

# Diplomarbeit

---

**Thema:**                    **Schalungs- und Gerüstlösung für das Objekt Lüftergebäude**

---

Bearbeitungsschwerpunkte:            Planung und Auswahl Oberflächenstruktur  
Kanten-, Fugen- und Anker Ausbildung  
Sicherheit am Bau

Vorgelegt am:                            14. August 2009

Von:                                         Manjana Bieling

Studienrichtung /                        Bauingenieurwesen /

Studiengang:                             Hochbau

Seminargruppe:                         BI 2006

Matrikelnummer:                        4060406

Praxispartner:                            PORR Deutschland GmbH  
Zweigniederlassung Thüringen - Sachsen  
Blumenstraße 3  
04626 Schmölln

Gutachter / Betreuer:                    Herr Dipl.-Ing. Frank Jahn (FH)

Betreuer (Studienakademie):        Herr Prof. Norbert Schälzky

## 1. Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis .....	II
2.	Abbildungsverzeichnis .....	IV
3.	Tabellenverzeichnis .....	V
4.	Diagrammverzeichnis .....	V
5.	Anhangsverzeichnis .....	V
6.	Zielstellung der Diplomarbeit.....	1
6.1	Beschreibung des Bauvorhabens Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala .....	1
6.2	Schwerpunktbestimmung der Diplomarbeit .....	3
6.3	Charakteristik des Lüftergebäudes .....	5
7.	Oberflächengestaltung und Sichtbetonklassen .....	7
7.1	Grundlegende Erläuterungen zur Sichtbetonqualität.....	7
7.1.1	Oberflächenbeschaffenheit der Wände des Basisbauwerks .....	10
7.1.2	Oberflächenbeschaffenheit der Lüfterturmwände .....	11
8.	Kernprobleme der Ortbetonbauweise .....	12
8.1	Mängel in der Bauausführung .....	12
8.2	Maßhaltigkeit und Ausschalfristen .....	13
9.	Fugen und Belastungsfälle.....	15
9.1	Ausbildung von Fugen .....	19
9.1.1	Fugenausbildung der Wände des Basisgebäudes .....	22
9.1.2	Fugenausbildung der Lüfterturmwände.....	23
10.	Ankern von Schalungssystemen.....	24
10.1	Wasserdichte Ankerstellen .....	26
10.1.1	Ankerlösung der Wände des Basisbauwerks.....	27
10.1.2	Ankerlösung der Lüfterturmwände .....	29
11.	Sicherheit am Bau.....	30
11.1	Rechtliche Aspekte des Arbeitsschutzes .....	30
11.1.1	Notwendigkeit des Arbeitsschutzes.....	30
11.1.2	Bauherrenpflicht nach der Baustellenverordnung .....	32
11.1.3	Sicherheits- und Gesundheitsschutz nach Baustellenverordnung .....	33
11.2	Unfallschwerpunkt Bauwirtschaft .....	35
11.3	Leistungsanforderung an den Bauleiter .....	36
11.3.1	Sichere Verwendung von Schaltafeln.....	37
11.3.2	Sicherungsmaßnahmen bei der Errichtung des Lüftergebäudes.....	38
12.	Schalungslösung der Lüfterturmwände .....	40

---

12.1	Charakteristik der Rundschalung .....	40
12.2	Erläuterung der Ausführungsvorschläge für die Lüfterturmwände.....	43
12.3	Angebotsbewertung der Ausführungsvorschläge der Lüfterturmwände.....	48
12.3.1	Angebot Bieter A.....	48
12.3.2	Angebot Bieter B .....	49
12.3.3	Angebot Bieter C .....	50
12.3.4	Gegenüberstellung und Angebotsbewertung der Lüfterturmwände.....	51
12.4	Planungsanpassung und Verhandlung der Lüftertürme.....	53
12.5	Kostenverlauf über die Bauzeit .....	55
12.6	Kostenfeststellung der Lüfterturmwände .....	57
13.	Bauzeit und Baukosten .....	58
13.1	Bauzeit der Lüfterturmwände.....	59
13.1.1	Soll- Ist- Vergleich der Vorhaltezeit .....	59
13.1.2	Vergleich der Schalungsvarianten bezüglich der Vorhaltezeit.....	61
14.	Ergebnis der Untersuchungen.....	63
15.	Begriffserläuterung.....	65
16.	Literaturverzeichnis .....	LXVII

