretung der freien Entladezeit.

Für die Mindermenge besteht die Vorgabe seitens des Tarnsportbetonwerkes, dass unter 5,00 m<sup>3</sup> Gesamtbestellmenge ein Mindermengenzuschlag zu bezahlen ist.

Die Pumppauschale, welche für An- und Abfahrt zu entrichten ist, muss auf die jeweilige einzubauende Betonmenge umgelegt werden. Für eine Wandlänge von 5,00 m und der daraus resultierenden Festbetonmenge von 3,60 m<sup>3</sup> errechnet sie die Pumppauschale je m<sup>3</sup> Beton nach der nachstehen Gleichung.

$$\text{Pauschale je m}^3 = \frac{\text{€-PA}}{\text{m}^3} = \frac{99,00 \text{ €}}{3,60 \text{ m}^3} = 27,50 \text{ €/m}^3$$

Dies bedeutet in weiterer Folge je geringer die einzubauende Menge, desto teurer wird das Fördern mit einer Fahrmischerbetonpumpe. Zusätzlich zur Pauschale wird noch ein Zuschlag je m<sup>3</sup> gepumpter Beton verrechnet.

Die Materialkosten, welche sich aus dem Betonpreis zuzüglich des Zuschlags für die Entladezeit ergeben, werden mit den Materialkosten,

welche aufgrund der Mindermengen entstehen, zusammengefasst. In weiterer Folge werden die Gerätekosten und die Materialkosten zu einem Anteil Sonstiges summiert. Die aus dem Betoniervorgang entstehenden Lohnkosten werden unter Anteil dem Lohn zusammengefasst. Die Einzelkosten ergeben sich dann als Summe der Anteile Lohn und Sonstiges.

Wandhöhe 3,00m - Pumpe				
Kalkulation Lohnkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Aufwandswert [Std/m <sup>3</sup> ]	Mittellohnkosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	0,63	32,50	20,48
6,00	4,32	0,79	32,50	25,68
7,00	5,04	0,69	32,50	22,43
8,00	5,76	0,61	32,50	19,83
9,00	6,48	0,55	32,50	17,88
10,00	7,20	0,50	32,50	16,14
Kalkulation Materialkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Material inkl. Verlust [€/m <sup>3</sup> ]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	93,08	4,58	97,66
6,00	4,32	93,08	3,82	96,90
7,00	5,04	93,08	0,00	93,08
8,00	5,76	93,08	0,00	93,08
9,00	6,48	93,08	0,00	93,08
10,00	7,20	93,08	0,00	93,08
Kalkulation Materialkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Mindermenge [m <sup>3</sup> ]	Mindermengenzuschlag [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	1,40	7,54	7,54
6,00	4,32	0,68	3,05	3,05
7,00	5,04	0,00	0,00	0,00
8,00	5,76	0,00	0,00	0,00
9,00	6,48	0,00	0,00	0,00
10,00	7,20	0,00	0,00	0,00
Kalkulation Gerätekosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Pauschale je m <sup>3</sup> [€/m <sup>3</sup> ]	Pumpleistung [€/m <sup>3</sup> ]	Gerätekosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	27,50	15,75	43,25
6,00	4,32	22,92	15,75	38,67
7,00	5,04	19,64	15,75	35,39
8,00	5,76	17,19	15,75	32,94
9,00	6,48	15,28	15,75	31,03
10,00	7,20	13,75	15,75	29,50
Kalkulation Einzelkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>3</sup> ]	Einzelkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	20,48	148,46	168,93
6,00	4,32	25,68	138,62	164,29
7,00	5,04	22,43	128,47	150,90
8,00	5,76	19,83	126,02	145,84
9,00	6,48	17,88	124,11	141,98
10,00	7,20	16,14	122,58	138,72

Tabelle 11-30: Einzelkosten Wandhöhe 3,00 m Pumpe  $T_{c, Einbau}$  15 °C

Der Unterschied zu den Gerätekosten zwischen Pumpe und Kran liegt in den Kosten für das Aufstellen der Pumpe und das Fördern des Betons sowie in den Gerätekosten, die für den Kran anfallen, und den Lohnkosten, die für den Kranführer zu kalkulieren sind. Die Krankosten müssen anhand der Kranstunden, in welchen der Kran während des Betoniervorgangs gebunden ist, zunächst den Gerätekosten und in weiterer Folge dem Anteil Sonstiges zugeordnet werden.

Wandhöhe 3,00m - Kran und Kübel				
<b>Kalkulation Lohnkosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Aufwandswert [Std/m <sup>3</sup> ]	Mittellohncosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	1,10	32,50	35,75
6,00	4,32	0,96	32,50	31,20
7,00	5,04	0,87	32,50	28,28
8,00	5,76	0,75	32,50	24,38
9,00	6,48	0,69	32,50	22,43
10,00	7,20	0,65	32,50	21,13
<b>Kalkulation Materialkosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Material inkl. Verlust [€/m <sup>3</sup> ]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	93,08	4,58	97,66
6,00	4,32	93,08	3,82	96,90
7,00	5,04	93,08	6,55	99,63
8,00	5,76	93,08	5,73	98,81
9,00	6,48	93,08	5,09	98,17
10,00	7,20	93,08	4,58	97,66
<b>Kalkulation Materialkosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Mindermenge [m <sup>3</sup> ]	Mindermengenzuschlag [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	1,40	7,54	7,54
6,00	4,32	0,68	3,05	3,05
7,00	5,04	0,00	0,00	0,00
8,00	5,76	0,00	0,00	0,00
9,00	6,48	0,00	0,00	0,00
10,00	7,20	0,00	0,00	0,00
<b>Kalkulation Gerätekosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn Bedienung [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Gerätekosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	8,10	1,38	4,40
6,00	4,32	7,33	1,25	3,98
7,00	5,04	6,83	1,17	3,71
8,00	5,76	5,81	0,99	3,16
9,00	6,48	5,51	0,94	2,99
10,00	7,20	5,28	0,90	2,87
<b>Kalkulation Einzelkosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>3</sup> ]	Einzelkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	3,60	45,23	102,07	147,30
6,00	4,32	39,78	100,88	140,67
7,00	5,04	36,27	103,34	139,61
8,00	5,76	31,18	101,97	133,15
9,00	6,48	28,87	101,17	130,04
10,00	7,20	27,31	100,53	127,84

Tabelle 11-31: Einzelkosten Wandhöhe 3,00 m Kran und Kübel  $T_{c, Einbau} 15 \text{ }^\circ\text{C}$



In der nachstehenden Tabelle ist die Ermittlung der Krankkosten noch einmal zusammengefasst dargestellt. Anzumerken sei hier, dass der Anteil Sonstiges aus der Ermittlung der Krankkosten als Gerätekosten in der Einzelkostenermittlung angeführt wird.

Krankkosten Wandhöhe 3,00 m								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$W_L$ [m]	$BT_{M,Fest}$ [m <sup>2</sup> ]	Lohnkosten Bedienung [€]	Lohn [€/h]	Stoff+Gerät [€/h]	Kranstunden [h]	Anteil Lohn Bedienung [€/m <sup>2</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]
		aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L		3*6/2	4*6/2	5*6/2
5,00	3,60	35,75	6,10	19,43	0,82	8,10	1,38	4,40
6,00	4,32	35,75	6,10	19,43	0,89	7,33	1,25	3,98
7,00	5,04	35,75	6,10	19,43	0,96	6,83	1,17	3,71
8,00	5,76	35,75	6,10	19,43	0,94	5,81	0,99	3,16
9,00	6,48	35,75	6,10	19,43	1,00	5,51	0,94	2,99
10,00	7,20	35,75	6,10	19,43	1,06	5,28	0,90	2,87

Tabelle 11-32: Krankkosten Wandhöhe 3,00 m  $T_{c, Einbau}$  15 °C

Die Anteile Lohn für die Bedienung und Lohn, welcher aus der Gerätereparatur anfällt wird in der Kalkulation der Einzelkosten dem Anteil Lohn zugeordnet.

Zusammenfassend zur Ermittlung der Einzelkosten für die Herstellung einer Wandhöhe von 3,00 m kann noch festgehalten werden, dass sich eine Betrachtung unterschiedlicher Einbautemperaturen hier nicht als zweckmäßig erachtet. Durch gleichbleibende Steiggeschwindigkeiten ergeben sich keine Auswirkungen auf die Gerätekosten oder Lohnkosten. Es würden sich jedoch die Materialkosten der Herstellung einer Wand bei einer Einbautemperatur von 10 C um den Wintererschwerneiszuschlag erhöhen.

#### 11.4.2 Kalkulation der Betonarbeiten Wandhöhe 9,00 m

Der folgende Punkt fasst die Kalkulation der Einzelkosten für eine Wandhöhe von 9,00 m zusammen. Die Kalkulation wird differenziert nach den Witterungsbedingungen (angedeutet durch unterschiedliche Einbautemperaturen) betrachtet. Sämtliche für die Kalkulation relevanten Aufwandswerte- bzw. Leistungswerte können den Tabellen aus Punkt 11.3.5 entnommen werden.

Die Einzelkosten der Herstellung einer Wandhöhe von 9,00 m werden analog der Herstellung einer Wandhöhe von 3,00 m ermittelt. Es ergeben sich jedoch aufgrund der unterschiedlichen Einbautemperaturen und Leistungswerte Zuschläge, die es zu berücksichtigen gilt. Auf diese wird in weiterer Folge hingewiesen.

Wandhöhe 9,00m - Pumpe - $T_{c, \text{Einbau}} 20 \text{ }^\circ\text{C}$				
<b>Kalkulation Lohnkosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Aufandswert [Std/m <sup>3</sup> ]	Mittellohnkosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	0,57	32,50	18,53
6,00	12,96	0,49	32,50	15,93
7,00	15,12	0,43	32,50	13,98
8,00	17,28	0,39	32,50	12,68
9,00	19,44	0,54	32,50	17,55
10,00	21,60	0,50	32,50	16,25
<b>Kalkulation Materialkosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Material inkl. Verlust [€/m <sup>3</sup> ]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	93,08	10,69	103,77
6,00	12,96	93,08	8,91	101,99
7,00	15,12	93,08	6,55	99,63
8,00	17,28	93,08	5,73	98,81
9,00	19,44	93,08	5,94	99,02
10,00	21,60	93,08	5,35	98,43
<b>Kalkulation Gerätekosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Pauschale je m <sup>3</sup> [€/m <sup>3</sup> ]	Pumpleistung [€/m <sup>3</sup> ]	Gerätekosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	9,17	15,75	24,92
6,00	12,96	7,64	15,75	23,39
7,00	15,12	6,55	15,75	22,30
8,00	17,28	5,73	15,75	21,48
9,00	19,44	5,09	15,75	20,84
10,00	21,60	4,58	15,75	20,33
<b>Kalkulation Einzelkosten</b>				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>3</sup> ]	Einzelkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	18,53	128,69	147,22
6,00	12,96	15,93	125,38	141,31
7,00	15,12	13,98	121,93	135,90
8,00	17,28	12,68	120,29	132,96
9,00	19,44	17,55	119,86	137,41
10,00	21,60	16,25	118,76	135,01

Tabelle 11-33. Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Pumpe bei  $T_{c, \text{Einbau}} 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Wandhöhe 9,00m - Kran und Kübel $T_{c, \text{Einbau}} 20\text{ °C}$				
Kalkulation Lohnkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Aufandswert [Std/m <sup>3</sup> ]	Mittellohnkosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	1,10	32,50	35,75
6,00	12,96	1,00	32,50	32,50
7,00	15,12	0,93	32,50	30,23
8,00	17,28	0,75	32,50	24,38
9,00	19,44	0,72	32,50	23,40
10,00	21,60	0,70	32,50	22,75
Kalkulation Materialkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Material inkl. Verlust u. Verzögerer [€/m <sup>3</sup> ]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	98,58	12,22	110,80
6,00	12,96	98,58	12,73	111,31
7,00	15,12	98,58	9,82	108,40
8,00	17,28	98,58	8,59	107,17
9,00	19,44	98,58	7,64	106,22
10,00	21,60	98,58	6,88	105,46
Kalkulation Gerätekosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn Bedienung [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Gerätekosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	11,50	1,96	6,25
6,00	12,96	10,53	1,80	5,73
7,00	15,12	9,96	1,70	5,41
8,00	17,28	7,90	1,35	4,30
9,00	19,44	7,64	1,30	4,15
10,00	21,60	7,47	1,27	4,06
Kalkulation Einzelkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>3</sup> ]	Einzelkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	49,22	117,06	166,27
6,00	12,96	44,83	117,04	161,87
7,00	15,12	41,88	113,82	155,70
8,00	17,28	33,63	111,47	145,10
9,00	19,44	32,34	110,37	142,71
10,00	21,60	31,49	109,51	141,00

Tabelle 11-34. Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Kran/Kübel bei  $T_{c, \text{Einbau}} 20\text{ °C}$ 

In der nachstehenden Tabelle ist der Ermittlung der Krankosten noch einmal zusammengefasst dargestellt.

Krankosten Wandhöhe 9,00 m - $T_{c, \text{Einbau}} 20\text{ °C}$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Lohnkosten Bedienung [€/h]	Lohn [€/h]	Stoff+Gerät [€/h]	Kranstunden [h]	Anteil Lohn Bedienung [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>3</sup> ]
		aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L		3*6/2	4*6/2	5*6/2
5,00	10,80	35,75	6,10	19,43	3,48	11,50	1,96	6,25
6,00	12,96	35,75	6,10	19,43	3,82	10,53	1,80	5,73
7,00	15,12	35,75	6,10	19,43	4,21	9,96	1,70	5,41
8,00	17,28	35,75	6,10	19,43	3,82	7,90	1,35	4,30
9,00	19,44	35,75	6,10	19,43	4,15	7,64	1,30	4,15
10,00	21,60	35,75	6,10	19,43	4,51	7,47	1,27	4,06

Tabelle 11-35. Krankosten Wandhöhe 9,00 m  $T_{c, \text{Einbau}} 20\text{ °C}$

Zu den Materialkosten sei noch angemerkt, dass durch die langen Betonierdauern, die sich aus den Spielzeiten ergeben, ein Verarbeiten des Frischbetons in den normativ festgelegten 105 Minuten nicht möglich ist. Daher muss den Materialkosten noch ein Verzögerer hinzugerechnet werden, um ein Verarbeiten des Betons über die normativ festgelegten 105 Minuten hinaus zu gewährleisten.

Wandhöhe 9,00m - Pumpe T <sub>c, Einbau</sub> 15 °C				
Kalkulation Lohnkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M, Fest</sub> [m <sup>3</sup> ]	Aufwandswert [Std/m <sup>3</sup> ]	Mittellohnkosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	0,65	32,50	21,13
6,00	12,96	0,56	32,50	18,20
7,00	15,12	0,49	32,50	15,93
8,00	17,28	0,44	32,50	14,30
9,00	19,44	0,40	32,50	13,00
10,00	21,60	0,56	32,50	18,20
Kalkulation Materialkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M, Fest</sub> [m <sup>3</sup> ]	Material inkl. Verlust [€/m <sup>3</sup> ]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	93,08	12,22	105,30
6,00	12,96	93,08	7,64	100,72
7,00	15,12	93,08	9,82	102,90
8,00	17,28	93,08	7,64	100,72
9,00	19,44	93,08	8,49	101,57
10,00	21,60	93,08	6,11	99,19
Kalkulation Gerätekosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M, Fest</sub> [m <sup>3</sup> ]	Pauschale je m <sup>3</sup> [€/m <sup>3</sup> ]	Pumpleistung [€/m <sup>3</sup> ]	Gerätekosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	9,17	15,75	24,92
6,00	12,96	7,64	15,75	23,39
7,00	15,12	6,55	15,75	22,30
8,00	17,28	5,73	15,75	21,48
9,00	19,44	5,09	15,75	20,84
10,00	21,60	4,58	15,75	20,33
Kalkulation Einzelkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M, Fest</sub> [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>3</sup> ]	Einzelkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	21,13	130,22	151,34
6,00	12,96	18,20	124,11	142,31
7,00	15,12	15,93	125,20	141,12
8,00	17,28	14,30	122,20	136,50
9,00	19,44	13,00	122,41	135,41
10,00	21,60	18,20	119,52	137,72

Tabelle 11-36: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Pumpe bei T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Wandhöhe 9,00m - Kran und Kübel T <sub>c, Einbau</sub> 15 °C				
Kalkulation Lohnkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Aufandswert [Std/m³]	Mittellohnkosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m³]
5,00	10,80	1,18	32,50	38,35
6,00	12,96	1,07	32,50	34,78
7,00	15,12	1,01	32,50	32,83
8,00	17,28	0,83	32,50	26,98
9,00	19,44	0,79	32,50	25,68
10,00	21,60	0,76	32,50	24,70
Kalkulation Materialkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Material inkl. Verlust u. Verzögerer [€/m³]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m³]	Materialkosten [€/m³]
5,00	10,80	98,58	15,28	113,86
6,00	12,96	98,58	15,28	113,86
7,00	15,12	98,58	13,10	111,68
8,00	17,28	98,58	8,59	107,17
9,00	19,44	98,58	10,19	108,77
10,00	21,60	98,58	9,17	107,75
Kalkulation Gerätekosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Anteil Lohn Bedienung [€/m³]	Anteil Lohn [€/m³]	Gerätekosten [€/m³]
5,00	10,80	12,40	2,12	6,74
6,00	12,96	11,42	1,95	6,21
7,00	15,12	10,85	1,85	5,90
8,00	17,28	8,83	1,51	4,80
9,00	19,44	8,46	1,44	4,60
10,00	21,60	8,21	1,40	4,46
Kalkulation Einzelkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Anteil Lohn [€/m³]	Anteil Sonstiges [€/m³]	Einzelkosten [€/m³]
5,00	10,80	52,86	120,60	173,46
6,00	12,96	48,15	120,07	168,22
7,00	15,12	45,53	117,57	163,10
8,00	17,28	37,32	111,98	149,29
9,00	19,44	35,58	113,37	148,95
10,00	21,60	34,31	112,21	146,52

Tabelle 11-37: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Kran/ Kübel bei T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C

Krankosten Wandhöhe 9,00 m - T <sub>c, Einbau</sub> 15 °C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Lohnkosten Bedienung [€/h]	Lohn [€/h]	Stoff+Gerät [€/h]	Kranstunden [h]	Anteil Lohn Bedienung [€/m³]	Anteil Lohn [€/m³]	Anteil Sonstiges [€/m³]
		aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L		3*6/2	4*6/2	5*6/2
5,00	10,80	35,75	6,10	19,43	3,75	12,40	2,12	6,74
6,00	12,96	35,75	6,10	19,43	4,14	11,42	1,95	6,21
7,00	15,12	35,75	6,10	19,43	4,59	10,85	1,85	5,90
8,00	17,28	35,75	6,10	19,43	4,27	8,83	1,51	4,80
9,00	19,44	35,75	6,10	19,43	4,60	8,46	1,44	4,60
10,00	21,60	35,75	6,10	19,43	4,96	8,21	1,40	4,46

Tabelle 11-38: Krankkosten Wandhöhe 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 15 °C



Wandhöhe 9,00m - Pumpe $T_{c, \text{Einbau}} 10 \text{ }^\circ\text{C}$				
Kalkulation Lohnkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Aufwandswert [Std/m <sup>3</sup> ]	Mittellohncosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	0,74	32,50	24,05
6,00	12,96	0,64	32,50	20,80
7,00	15,12	0,56	32,50	18,20
8,00	17,28	0,50	32,50	16,25
9,00	19,44	0,45	32,50	14,63
10,00	21,60	0,42	32,50	13,65
Kalkulation Materialkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Material inkl. Verlust u. Winterschwernis [€/m <sup>3</sup> ]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m <sup>3</sup> ]	Materialkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	99,62	13,75	113,37
6,00	12,96	99,62	12,73	112,35
7,00	15,12	99,62	12,00	111,62
8,00	17,28	99,62	12,41	112,03
9,00	19,44	99,62	11,03	110,65
10,00	21,60	99,62	10,69	110,31
Kalkulation Gerätekosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Pauschale je m <sup>3</sup> [€/m <sup>3</sup> ]	Pumpleistung [€/m <sup>3</sup> ]	Gerätekosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	9,17	15,75	24,92
6,00	12,96	7,64	15,75	23,39
7,00	15,12	6,55	15,75	22,30
8,00	17,28	5,73	15,75	21,48
9,00	19,44	5,09	15,75	20,84
10,00	21,60	4,58	15,75	20,33
Kalkulation Einzelkosten				
$W_L$ [m]	$BT_{M, \text{Fest}}$ [m <sup>3</sup> ]	Anteil Lohn [€/m <sup>3</sup> ]	Anteil Sonstiges [€/m <sup>3</sup> ]	Einzelkosten [€/m <sup>3</sup> ]
5,00	10,80	24,05	138,29	162,34
6,00	12,96	20,80	135,74	156,54
7,00	15,12	18,20	133,92	152,12
8,00	17,28	16,25	133,51	149,76
9,00	19,44	14,63	131,50	146,12
10,00	21,60	13,65	130,65	144,30

Tabelle 11-39: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Pumpe bei  $T_{c, \text{Einbau}} 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 

Für ein  $T_{c, \text{Einbau}}$  von  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ist von Anfang November bis Mitte März ein Winterschwerniszuschlag hinzuzurechnen. Der Winterschwerniszuschlag soll die Kosten abdecken, die das Transportbetonwerk aufgrund von Zusatzmaßen in den kälteren Monaten zu treffen hat. Darunter sind, wie unter Punkt 4.2.2 beschrieben, bspw. das Erwärmen des Anmachwassers oder das Erwärmen der Gesteinskörnungen zu verstehen. Durch diese Maßnahmen wird in der kalten Jahreszeit eine Einbautemperatur von  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ermöglicht.