---

## 2. Abbildungsverzeichnis

Bild I.	Schnitt A-A des Lüftergebäudes .....	5
Bild II.	Grundriss des Lüftergebäudes .....	6
Bild III.	Übersicht über die Sichtbetonklassen.....	8
Bild IV.	Einflussfaktoren auf sichtbar bleibende Betonoberflächen.....	9
Bild V.	Ausschalvorgang einer Innenwand.....	10
Bild VI.	Ansicht Innenschalhaut Lüfterturmwand .....	11
Bild VII.	Flexible Rundschalung mit erforderlichem Radius.....	11
Bild VIII.	Ausschalfristen nach DIN 1045.....	14
Bild IX.	Abstandsrichtwerte von Arbeitsfugen .....	15
Bild X.	Übersicht Fugenarten.....	16
Bild XI.	Anschluss mit Fugenblech.....	19
Bild XII.	Abdichtungsvarianten von Fugen .....	20
Bild XIII.	Beschichtetes Fugenblech.....	22
Bild XIV.	Umlaufendes Fugenband aus Elastomer .....	22
Bild XV.	Schnitt Lüfterturm .....	23
Bild XVI.	Detailauszug Arbeitsfuge Lüfterturm.....	23
Bild XVII.	Hüllrohre für Ankerstäbe der Rahmentafel .....	27
Bild XVIII.	Innenansicht Lüfterturm nach Fertigstellung .....	29
Bild XIX.	Erster Schaltakt der Lüftertürme .....	40

### 3. Tabellenverzeichnis

Tabelle A.	Angebotsübersicht Anbieter A für zwei Monate Vorhaltung (Nettopreise).....	48
Tabelle B.	Angebotsübersicht Anbieter B für zwei Monate Vorhaltung (Nettopreise).....	49
Tabelle C.	Angebotsübersicht Anbieter C für zwei Monate Vorhaltung (Nettopreise).....	50
Tabelle D.	Übersicht der Angebotspreise Lüfterturmwände pro Monat (Nettopreise).....	51
Tabelle E.	Kostenübersicht der Lüfterturmwände (Nettopreise) .....	57
Tabelle F.	Bauzeitermittlung der Lüfterturmwände .....	59
Tabelle G.	Gegenüberstellung der Soll- Ist- Kosten der Lüfterturmwände .....	60

### 4. Diagrammverzeichnis

Diagramm I.	Angebotsübersicht der Bieter inklusive Budget .....	43
Diagramm II.	Kostenverlauf der System- und Sonderschalung.....	61

### 5. Anhangsverzeichnis

BOS-002A_00	<i>Betriebsgebäude Ost</i> , Erdgeschoss Wände und Ringbalken Grundrisse, Schnitte und Detail Schalplan, Maßstab 1:50, 1:5, Stand 26.07.2007
BWS-001A_05	<i>Betriebsgebäude West</i> , Grundrisse, Dachaufsicht, Details Schalplan, Maßstab 1:50, 1:25, Stand 15.02.2008
BWS-002A_05	<i>Betriebsgebäude West</i> , Schnitte und Ansicht Schalplan, Maßstab 1:50, Stand 15.02.2008
LGS-002A	<i>Lüftergebäude</i> , Bodenplatte Schalplan, Maßstab 1:50, Stand 06.03.2008
LGS-006A	<i>Lüftergebäude</i> , Außenwand u. Attika in Achse D/1-4 Schalplan, Maßstab 1:50, 1:25, Stand 06.03.2008
LGS-012A	<i>Lüftergebäude</i> , Wände Lüfertürme Schalplan, Maßstab 1:50, Stand 06.03.2008