Wandhöhe 9,00m - Kran und Kübel T <sub>c, Einbau</sub> 10 °C				
Kalkulation Lohnkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Aufwandswert [Std/m³]	Mittellohnkosten [€/Std]	Lohnkosten [€/m³]
5,00	10,80	1,26	32,50	40,95
6,00	12,96	1,16	32,50	37,70
7,00	15,12	1,09	32,50	35,43
8,00	17,28	0,91	32,50	29,58
9,00	19,44	0,86	32,50	27,95
10,00	21,60	0,83	32,50	26,98
Kalkulation Materialkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Material inkl. Verlust u. Verzögerer WEZ [€/m³]	Entladezeit je zusätzl. 1/4 Std. [€/m³]	Materialkosten [€/m³]
5,00	10,80	105,12	18,33	123,45
6,00	12,96	105,12	15,28	120,40
7,00	15,12	105,12	13,10	118,22
8,00	17,28	105,12	11,46	116,58
9,00	19,44	105,12	10,19	115,31
10,00	21,60	105,12	11,46	116,58
Kalkulation Gerätekosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Anteil Lohn Bedienung [€/m³]	Anteil Lohn [€/m³]	Gerätekosten [€/m³]
5,00	10,80	13,37	2,28	7,27
6,00	12,96	12,40	2,12	6,74
7,00	15,12	11,82	2,02	6,43
8,00	17,28	9,85	1,68	5,35
9,00	19,44	9,36	1,60	5,09
10,00	21,60	9,02	1,54	4,90
Kalkulation Einzelkosten				
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Anteil Lohn [€/m³]	Anteil Sonstiges [€/m³]	Einzelkosten [€/m³]
5,00	10,80	56,60	130,72	187,32
6,00	12,96	52,21	127,14	179,35
7,00	15,12	49,27	124,64	173,91
8,00	17,28	41,10	121,93	163,03
9,00	19,44	38,91	120,40	159,31
10,00	21,60	37,53	121,48	159,02

Tabelle 11-40: Einzelkosten Wandhöhe 9,00 m Kran/Kübel bei T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

Die Abkürzung WEZ steht hier für Wintererschwerzuschlag.

Krankosten Wandhöhe 9,00 m - T <sub>c, Einbau</sub> 10 °C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
W <sub>L</sub> [m]	BT <sub>M,Fest</sub> [m³]	Lohnkosten Bedienung [€/h]	Lohn [€/h]	Stoff+Gerät [€/h]	Kranstunden [h]	Anteil Lohn Bedienung [€/m³]	Anteil Lohn [€/m³]	Anteil Sonstiges [€/m³]
		aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L	aus K6E Zeile L		3*6/2	4*6/2	5*6/2
5,00	10,80	35,75	6,10	19,43	4,04	13,37	2,28	7,27
6,00	12,96	35,75	6,10	19,43	4,49	12,40	2,12	6,74
7,00	15,12	35,75	6,10	19,43	5,00	11,82	2,02	6,43
8,00	17,28	35,75	6,10	19,43	4,76	9,85	1,68	5,35
9,00	19,44	35,75	6,10	19,43	5,09	9,36	1,60	5,09
10,00	21,60	35,75	6,10	19,43	5,45	9,02	1,54	4,90

Tabelle 11-41: Krankkosten Wandhöhe 9,00 m T<sub>c, Einbau</sub> 10 °C

## 11.5 Ergebnis

Die Berechnungen der Aufwands- und Leistungswerte der verschiedenen Wandsituationen diente dazu, die Einzelkosten der Betonarbeiten zu kalkulieren. Die folgenden zwei Punkte stellen die Auswertung der kalkulierten Einzelkosten dar. Die Einzelkosten setzen sich wiederum aus einem Anteil Lohn und einem Anteil Sonstiges zusammen. Für die Auswertung wurden zwei Fälle betrachtet. Einerseits wurden die Kosten für unterschiedliche Wandhöhen und Wandlängen bei gleichbleibender Einbautemperatur untersucht. In einer weiteren Betrachtung wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Einbautemperaturen bei einer Wandhöhe, aber variierenden Wandabschnittslängen betrachtet. Für beide Betrachtungsweisen wurde der Vergleich auch für unterschiedliche Fördergeräte durchgeführt.

### 11.5.1 Einzelkosten bei verschiedenen Wandhöhen

Das folgende Säulendiagramm zeigt die Gegenüberstellung der Gesamteinzelkosten der jeweiligen Wandabschnittslängen bei einem  $T_{c, \text{Einbau}}$  von  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Auf der Abszisse sind die Wandabschnittslängen in m und auf der Ordinate die Einzelkosten in €/m<sup>3</sup> aufgetragen. Das Hauptintervall auf der Ordinate beträgt  $10\text{ €/m}^3$  und das Hilfsintervall  $2\text{ €/m}^3$ .

Dabei wird verdeutlicht, dass die Einzelkosten mit der Betonmenge und daher mit steigender Wandabschnittsgröße sinken.

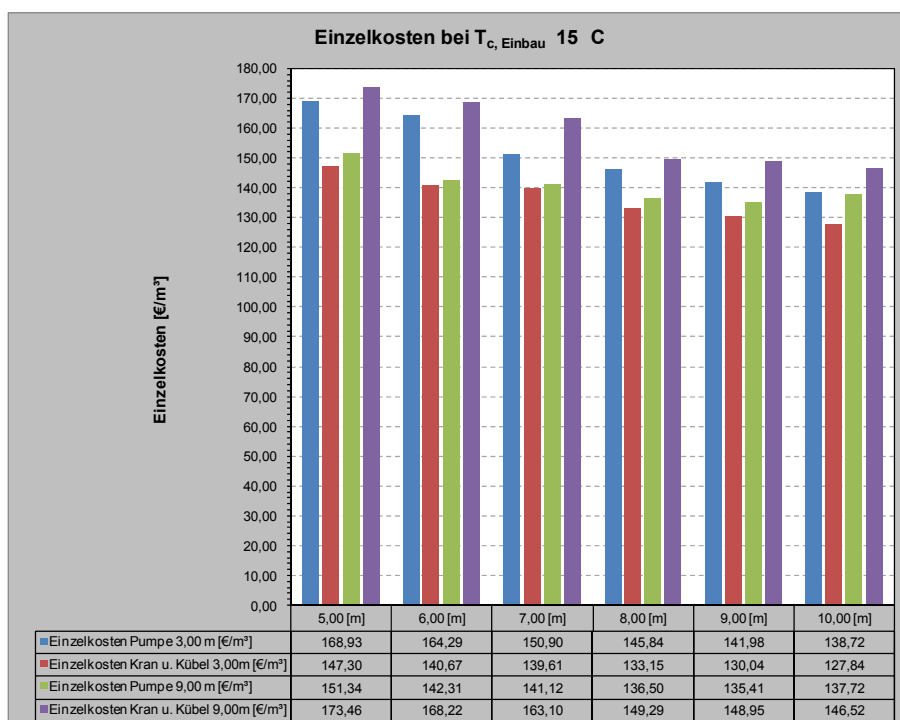


Bild 11.4: Einzelkosten Vergleich  $T_{c, \text{Einbau}} 15\text{ }^{\circ}\text{C}$



Unter Berücksichtigung sämtlicher Verteilzeiten, die bei einem Betoneinbau zustande kommen können, ergeben sich wie aus dem Diagramm ersichtlich bei einer Wandhöhe von 9,00 m und einem Betoneinbau mittels Kran und Kübel die höchsten Einzelkosten. Gegenüber der Pumpenförderung bei dieser Wandhöhe sind die höheren Einzelkosten auf die höheren Lohnkosten sowie zusätzlicher Materialkosten (Verzögerer) zurückzuführen. Die Berücksichtigung der Gerätekosten des Krans und hier vor allem die Lohnkosten des Kranführers sind ebenfalls als Faktoren für eine solche Kostendifferenz entscheidend.

Für den Betoneinbau bei Bauteilen von 3,00 m ergeben sich bei der Betonförderung mit Pumpe höhere Einzelkosten als mit Kran und Kübel. Dies ist auf die Nichtauslastung der Pumpenleistung sowie auf die geringen Fördermengen zurückzuführen. Die Pumpkosten (Pauschale, Zuschlag je  $m^3$  - gepumpten Beton) nehmen mit größer werdender Fördermenge ab. Für Wandabschnitte von 7,00 m ergeben sich für ein Fördern mit Pumpe auf 9,00 m annähernd gleiche Einzelkosten wie ein Fördern mit Kran und Kübel auf 3,00 m.

Durch den Vergleich der Einzelkosten konnte auch verdeutlicht werden, dass ein Betonieren über größere Wandhöhen aufgrund der verminderten Steiggeschwindigkeit des Frischbetons in der Schalung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Kosten hat, wenn mit Pumpe betoniert wird.

### 11.5.2 Einzelkosten bei variablen $T_{c, \text{Einbau}}$

Das folgende Säulendiagramm zeigt die Gegenüberstellung der Gesamteinzelnkosten der jeweiligen Wandabschnittslängen bei variierenden Einbautemperaturen. Auf der Abszisse sind die Wandabschnittslängen in m und auf der Ordinate die Einzelkosten in €/m<sup>3</sup> aufgetragen. Das Hauptintervall auf der Ordinate beträgt 10 €/m<sup>3</sup> und das Hilfsintervall 2 €/m<sup>3</sup>.

Durch die Betrachtung der Einzelkosten bei variablen Einbautemperaturen soll der Einfluss der Witterung auf die Kosten dargelegt werden. Diese Betrachtungsweise bezieht sich auf eine Wandhöhe von 9,00 m, da hier die Steiggeschwindigkeit im Gegensatz zu einer Wandhöhe von 3,00 m je nach Einbautemperatur vorgegeben ist. Folglich ergeben sich auch für einen Betoneinbau mittels Kran und Kübel bei einem  $T_{c, \text{Einbau}}$  von 10 °C die höchsten Einzelkosten. Diese sind mit 187,32 €/m<sup>3</sup> bei einer Wandlänge von 6,00 m am höchsten kalkuliert worden. Hier sind vor allem die hohen Materialkosten, die sich aus dem angenommenen Betonpreis, zuzüglich des Wintererschwerneiszuschlages und einem Verzögerer für eine verlängerte Verarbeitungszeit zusammensetzen, zu erwähnen.

Bei einer Betonförderung mit Pumpe ergeben sich ebenfalls wieder für eine Einbautemperatur von 10 °C die höchsten Einzelkosten, jedoch immer noch niedriger als bspw. ein Kübelfördern bei 20 °C Einbautemperatur. Daraus lässt sich ableiten, dass sich der Vorteil einer hohen Steiggeschwindigkeit nur mit dem richtigen Fördergerät erzielen lässt.

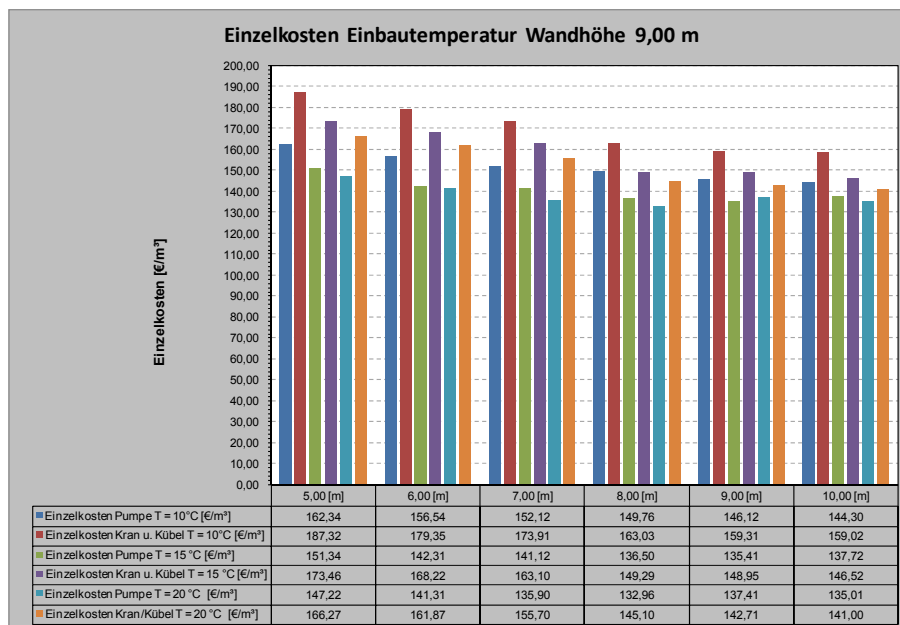


Bild 11.5: Einzelkosten Vergleich variable  $T_c$ , Einbau

Generell lässt sich aus den Diagrammen ablesen, dass ein Betonieren mit Kübel eher bei niedrigeren Wänden und Bauteilen einen wirtschaftlichen Vorteil bringt.

Ein weiterer Aspekt, der hier vielleicht nicht so ganz ersichtlich ist, ist die Höhe der Lohnkosten der Betonierkolonne für ein Fördern mit Pumpe. Wie sich aus der Aufwandswert- und Leistungswertermittlung entnehmen lässt, können durch geringere Betoniergeschwindigkeiten Arbeitskräfte eingespart werden. Bei diesem Vergleich besteht die Betoniermannschaft aus durchwegs 2 Arbeitskräften. Beim Fördern mittels Kran und Kübel ist dies nicht möglich, da hier 3 Arbeitskräfte die untere Grenze darstellen.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass sich die Wahl der Steiggeschwindigkeit als auch der Wandabschnittslänge sowie die Wahl des Fördergerätes auf die Höhe der Einzelkosten der Betonarbeiten auswirken. Es gilt daher, bei Projekten im Zuge der Arbeitsvorbereitung die zwar geringen aber doch vorhandenen Einsparungspotenziale durch die Betonarbeiten zu berücksichtigen und zu erkennen.

## 12 Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit setzte sich mit dem Einfluss der Betoniergeschwindigkeit auf vertikale Bauteile auseinander. Es wurde speziell die Herstellung unterschiedlicher Wandhöhen und Wandabschnittslängen untersucht und deren Auswirkung auf die Einzelkosten der Betonarbeiten analysiert.

Die Betoniergeschwindigkeit wird von mehreren Faktoren beeinflusst, die sich in weiterer Folge auf die Aufwands- und Leistungswerte auswirken. Zu den wesentlichsten zählen der maximale Frischbetondruck und die dadurch vorgegebene maximale Steiggeschwindigkeit des Frischbetons in der Schalung. Diese Größen können abhängig von der Konsistenz und dem Erstarrungsende anhand der DIN 18218:2010 ermittelt werden. Weitere wesentliche Einflussfaktoren ergeben sich bei einer genaueren Betrachtung des Betoniervorgangs durch die Verteilzeiten wie Senken, Heben und Versetzen des Betonierschlauchs der Pumpe oder des Krankübels mit Betonierschlauch, welche im Zuge der Betonage durchzuführen sind. Wird mit Kran und Kübel betoniert, fallen noch zusätzliche Verlustzeiten durch das Kranspiel an. Darüber hinaus wird die Leistung noch den Nenninhalt des Krankübels bestimmt. Auch das Schalungssystem nimmt neben dem maximal aufzunehmenden Frischbetondruck durch die horizontalen Ankerabstände, welche ein stetiges Einbringen des Frischbetons in die Schalung verhindern, Einfluss auf den Betoniervorgang.

Für die Ermittlung der Betoniergeschwindigkeit müssen aufgrund der vielen verschiedenen Einflussfaktoren, welche allein durch die Berechnung der Steiggeschwindigkeit und des Frischbetondrucks auftreten, Festlegungen getroffen werden. Es muss daher festgehalten werden, dass eine Betrachtung der Auswirkung der Betoniergeschwindigkeit auf das Herstellen von Wänden unter bestimmten Randbedingungen erfolgt ist. Es wurden in dieser Arbeit, baupraktische Eingangsparameter für die Ermittlung der Aufwands- und Leistungswerte herangezogen. Dies sind im Speziellen die Regelkonsistenz F45, die Konsistenzklasse F52 und ein Erstarrungsende von 5 h.

Für eine detaillierte Betrachtung wurde in dieser Arbeit ein repräsentatives Beispiel gewählt. Dabei wurde für die Ermittlung der kostenrelevanten Aufwands- und Leistungswerte eine 5 m hohe Wand mit 5 bis 16 m langen Wandabschnitten und 25 cm Dicke herangezogen. Es galt die Vorgabe des normativen geregelten Betonierens in Lagen zu 50 cm. Wird in Lagen betoniert, darf die Lagensteiggeschwindigkeit die maximal zulässige Steiggeschwindigkeit nicht überschreiten. In einem Vergleich wurden zwei verschiedene Schalungssysteme, ausgedrückt durch den maximal zulässigen Frischbetondruck von 60 kN/m<sup>2</sup> und 80 kN/m<sup>2</sup>, sowie unterschiedliche Förderverfahren einander gegenübergestellt. Durch die Förderverfahren sind die Anzahl der eingesetzten

Arbeitskräfte vorgegeben. Für eine Betonförderung mit Pumpe können 2 bis 3 Arbeitskräfte eingesetzt werden und für eine Betonförderung mit Kran und Kübel müssen 3 Arbeitskräfte eingesetzt werden. Anhand der Diagramme, die im Zuge der Ermittlung der Aufwandswerte für die graphische Darstellung der Verläufe der Aufwandswerte über die Wandabschnittslängen erstellt wurden, konnte eine wiederkehrende Charakteristik festgestellt werden. Für ein Betonfördern mit Pumpe ergeben sich je nach Steiggeschwindigkeit und Frischbetondruck bzw. Erstarrungsende Erhöhungen der Betonierkolonne von 2 auf 3 Arbeitskräfte, verursacht durch die hohe mögliche Einbauleistung. Für die Betonförderung mit Kran und Kübel konnte festgestellt werden, dass sich keine Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte ergeben hat. Dies ist auf die geringere Einbauleistung zurückzuführen. In weiteren vertieften Betrachtungen wurden auch die Wahl unterschiedlicher Steiggeschwindigkeiten sowie unterschiedliche Erstarrungsenden und Einbautemperaturen als Eingangsparameter und deren Einfluss auf die Aufwandswerte je Wandabschnittslänge untersucht. Hier kann festgehalten werden, dass sich je Wandabschnittslänge günstigere oder ungünstigere Aufwandswerte ergeben. Dies ist dann der baustellenspezifischen Ablaufplanung anzupassen, in der die Betonierabschnitte festgelegt werden. Durch die Betrachtung unterschiedlicher Einbautemperaturen des Frischbetons konnten die Auswirkungen des Betonierens bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen aufgezeigt werden.