## **6. Zielstellung der Diplomarbeit**

### **6.1 Beschreibung des Bauvorhabens Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala**

Im Zuge der Arbeitsvorbereitung wird ein Projekt hinsichtlich der Ausführbarkeit untersucht. Bauabläufe, Ausführungsverfahren und Konstruktionslösungen werden abgestimmt. Die Thematik Schalung im Hochbau wurde in der vorhergehenden Studienarbeit beleuchtet und grundlegende Begriffe sowie Bestandteile einer Schalung erhielten eine präzise Beschreibung. Fortführend wird an einem konkreten Projekt die Entscheidungsfindung bezüglich der Wahl einer Fertigteil- oder Ort betonbauweise erörtert und untersucht. Die Aufgabenstellung der Diplomarbeit beinhaltet die Erarbeitung eines Auswahlverfahrens, bezüglich der beiden Technologien.

Die zu untersuchende Baumaßnahme umfasst die Errichtung von Betriebsgebäuden für die Ortsumfahrung von Rudolstadt-Schaala. Im Zuge der Bauarbeiten des Pörzbergtunnels hatte die Firma PORR Deutschland GmbH den Auftrag, die erforderlichen Gebäude zur Betreuung des Tunnels zu errichten. Die vom Straßenbauamt Mittelthüringen durchgeführte Baumaßnahme soll bis Ende 2009 fertig gestellt werden. Mit 1.145 Metern Länge ist der Pörzbergtunnel der längste Landesstraßentunnel in Thüringen und mit einer Bausumme von rund 25 Millionen Euro das wichtigste und aufwändigste Bauwerk der künftigen Ortsumfahrung von Rudolstadt-Schaala. Der zweispurige Tunnel hat eine maximale Überdeckung von 85 Metern und er ist in konventioneller Bauweise im Bohr- und Sprengverfahren errichtet worden. Der eigentliche Tunnelvortrieb begann am 17. Juli 2007 und endete nach rund sieben Monaten Vortriebszeit. Die Herstellung des Tunnels erfolgt durch eine Spritzbetonaußenschale und einer Innenschale aus Beton mit erhöhtem Wassereindringwiderstand. Für die Sicherheit stehen unter anderem drei Rettungstollen und eine Pannenbucht zur Verfügung.

Zur Betreuung des Tunnels sind insgesamt drei Bauwerke vorgesehen - die Betriebsgebäude Ost und West sowie ein Lüftergebäude. Die Arbeiten, an dem am Ostportal befindlichen Betriebsgebäude Ost beschränkten sich, bezogen auf die Stahlbetonarbeiten, auf die Bodenplatte, den rund 90 Zentimeter hohen Sockelbereich sowie den Ringbalken. Die Außenwände wurden mittels Hochloch- Ziegeln errichtet. Der Dachstuhl erfolgte als zimmermannsmäßiger Abbund mit Dachsteineindeckung. Das Gebäude beinhaltet Installationen die zur elektrischen Steuerung des Tunnels benötigt werden. Die Errichtung des Betriebsgebäudes Ost wird in der Diplomarbeit nicht betrachtet, da der Anteil der Schalarbeiten zu gering ist (siehe Anlage BOS-002A\_00).

Am Westportal entstanden zwei weitere voneinander mittels einer 4 Millimeter starken Polysterolfuge abgetrennte Gebäude, das Betriebsgebäude West sowie das Lüftergebäude. Beide Gebäude entstanden mittels Ortbeton- und Halbfertigteilbauweise. Das Betriebsgebäude West beinhaltet alle weiteren Einrichtungen zur elektronischen Steuerung des Tunnels, wie zwei Traforäume, einen Niederspannungs- sowie Steuerraum, einen Batterieraum, einen USV- Raum usw. Die technische Ausrüstung und Gebäudetechnik war nicht Leistungsbestandteil der Firma PORR. In die Betrachtungen der Diplomarbeit fließt das Betriebsgebäude West nicht ein, da die Arbeiten zur Errichtung des Gebäudes von unkompliziertem Charakter waren und große Probleme bei der Ausführung nicht auftraten (siehe Anlage BWS-001A\_05 sowie BWS-002A\_05).

Angrenzend an das Betriebsgebäude West befindet sich das circa 21 Meter lange und ungefähr 16 Meter breite Lüftergebäude. Das Gebäude hat eine Höhe von etwa 20 Metern (siehe Anlage LGS-002A sowie LGS-006A). Das Lüftergebäude besteht aus einem 10 Meter hohen Basisbauwerk und aus zwei 10 Meter hohen Lüfertürmen, die zur Entlüftung des Tunnels dienen. Diese Türme sind von geradliniger, zylindrischer Geometrie und gründen auf einem in der Rohdecke integrierten Betonsockel (siehe Anlage LGS-012A). Das Basisbauwerk des Lüftergebäudes ist über einen Abluftkanal mit dem Tunnel verbunden und mittels Ventilatoren wird über die zwei 10 Meter hohen Lüfertürme die Entlüftung des Tunnels gewährleistet. Die Belüftung wird über eine Nachströmöffnung gesichert. Die zum Lüftergebäude gehörenden zylindrischen Türme haben einen Außendurchmesser von 3,80 Metern und bestehen aus Beton. Im Basisgebäude ist ein Löschwasserbehälter mit einem maximalen Fassungsvermögen von 55 Kubikmetern integriert. Weiterhin beinhaltet das Basisbauwerk einen Einträger- Brückenkran mit einer Traglast von 15 Tonnen und einer Hubhöhe von 7,50 Metern. Der Kran wird zum Einbau der Lüfterventilatoren sowie zum eventuellen Versetzen der Ventilatoren und diversen anderen Hebevorgängen verwendet.

Die drei beschriebenen Gebäude dienen der Betreuung des Tunnels und wurden in der Bauzeit von November 2007 bis Dezember 2008 errichtet. Die Leistungsgrenze für die Gebäude lag bei den Rohbauarbeiten. Alle weiteren Ausbaugewerke, wie sanitäre Einrichtungen, Fliesen- und Plattenarbeiten sowie die Montage aller elektrischen Anlagen waren nicht von der Firma PORR Deutschland GmbH geschuldet. Die Arbeiten am Tunnel dauern fortwährend an und sind ebenfalls nicht Leistungsbestandteil der Firma PORR Deutschland GmbH, Zentralniederlassung Thüringen – Sachsen.

## 6.2 Schwerpunktbestimmung der Diplomarbeit

Durch die immer wiederkehrenden Abläufe bei der Abwicklung verschiedener Bauvorhaben und dem betriebenen Aufwand zur Auswahl geeigneter Ausführungsverfahren liegt es nahe, die Abläufe zu vereinfachen und Schemata zu entwickeln, welche reibungslos zu einem geeigneten Ausführungsverfahren führen. Es gilt ein Auswahlverfahren zu erarbeiten, welches vom Bauleiter sowie Polier oder bereits im Leistungsbereich der Kalkulation oder Arbeitsvorbereitung anwendbar ist. Hauptpunkte und Entscheidungskriterien, wie Größe und Umfang eines Bauvorhabens, örtliche Gegebenheiten sowie wirtschaftliche Aspekte von Sonderlösungen, sollen inhaltlich einfließen. Das Ziel ist die Entwicklung eines Leitfadens in Form einer Checkliste, mit einem aussagekräftigen Ergebnis für die Bauausführung. Die Darstellung, ob nun in Form einer Aufstellung, eines Organigramms oder eines Diagramms, soll für den Anwender gut überschaubar und zügig erfassbar sein. Im Laufe der Untersuchungen müssen viele Aspekte gefiltert und geprüft werden, die für die Ausführung eines Objektes in Ortbeton von Bedeutung sind. Ebenso wichtig wie Bauverfahren, verwendete Materialien und die Gegebenheiten vor Ort, ist das Gebiet der Arbeitssicherheit. Diese Thematik spielt nicht nur im Bereich des Schalungsbaus eine große Rolle, sondern ist ganzheitlich für die sichere Abwicklung von Projekten das oberste Ziel. Unfälle zu vermeiden, bedeutet nicht nur Menschen zu schützen, sondern auch Kosteneinsparung, da Störungen des Bauablaufes vermieden werden.