In einem abschließenden Vergleich wurden der Einfluss unterschiedlicher Förderstellen des Betons und unterschiedliche Konsistenzklassen untersucht. Mit geringerer Anzahl an Förderstellen nimmt der Aufwandswert ab, was auf die kürzeren Verteilzeiten zurückzuführen ist. Die Betrachtung des Einflusses der Konsistenzklassen auf den Aufwandswert hat gezeigt, dass sich für fließfähigere Betone der Konsistenzklasse F59 und F66 keine Vorteile durch die geringere Verdichtungsarbeit auf den Aufwandswert ergeben. Es konnte daher bestätigt werden, dass sich besonders Betone der Konsistenzklasse F45 und F52, welche grundsätzlich in der Praxis Anwendung finden, günstig auf den Aufwandswert auswirken. Durch die Diagramme konnte gezeigt werden, dass sich durch Einbeziehen der Steiggeschwindigkeit sowie des Frischbetondrucks und betontechnologischer Eigenschaften, wie der Konsistenzklassen und der Erstarrungsenden, Aufwands- und Leistungswerte ergeben, die den tatsächlichen Anforderungen des Betoniervorgangs und der Herstellung von Wänden entsprechen.

Für die Kalkulation der Einzelkosten von Betonarbeiten sind die Größe der Aufwands- und Leistungswerte von entscheidender Bedeutung. In einem abschließenden Kalkulationsbeispiel wurden neben unterschiedlichen Wandabschnittslängen auch unterschiedliche Wandhöhen zur Ermittlung der Kosten untersucht. Dabei wurden Wandhöhen von 3,00 m und 9,00 m und Wandabschnittslängen von

5,00 m bis 10,00 m als Bauteile definiert. Wandhöhen bis 3,00 m haben den Vorteil, dass die Steiggeschwindigkeit frei gewählt werden kann und sich damit höhere Betoniergeschwindigkeiten und kürzere Betonierdauern ergeben als bei Wandhöhen von 9,00 m, bei denen die Steiggeschwindigkeiten vorgegeben sind. Durch den Vergleich der Einzelkosten konnte gezeigt werden, dass dies keinen gravierenden Kostenvorteil bringt. Es muss jedoch angemerkt werden, dass die Einzelkosten entscheidend vom Betonförderungsverfahren abhängen. Ein Betonfördern mit Pumpe ist nach der Ermittlung der Einzelkosten bei 9,00 m jedenfalls gegenüber einer Förderung mit Kran und Kübel zu empfehlen. Bei Wandhöhen von 3,00 m ergibt sich ein Kostenvorteil für beim Fördern mit Kran und Kübel.

Eine Auswirkung unterschiedlicher Einbautemperaturen auf die Kosten der Herstellung einer Wand von 9,00 m hat gezeigt, dass ein Betonieren bei kälteren Witterungsbedingungen zu höheren Kosten führt als ein Betonieren bei heißeren Witterungsbedingungen. Auch hier ergeben sich für ein Betonfördern mit Pumpe geringere Kosten als mit Kran und Kübel.

Durch die vorliegende Masterarbeit konnte dargelegt werden, dass die Wahl des Betonierverfahrens, des Schalungssystems, der Betonierabschnitte wesentliche Einflüsse auf die Einzelkosten von Betonarbeiten haben. Die Betoniergeschwindigkeit ist dabei maßgeblich für die Dauer des Betoniervorgangs und in weiterer Folge für die Bauablaufplanung verantwortlich. Grundsätzlich wird die Wahl der Größe eines Betonierabschnitts von der eingesetzten Vorhaltemenge an Schalung bestimmt, jedoch sollten bei Bauvorhaben, bei denen hohe Ansprüche an die Betonqualität gestellt werden, auch die Kosten für die Betonarbeiten berücksichtigt werden.

## A.1 Anhang

Im Anhang sind sämtliche Auswertung auf deren Grundlage die Diagramme aus Kapitel 10 erstellt wurden enthalten.

### A.1.1 Berechnung $T_{c, \text{Einbau}}$ bei $\sigma_{hk, \text{max}} 60 \text{ kN/m}^2$ Pumpe

Leistungswertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		3,80		m/h							
Einbautemperatur		20		°C							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]	
1	5	1,25	0,50	0,625	0,1316	0,0030	0,0150	0,1466	3,41	4,26	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,1316	0,0030	0,0180	0,1496	3,34	5,01	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,1316	0,0030	0,0210	0,1526	3,28	5,73	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,1316	0,0030	0,0240	0,1556	3,21	6,43	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,1316	0,0030	0,0270	0,1586	3,15	7,09	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,1316	0,0030	0,0300	0,1616	3,09	7,74	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,1316	0,0030	0,0330	0,1646	3,04	8,35	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,1316	0,0030	0,0360	0,1676	2,98	8,95	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,1316	0,0030	0,0390	0,1706	2,93	9,53	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,1316	0,0030	0,0420	0,1736	2,88	10,08	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,1316	0,0030	0,0450	0,1766	2,83	10,62	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,1316	0,0030	0,0480	0,1796	2,78	11,14	

Aufwandswertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,61	4,26	2	0,15	0,47	0,61	1,10	0,68
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,65	5,01	2	0,12	0,40	0,52	1,10	0,57
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,68	5,73	2	0,10	0,35	0,45	1,10	0,50
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,71	6,43	2	0,09	0,31	0,40	1,10	0,44
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,74	7,09	3	0,12	0,42	0,54	1,10	0,60
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,78	7,74	3	0,11	0,39	0,50	1,10	0,55
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,81	8,35	3	0,10	0,36	0,46	1,10	0,50
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,84	8,95	3	0,09	0,34	0,43	1,10	0,47
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,88	9,53	3	0,08	0,31	0,40	1,10	0,44
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,91	10,08	3	0,08	0,30	0,38	1,10	0,41
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,94	10,62	3	0,07	0,28	0,36	1,10	0,39
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,98	11,14	3	0,07	0,27	0,34	1,10	0,37

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,00		m/h						
Einbautemperatur		15		°C						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,1667	0,0030	0,0150	0,1817	2,75	3,44
2	6	1,50	0,50	0,750	0,1667	0,0030	0,0180	0,1847	2,71	4,06
3	7	1,75	0,50	0,875	0,1667	0,0030	0,0210	0,1877	2,66	4,66
4	8	2,00	0,50	1,000	0,1667	0,0030	0,0240	0,1907	2,62	5,24
5	9	2,25	0,50	1,125	0,1667	0,0030	0,0270	0,1937	2,58	5,81
6	10	2,50	0,50	1,250	0,1667	0,0030	0,0300	0,1967	2,54	6,36
7	11	2,75	0,50	1,375	0,1667	0,0030	0,0330	0,1997	2,50	6,89
8	12	3,00	0,50	1,500	0,1667	0,0030	0,0360	0,2027	2,47	7,40
9	13	3,25	0,50	1,625	0,1667	0,0030	0,0390	0,2057	2,43	7,90
10	14	3,50	0,50	1,750	0,1667	0,0030	0,0420	0,2087	2,40	8,39
11	15	3,75	0,50	1,875	0,1667	0,0030	0,0450	0,2117	2,36	8,86
12	16	4,00	0,50	2,000	0,1667	0,0030	0,0480	0,2147	2,33	9,32

Aufandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,00	3,44	2	0,15	0,58	0,73	1,10	0,80
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,03	4,06	2	0,12	0,49	0,61	1,10	0,68
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,06	4,66	2	0,10	0,43	0,53	1,10	0,59
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,10	5,24	2	0,09	0,38	0,47	1,10	0,52
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,13	5,81	2	0,08	0,34	0,43	1,10	0,47
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,16	6,36	2	0,07	0,31	0,39	1,10	0,43
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,20	6,89	3	0,10	0,44	0,53	1,10	0,59
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,23	7,40	3	0,09	0,41	0,50	1,10	0,55
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,26	7,90	3	0,08	0,38	0,46	1,10	0,51
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,30	8,39	3	0,08	0,36	0,44	1,10	0,48
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,33	8,86	3	0,07	0,34	0,41	1,10	0,45
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,36	9,32	3	0,07	0,32	0,39	1,10	0,43

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		2,40		m/h						
Einbautemperatur		10		°C						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,2083	0,0030	0,0150	0,2233	2,24	2,80
2	6	1,50	0,50	0,750	0,2083	0,0030	0,0180	0,2263	2,21	3,31
3	7	1,75	0,50	0,875	0,2083	0,0030	0,0210	0,2293	2,18	3,82
4	8	2,00	0,50	1,000	0,2083	0,0030	0,0240	0,2323	2,15	4,30
5	9	2,25	0,50	1,125	0,2083	0,0030	0,0270	0,2353	2,12	4,78
6	10	2,50	0,50	1,250	0,2083	0,0030	0,0300	0,2383	2,10	5,24
7	11	2,75	0,50	1,375	0,2083	0,0030	0,0330	0,2413	2,07	5,70
8	12	3,00	0,50	1,500	0,2083	0,0030	0,0360	0,2443	2,05	6,14
9	13	3,25	0,50	1,625	0,2083	0,0030	0,0390	0,2473	2,02	6,57
10	14	3,50	0,50	1,750	0,2083	0,0030	0,0420	0,2503	2,00	6,99
11	15	3,75	0,50	1,875	0,2083	0,0030	0,0450	0,2533	1,97	7,40
12	16	4,00	0,50	2,000	0,2083	0,0030	0,0480	0,2563	1,95	7,80

Aufandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,46	2,80	2	0,15	0,71	0,86	1,10	0,95
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,49	3,31	2	0,12	0,60	0,72	1,10	0,80
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,52	3,82	2	0,10	0,52	0,63	1,10	0,69
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,56	4,30	2	0,09	0,46	0,56	1,10	0,61
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,59	4,78	2	0,08	0,42	0,50	1,10	0,55
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,62	5,24	2	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,65	5,70	2	0,07	0,35	0,42	1,10	0,46
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,69	6,14	2	0,06	0,33	0,39	1,10	0,43
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,72	6,57	2	0,06	0,30	0,36	1,10	0,40
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,75	6,99	3	0,08	0,43	0,51	1,10	0,56
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,79	7,40	3	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,82	7,80	3	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		2,00		m/h						
Einbautemperatur		5		°C						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,2500	0,0030	0,0150	0,2650	1,89	2,36
2	6	1,50	0,50	0,750	0,2500	0,0030	0,0180	0,2680	1,87	2,80
3	7	1,75	0,50	0,875	0,2500	0,0030	0,0210	0,2710	1,85	3,23
4	8	2,00	0,50	1,000	0,2500	0,0030	0,0240	0,2740	1,82	3,65
5	9	2,25	0,50	1,125	0,2500	0,0030	0,0270	0,2770	1,81	4,06
6	10	2,50	0,50	1,250	0,2500	0,0030	0,0300	0,2800	1,79	4,46
7	11	2,75	0,50	1,375	0,2500	0,0030	0,0330	0,2830	1,77	4,86
8	12	3,00	0,50	1,500	0,2500	0,0030	0,0360	0,2860	1,75	5,24
9	13	3,25	0,50	1,625	0,2500	0,0030	0,0390	0,2890	1,73	5,62
10	14	3,50	0,50	1,750	0,2500	0,0030	0,0420	0,2920	1,71	5,99
11	15	3,75	0,50	1,875	0,2500	0,0030	0,0450	0,2950	1,69	6,36
12	16	4,00	0,50	2,000	0,2500	0,0030	0,0480	0,2980	1,68	6,71

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RD</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,92	2,36	2	0,15	0,85	0,99	1,10	1,09
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,95	2,80	2	0,12	0,71	0,84	1,10	0,92
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,98	3,23	2	0,10	0,62	0,72	1,10	0,80
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	3,01	3,65	2	0,09	0,55	0,64	1,10	0,70
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	3,05	4,06	2	0,08	0,49	0,57	1,10	0,63
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	3,08	4,46	2	0,07	0,45	0,52	1,10	0,57
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	3,11	4,86	2	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	3,15	5,24	2	0,06	0,38	0,44	1,10	0,49
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	3,18	5,62	2	0,06	0,36	0,41	1,10	0,45
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	3,21	5,99	2	0,05	0,33	0,39	1,10	0,42
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,25	6,36	2	0,05	0,31	0,36	1,10	0,40
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	3,28	6,71	3	0,07	0,45	0,52	1,10	0,57

### A.1.2 Berechnung T<sub>c</sub>, Einbau bei σ<sub>hk, max</sub> 80 kN/m<sup>2</sup> Pumpe

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		5,40		m/h						
Einbautemperatur		20		°C						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,0926	0,0030	0,0150	0,1076	4,65	5,81
2	6	1,50	0,50	0,750	0,0926	0,0030	0,0180	0,1106	4,52	6,78
3	7	1,75	0,50	0,875	0,0926	0,0030	0,0210	0,1136	4,40	7,70
4	8	2,00	0,50	1,000	0,0926	0,0030	0,0240	0,1166	4,29	8,58
5	9	2,25	0,50	1,125	0,0926	0,0030	0,0270	0,1196	4,18	9,41
6	10	2,50	0,50	1,250	0,0926	0,0030	0,0300	0,1226	4,08	10,20
7	11	2,75	0,50	1,375	0,0926	0,0030	0,0330	0,1256	3,98	10,95
8	12	3,00	0,50	1,500	0,0926	0,0030	0,0360	0,1286	3,89	11,66
9	13	3,25	0,50	1,625	0,0926	0,0030	0,0390	0,1316	3,80	12,35
10	14	3,50	0,50	1,750	0,0926	0,0030	0,0420	0,1346	3,71	13,00
11	15	3,75	0,50	1,875	0,0926	0,0030	0,0450	0,1376	3,63	13,63
12	16	4,00	0,50	2,000	0,0926	0,0030	0,0480	0,1406	3,56	14,23

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>RD</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,18	5,81	2	0,15	0,34	0,49	1,10	0,54
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,22	6,78	3	0,18	0,44	0,62	1,10	0,69
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,25	7,70	3	0,16	0,39	0,55	1,10	0,60
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,28	8,58	3	0,14	0,35	0,49	1,10	0,53
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,32	9,41	3	0,12	0,32	0,44	1,10	0,48
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,35	10,20	3	0,11	0,29	0,40	1,10	0,44
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,38	10,95	3	0,10	0,27	0,37	1,10	0,41
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,41	11,66	3	0,09	0,26	0,35	1,10	0,38
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,45	12,35	3	0,08	0,24	0,33	1,10	0,36
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,48	13,00	3	0,08	0,23	0,31	1,10	0,34
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,51	13,63	3	0,07	0,22	0,29	1,10	0,32
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,55	14,23	3	0,07	0,21	0,28	1,10	0,31



Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h						
Einbautemperatur		15		°C						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,1136	0,0030	0,0150	0,1286	3,89	4,86
2	6	1,50	0,50	0,750	0,1136	0,0030	0,0180	0,1316	3,80	5,70
3	7	1,75	0,50	0,875	0,1136	0,0030	0,0210	0,1346	3,71	6,50
4	8	2,00	0,50	1,000	0,1136	0,0030	0,0240	0,1376	3,63	7,27
5	9	2,25	0,50	1,125	0,1136	0,0030	0,0270	0,1406	3,56	8,00
6	10	2,50	0,50	1,250	0,1136	0,0030	0,0300	0,1436	3,48	8,70
7	11	2,75	0,50	1,375	0,1136	0,0030	0,0330	0,1466	3,41	9,38
8	12	3,00	0,50	1,500	0,1136	0,0030	0,0360	0,1496	3,34	10,02
9	13	3,25	0,50	1,625	0,1136	0,0030	0,0390	0,1526	3,28	10,65
10	14	3,50	0,50	1,750	0,1136	0,0030	0,0420	0,1556	3,21	11,24
11	15	3,75	0,50	1,875	0,1136	0,0030	0,0450	0,1586	3,15	11,82
12	16	4,00	0,50	2,000	0,1136	0,0030	0,0480	0,1616	3,09	12,37

Aufandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>R0</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,42	4,86	2	0,15	0,41	0,56	1,10	0,61
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,45	5,70	2	0,12	0,35	0,47	1,10	0,52
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,48	6,50	2	0,10	0,31	0,41	1,10	0,45
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,51	7,27	3	0,14	0,41	0,55	1,10	0,60
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,55	8,00	3	0,12	0,38	0,50	1,10	0,55
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,58	8,70	3	0,11	0,34	0,45	1,10	0,50
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,61	9,38	3	0,10	0,32	0,42	1,10	0,46
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,65	10,02	3	0,09	0,30	0,39	1,10	0,43
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,68	10,65	3	0,08	0,28	0,37	1,10	0,40
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,71	11,24	3	0,08	0,27	0,34	1,10	0,38
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,75	11,82	3	0,07	0,25	0,33	1,10	0,36
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,78	12,37	3	0,07	0,24	0,31	1,10	0,34

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,70		m/h						
Einbautemperatur		10		°C						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,1351	0,0030	0,0150	0,1501	3,33	4,16
2	6	1,50	0,50	0,750	0,1351	0,0030	0,0180	0,1531	3,27	4,90
3	7	1,75	0,50	0,875	0,1351	0,0030	0,0210	0,1561	3,20	5,60
4	8	2,00	0,50	1,000	0,1351	0,0030	0,0240	0,1591	3,14	6,28
5	9	2,25	0,50	1,125	0,1351	0,0030	0,0270	0,1621	3,08	6,94
6	10	2,50	0,50	1,250	0,1351	0,0030	0,0300	0,1651	3,03	7,57
7	11	2,75	0,50	1,375	0,1351	0,0030	0,0330	0,1681	2,97	8,18
8	12	3,00	0,50	1,500	0,1351	0,0030	0,0360	0,1711	2,92	8,77
9	13	3,25	0,50	1,625	0,1351	0,0030	0,0390	0,1741	2,87	9,33
10	14	3,50	0,50	1,750	0,1351	0,0030	0,0420	0,1771	2,82	9,88
11	15	3,75	0,50	1,875	0,1351	0,0030	0,0450	0,1801	2,78	10,41
12	16	4,00	0,50	2,000	0,1351	0,0030	0,0480	0,1831	2,73	10,92

Aufandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>R0</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,65	4,16	2	0,15	0,48	0,63	1,10	0,69
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,68	4,90	2	0,12	0,41	0,53	1,10	0,58
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,72	5,60	2	0,10	0,36	0,46	1,10	0,51
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,75	6,28	2	0,09	0,32	0,41	1,10	0,45
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,78	6,94	3	0,12	0,43	0,55	1,10	0,61
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,82	7,57	3	0,11	0,40	0,51	1,10	0,56
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,85	8,18	3	0,10	0,37	0,47	1,10	0,51
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,88	8,77	3	0,09	0,34	0,43	1,10	0,48
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,92	9,33	3	0,08	0,32	0,41	1,10	0,45
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,95	9,88	3	0,08	0,30	0,38	1,10	0,42
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,98	10,41	3	0,07	0,29	0,36	1,10	0,40
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,01	10,92	3	0,07	0,27	0,34	1,10	0,38









Leistungwertberechnung																
Steiggeschwindigkeit		3,10		m/h												
Einbautemperatur		5		°C												
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,i</sub>	H <sub>Lage,j</sub>	H <sub>Lage,i,j</sub>	t <sub>maxLage,i</sub>	t <sub>maxLage,j</sub>	t <sub>maxLage,i,j</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> ·E <sub>st</sub> /2	T <sub>K</sub> +t <sub>s,h,v</sub> ·E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frish</sub>
	[°]	[m²]	[m²]	[m]	[m]	[m]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m³/h]
1	5	1,25	1,00	0,80	0,50	0,300	0,1613	-	0,0968	0,033	0,050	0,0833	-	0,3414	2,34	2,93
2	6	1,50	1,00	0,67	0,50	0,167	0,1613	-	0,0538	0,033	0,050	0,0900	-	0,3051	2,19	3,28
3	7	1,75	1,00	0,57	0,50	0,071	0,1613	-	0,0230	0,033	0,050	0,0967	-	0,2810	2,03	3,56
4	8	2,00	1,00	0,50	-	-	-	0,1613	-	0,033	0,050	-	0,0767	0,2380	2,10	4,20
5	9	2,25	1,00	0,44	-	-	-	0,1434	-	0,033	0,050	-	0,0800	0,2234	1,99	4,48
6	10	2,50	1,00	0,40	-	-	-	0,1290	-	0,033	0,050	-	0,0833	0,2124	1,88	4,71
7	11	2,75	1,00	0,36	-	-	-	0,1173	-	0,033	0,050	-	0,0867	0,2040	1,78	4,90
8	12	3,00	1,00	0,33	-	-	-	0,1075	-	0,033	0,050	-	0,0900	0,1975	1,69	5,06
9	13	3,25	1,00	0,31	-	-	-	0,0993	-	0,033	0,050	-	0,0933	0,1926	1,60	5,19
10	14	3,50	1,00	0,29	-	-	-	0,0922	-	0,033	0,050	-	0,0967	0,1888	1,51	5,30
11	15	3,75	1,00	0,27	-	-	-	0,0860	-	0,033	0,050	-	0,1000	0,1860	1,43	5,38
12	16	4,00	1,00	0,25	-	-	-	0,0806	-	0,033	0,050	-	0,1033	0,1840	1,36	5,44

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frish</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frish</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m²]	[h]	[m³/h]	[Std/h]	[Std/m²]	[Std/m²]	[Std/m²]	[-]	[Std/m²]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,35	2,93	3	0,22	1,02	1,24	1,10	1,37
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,52	3,28	3	0,18	0,92	1,10	1,10	1,21
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,70	3,56	3	0,16	0,84	1,00	1,10	1,10
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,82	4,20	3	0,14	0,71	0,85	1,10	0,94
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,76	4,48	3	0,12	0,67	0,79	1,10	0,87
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,92	4,71	3	0,11	0,64	0,75	1,10	0,82
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	3,09	4,90	3	0,10	0,61	0,71	1,10	0,78
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	3,26	5,06	3	0,09	0,59	0,68	1,10	0,75
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	3,44	5,19	3	0,08	0,58	0,66	1,10	0,73
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	3,64	5,30	3	0,08	0,57	0,64	1,10	0,71
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,84	5,38	3	0,07	0,56	0,63	1,10	0,69
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	4,05	5,44	3	0,07	0,55	0,62	1,10	0,68

### A.1.5 Berechnung $t_E$ bei $\sigma_{hk, max}$ 60 kN/m<sup>2</sup> Pumpe

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		3,00		m/h							
Erstarrungsende		5		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	$\sum t_{max,Lage} + t_{s,h,v} * E_{st}$	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]	
1	5	1,25	0,50	0,625	0,1667	0,0030	0,0150	0,1817	2,75	3,44	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,1667	0,0030	0,0180	0,1847	2,71	4,06	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,1667	0,0030	0,0210	0,1877	2,66	4,66	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,1667	0,0030	0,0240	0,1907	2,62	5,24	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,1667	0,0030	0,0270	0,1937	2,58	5,81	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,1667	0,0030	0,0300	0,1967	2,54	6,36	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,1667	0,0030	0,0330	0,1997	2,50	6,89	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,1667	0,0030	0,0360	0,2027	2,47	7,40	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,1667	0,0030	0,0390	0,2057	2,43	7,90	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,1667	0,0030	0,0420	0,2087	2,40	8,39	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,1667	0,0030	0,0450	0,2117	2,36	8,86	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,1667	0,0030	0,0480	0,2147	2,33	9,32	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>	A <sub>KBT</sub>	A <sub>WRD</sub>	A <sub>WBT</sub>	A <sub>WFrisc</sub>	VM	A <sub>WFest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,00	3,44	2	0,15	0,58	0,73	1,10	0,80
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,03	4,06	2	0,12	0,49	0,61	1,10	0,68
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,06	4,66	2	0,10	0,43	0,53	1,10	0,59
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,10	5,24	2	0,09	0,38	0,47	1,10	0,52
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,13	5,81	2	0,08	0,34	0,43	1,10	0,47
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,16	6,36	2	0,07	0,31	0,39	1,10	0,43
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,20	6,89	3	0,10	0,44	0,53	1,10	0,59
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,23	7,40	3	0,09	0,41	0,50	1,10	0,55
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,26	7,90	3	0,08	0,38	0,46	1,10	0,51
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,30	8,39	3	0,08	0,36	0,44	1,10	0,48
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,33	8,86	3	0,07	0,34	0,41	1,10	0,45
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,36	9,32	3	0,07	0,32	0,39	1,10	0,43

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		2,70		m/h							
Erstarrungsende		6		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	$\sum t_{max,Lage} + t_{s,h,v} * E_{st}$	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]	
1	5	1,25	0,50	0,625	0,185	0,0030	0,015	0,200	2,50	3,12	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,185	0,0030	0,018	0,203	2,46	3,69	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,185	0,0030	0,021	0,206	2,43	4,24	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,185	0,0030	0,024	0,209	2,39	4,78	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,185	0,0030	0,027	0,212	2,36	5,30	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,185	0,0030	0,030	0,215	2,32	5,81	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,185	0,0030	0,033	0,218	2,29	6,30	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,185	0,0030	0,036	0,221	2,26	6,78	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,185	0,0030	0,039	0,224	2,23	7,25	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,185	0,0030	0,042	0,227	2,20	7,70	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,185	0,0030	0,045	0,230	2,17	8,15	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,185	0,0030	0,048	0,233	2,14	8,58	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>	A <sub>KBT</sub>	A <sub>WRD</sub>	A <sub>WBT</sub>	A <sub>WFrisc</sub>	VM	A <sub>WFest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,20	3,12	2	0,15	0,64	0,79	1,10	0,86
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,24	3,69	2	0,12	0,54	0,66	1,10	0,73
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,27	4,24	2	0,10	0,47	0,58	1,10	0,63
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,30	4,78	2	0,09	0,42	0,51	1,10	0,56
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,33	5,30	2	0,08	0,38	0,46	1,10	0,50
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,37	5,81	2	0,07	0,34	0,42	1,10	0,46
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,40	6,30	2	0,07	0,32	0,38	1,10	0,42
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,43	6,78	3	0,09	0,44	0,53	1,10	0,59
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,47	7,25	3	0,08	0,41	0,50	1,10	0,55
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,50	7,70	3	0,08	0,39	0,47	1,10	0,51
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,53	8,15	3	0,07	0,37	0,44	1,10	0,49
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,57	8,58	3	0,07	0,35	0,42	1,10	0,46



Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		2,40		m/h						
Erstarrungsende		7		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	v <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,208	0,0030	0,015	0,223	2,24	2,80
2	6	1,50	0,50	0,750	0,208	0,0030	0,018	0,226	2,21	3,31
3	7	1,75	0,50	0,875	0,208	0,0030	0,021	0,229	2,18	3,82
4	8	2,00	0,50	1,000	0,208	0,0030	0,024	0,232	2,15	4,30
5	9	2,25	0,50	1,125	0,208	0,0030	0,027	0,235	2,12	4,78
6	10	2,50	0,50	1,250	0,208	0,0030	0,030	0,238	2,10	5,24
7	11	2,75	0,50	1,375	0,208	0,0030	0,033	0,241	2,07	5,70
8	12	3,00	0,50	1,500	0,208	0,0030	0,036	0,244	2,05	6,14
9	13	3,25	0,50	1,625	0,208	0,0030	0,039	0,247	2,02	6,57
10	14	3,50	0,50	1,750	0,208	0,0030	0,042	0,250	2,00	6,99
11	15	3,75	0,50	1,875	0,208	0,0030	0,045	0,253	1,97	7,40
12	16	4,00	0,50	2,000	0,208	0,0030	0,048	0,256	1,95	7,80

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,46	2,80	2	0,15	0,71	0,86	1,10	0,95
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,49	3,31	2	0,12	0,60	0,72	1,10	0,80
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,52	3,82	2	0,10	0,52	0,63	1,10	0,69
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,56	4,30	2	0,09	0,46	0,56	1,10	0,61
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,59	4,78	2	0,08	0,42	0,50	1,10	0,55
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,62	5,24	2	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,65	5,70	2	0,07	0,35	0,42	1,10	0,46
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,69	6,14	2	0,06	0,33	0,39	1,10	0,43
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,72	6,57	2	0,06	0,30	0,36	1,10	0,40
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,75	6,99	3	0,08	0,43	0,51	1,10	0,56
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,79	7,40	3	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,82	7,80	3	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		2,20		m/h						
Erstarrungsende		8		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	v <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,227	0,0030	0,015	0,242	2,06	2,58
2	6	1,50	0,50	0,750	0,227	0,0030	0,018	0,245	2,04	3,06
3	7	1,75	0,50	0,875	0,227	0,0030	0,021	0,248	2,01	3,52
4	8	2,00	0,50	1,000	0,227	0,0030	0,024	0,251	1,99	3,98
5	9	2,25	0,50	1,125	0,227	0,0030	0,027	0,254	1,97	4,42
6	10	2,50	0,50	1,250	0,227	0,0030	0,030	0,257	1,94	4,86
7	11	2,75	0,50	1,375	0,227	0,0030	0,033	0,260	1,92	5,28
8	12	3,00	0,50	1,500	0,227	0,0030	0,036	0,263	1,90	5,70
9	13	3,25	0,50	1,625	0,227	0,0030	0,039	0,266	1,88	6,10
10	14	3,50	0,50	1,750	0,227	0,0030	0,042	0,269	1,86	6,50
11	15	3,75	0,50	1,875	0,227	0,0030	0,045	0,272	1,84	6,89
12	16	4,00	0,50	2,000	0,227	0,0030	0,048	0,275	1,82	7,27

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,67	2,58	2	0,15	0,78	0,92	1,10	1,01
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,70	3,06	2	0,12	0,65	0,78	1,10	0,85
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,73	3,52	2	0,10	0,57	0,67	1,10	0,74
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,76	3,98	2	0,09	0,50	0,59	1,10	0,65
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,80	4,42	2	0,08	0,45	0,53	1,10	0,59
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,83	4,86	2	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,86	5,28	2	0,07	0,38	0,44	1,10	0,49
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,90	5,70	2	0,06	0,35	0,41	1,10	0,45
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,93	6,10	2	0,06	0,33	0,38	1,10	0,42
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,96	6,50	2	0,05	0,31	0,36	1,10	0,40
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,00	6,89	3	0,07	0,44	0,51	1,10	0,56
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	3,03	7,27	3	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53



Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		2,00		m/h							
Erstarrungsende		9		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]	
1	5	1,25	0,50	0,625	0,250	0,0030	0,015	0,265	1,89	2,36	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,250	0,0030	0,018	0,268	1,87	2,80	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,250	0,0030	0,021	0,271	1,85	3,23	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,250	0,0030	0,024	0,274	1,82	3,65	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,250	0,0030	0,027	0,277	1,81	4,06	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,250	0,0030	0,030	0,280	1,79	4,46	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,250	0,0030	0,033	0,283	1,77	4,86	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,250	0,0030	0,036	0,286	1,75	5,24	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,250	0,0030	0,039	0,289	1,73	5,62	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,250	0,0030	0,042	0,292	1,71	5,99	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,250	0,0030	0,045	0,295	1,69	6,36	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,250	0,0030	0,048	0,298	1,68	6,71	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,92	2,36	2	0,15	0,85	0,99	1,10	1,09
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,95	2,80	2	0,12	0,71	0,84	1,10	0,92
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,98	3,23	2	0,10	0,62	0,72	1,10	0,80
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	3,01	3,65	2	0,09	0,55	0,64	1,10	0,70
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	3,05	4,06	2	0,08	0,49	0,57	1,10	0,63
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	3,08	4,46	2	0,07	0,45	0,52	1,10	0,57
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	3,11	4,86	2	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	3,15	5,24	2	0,06	0,38	0,44	1,10	0,49
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	3,18	5,62	2	0,06	0,36	0,41	1,10	0,45
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	3,21	5,99	2	0,05	0,33	0,39	1,10	0,42
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,25	6,36	2	0,05	0,31	0,36	1,10	0,40
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	3,28	6,71	3	0,07	0,45	0,52	1,10	0,57

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		1,80		m/h							
Erstarrungsende		10		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]	
1	5	1,25	0,50	0,625	0,278	0,0030	0,015	0,293	1,71	2,13	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,278	0,0030	0,018	0,296	1,69	2,54	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,278	0,0030	0,021	0,299	1,67	2,93	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,278	0,0030	0,024	0,302	1,66	3,31	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,278	0,0030	0,027	0,305	1,64	3,69	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,278	0,0030	0,030	0,308	1,62	4,06	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,278	0,0030	0,033	0,311	1,61	4,42	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,278	0,0030	0,036	0,314	1,59	4,78	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,278	0,0030	0,039	0,317	1,58	5,13	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,278	0,0030	0,042	0,320	1,56	5,47	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,278	0,0030	0,045	0,323	1,55	5,81	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,278	0,0030	0,048	0,326	1,53	6,14	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	3,22	2,13	2	0,15	0,94	1,08	1,10	1,19
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	3,25	2,54	2	0,12	0,79	0,91	1,10	1,00
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	3,29	2,93	2	0,10	0,68	0,79	1,10	0,87
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	3,32	3,31	2	0,09	0,60	0,69	1,10	0,76
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	3,35	3,69	2	0,08	0,54	0,62	1,10	0,68
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	3,39	4,06	2	0,07	0,49	0,57	1,10	0,62
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	3,42	4,42	2	0,07	0,45	0,52	1,10	0,57
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	3,45	4,78	2	0,06	0,42	0,48	1,10	0,53
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	3,48	5,13	2	0,06	0,39	0,45	1,10	0,49
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	3,52	5,47	2	0,05	0,37	0,42	1,10	0,46
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,55	5,81	2	0,05	0,34	0,39	1,10	0,43
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	3,58	6,14	2	0,05	0,33	0,37	1,10	0,41

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		1,60		m/h						
Erstarrungsende		11		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	v <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,313	0,0030	0,015	0,328	1,53	1,91
2	6	1,50	0,50	0,750	0,313	0,0030	0,018	0,331	1,51	2,27
3	7	1,75	0,50	0,875	0,313	0,0030	0,021	0,334	1,50	2,62
4	8	2,00	0,50	1,000	0,313	0,0030	0,024	0,337	1,49	2,97
5	9	2,25	0,50	1,125	0,313	0,0030	0,027	0,340	1,47	3,31
6	10	2,50	0,50	1,250	0,313	0,0030	0,030	0,343	1,46	3,65
7	11	2,75	0,50	1,375	0,313	0,0030	0,033	0,346	1,45	3,98
8	12	3,00	0,50	1,500	0,313	0,0030	0,036	0,349	1,43	4,30
9	13	3,25	0,50	1,625	0,313	0,0030	0,039	0,352	1,42	4,62
10	14	3,50	0,50	1,750	0,313	0,0030	0,042	0,355	1,41	4,94
11	15	3,75	0,50	1,875	0,313	0,0030	0,045	0,358	1,40	5,24
12	16	4,00	0,50	2,000	0,313	0,0030	0,048	0,361	1,39	5,55

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	3,60	1,91	2	0,15	1,05	1,19	1,10	1,31
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	3,64	2,27	2	0,12	0,88	1,00	1,10	1,10
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	3,67	2,62	2	0,10	0,76	0,87	1,10	0,95
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	3,70	2,97	2	0,09	0,67	0,76	1,10	0,84
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	3,73	3,31	2	0,08	0,60	0,68	1,10	0,75
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	3,77	3,65	2	0,07	0,55	0,62	1,10	0,68
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	3,80	3,98	2	0,07	0,50	0,57	1,10	0,63
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	3,83	4,30	2	0,06	0,46	0,53	1,10	0,58
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	3,87	4,62	2	0,06	0,43	0,49	1,10	0,54
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	3,90	4,94	2	0,05	0,41	0,46	1,10	0,50
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,93	5,24	2	0,05	0,38	0,43	1,10	0,47
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	3,97	5,55	2	0,05	0,36	0,41	1,10	0,45

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		1,50		m/h						
Erstarrungsende		12		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	v <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,333	0,0030	0,015	0,348	1,44	1,79
2	6	1,50	0,50	0,750	0,333	0,0030	0,018	0,351	1,42	2,13
3	7	1,75	0,50	0,875	0,333	0,0030	0,021	0,354	1,41	2,47
4	8	2,00	0,50	1,000	0,333	0,0030	0,024	0,357	1,40	2,80
5	9	2,25	0,50	1,125	0,333	0,0030	0,027	0,360	1,39	3,12
6	10	2,50	0,50	1,250	0,333	0,0030	0,030	0,363	1,38	3,44
7	11	2,75	0,50	1,375	0,333	0,0030	0,033	0,366	1,36	3,75
8	12	3,00	0,50	1,500	0,333	0,0030	0,036	0,369	1,35	4,06
9	13	3,25	0,50	1,625	0,333	0,0030	0,039	0,372	1,34	4,36
10	14	3,50	0,50	1,750	0,333	0,0030	0,042	0,375	1,33	4,66
11	15	3,75	0,50	1,875	0,333	0,0030	0,045	0,378	1,32	4,96
12	16	4,00	0,50	2,000	0,333	0,0030	0,048	0,381	1,31	5,24

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	3,83	1,79	2	0,15	1,11	1,26	1,10	1,39
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	3,86	2,13	2	0,12	0,94	1,06	1,10	1,16
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	3,90	2,47	2	0,10	0,81	0,91	1,10	1,01
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	3,93	2,80	2	0,09	0,71	0,81	1,10	0,89
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	3,96	3,12	2	0,08	0,64	0,72	1,10	0,79
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	4,00	3,44	2	0,07	0,58	0,65	1,10	0,72
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	4,03	3,75	2	0,07	0,53	0,60	1,10	0,66
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	4,06	4,06	2	0,06	0,49	0,55	1,10	0,61
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	4,10	4,36	2	0,06	0,46	0,51	1,10	0,57
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	4,13	4,66	2	0,05	0,43	0,48	1,10	0,53
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	4,16	4,96	2	0,05	0,40	0,45	1,10	0,50
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	4,19	5,24	2	0,05	0,38	0,43	1,10	0,47

**A.1.6 Berechnung  $t_E$  bei  $\sigma_{hk, max}$  80 kN/m<sup>2</sup> Pumpe**

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h							
Erstarrungsende		5		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max</sub> Lage	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> * t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]	
1	5	1,25	0,50	0,625	0,114	0,0030	0,015	0,129	3,89	4,86	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,114	0,0030	0,018	0,132	3,80	5,70	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,114	0,0030	0,021	0,135	3,71	6,50	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,114	0,0030	0,024	0,138	3,63	7,27	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,114	0,0030	0,027	0,141	3,56	8,00	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,114	0,0030	0,030	0,144	3,48	8,70	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,114	0,0030	0,033	0,147	3,41	9,38	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,114	0,0030	0,036	0,150	3,34	10,02	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,114	0,0030	0,039	0,153	3,28	10,65	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,114	0,0030	0,042	0,156	3,21	11,24	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,114	0,0030	0,045	0,159	3,15	11,82	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,114	0,0030	0,048	0,162	3,09	12,37	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Fr</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,42	4,86	2	0,15	0,41	0,56	1,10	0,61
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,45	5,70	2	0,12	0,35	0,47	1,10	0,52
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,48	6,50	2	0,10	0,31	0,41	1,10	0,45
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,51	7,27	3	0,14	0,41	0,55	1,10	0,60
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,55	8,00	3	0,12	0,38	0,50	1,10	0,55
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,58	8,70	3	0,11	0,34	0,45	1,10	0,50
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,61	9,38	3	0,10	0,32	0,42	1,10	0,46
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,65	10,02	3	0,09	0,30	0,39	1,10	0,43
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,68	10,65	3	0,08	0,28	0,37	1,10	0,40
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,71	11,24	3	0,08	0,27	0,34	1,10	0,38
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,75	11,82	3	0,07	0,25	0,33	1,10	0,36
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,78	12,37	3	0,07	0,24	0,31	1,10	0,34

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		4,00		m/h							
Erstarrungsende		6		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max</sub> Lage	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> * t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>	
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]	
1	5	1,25	0,50	0,625	0,125	0,0030	0,015	0,140	3,57	4,46	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,125	0,0030	0,018	0,143	3,50	5,24	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,125	0,0030	0,021	0,146	3,42	5,99	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,125	0,0030	0,024	0,149	3,36	6,71	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,125	0,0030	0,027	0,152	3,29	7,40	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,125	0,0030	0,030	0,155	3,23	8,06	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,125	0,0030	0,033	0,158	3,16	8,70	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,125	0,0030	0,036	0,161	3,11	9,32	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,125	0,0030	0,039	0,164	3,05	9,91	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,125	0,0030	0,042	0,167	2,99	10,48	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,125	0,0030	0,045	0,170	2,94	11,03	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,125	0,0030	0,048	0,173	2,89	11,56	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Fr</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,54	4,46	2	0,15	0,45	0,59	1,10	0,65
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,57	5,24	2	0,12	0,38	0,50	1,10	0,55
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,61	5,99	2	0,10	0,33	0,44	1,10	0,48
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,64	6,71	3	0,14	0,45	0,58	1,10	0,64
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,67	7,40	3	0,12	0,41	0,53	1,10	0,58
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,71	8,06	3	0,11	0,37	0,48	1,10	0,53
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,74	8,70	3	0,10	0,34	0,44	1,10	0,49
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,77	9,32	3	0,09	0,32	0,41	1,10	0,45
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,80	9,91	3	0,08	0,30	0,39	1,10	0,43
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,84	10,48	3	0,08	0,29	0,36	1,10	0,40
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,87	11,03	3	0,07	0,27	0,34	1,10	0,38
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,90	11,56	3	0,07	0,26	0,33	1,10	0,36

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,70		m/h						
Erstarrungsende		7		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	t <sub>Lage</sub> [h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,135	0,0030	0,015	0,150	3,33	4,16
2	6	1,50	0,50	0,750	0,135	0,0030	0,018	0,153	3,27	4,90
3	7	1,75	0,50	0,875	0,135	0,0030	0,021	0,156	3,20	5,60
4	8	2,00	0,50	1,000	0,135	0,0030	0,024	0,159	3,14	6,28
5	9	2,25	0,50	1,125	0,135	0,0030	0,027	0,162	3,08	6,94
6	10	2,50	0,50	1,250	0,135	0,0030	0,030	0,165	3,03	7,57
7	11	2,75	0,50	1,375	0,135	0,0030	0,033	0,168	2,97	8,18
8	12	3,00	0,50	1,500	0,135	0,0030	0,036	0,171	2,92	8,77
9	13	3,25	0,50	1,625	0,135	0,0030	0,039	0,174	2,87	9,33
10	14	3,50	0,50	1,750	0,135	0,0030	0,042	0,177	2,82	9,88
11	15	3,75	0,50	1,875	0,135	0,0030	0,045	0,180	2,78	10,41
12	16	4,00	0,50	2,000	0,135	0,0030	0,048	0,183	2,73	10,92

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>BT, frisch</sub>	VM	AW <sub>BT, fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,65	4,16	2	0,15	0,48	0,63	1,10	0,69
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,68	4,90	2	0,12	0,41	0,53	1,10	0,58
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,72	5,60	2	0,10	0,36	0,46	1,10	0,51
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,75	6,28	2	0,09	0,32	0,41	1,10	0,45
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,78	6,94	3	0,12	0,43	0,55	1,10	0,61
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,82	7,57	3	0,11	0,40	0,51	1,10	0,56
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,85	8,18	3	0,10	0,37	0,47	1,10	0,51
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,88	8,77	3	0,09	0,34	0,43	1,10	0,48
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,92	9,33	3	0,08	0,32	0,41	1,10	0,45
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,95	9,88	3	0,08	0,30	0,38	1,10	0,42
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,98	10,41	3	0,07	0,29	0,36	1,10	0,40
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,01	10,92	3	0,07	0,27	0,34	1,10	0,38

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,40		m/h						
Erstarrungsende		8		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	t <sub>Lage</sub> [h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,147	0,0030	0,015	0,162	3,09	3,86
2	6	1,50	0,50	0,750	0,147	0,0030	0,018	0,165	3,03	4,54
3	7	1,75	0,50	0,875	0,147	0,0030	0,021	0,168	2,98	5,21
4	8	2,00	0,50	1,000	0,147	0,0030	0,024	0,171	2,92	5,85
5	9	2,25	0,50	1,125	0,147	0,0030	0,027	0,174	2,87	6,46
6	10	2,50	0,50	1,250	0,147	0,0030	0,030	0,177	2,82	7,06
7	11	2,75	0,50	1,375	0,147	0,0030	0,033	0,180	2,78	7,64
8	12	3,00	0,50	1,500	0,147	0,0030	0,036	0,183	2,73	8,19
9	13	3,25	0,50	1,625	0,147	0,0030	0,039	0,186	2,69	8,73
10	14	3,50	0,50	1,750	0,147	0,0030	0,042	0,189	2,64	9,26
11	15	3,75	0,50	1,875	0,147	0,0030	0,045	0,192	2,60	9,76
12	16	4,00	0,50	2,000	0,147	0,0030	0,048	0,195	2,56	10,25

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>BT, frisch</sub>	VM	AW <sub>BT, fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,78	3,86	2	0,15	0,52	0,66	1,10	0,73
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,82	4,54	2	0,12	0,44	0,56	1,10	0,62
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,85	5,21	2	0,10	0,38	0,49	1,10	0,54
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,88	5,85	2	0,09	0,34	0,43	1,10	0,48
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,91	6,46	2	0,08	0,31	0,39	1,10	0,43
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,95	7,06	3	0,11	0,42	0,53	1,10	0,59
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,98	7,64	3	0,10	0,39	0,49	1,10	0,54
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,01	8,19	3	0,09	0,37	0,46	1,10	0,50
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,05	8,73	3	0,08	0,34	0,43	1,10	0,47
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,08	9,26	3	0,08	0,32	0,40	1,10	0,44
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,11	9,76	3	0,07	0,31	0,38	1,10	0,42
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,15	10,25	3	0,07	0,29	0,36	1,10	0,40

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		3,10		m/h							
Erstarrungsende		9		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,161	0,0030	0,015	0,176	2,84	3,55	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,161	0,0030	0,018	0,179	2,79	4,18	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,161	0,0030	0,021	0,182	2,74	4,80	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,161	0,0030	0,024	0,185	2,70	5,40	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,161	0,0030	0,027	0,188	2,66	5,97	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,161	0,0030	0,030	0,191	2,61	6,53	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,161	0,0030	0,033	0,194	2,57	7,08	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,161	0,0030	0,036	0,197	2,53	7,60	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,161	0,0030	0,039	0,200	2,50	8,11	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,161	0,0030	0,042	0,203	2,46	8,61	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,161	0,0030	0,045	0,206	2,42	9,09	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,161	0,0030	0,048	0,209	2,39	9,56	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>ST</sub>	AW <sub>RD</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Fr</sub>	VM	AW <sub>rest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,94	3,55	2	0,15	0,56	0,71	1,10	0,78
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,97	4,18	2	0,12	0,48	0,60	1,10	0,66
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,01	4,80	2	0,10	0,42	0,52	1,10	0,57
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,04	5,40	2	0,09	0,37	0,46	1,10	0,51
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,07	5,97	2	0,08	0,33	0,42	1,10	0,46
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,10	6,53	2	0,07	0,31	0,38	1,10	0,42
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,14	7,08	3	0,10	0,42	0,52	1,10	0,58
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,17	7,60	3	0,09	0,39	0,49	1,10	0,53
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,20	8,11	3	0,08	0,37	0,45	1,10	0,50
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,24	8,61	3	0,08	0,35	0,43	1,10	0,47
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,27	9,09	3	0,07	0,33	0,40	1,10	0,44
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,30	9,56	3	0,07	0,31	0,38	1,10	0,42

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		2,80		m/h							
Erstarrungsende		10		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,179	0,0030	0,015	0,194	2,58	3,23	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,179	0,0030	0,018	0,197	2,54	3,82	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,179	0,0030	0,021	0,200	2,51	4,38	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,179	0,0030	0,024	0,203	2,47	4,94	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,179	0,0030	0,027	0,206	2,43	5,47	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,179	0,0030	0,030	0,209	2,40	5,99	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,179	0,0030	0,033	0,212	2,36	6,50	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,179	0,0030	0,036	0,215	2,33	6,99	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,179	0,0030	0,039	0,218	2,30	7,47	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,179	0,0030	0,042	0,221	2,27	7,93	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,179	0,0030	0,045	0,224	2,24	8,39	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,179	0,0030	0,048	0,227	2,21	8,83	

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>ST</sub>	AW <sub>RD</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Fr</sub>	VM	AW <sub>rest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,13	3,23	2	0,15	0,62	0,76	1,10	0,84
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,16	3,82	2	0,12	0,52	0,65	1,10	0,71
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,20	4,38	2	0,10	0,46	0,56	1,10	0,62
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,23	4,94	2	0,09	0,41	0,50	1,10	0,55
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,26	5,47	2	0,08	0,37	0,45	1,10	0,49
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,29	5,99	2	0,07	0,33	0,41	1,10	0,45
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,33	6,50	2	0,07	0,31	0,37	1,10	0,41
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,36	6,99	3	0,09	0,43	0,52	1,10	0,57
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,39	7,47	3	0,08	0,40	0,49	1,10	0,53
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,43	7,93	3	0,08	0,38	0,46	1,10	0,50
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,46	8,39	3	0,07	0,36	0,43	1,10	0,47
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,49	8,83	3	0,07	0,34	0,41	1,10	0,45

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		2,60		m/h							
Erstarrungsende		11		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,192	0,0030	0,015	0,207	2,41	2,41	3,01
2	6	1,50	0,50	0,75	0,192	0,0030	0,018	0,210	2,38	2,38	3,57
3	7	1,75	0,50	0,88	0,192	0,0030	0,021	0,213	2,34	2,34	4,10
4	8	2,00	0,50	1,00	0,192	0,0030	0,024	0,216	2,31	2,31	4,62
5	9	2,25	0,50	1,13	0,192	0,0030	0,027	0,219	2,28	2,28	5,13
6	10	2,50	0,50	1,25	0,192	0,0030	0,030	0,222	2,25	2,25	5,62
7	11	2,75	0,50	1,38	0,192	0,0030	0,033	0,225	2,22	2,22	6,10
8	12	3,00	0,50	1,50	0,192	0,0030	0,036	0,228	2,19	2,19	6,57
9	13	3,25	0,50	1,63	0,192	0,0030	0,039	0,231	2,16	2,16	7,03
10	14	3,50	0,50	1,75	0,192	0,0030	0,042	0,234	2,13	2,13	7,47
11	15	3,75	0,50	1,88	0,192	0,0030	0,045	0,237	2,11	2,11	7,90
12	16	4,00	0,50	2,00	0,192	0,0030	0,048	0,240	2,08	2,08	8,32

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>ST</sub>	AW <sub>RB</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Fr</sub>	VM	AW <sub>rest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,28	3,01	2	0,15	0,66	0,81	1,10	0,89
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,31	3,57	2	0,12	0,56	0,68	1,10	0,75
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,35	4,10	2	0,10	0,49	0,59	1,10	0,65
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,38	4,62	2	0,09	0,43	0,52	1,10	0,58
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,41	5,13	2	0,08	0,39	0,47	1,10	0,52
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,45	5,62	2	0,07	0,36	0,43	1,10	0,47
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,48	6,10	2	0,07	0,33	0,39	1,10	0,43
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,51	6,57	2	0,06	0,30	0,37	1,10	0,40
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,54	7,03	3	0,08	0,43	0,51	1,10	0,56
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,58	7,47	3	0,08	0,40	0,48	1,10	0,53
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,61	7,90	3	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,64	8,32	3	0,07	0,36	0,43	1,10	0,47

Leistungwertberechnung											
Steiggeschwindigkeit		2,40		m/h							
Erstarrungsende		12		h							
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,208	0,0030	0,015	0,223	2,24	2,24	2,80
2	6	1,50	0,50	0,75	0,208	0,0030	0,018	0,226	2,21	2,21	3,31
3	7	1,75	0,50	0,88	0,208	0,0030	0,021	0,229	2,18	2,18	3,82
4	8	2,00	0,50	1,00	0,208	0,0030	0,024	0,232	2,15	2,15	4,30
5	9	2,25	0,50	1,13	0,208	0,0030	0,027	0,235	2,12	2,12	4,78
6	10	2,50	0,50	1,25	0,208	0,0030	0,030	0,238	2,10	2,10	5,24
7	11	2,75	0,50	1,38	0,208	0,0030	0,033	0,241	2,07	2,07	5,70
8	12	3,00	0,50	1,50	0,208	0,0030	0,036	0,244	2,05	2,05	6,14
9	13	3,25	0,50	1,63	0,208	0,0030	0,039	0,247	2,02	2,02	6,57
10	14	3,50	0,50	1,75	0,208	0,0030	0,042	0,250	2,00	2,00	6,99
11	15	3,75	0,50	1,88	0,208	0,0030	0,045	0,253	1,97	1,97	7,40
12	16	4,00	0,50	2,00	0,208	0,0030	0,048	0,256	1,95	1,95	7,80

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>ST</sub>	AW <sub>RB</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Fr</sub>	VM	AW <sub>rest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,46	2,80	2	0,15	0,71	0,86	1,10	0,95
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,49	3,31	2	0,12	0,60	0,72	1,10	0,80
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,52	3,82	2	0,10	0,52	0,63	1,10	0,69
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,56	4,30	2	0,09	0,46	0,56	1,10	0,61
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,59	4,78	2	0,08	0,42	0,50	1,10	0,55
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,62	5,24	2	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,65	5,70	2	0,07	0,35	0,42	1,10	0,46
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,69	6,14	2	0,06	0,33	0,39	1,10	0,43
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,72	6,57	2	0,06	0,30	0,36	1,10	0,40
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,75	6,99	3	0,08	0,43	0,51	1,10	0,56
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,79	7,40	3	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,82	7,80	3	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50













Leistungwertberechnung																
Steiggeschwindigkeit		3,70														
Erstarrungsende		7														
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,i</sub>	H <sub>Lage,j</sub>	H <sub>Lage,i,j</sub>	t <sub>maxLage,i</sub>	t <sub>maxLage,j</sub>	t <sub>maxLage,i,j</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K+t<sub>s,h,v</sub>+E<sub>st</sub>/2</sub>	T <sub>K+t<sub>s,h,v</sub>+E<sub>st</sub></sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
1	5	1,25	1,00	0,80	0,50	0,300	0,1351	-	0,0811	0,033	0,050	0,0833	-	0,2995	2,67	3,34
2	6	1,50	1,00	0,67	0,50	0,167	0,1351	-	0,0450	0,033	0,050	0,0900	-	0,2702	2,47	3,70
3	7	1,75	1,00	0,57	0,50	0,071	0,1351	-	0,0193	0,033	0,050	0,0967	-	0,2511	2,28	3,98
4	8	2,00	1,00	0,50	-	-	-	0,1351	-	0,033	0,050	-	0,0767	0,2118	2,36	4,72
5	9	2,25	1,00	0,44	-	-	-	0,1201	-	0,033	0,050	-	0,0800	0,2001	2,22	5,00
6	10	2,50	1,00	0,40	-	-	-	0,1081	-	0,033	0,050	-	0,0833	0,1914	2,09	5,22
7	11	2,75	1,00	0,36	-	-	-	0,0983	-	0,033	0,050	-	0,0867	0,1849	1,97	5,41
8	12	3,00	1,00	0,33	-	-	-	0,0901	-	0,033	0,050	-	0,0900	0,1801	1,85	5,55
9	13	3,25	1,00	0,31	-	-	-	0,0832	-	0,033	0,050	-	0,0933	0,1765	1,74	5,67
10	14	3,50	1,00	0,29	-	-	-	0,0772	-	0,033	0,050	-	0,0967	0,1739	1,64	5,75
11	15	3,75	1,00	0,27	-	-	-	0,0721	-	0,033	0,050	-	0,1000	0,1721	1,55	5,81
12	16	4,00	1,00	0,25	-	-	-	0,0676	-	0,033	0,050	-	0,1033	0,1709	1,46	5,85

Aufandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,06	3,34	3	0,22	0,90	1,12	1,10	1,23
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,23	3,70	3	0,18	0,81	0,99	1,10	1,09
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,42	3,98	3	0,16	0,75	0,91	1,10	1,00
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,33	4,72	3	0,14	0,64	0,77	1,10	0,85
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,48	5,00	3	0,12	0,60	0,72	1,10	0,79
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,63	5,22	3	0,11	0,57	0,68	1,10	0,75
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,80	5,41	3	0,10	0,55	0,65	1,10	0,72
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,97	5,55	3	0,09	0,54	0,63	1,10	0,69
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	3,15	5,67	3	0,08	0,53	0,61	1,10	0,67
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	3,35	5,75	3	0,08	0,52	0,60	1,10	0,66
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,55	5,81	3	0,07	0,52	0,59	1,10	0,65
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	3,76	5,85	3	0,07	0,51	0,58	1,10	0,64

Leistungwertberechnung																
Steiggeschwindigkeit		3,40														
Erstarrungsende		8														
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	BT <sub>M,K</sub>	H <sub>Lage,i</sub>	H <sub>Lage,j</sub>	H <sub>Lage,i,j</sub>	t <sub>maxLage,i</sub>	t <sub>maxLage,j</sub>	t <sub>maxLage,i,j</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	T <sub>K</sub>	T <sub>K+t<sub>s,h,v</sub>+E<sub>st</sub>/2</sub>	T <sub>K+t<sub>s,h,v</sub>+E<sub>st</sub></sub>	t <sub>Lage</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
1	5	1,25	1,00	0,80	0,50	0,300	0,1471	-	0,0882	0,033	0,050	0,0833	-	0,3186	2,51	3,14
2	6	1,50	1,00	0,67	0,50	0,167	0,1471	-	0,0490	0,033	0,050	0,0900	-	0,2861	2,33	3,50
3	7	1,75	1,00	0,57	0,50	0,071	0,1471	-	0,0210	0,033	0,050	0,0967	-	0,2647	2,16	3,78
4	8	2,00	1,00	0,50	-	-	-	0,1471	-	0,033	0,050	-	0,0767	0,2237	2,23	4,47
5	9	2,25	1,00	0,44	-	-	-	0,1307	-	0,033	0,050	-	0,0800	0,2107	2,11	4,75
6	10	2,50	1,00	0,40	-	-	-	0,1176	-	0,033	0,050	-	0,0833	0,2010	1,99	4,98
7	11	2,75	1,00	0,36	-	-	-	0,1070	-	0,033	0,050	-	0,0867	0,1936	1,88	5,16
8	12	3,00	1,00	0,33	-	-	-	0,0980	-	0,033	0,050	-	0,0900	0,1880	1,77	5,32
9	13	3,25	1,00	0,31	-	-	-	0,0905	-	0,033	0,050	-	0,0933	0,1838	1,67	5,44
10	14	3,50	1,00	0,29	-	-	-	0,0840	-	0,033	0,050	-	0,0967	0,1807	1,58	5,53
11	15	3,75	1,00	0,27	-	-	-	0,0784	-	0,033	0,050	-	0,1000	0,1784	1,49	5,60
12	16	4,00	1,00	0,25	-	-	-	0,0735	-	0,033	0,050	-	0,1033	0,1769	1,41	5,65

Aufandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,19	3,14	3	0,22	0,96	1,17	1,10	1,29
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,36	3,50	3	0,18	0,86	1,04	1,10	1,14
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,55	3,78	3	0,16	0,79	0,95	1,10	1,05
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,46	4,47	3	0,14	0,67	0,81	1,10	0,89
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,61	4,75	3	0,12	0,63	0,75	1,10	0,83
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,76	4,98	3	0,11	0,60	0,71	1,10	0,78
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,93	5,16	3	0,10	0,58	0,68	1,10	0,75
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	3,10	5,32	3	0,09	0,56	0,66	1,10	0,72
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	3,29	5,44	3	0,08	0,55	0,64	1,10	0,70
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	3,48	5,53	3	0,08	0,54	0,62	1,10	0,68
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	3,68	5,60	3	0,07	0,54	0,61	1,10	0,67
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	3,89	5,65	3	0,07	0,53	0,60	1,10	0,66







Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,00		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
	[-]	[m²]	[m]	[m²]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m³/h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,125	0,0030	0,015	0,140	3,571	4,46
2	6	1,50	0,50	0,750	0,125	0,0030	0,018	0,143	3,497	5,24
3	7	1,75	0,50	0,875	0,125	0,0030	0,021	0,146	3,425	5,99
4	8	2,00	0,50	1,000	0,125	0,0030	0,024	0,149	3,356	6,71
5	9	2,25	0,50	1,125	0,125	0,0030	0,027	0,152	3,289	7,40
6	10	2,50	0,50	1,250	0,125	0,0030	0,030	0,155	3,226	8,06
7	11	2,75	0,50	1,375	0,125	0,0030	0,033	0,158	3,165	8,70
8	12	3,00	0,50	1,500	0,125	0,0030	0,036	0,161	3,106	9,32
9	13	3,25	0,50	1,625	0,125	0,0030	0,039	0,164	3,049	9,91
10	14	3,50	0,50	1,750	0,125	0,0030	0,042	0,167	2,994	10,48
11	15	3,75	0,50	1,875	0,125	0,0030	0,045	0,170	2,941	11,03
12	16	4,00	0,50	2,000	0,125	0,0030	0,048	0,173	2,890	11,56

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m²]	[h]	[m³/h]	[Std/h]	[Std/m³]	[Std/m²]	[Std/m²]	[-]	[Std/m²]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,54	4,46	2	0,15	0,45	0,59	1,10	0,65
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,57	5,24	2	0,12	0,38	0,50	1,10	0,55
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,61	5,99	2	0,10	0,33	0,44	1,10	0,48
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,64	6,71	3	0,14	0,45	0,58	1,10	0,64
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,67	7,40	3	0,12	0,41	0,53	1,10	0,58
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,71	8,06	3	0,11	0,37	0,48	1,10	0,53
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,74	8,70	3	0,10	0,34	0,44	1,10	0,49
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,77	9,32	3	0,09	0,32	0,41	1,10	0,45
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,80	9,91	3	0,08	0,30	0,39	1,10	0,43
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,84	10,48	3	0,08	0,29	0,36	1,10	0,40
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,87	11,03	3	0,07	0,27	0,34	1,10	0,38
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,90	11,56	3	0,07	0,26	0,33	1,10	0,36

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,80		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
	[-]	[m²]	[m]	[m²]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m³/h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,132	0,0030	0,015	0,147	3,411	4,26
2	6	1,50	0,50	0,750	0,132	0,0030	0,018	0,150	3,343	5,01
3	7	1,75	0,50	0,875	0,132	0,0030	0,021	0,153	3,277	5,73
4	8	2,00	0,50	1,000	0,132	0,0030	0,024	0,156	3,214	6,43
5	9	2,25	0,50	1,125	0,132	0,0030	0,027	0,159	3,153	7,09
6	10	2,50	0,50	1,250	0,132	0,0030	0,030	0,162	3,094	7,74
7	11	2,75	0,50	1,375	0,132	0,0030	0,033	0,165	3,038	8,35
8	12	3,00	0,50	1,500	0,132	0,0030	0,036	0,168	2,984	8,95
9	13	3,25	0,50	1,625	0,132	0,0030	0,039	0,171	2,931	9,53
10	14	3,50	0,50	1,750	0,132	0,0030	0,042	0,174	2,881	10,08
11	15	3,75	0,50	1,875	0,132	0,0030	0,045	0,177	2,832	10,62
12	16	4,00	0,50	2,000	0,132	0,0030	0,048	0,180	2,784	11,14

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m²]	[h]	[m³/h]	[Std/h]	[Std/m³]	[Std/m²]	[Std/m²]	[-]	[Std/m²]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,61	4,26	2	0,15	0,47	0,61	1,10	0,68
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,65	5,01	2	0,12	0,40	0,52	1,10	0,57
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,68	5,73	2	0,10	0,35	0,45	1,10	0,50
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,71	6,43	2	0,09	0,31	0,40	1,10	0,44
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,74	7,09	3	0,12	0,42	0,54	1,10	0,60
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,78	7,74	3	0,11	0,39	0,50	1,10	0,55
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,81	8,35	3	0,10	0,36	0,46	1,10	0,50
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,84	8,95	3	0,09	0,34	0,43	1,10	0,47
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,88	9,53	3	0,08	0,31	0,40	1,10	0,44
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,91	10,08	3	0,08	0,30	0,38	1,10	0,41
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,94	10,62	3	0,07	0,28	0,36	1,10	0,39
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,98	11,14	3	0,07	0,27	0,34	1,10	0,37



Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,60		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,139	0,0030	0,015	0,154	3,249	4,06
2	6	1,50	0,50	0,750	0,139	0,0030	0,018	0,157	3,187	4,78
3	7	1,75	0,50	0,875	0,139	0,0030	0,021	0,160	3,127	5,47
4	8	2,00	0,50	1,000	0,139	0,0030	0,024	0,163	3,070	6,14
5	9	2,25	0,50	1,125	0,139	0,0030	0,027	0,166	3,014	6,78
6	10	2,50	0,50	1,250	0,139	0,0030	0,030	0,169	2,961	7,40
7	11	2,75	0,50	1,375	0,139	0,0030	0,033	0,172	2,909	8,00
8	12	3,00	0,50	1,500	0,139	0,0030	0,036	0,175	2,859	8,58
9	13	3,25	0,50	1,625	0,139	0,0030	0,039	0,178	2,811	9,13
10	14	3,50	0,50	1,750	0,139	0,0030	0,042	0,181	2,764	9,67
11	15	3,75	0,50	1,875	0,139	0,0030	0,045	0,184	2,719	10,20
12	16	4,00	0,50	2,000	0,139	0,0030	0,048	0,187	2,675	10,70

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,69	4,06	2	0,15	0,49	0,64	1,10	0,70
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,73	4,78	2	0,12	0,42	0,54	1,10	0,59
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,76	5,47	2	0,10	0,37	0,47	1,10	0,52
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,79	6,14	2	0,09	0,33	0,42	1,10	0,46
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,82	6,78	3	0,12	0,44	0,56	1,10	0,62
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,86	7,40	3	0,11	0,41	0,51	1,10	0,57
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,89	8,00	3	0,10	0,38	0,47	1,10	0,52
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,92	8,58	3	0,09	0,35	0,44	1,10	0,48
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,96	9,13	3	0,08	0,33	0,41	1,10	0,45
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,99	9,67	3	0,08	0,31	0,39	1,10	0,43
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,02	10,20	3	0,07	0,29	0,37	1,10	0,40
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,06	10,70	3	0,07	0,28	0,35	1,10	0,38

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,40		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,147	0,0030	0,015	0,162	3,085	3,86
2	6	1,50	0,50	0,750	0,147	0,0030	0,018	0,165	3,029	4,54
3	7	1,75	0,50	0,875	0,147	0,0030	0,021	0,168	2,975	5,21
4	8	2,00	0,50	1,000	0,147	0,0030	0,024	0,171	2,923	5,85
5	9	2,25	0,50	1,125	0,147	0,0030	0,027	0,174	2,873	6,46
6	10	2,50	0,50	1,250	0,147	0,0030	0,030	0,177	2,824	7,06
7	11	2,75	0,50	1,375	0,147	0,0030	0,033	0,180	2,777	7,64
8	12	3,00	0,50	1,500	0,147	0,0030	0,036	0,183	2,731	8,19
9	13	3,25	0,50	1,625	0,147	0,0030	0,039	0,186	2,687	8,73
10	14	3,50	0,50	1,750	0,147	0,0030	0,042	0,189	2,645	9,26
11	15	3,75	0,50	1,875	0,147	0,0030	0,045	0,192	2,603	9,76
12	16	4,00	0,50	2,000	0,147	0,0030	0,048	0,195	2,563	10,25

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,78	3,86	2	0,15	0,52	0,66	1,10	0,73
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,82	4,54	2	0,12	0,44	0,56	1,10	0,62
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,85	5,21	2	0,10	0,38	0,49	1,10	0,54
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,88	5,85	2	0,09	0,34	0,43	1,10	0,48
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,91	6,46	2	0,08	0,31	0,39	1,10	0,43
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,95	7,06	3	0,11	0,42	0,53	1,10	0,59
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,98	7,64	3	0,10	0,39	0,49	1,10	0,54
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,01	8,19	3	0,09	0,37	0,46	1,10	0,50
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,05	8,73	3	0,08	0,34	0,43	1,10	0,47
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,08	9,26	3	0,08	0,32	0,40	1,10	0,44
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,11	9,76	3	0,07	0,31	0,38	1,10	0,42
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,15	10,25	3	0,07	0,29	0,36	1,10	0,40

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,20		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,156	0,0030	0,015	0,171	2,920	3,65
2	6	1,50	0,50	0,750	0,156	0,0030	0,018	0,174	2,869	4,30
3	7	1,75	0,50	0,875	0,156	0,0030	0,021	0,177	2,821	4,94
4	8	2,00	0,50	1,000	0,156	0,0030	0,024	0,180	2,774	5,55
5	9	2,25	0,50	1,125	0,156	0,0030	0,027	0,183	2,729	6,14
6	10	2,50	0,50	1,250	0,156	0,0030	0,030	0,186	2,685	6,71
7	11	2,75	0,50	1,375	0,156	0,0030	0,033	0,189	2,642	7,27
8	12	3,00	0,50	1,500	0,156	0,0030	0,036	0,192	2,601	7,80
9	13	3,25	0,50	1,625	0,156	0,0030	0,039	0,195	2,561	8,32
10	14	3,50	0,50	1,750	0,156	0,0030	0,042	0,198	2,522	8,83
11	15	3,75	0,50	1,875	0,156	0,0030	0,045	0,201	2,484	9,32
12	16	4,00	0,50	2,000	0,156	0,0030	0,048	0,204	2,448	9,79

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,88	3,65	2	0,15	0,55	0,69	1,10	0,76
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,92	4,30	2	0,12	0,46	0,59	1,10	0,64
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,95	4,94	2	0,10	0,41	0,51	1,10	0,56
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,98	5,55	2	0,09	0,36	0,45	1,10	0,50
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,02	6,14	2	0,08	0,33	0,41	1,10	0,45
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,05	6,71	3	0,11	0,45	0,56	1,10	0,61
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,08	7,27	3	0,10	0,41	0,51	1,10	0,56
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,11	7,80	3	0,09	0,38	0,48	1,10	0,52
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,15	8,32	3	0,08	0,36	0,44	1,10	0,49
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,18	8,83	3	0,08	0,34	0,42	1,10	0,46
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,21	9,32	3	0,07	0,32	0,39	1,10	0,43
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,25	9,79	3	0,07	0,31	0,37	1,10	0,41

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,00		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,167	0,0030	0,015	0,182	2,752	3,44
2	6	1,50	0,50	0,750	0,167	0,0030	0,018	0,185	2,708	4,06
3	7	1,75	0,50	0,875	0,167	0,0030	0,021	0,188	2,664	4,66
4	8	2,00	0,50	1,000	0,167	0,0030	0,024	0,191	2,622	5,24
5	9	2,25	0,50	1,125	0,167	0,0030	0,027	0,194	2,582	5,81
6	10	2,50	0,50	1,250	0,167	0,0030	0,030	0,197	2,542	6,36
7	11	2,75	0,50	1,375	0,167	0,0030	0,033	0,200	2,504	6,89
8	12	3,00	0,50	1,500	0,167	0,0030	0,036	0,203	2,467	7,40
9	13	3,25	0,50	1,625	0,167	0,0030	0,039	0,206	2,431	7,90
10	14	3,50	0,50	1,750	0,167	0,0030	0,042	0,209	2,396	8,39
11	15	3,75	0,50	1,875	0,167	0,0030	0,045	0,212	2,362	8,86
12	16	4,00	0,50	2,000	0,167	0,0030	0,048	0,215	2,329	9,32

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,00	3,44	2	0,15	0,58	0,73	1,10	0,80
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,03	4,06	2	0,12	0,49	0,61	1,10	0,68
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,06	4,66	2	0,10	0,43	0,53	1,10	0,59
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,10	5,24	2	0,09	0,38	0,47	1,10	0,52
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,13	5,81	2	0,08	0,34	0,43	1,10	0,47
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,16	6,36	2	0,07	0,31	0,39	1,10	0,43
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,20	6,89	3	0,10	0,44	0,53	1,10	0,59
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,23	7,40	3	0,09	0,41	0,50	1,10	0,55
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,26	7,90	3	0,08	0,38	0,46	1,10	0,51
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,30	8,39	3	0,08	0,36	0,44	1,10	0,48
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,33	8,86	3	0,07	0,34	0,41	1,10	0,45
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,36	9,32	3	0,07	0,32	0,39	1,10	0,43

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		2,80		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m²]	[m]	[m²]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m²/h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,179	0,0030	0,015	0,194	2,583	3,23
2	6	1,50	0,50	0,750	0,179	0,0030	0,018	0,197	2,544	3,82
3	7	1,75	0,50	0,875	0,179	0,0030	0,021	0,200	2,505	4,38
4	8	2,00	0,50	1,000	0,179	0,0030	0,024	0,203	2,468	4,94
5	9	2,25	0,50	1,125	0,179	0,0030	0,027	0,206	2,432	5,47
6	10	2,50	0,50	1,250	0,179	0,0030	0,030	0,209	2,397	5,99
7	11	2,75	0,50	1,375	0,179	0,0030	0,033	0,212	2,363	6,50
8	12	3,00	0,50	1,500	0,179	0,0030	0,036	0,215	2,330	6,99
9	13	3,25	0,50	1,625	0,179	0,0030	0,039	0,218	2,298	7,47
10	14	3,50	0,50	1,750	0,179	0,0030	0,042	0,221	2,267	7,93
11	15	3,75	0,50	1,875	0,179	0,0030	0,045	0,224	2,236	8,39
12	16	4,00	0,50	2,000	0,179	0,0030	0,048	0,227	2,207	8,83

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>FriscH</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m²]	[h]	[m²/h]	[Std/h]	[Std/m²]	[Std/m²]	[Std/m²]	[-]	[Std/m²]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,13	3,23	2	0,15	0,62	0,76	1,10	0,84
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,16	3,82	2	0,12	0,52	0,65	1,10	0,71
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,20	4,38	2	0,10	0,46	0,56	1,10	0,62
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,23	4,94	2	0,09	0,41	0,50	1,10	0,55
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,26	5,47	2	0,08	0,37	0,45	1,10	0,49
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,29	5,99	2	0,07	0,33	0,41	1,10	0,45
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,33	6,50	3	0,10	0,46	0,56	1,10	0,62
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,36	6,99	3	0,09	0,43	0,52	1,10	0,57
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,39	7,47	3	0,08	0,40	0,49	1,10	0,53
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,43	7,93	3	0,08	0,38	0,46	1,10	0,50
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,46	8,39	3	0,07	0,36	0,43	1,10	0,47
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,49	8,83	3	0,07	0,34	0,41	1,10	0,45

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		2,60		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max, Lage</sub> + t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m²]	[m]	[m²]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m²/h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,192	0,0030	0,015	0,207	2,412	3,01
2	6	1,50	0,50	0,750	0,192	0,0030	0,018	0,210	2,377	3,57
3	7	1,75	0,50	0,875	0,192	0,0030	0,021	0,213	2,344	4,10
4	8	2,00	0,50	1,000	0,192	0,0030	0,024	0,216	2,312	4,62
5	9	2,25	0,50	1,125	0,192	0,0030	0,027	0,219	2,280	5,13
6	10	2,50	0,50	1,250	0,192	0,0030	0,030	0,222	2,249	5,62
7	11	2,75	0,50	1,375	0,192	0,0030	0,033	0,225	2,219	6,10
8	12	3,00	0,50	1,500	0,192	0,0030	0,036	0,228	2,190	6,57
9	13	3,25	0,50	1,625	0,192	0,0030	0,039	0,231	2,162	7,03
10	14	3,50	0,50	1,750	0,192	0,0030	0,042	0,234	2,134	7,47
11	15	3,75	0,50	1,875	0,192	0,0030	0,045	0,237	2,107	7,90
12	16	4,00	0,50	2,000	0,192	0,0030	0,048	0,240	2,081	8,32

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>FriscH</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m²]	[h]	[m²/h]	[Std/h]	[Std/m²]	[Std/m²]	[Std/m²]	[-]	[Std/m²]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,28	3,01	2	0,15	0,66	0,81	1,10	0,89
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,31	3,57	2	0,12	0,56	0,68	1,10	0,75
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,35	4,10	2	0,10	0,49	0,59	1,10	0,65
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,38	4,62	2	0,09	0,43	0,52	1,10	0,58
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,41	5,13	2	0,08	0,39	0,47	1,10	0,52
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,45	5,62	2	0,07	0,36	0,43	1,10	0,47
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,48	6,10	2	0,07	0,33	0,39	1,10	0,43
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,51	6,57	3	0,09	0,46	0,55	1,10	0,60
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,54	7,03	3	0,08	0,43	0,51	1,10	0,56
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,58	7,47	3	0,08	0,40	0,48	1,10	0,53
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,61	7,90	3	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,64	8,32	3	0,07	0,36	0,43	1,10	0,47

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		2,40		m/h						
Erstarrungsende		5		h						
Bsp	E <sub>St</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>St</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>St</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,208	0,0030	0,015	0,223	2,239	2,80
2	6	1,50	0,50	0,750	0,208	0,0030	0,018	0,226	2,209	3,31
3	7	1,75	0,50	0,875	0,208	0,0030	0,021	0,229	2,180	3,82
4	8	2,00	0,50	1,000	0,208	0,0030	0,024	0,232	2,152	4,30
5	9	2,25	0,50	1,125	0,208	0,0030	0,027	0,235	2,125	4,78
6	10	2,50	0,50	1,250	0,208	0,0030	0,030	0,238	2,098	5,24
7	11	2,75	0,50	1,375	0,208	0,0030	0,033	0,241	2,072	5,70
8	12	3,00	0,50	1,500	0,208	0,0030	0,036	0,244	2,046	6,14
9	13	3,25	0,50	1,625	0,208	0,0030	0,039	0,247	2,022	6,57
10	14	3,50	0,50	1,750	0,208	0,0030	0,042	0,250	1,997	6,99
11	15	3,75	0,50	1,875	0,208	0,0030	0,045	0,253	1,974	7,40
12	16	4,00	0,50	2,000	0,208	0,0030	0,048	0,256	1,951	7,80

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	2,46	2,80	2	0,15	0,71	0,86	1,10	0,95
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	2,49	3,31	2	0,12	0,60	0,72	1,10	0,80
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	2,52	3,82	2	0,10	0,52	0,63	1,10	0,69
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	2,56	4,30	2	0,09	0,46	0,56	1,10	0,61
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	2,59	4,78	2	0,08	0,42	0,50	1,10	0,55
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	2,62	5,24	2	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	2,65	5,70	2	0,07	0,35	0,42	1,10	0,46
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	2,69	6,14	2	0,06	0,33	0,39	1,10	0,43
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	2,72	6,57	3	0,08	0,46	0,54	1,10	0,59
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	2,75	6,99	3	0,08	0,43	0,51	1,10	0,56
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	2,79	7,40	3	0,07	0,41	0,48	1,10	0,53
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	2,82	7,80	3	0,07	0,38	0,45	1,10	0,50

**A.1.10 Berechnungen Variation der E<sub>St</sub> σ<sub>hk, max</sub> 80 kN/m<sup>2</sup> Pumpe**

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h						
Abstände		1,0		m						
Bsp	E <sub>St</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>St</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>St</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,63	0,114	0,0030	0,015	0,129	3,89	4,86
2	6	1,50	0,50	0,75	0,114	0,0030	0,018	0,132	3,80	5,70
3	7	1,75	0,50	0,88	0,114	0,0030	0,021	0,135	3,71	6,50
4	8	2,00	0,50	1,00	0,114	0,0030	0,024	0,138	3,63	7,27
5	9	2,25	0,50	1,13	0,114	0,0030	0,027	0,141	3,56	8,00
6	10	2,50	0,50	1,25	0,114	0,0030	0,030	0,144	3,48	8,70
7	11	2,75	0,50	1,38	0,114	0,0030	0,033	0,147	3,41	9,38
8	12	3,00	0,50	1,50	0,114	0,0030	0,036	0,150	3,34	10,02
9	13	3,25	0,50	1,63	0,114	0,0030	0,039	0,153	3,28	10,65
10	14	3,50	0,50	1,75	0,114	0,0030	0,042	0,156	3,21	11,24
11	15	3,75	0,50	1,88	0,114	0,0030	0,045	0,159	3,15	11,82
12	16	4,00	0,50	2,00	0,114	0,0030	0,048	0,162	3,09	12,37

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,42	4,86	2	0,15	0,41	0,56	1,10	0,61
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,45	5,70	2	0,12	0,35	0,47	1,10	0,52
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,48	6,50	2	0,10	0,31	0,41	1,10	0,45
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,51	7,27	3	0,14	0,41	0,55	1,10	0,60
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,55	8,00	3	0,12	0,38	0,50	1,10	0,55
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,58	8,70	3	0,11	0,34	0,45	1,10	0,50
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,61	9,38	3	0,10	0,32	0,42	1,10	0,46
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,65	10,02	3	0,09	0,30	0,39	1,10	0,43
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,68	10,65	3	0,08	0,28	0,37	1,10	0,40
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,71	11,24	3	0,08	0,27	0,34	1,10	0,38
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,75	11,82	3	0,07	0,25	0,33	1,10	0,36
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,78	12,37	3	0,07	0,24	0,31	1,10	0,34

Leistungswertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h						
Abstände		1,5		m						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> + E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> + E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	3	1,25	0,50	0,63	0,114	0,0030	0,010	0,124	4,04	5,06
2	4	1,50	0,50	0,75	0,114	0,0030	0,012	0,126	3,98	5,97
3	5	1,75	0,50	0,88	0,114	0,0030	0,014	0,128	3,92	6,86
4	5	2,00	0,50	1,00	0,114	0,0030	0,016	0,130	3,86	7,71
5	6	2,25	0,50	1,13	0,114	0,0030	0,018	0,132	3,80	8,55
6	7	2,50	0,50	1,25	0,114	0,0030	0,020	0,134	3,74	9,35
7	7	2,75	0,50	1,38	0,114	0,0030	0,022	0,136	3,69	10,14
8	8	3,00	0,50	1,50	0,114	0,0030	0,024	0,138	3,63	10,90
9	9	3,25	0,50	1,63	0,114	0,0030	0,026	0,140	3,58	11,64
10	9	3,50	0,50	1,75	0,114	0,0030	0,028	0,142	3,53	12,36
11	10	3,75	0,50	1,88	0,114	0,0030	0,030	0,144	3,48	13,05
12	11	4,00	0,50	2,00	0,114	0,0030	0,032	0,146	3,43	13,73

Aufwandswertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,36	5,06	2	0,15	0,40	0,54	1,10	0,60
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,38	5,97	2	0,12	0,34	0,46	1,10	0,50
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,40	6,86	3	0,16	0,44	0,59	1,10	0,65
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,43	7,71	3	0,14	0,39	0,53	1,10	0,58
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,45	8,55	3	0,12	0,35	0,47	1,10	0,52
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,47	9,35	3	0,11	0,32	0,43	1,10	0,47
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,49	10,14	3	0,10	0,30	0,40	1,10	0,43
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,51	10,90	3	0,09	0,28	0,37	1,10	0,40
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,54	11,64	3	0,08	0,26	0,34	1,10	0,38
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,56	12,36	3	0,08	0,24	0,32	1,10	0,35
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,58	13,05	3	0,07	0,23	0,30	1,10	0,33
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,60	13,73	3	0,07	0,22	0,29	1,10	0,32

Leistungswertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h						
Abstände		2,0		m						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> + E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> + t <sub>s,h,v</sub> + E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	3	1,25	0,50	0,63	0,114	0,0030	0,008	0,121	4,13	5,16
2	3	1,50	0,50	0,75	0,114	0,0030	0,009	0,123	4,08	6,12
3	4	1,75	0,50	0,88	0,114	0,0030	0,011	0,124	4,03	7,05
4	4	2,00	0,50	1,00	0,114	0,0030	0,012	0,126	3,98	7,96
5	5	2,25	0,50	1,13	0,114	0,0030	0,014	0,127	3,93	8,85
6	5	2,50	0,50	1,25	0,114	0,0030	0,015	0,129	3,89	9,72
7	6	2,75	0,50	1,38	0,114	0,0030	0,017	0,130	3,84	10,57
8	6	3,00	0,50	1,50	0,114	0,0030	0,018	0,132	3,80	11,40
9	7	3,25	0,50	1,63	0,114	0,0030	0,020	0,133	3,76	12,21
10	7	3,50	0,50	1,75	0,114	0,0030	0,021	0,135	3,71	13,00
11	8	3,75	0,50	1,88	0,114	0,0030	0,023	0,136	3,67	13,77
12	8	4,00	0,50	2,00	0,114	0,0030	0,024	0,138	3,63	14,53

Aufwandswertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,33	5,16	2	0,15	0,39	0,53	1,10	0,59
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,35	6,12	2	0,12	0,33	0,45	1,10	0,49
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,37	7,05	3	0,16	0,43	0,58	1,10	0,64
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,38	7,96	3	0,14	0,38	0,51	1,10	0,56
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,4	8,85	3	0,12	0,34	0,46	1,10	0,51
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,42	9,72	3	0,11	0,31	0,42	1,10	0,46
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,43	10,57	3	0,10	0,28	0,38	1,10	0,42
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,45	11,40	3	0,09	0,26	0,35	1,10	0,39
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,46	12,21	3	0,08	0,25	0,33	1,10	0,36
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,48	13,00	3	0,08	0,23	0,31	1,10	0,34
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,5	13,77	3	0,07	0,22	0,29	1,10	0,32
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,51	14,53	3	0,07	0,21	0,27	1,10	0,30



Leistungswertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h						
Abstände		2,5		m						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> * t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
	[-]	[m²]	[m]	[m²]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m²/h]
1	2	1,25	0,50	0,63	0,114	0,0030	0,006	0,120	4,18	5,22
2	2	1,50	0,50	0,75	0,114	0,0030	0,007	0,121	4,14	6,21
3	3	1,75	0,50	0,88	0,114	0,0030	0,008	0,122	4,10	7,17
4	3	2,00	0,50	1,00	0,114	0,0030	0,010	0,123	4,06	8,11
5	4	2,25	0,50	1,13	0,114	0,0030	0,011	0,124	4,02	9,04
6	4	2,50	0,50	1,25	0,114	0,0030	0,012	0,126	3,98	9,95
7	4	2,75	0,50	1,38	0,114	0,0030	0,013	0,127	3,94	10,84
8	5	3,00	0,50	1,50	0,114	0,0030	0,014	0,128	3,91	11,72
9	5	3,25	0,50	1,63	0,114	0,0030	0,016	0,129	3,87	12,57
10	6	3,50	0,50	1,75	0,114	0,0030	0,017	0,130	3,83	13,42
11	6	3,75	0,50	1,88	0,114	0,0030	0,018	0,132	3,80	14,24
12	6	4,00	0,50	2,00	0,114	0,0030	0,019	0,133	3,76	15,06

Aufwandswertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m³]	[m³]	[h]	[m²/h]	[Std/h]	[Std/m²]	[Std/m²]	[Std/m²]	[-]	[Std/m²]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,32	5,22	2	0,15	0,38	0,53	1,10	0,58
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,33	6,21	2	0,12	0,32	0,44	1,10	0,49
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,34	7,17	3	0,16	0,42	0,57	1,10	0,63
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,36	8,11	3	0,14	0,37	0,51	1,10	0,56
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,37	9,04	3	0,12	0,33	0,45	1,10	0,50
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,38	9,95	3	0,11	0,30	0,41	1,10	0,45
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,4	10,84	3	0,10	0,28	0,38	1,10	0,41
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,41	11,72	3	0,09	0,26	0,35	1,10	0,38
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,42	12,57	3	0,08	0,24	0,32	1,10	0,35
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,43	13,42	3	0,08	0,22	0,30	1,10	0,33
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,45	14,24	3	0,07	0,21	0,28	1,10	0,31
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,46	15,06	3	0,07	0,20	0,27	1,10	0,29

Leistungswertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h						
Abstände		3,0		m						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> * t <sub>s,h,v</sub> * E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisc</sub>
	[-]	[m²]	[m]	[m²]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m²/h]
1	2	1,25	0,50	0,63	0,114	0,0030	0,005	0,119	4,21	5,27
2	2	1,50	0,50	0,75	0,114	0,0030	0,006	0,120	4,18	6,27
3	2	1,75	0,50	0,88	0,114	0,0030	0,007	0,121	4,14	7,25
4	3	2,00	0,50	1,00	0,114	0,0030	0,008	0,122	4,11	8,22
5	3	2,25	0,50	1,13	0,114	0,0030	0,009	0,123	4,08	9,17
6	3	2,50	0,50	1,25	0,114	0,0030	0,010	0,124	4,04	10,11
7	4	2,75	0,50	1,38	0,114	0,0030	0,011	0,125	4,01	11,03
8	4	3,00	0,50	1,50	0,114	0,0030	0,012	0,126	3,98	11,94
9	4	3,25	0,50	1,63	0,114	0,0030	0,013	0,127	3,95	12,83
10	5	3,50	0,50	1,75	0,114	0,0030	0,014	0,128	3,92	13,71
11	5	3,75	0,50	1,88	0,114	0,0030	0,015	0,129	3,89	14,58
12	5	4,00	0,50	2,00	0,114	0,0030	0,016	0,130	3,86	15,43

Aufwandswertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisc</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m³]	[m³]	[h]	[m²/h]	[Std/h]	[Std/m²]	[Std/m²]	[Std/m²]	[-]	[Std/m²]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,31	5,27	2	0,15	0,38	0,53	1,10	0,58
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,32	6,27	2	0,12	0,32	0,44	1,10	0,48
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,33	7,25	3	0,16	0,41	0,57	1,10	0,63
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,34	8,22	3	0,14	0,36	0,50	1,10	0,55
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,35	9,17	3	0,12	0,33	0,45	1,10	0,49
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,36	10,11	3	0,11	0,30	0,41	1,10	0,45
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,37	11,03	3	0,10	0,27	0,37	1,10	0,41
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,38	11,94	3	0,09	0,25	0,34	1,10	0,38
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,39	12,83	3	0,08	0,23	0,32	1,10	0,35
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,4	13,71	3	0,08	0,22	0,30	1,10	0,33
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,42	14,58	3	0,07	0,21	0,28	1,10	0,31
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,43	15,43	3	0,07	0,19	0,26	1,10	0,29

### A.1.11 Berechnungen Konsistenzvergleich bei $\sigma_{hk, max}$ 80 kN/m<sup>2</sup> Pumpe

Leistungswertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		6,10		m/h						
Konsistenz		F38		-						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>ts, h, v * E<sub>st</sub></sub>	$\Sigma t_{max, Lage} + t_{ts, h, v} * E_{st}$	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,082	0,0030	0,013	0,095	5,25	6,56
2	6	1,50	0,50	0,750	0,082	0,0030	0,016	0,098	5,10	7,66
3	7	1,75	0,50	0,875	0,082	0,0030	0,019	0,101	4,97	8,69
4	8	2,00	0,50	1,000	0,082	0,0030	0,021	0,103	4,84	9,68
5	9	2,25	0,50	1,125	0,082	0,0030	0,024	0,106	4,72	10,62
6	10	2,50	0,50	1,250	0,082	0,0030	0,027	0,109	4,60	11,51
7	11	2,75	0,50	1,375	0,082	0,0030	0,029	0,111	4,49	12,35
8	12	3,00	0,50	1,500	0,082	0,0030	0,032	0,114	4,39	13,16
9	13	3,25	0,50	1,625	0,082	0,0030	0,035	0,117	4,29	13,93
10	14	3,50	0,50	1,750	0,082	0,0030	0,037	0,119	4,19	14,67
11	15	3,75	0,50	1,875	0,082	0,0030	0,040	0,122	4,10	15,37
12	16	4,00	0,50	2,000	0,082	0,0030	0,043	0,125	4,01	16,05

Aufwandswertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	7,38	1,12	6,56	2	0,14	0,30	0,44	1,18	0,52
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,85	1,16	7,66	3	0,17	0,39	0,56	1,18	0,66
3	5,00	0,25	7,00	8,75	10,33	1,19	8,69	3	0,15	0,35	0,49	1,18	0,58
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,80	1,22	9,68	3	0,13	0,31	0,44	1,18	0,52
5	5,00	0,25	9,00	11,25	13,28	1,25	10,62	3	0,11	0,28	0,40	1,18	0,47
6	5,00	0,25	10,00	12,50	14,75	1,28	11,51	3	0,10	0,26	0,36	1,18	0,43
7	5,00	0,25	11,00	13,75	16,23	1,31	12,35	3	0,09	0,24	0,34	1,18	0,40
8	5,00	0,25	12,00	15,00	17,70	1,34	13,16	3	0,08	0,23	0,31	1,18	0,37
9	5,00	0,25	13,00	16,25	19,18	1,38	13,93	3	0,08	0,22	0,29	1,18	0,35
10	5,00	0,25	14,00	17,50	20,65	1,41	14,67	3	0,07	0,20	0,28	1,18	0,33
11	5,00	0,25	15,00	18,75	22,13	1,44	15,37	3	0,07	0,20	0,26	1,18	0,31
12	5,00	0,25	16,00	20,00	23,60	1,47	16,05	3	0,06	0,19	0,25	1,18	0,30

Leistungswertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		4,40		m/h						
Konsistenz		F45		-						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L, D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M, Lage</sub>	t <sub>max, Lage</sub>	t <sub>s, h, v</sub>	t <sub>ts, h, v * E<sub>st</sub></sub>	$\Sigma t_{max, Lage} + t_{ts, h, v} * E_{st}$	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT, Frisch</sub>
	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>2</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,114	0,0030	0,013	0,127	3,94	4,92
2	6	1,50	0,50	0,750	0,114	0,0030	0,016	0,130	3,86	5,79
3	7	1,75	0,50	0,875	0,114	0,0030	0,019	0,132	3,78	6,61
4	8	2,00	0,50	1,000	0,114	0,0030	0,021	0,135	3,70	7,41
5	9	2,25	0,50	1,125	0,114	0,0030	0,024	0,138	3,63	8,17
6	10	2,50	0,50	1,250	0,114	0,0030	0,027	0,140	3,56	8,91
7	11	2,75	0,50	1,375	0,114	0,0030	0,029	0,143	3,50	9,62
8	12	3,00	0,50	1,500	0,114	0,0030	0,032	0,146	3,43	10,30
9	13	3,25	0,50	1,625	0,114	0,0030	0,035	0,148	3,37	10,96
10	14	3,50	0,50	1,750	0,114	0,0030	0,037	0,151	3,31	11,59
11	15	3,75	0,50	1,875	0,114	0,0030	0,040	0,154	3,25	12,20
12	16	4,00	0,50	2,000	0,114	0,0030	0,043	0,156	3,20	12,80

Aufwandswertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M, Fest</sub>	B <sub>M, Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisc</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>2</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,88	1,40	4,92	2	0,15	0,41	0,55	1,10	0,61
2	5,00	0,25	6,00	7,50	8,25	1,43	5,79	2	0,12	0,35	0,47	1,10	0,51
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,63	1,46	6,61	3	0,16	0,45	0,61	1,10	0,67
4	5,00	0,25	8,00	10,00	11,00	1,48	7,41	3	0,14	0,40	0,54	1,10	0,60
5	5,00	0,25	9,00	11,25	12,38	1,51	8,17	3	0,12	0,37	0,49	1,10	0,54
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,75	1,54	8,91	3	0,11	0,34	0,45	1,10	0,49
7	5,00	0,25	11,00	13,75	15,13	1,57	9,62	3	0,10	0,31	0,41	1,10	0,45
8	5,00	0,25	12,00	15,00	16,50	1,60	10,30	3	0,09	0,29	0,38	1,10	0,42
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,88	1,63	10,96	3	0,08	0,27	0,36	1,10	0,39
10	5,00	0,25	14,00	17,50	19,25	1,66	11,59	3	0,08	0,26	0,34	1,10	0,37
11	5,00	0,25	15,00	18,75	20,63	1,69	12,20	3	0,07	0,25	0,32	1,10	0,35
12	5,00	0,25	16,00	20,00	22,00	1,72	12,80	3	0,07	0,23	0,30	1,10	0,33

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		3,70		m/h						
Konsistenz		F52		-						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,135	0,0030	0,013	0,148	3,37	4,21
2	6	1,50	0,50	0,750	0,135	0,0030	0,016	0,151	3,31	4,96
3	7	1,75	0,50	0,875	0,135	0,0030	0,019	0,154	3,25	5,69
4	8	2,00	0,50	1,000	0,135	0,0030	0,021	0,156	3,20	6,39
5	9	2,25	0,50	1,125	0,135	0,0030	0,024	0,159	3,14	7,07
6	10	2,50	0,50	1,250	0,135	0,0030	0,027	0,162	3,09	7,73
7	11	2,75	0,50	1,375	0,135	0,0030	0,029	0,164	3,04	8,36
8	12	3,00	0,50	1,500	0,135	0,0030	0,032	0,167	2,99	8,97
9	13	3,25	0,50	1,625	0,135	0,0030	0,035	0,170	2,94	9,57
10	14	3,50	0,50	1,750	0,135	0,0030	0,037	0,172	2,90	10,15
11	15	3,75	0,50	1,875	0,135	0,0030	0,040	0,175	2,85	10,71
12	16	4,00	0,50	2,000	0,135	0,0030	0,043	0,178	2,81	11,25

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,56	1,56	4,21	2	0,15	0,48	0,63	1,05	0,66
2	5,00	0,25	6,00	7,50	7,88	1,59	4,96	2	0,13	0,40	0,53	1,05	0,56
3	5,00	0,25	7,00	8,75	9,19	1,61	5,69	2	0,11	0,35	0,46	1,05	0,48
4	5,00	0,25	8,00	10,00	10,50	1,64	6,39	2	0,10	0,31	0,41	1,05	0,43
5	5,00	0,25	9,00	11,25	11,81	1,67	7,07	3	0,13	0,42	0,55	1,05	0,58
6	5,00	0,25	10,00	12,50	13,13	1,70	7,73	3	0,11	0,39	0,50	1,05	0,53
7	5,00	0,25	11,00	13,75	14,44	1,73	8,36	3	0,10	0,36	0,46	1,05	0,49
8	5,00	0,25	12,00	15,00	15,75	1,75	8,97	3	0,10	0,33	0,43	1,05	0,45
9	5,00	0,25	13,00	16,25	17,06	1,78	9,57	3	0,09	0,31	0,40	1,05	0,42
10	5,00	0,25	14,00	17,50	18,38	1,81	10,15	3	0,08	0,30	0,38	1,05	0,40
11	5,00	0,25	15,00	18,75	19,69	1,84	10,71	3	0,08	0,28	0,36	1,05	0,37
12	5,00	0,25	16,00	20,00	21,00	1,87	11,25	3	0,07	0,27	0,34	1,05	0,36

Leistungwertberechnung										
Steiggeschwindigkeit		1,80		m/h						
Konsistenz		F58		-						
Bsp	E <sub>st</sub>	A <sub>L,D</sub>	H <sub>Lage</sub>	BT <sub>M,Lage</sub>	t <sub>max,Lage</sub>	t <sub>s,h,v</sub>	t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	Σ t <sub>max,Lage</sub> +t <sub>s,h,v</sub> +E <sub>st</sub>	V <sub>Lage</sub>	L <sub>BT,Frisch</sub>
[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[m/h]	[m <sup>3</sup> /h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,278	0,0030	0,013	0,291	1,72	2,15
2	6	1,50	0,50	0,750	0,278	0,0030	0,016	0,294	1,70	2,55
3	7	1,75	0,50	0,875	0,278	0,0030	0,019	0,296	1,69	2,95
4	8	2,00	0,50	1,000	0,278	0,0030	0,021	0,299	1,67	3,34
5	9	2,25	0,50	1,125	0,278	0,0030	0,024	0,302	1,66	3,73
6	10	2,50	0,50	1,250	0,278	0,0030	0,027	0,304	1,64	4,11
7	11	2,75	0,50	1,375	0,278	0,0030	0,029	0,307	1,63	4,48
8	12	3,00	0,50	1,500	0,278	0,0030	0,032	0,310	1,61	4,84
9	13	3,25	0,50	1,625	0,278	0,0030	0,035	0,312	1,60	5,20
10	14	3,50	0,50	1,750	0,278	0,0030	0,037	0,315	1,59	5,55
11	15	3,75	0,50	1,875	0,278	0,0030	0,040	0,318	1,57	5,90
12	16	4,00	0,50	2,000	0,278	0,0030	0,043	0,320	1,56	6,24

Aufwandwertberechnung													
Bsp	W <sub>H</sub>	W <sub>B</sub>	W <sub>L</sub>	B <sub>M,Fest</sub>	B <sub>M,Frisch</sub>	D <sub>BT</sub>	L <sub>BT</sub>	AK <sub>BT</sub>	AW <sub>RÜ</sub>	AW <sub>BT</sub>	AW <sub>Frisch</sub>	VM	AW <sub>Fest</sub>
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[Std/h]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>2</sup> ]	[-]	[Std/m <sup>2</sup> ]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,25	2,91	2,15	2	0,16	0,93	1,09	1,00	1,09
2	5,00	0,25	6,00	7,50	7,50	2,94	2,55	2	0,13	0,78	0,92	1,00	0,92
3	5,00	0,25	7,00	8,75	8,75	2,96	2,95	2	0,11	0,68	0,79	1,00	0,79
4	5,00	0,25	8,00	10,00	10,00	2,99	3,34	2	0,10	0,60	0,70	1,00	0,70
5	5,00	0,25	9,00	11,25	11,25	3,02	3,73	2	0,09	0,54	0,63	1,00	0,63
6	5,00	0,25	10,00	12,50	12,50	3,04	4,11	2	0,08	0,49	0,57	1,00	0,57
7	5,00	0,25	11,00	13,75	13,75	3,07	4,48	2	0,07	0,45	0,52	1,00	0,52
8	5,00	0,25	12,00	15,00	15,00	3,10	4,84	2	0,07	0,41	0,48	1,00	0,48
9	5,00	0,25	13,00	16,25	16,25	3,12	5,20	2	0,06	0,38	0,45	1,00	0,45
10	5,00	0,25	14,00	17,50	17,50	3,15	5,55	2	0,06	0,36	0,42	1,00	0,42
11	5,00	0,25	15,00	18,75	18,75	3,18	5,90	2	0,05	0,34	0,39	1,00	0,39
12	5,00	0,25	16,00	20,00	20,00	3,20	6,24	2	0,05	0,32	0,37	1,00	0,37



**Leistungswertberechnung**

Steiggeschwindigkeit		1,40 m/h	
Konsistenz		F66	

Bsp	E <sub>st</sub> [-]	A <sub>L,D</sub> [m²]	H <sub>Lage</sub> [m]	BT <sub>M, Lage</sub> [m²]	t <sub>max, Lage</sub> [h]	t <sub>s, h, v</sub> [h]	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub> [h]	Σ t <sub>max, Lage</sub> * t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub> [h]	t <sub>Lage</sub> [h]	V <sub>Lage</sub> [m/h]	L <sub>BT, Frisch</sub> [m³/h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,357	0,0030	0,013	0,370	1,35	1,69	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,357	0,0030	0,016	0,373	1,34	2,01	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,357	0,0030	0,019	0,376	1,33	2,33	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,357	0,0030	0,021	0,378	1,32	2,64	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,357	0,0030	0,024	0,381	1,31	2,95	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,357	0,0030	0,027	0,384	1,30	3,26	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,357	0,0030	0,029	0,386	1,29	3,56	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,357	0,0030	0,032	0,389	1,28	3,85	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,357	0,0030	0,035	0,392	1,28	4,15	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,357	0,0030	0,037	0,394	1,27	4,44	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,357	0,0030	0,040	0,397	1,26	4,72	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,357	0,0030	0,043	0,400	1,25	5,00	

**Aufwandswertberechnung**

Bsp	W <sub>H</sub> [m]	W <sub>B</sub> [m]	W <sub>L</sub> [m]	B <sub>M, Fest</sub> [m²]	B <sub>M, Frisch</sub> [m²]	D <sub>BT</sub> [h]	L <sub>BT</sub> [m³/h]	AK <sub>BT</sub> [Std/h]	AW <sub>RÜ</sub> [Std/m³]	AW <sub>BT</sub> [Std/m³]	AW <sub>Frisc</sub> [Std/m³]	VM [-]	AW <sub>Fest</sub> [Std/m³]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,25	3,70	1,69	2	0,16	1,19	1,35	1,00	1,35
2	5,00	0,25	6,00	7,50	7,50	3,73	2,01	2	0,13	1,00	1,13	1,00	1,13
3	5,00	0,25	7,00	8,75	8,75	3,76	2,33	2	0,11	0,86	0,97	1,00	0,97
4	5,00	0,25	8,00	10,00	10,00	3,78	2,64	2	0,10	0,76	0,86	1,00	0,86
5	5,00	0,25	9,00	11,25	11,25	3,81	2,95	2	0,09	0,68	0,77	1,00	0,77
6	5,00	0,25	10,00	12,50	12,50	3,84	3,26	2	0,08	0,61	0,69	1,00	0,69
7	5,00	0,25	11,00	13,75	13,75	3,86	3,56	2	0,07	0,56	0,63	1,00	0,63
8	5,00	0,25	12,00	15,00	15,00	3,89	3,85	2	0,07	0,52	0,59	1,00	0,59
9	5,00	0,25	13,00	16,25	16,25	3,92	4,15	2	0,06	0,48	0,54	1,00	0,54
10	5,00	0,25	14,00	17,50	17,50	3,94	4,44	2	0,06	0,45	0,51	1,00	0,51
11	5,00	0,25	15,00	18,75	18,75	3,97	4,72	2	0,05	0,42	0,48	1,00	0,48
12	5,00	0,25	16,00	20,00	20,00	4,00	5,00	2	0,05	0,40	0,45	1,00	0,45

**Leistungswertberechnung**

Steiggeschwindigkeit		1,00 m/h	
Konsistenz		SCC	

Bsp	E <sub>st</sub> [-]	A <sub>L,D</sub> [m²]	H <sub>Lage</sub> [m]	BT <sub>M, Lage</sub> [m²]	t <sub>max, Lage</sub> [h]	t <sub>s, h, v</sub> [h]	t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub> [h]	Σ t <sub>max, Lage</sub> * t <sub>s, h, v</sub> * E <sub>st</sub> [h]	t <sub>Lage</sub> [h]	V <sub>Lage</sub> [m/h]	L <sub>BT, Frisch</sub> [m³/h]
1	5	1,25	0,50	0,625	0,500	0,0030	0,013	0,513	0,97	1,22	
2	6	1,50	0,50	0,750	0,500	0,0030	0,016	0,516	0,97	1,45	
3	7	1,75	0,50	0,875	0,500	0,0030	0,019	0,519	0,96	1,69	
4	8	2,00	0,50	1,000	0,500	0,0030	0,021	0,521	0,96	1,92	
5	9	2,25	0,50	1,125	0,500	0,0030	0,024	0,524	0,95	2,15	
6	10	2,50	0,50	1,250	0,500	0,0030	0,027	0,527	0,95	2,37	
7	11	2,75	0,50	1,375	0,500	0,0030	0,029	0,529	0,94	2,60	
8	12	3,00	0,50	1,500	0,500	0,0030	0,032	0,532	0,94	2,82	
9	13	3,25	0,50	1,625	0,500	0,0030	0,035	0,535	0,94	3,04	
10	14	3,50	0,50	1,750	0,500	0,0030	0,037	0,537	0,93	3,26	
11	15	3,75	0,50	1,875	0,500	0,0030	0,040	0,540	0,93	3,47	
12	16	4,00	0,50	2,000	0,500	0,0030	0,043	0,543	0,92	3,69	

**Aufwandswertberechnung**

Bsp	W <sub>H</sub> [m]	W <sub>B</sub> [m]	W <sub>L</sub> [m]	B <sub>M, Fest</sub> [m²]	B <sub>M, Frisch</sub> [m²]	D <sub>BT</sub> [h]	L <sub>BT</sub> [m³/h]	AK <sub>BT</sub> [Std/h]	AW <sub>RÜ</sub> [Std/m³]	AW <sub>BT</sub> [Std/m³]	AW <sub>Frisc</sub> [Std/m³]	VM [-]	AW <sub>Fest</sub> [Std/m³]
1	5,00	0,25	5,00	6,25	6,25	5,13	1,22	2	0,16	1,64	1,80	1,00	1,80
2	5,00	0,25	6,00	7,50	7,50	5,16	1,45	2	0,13	1,38	1,51	1,00	1,51
3	5,00	0,25	7,00	8,75	8,75	5,19	1,69	2	0,11	1,19	1,30	1,00	1,30
4	5,00	0,25	8,00	10,00	10,00	5,21	1,92	2	0,10	1,04	1,14	1,00	1,14
5	5,00	0,25	9,00	11,25	11,25	5,24	2,15	2	0,09	0,93	1,02	1,00	1,02
6	5,00	0,25	10,00	12,50	12,50	5,27	2,37	2	0,08	0,84	0,92	1,00	0,92
7	5,00	0,25	11,00	13,75	13,75	5,29	2,60	2	0,07	0,77	0,84	1,00	0,84
8	5,00	0,25	12,00	15,00	15,00	5,32	2,82	2	0,07	0,71	0,78	1,00	0,78
9	5,00	0,25	13,00	16,25	16,25	5,35	3,04	2	0,06	0,66	0,72	1,00	0,72
10	5,00	0,25	14,00	17,50	17,50	5,37	3,26	2	0,06	0,61	0,67	1,00	0,67
11	5,00	0,25	15,00	18,75	18,75	5,40	3,47	2	0,05	0,58	0,63	1,00	0,63
12	5,00	0,25	16,00	20,00	20,00	5,43	3,69	2	0,05	0,54	0,59	1,00	0,59

## Literaturverzeichnis

### I. Bücher

- BAUER, H. (2007). *Baubetrieb*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- BAYER, E., KAMPEN, R. (1997). *Beton-Praxis. Ein Leitfaden für die Baustelle*. Düsseldorf: Beton-Verlag GmbH
- BERNER, F., KÖCHENDORFER, B., SCHACH, R. (2007). *Grundlagen der Baubetriebslehre 1. Baubetriebswirtschaft*. Wiesbaden: Teubner-Verlag
- BERGMEISTER, K., FINGERLOOS, F., WÖRNER, J. (2010). *Betonkalender*. Berlin: Ernst & Sohn - Verlag
- BRECHELER, W., FRIEDRICH, J., HILMER, A., WIEß, R. (1998). *Baubetriebslehre. Kosten- und Leistungsrechnung. Bauverfahren*. Braunschweig-Wiesbaden: Vieweg & Sohn-Verlagsgesellschaft
- BRÜSSEL, W. (2002). *Baubetrieb von A - Z*. Düsseldorf: Werner-Verlag
- DREES, G., KRAUß, S. (2002). *Baumaschinen und Bauverfahren. Einsatzgebiete und Einsatzplanung*. Renningen: Expert-Verlag
- DREES, G., PAUL, W. (2010). *Kalkulation von Baupreisen*. Berlin: Bauwerk-Verlag.
- FIEDLER, K., AUTOREN. (1991). *Grundlagen der Technologie im Baubetriebswesen*. Berlin: Verlag für Bauwesen
- FLEISCHMANN, H. D. (1999). *Angebotskalkulation mit Richtwerten. Grundlagen zur Kostenerfassung im Baubetrieb. Musterkalkulation*. Düsseldorf: Werner Verlag GmbH
- GIRMSCHIED, G., MOTZKO, C. (2007). *Kalkulation und Preisbildung in Bauunternehmen. Grundlagen, Methodik und Organisation*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- GORIS, A., HEGGER, J. (2010). *Stahlbetonbau aktuell. Praxishandbuch*. Berlin: Bauwerk-Verlag
- HOFFMANN, M. (2011). *Zahlentafel für den Baubetrieb*. Wiesbaden: B.G. Teubner-Verlag
- HOFSTADLER, C. (2008). *Scholarbeiten. Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- HOFSTADLER, C. (2007). *Baublaufplanung und Logistik im Baubetrieb*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

- KLR BAU; Hrsg. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie und Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (2001). *Kosten- und Leistungsrechnung der Bauunternehmen*. Wiesbaden-Berlin: Bauverlag GmbH.
- KÜMMEL, G. (2001). *Betriebswirtschaftslehre der Unternehmung*. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel
- LEIMBÖCK, E., KLAUS, U., HÖLKERMANN, O. (2007). *Baukalkulation und Projektcontrolling unter Berücksichtigung der KLR Bau und VOB*. Wiesbaden: Vieweg-Verlag.
- LOHMEYER, G., BERGMANN, H., EBELING, K. (2006). *Stahlbetonbau. Bemessung, Konstruktion, Ausführung*. Wiesbaden: Teubner-Verlag
- MESSNER, S., KREIDL, C., WALA, T. (2007). *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre*. Wien: Lexis Nexis-Verlag
- OBERNDORFER, W., KUKACKA, M. (2002). *Preisbildung und Preisumrechnung von Bauleistungen*. Wien: Manz-Verlag
- RÖHLING, S., EIFERT, H., KADEN, R. (2000). *Betonbau. Planung und Ausführung*. Berlin: Verlag-Bauwesen
- RIKER, R. (1996). *Maschinentchnik im Betonbau*. Berlin: Ernst & Sohn-Verlag
- SCHACH, R., OTTO, J. (2008). *Baustelleneinrichtung. Grundlagen, Planung, Praxishinweise, Vorschriften und Regeln*. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag
- SCHUB, A., MEYRAN, G. (1982). *Praxis-Kompandium Baubetrieb. Band 1. Leitfaden, Arbeitsunterlage und Nachschlagewerk für Praktiker und Studenten*. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH
- SEELING, R. (1995). *Unternehmensplanung im Baubetrieb*. Stuttgart: Teubner-Verlag
- SIMONS, K., KOLBE, P. (1987). *Verfahrenstechnik im Ortbetonbau. Schalen. Bewehren. Betonieren*. Stuttgart: B. G. Teubner
- STARK, K. (2006). *Baubetriebslehre-Grundlagen. Projektbeteiligte, Projektplanung, Projektablauf*. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag
- VALENTIN, G., POTUCEK, W., KIDERY, G., FRITZE, R. (2008). *Stahlbetonbau. Grundlagen und Beispiele*. Wien: Manz-Verlag
- WENDEHORST, R. (2004). *Baustoffkunde*. Hannover: Curt R. Vincentz-Verlag
- WOLKERSDORFER, H., LANG, C. (2008). *Praktische Baukalkulation. Erstellen der Kalkulationsformblätter gemäß ÖNORM B 2061 im Bauhaupt- und Baunebengewerbe*. Wien: Linde-Verlag.

## II. Normen

Deutsches Institut für Normung (2010). *DIN 18218 Frischbetondruck auf lotrechte Schalung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH

Österreichisches Normungsinstitut (2009). *ÖNORM B 2211 Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonarbeiten. Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards

Österreichisches Normungsinstitut (2007). *ÖNORM B 4710-1 Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis*. Wien: Austrian Standards

Österreichisches Normungsinstitut (1999). *ÖNORM B 2061 Preisermittlung von Bauleistungen*. Wien: Austrian Standards

## III. Fachbeiträge

DEHN, F., REINISCH, A., ANGERER, J. (2010). *Frischbetondruck. Einflussfaktoren, Verantwortlichkeiten, Baupraxis in der DIN 18218:2010-01*. Bauportal, 3

DICKAMP, M., RICHTER T. (2007). *Zement-Merkblatt Betontechnik*. Düsseldorf: Hrsg. Verein Deutscher Zementwerke

HOFSTADLER, C. (2006). *Wie schnell geht's wirklich? Maximale Betonierleistung bei feingliedrigen Bauteilen - Interaktionsdiagramme für Stützen und Wände*. Baumschienenendienst, 3

KAMPEN (2008). *Zement-Merkblatt Betontechnik. Bereiten und Verarbeiten von Beton*. Düsseldorf: Hrsg. Verein Deutscher Zementwerke

STAIGER, J., WEITH, F., DEHN, F. (2004) *SVB, F6, F3. Neue Betone, Unterschiedliche Drücke*. Tiefbau, 4

ANGERER, J. (2008). *Frischbetondruck DIN 18218. Statik. Einwirkungen*. DOKA Kundenpräsentation

## IV. Diplomarbeiten und Dissertationen

PROSKE, T. (2007). *Frischbetondruck bei Verwendung von Selbstverdichtendem Beton. Ein wirklichkeitsnahes Modell zur Bestimmung der Einwirkung auf die Schalung und Rüstung*. Technische Universität Darmstadt: Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie

AIGNER, M. (2003). *Aufwandswerte von Stahlbetonarbeiten. Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben*. Technische Universität Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

## V. Skripten

KREMNIETZER, P. (2008) *Modul 5 Refreshing und Fortbildung. Betontechnologie und ÖVBB Richtlinien Betone*. Herausgeber: Beton Akademie - Güteverband Transportbeton - Österreichische Bautechnik Veranstaltungen GmbH

HECK, D., JANACH, D. (2008). *Baubetriebslehre VU*. Technische Universität Graz. Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft, Projektentwicklung und Projektmanagement

## VI. Preislisten

CEMEX LIEFERBETON GmbH (2011). *Preisliste 2011. Gebiet Steiermark*. Hrsg: Cemex Lieferbeton GmbH

## VII. Linkverzeichnis

DOKA: Aktuell, [http://www.doka.com/frischbetondruckrechner/betondruckrechner\\_de.html](http://www.doka.com/frischbetondruckrechner/betondruckrechner_de.html); Datum des Zugriffs: 14.02.2011; 18:18

LIEBHERR: Downloads Top EC-H [http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products\\_cc.wfw/id-12601-0/measure-metric](http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products_cc.wfw/id-12601-0/measure-metric); Datum des Zugriffs: 20.05.2011; 09:50

LIEBHERR: Downloads [http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products\\_cc.wfw/id-12597-0/measure-metric](http://www.liebherr.com/CC/de-DE/region-%28europe%29/products_cc.wfw/id-12597-0/measure-metric); Datum des Zugriffs: 03.05.2011; 08:30

CEMEX: [http://www.cemex.at/un/un\\_id\\_pl.html](http://www.cemex.at/un/un_id_pl.html); Datum des Zugriffs: 21.02.2011; 11:37

## VIII. Firmenunterlagen

DOKA - die Schalungstechniker (2008). *Anwenderinformation. Doka-Trägerschalung Top 50*. Amstetten: Doka Industrie GmbH,