Der Betrachtungskern dieser Diplomarbeit liegt in der Errichtung des Lüftergebäudes, wobei das Basisgebäude nur oberflächlich und die Lüfertürme tiefgründig beleuchtet werden. Die Ausführung der Bodenplatten sowie der Decken wird in dieser Arbeit außer Acht gelassen. Die Hauptursache für diese Eingrenzung liegt in der problemlosen Anwendung der Systemschalung zur Errichtung der Außen- sowie Innenwände des Basisgebäudes. Im Laufe der Ausführung taten sich im Bereich der Lüferturmherstellung Schwierigkeiten auf. Folglich ist auch die Rundschalung eine Thematik, die es zu beleuchten gilt. Die Schalungs- und Gerüstlösung des Bauvorhabens, bezogen auf die Lüfertürme, steht im Focus dieser Diplomarbeit. Auch in diesem Bereich soll der Vergleich von System- und Sonderlösungen Aufschlüsse und Erkenntnisse für nachfolgende Bauvorhaben hervorbringen und diese sollen nutzbar umgesetzt werden. Wurde in der vorangegangenen Studienarbeit die Thematik Schalung allgemein abgehandelt, so soll die darauf aufbauende Diplomarbeit einen tieferen Einblick in das Gebiet der System- und Sonderschalung geben und Ausführungsdetails aufzeigen und erläutern.

---

Im Zuge der Arbeitsvorbereitung wurden die Konstruktionslösungen der Wände des Basisgebäudes sowie die Errichtung der Lüftertürme erörtert. Für die Errichtung der Außen- sowie Innenwände des Basisgebäudes wurde eine Systemschalung in Form einer Rahmenschalung gewählt. Die Schwierigkeit bei der Errichtung der Wände des Basisgebäudes lag in der großen Höhe von 10 Metern. Durch diverse Gespräche mit dem Schalungsanbieter und dem Bauleiter sowie Polier wurde eine Rahmenschalung gewählt, die in zwei Schaltakte unterteilt wurde. Die Bewehrungs-, Schal- und Betonierarbeiten wurden von einem 10 Meter hohen Systemgerüst ausgeführt und somit konnte eine problemlose Errichtung der Wände des Basisgebäudes gewährleistet werden.

Größer waren die Hindernisse bei der Errichtung der Lüftertürme, welche auf der Rohdecke des Basisgebäudes gründen. In Betracht kam die Ausführung mittels Fertigteilen, um den Arbeitsaufwand, hinsichtlich der Arbeitsvorgänge Schalen und Bewehren, so gering wie möglich zu halten. Im Laufe der Vergabe konnte kein geeigneter Fertigteilanbieter akquiriert werden. Eine alternative Lösung war gefordert. Im Gespräch mit verschiedenen Schalungsanbietern wurde die Ortbetonbauweise favorisiert, wobei die Kegelstümpfe am Fuße der Türme mittels Sonderschalungselementen realisiert werden mussten. Wirtschaftliche Aspekte und geringer Arbeitsaufwand standen bei der Entscheidungsfindung an oberster Stelle. So wurde ein Konzept im Zusammenwirken mit dem zuständigen Bauleiter, dem Schalungshersteller sowie dem verantwortlichen Polier erstellt. Die technische Ausführbarkeit spielt gerade im Bereich der Sonderlösungen eine große Rolle und auch hier können Erfahrungswerte, nicht nur vom Schalungshersteller, sondern auch vom erfahrenen Bauleiter beziehungsweise Polier eine maßgebliche Rolle spielen. Große Absturzhöhen erschwerten die Arbeiten an den Türmen. Durch den geringen Abstand der Türme untereinander, war keine Konsollösung wie sonst im Schalungsbau üblich, möglich. Die Entscheidung fiel bei diesen Bauteilen auf die Einrüstung mittels Systemgerüsten und eine Systemschalung in Form einer Trägerschalung. Der Verlauf der Angebotsbeurteilung über den Variantenvergleich und die Systembestimmung bis hin zur Kostenfeststellung wird in der vorliegenden Arbeit untersucht und erörtert. Es gilt nutzbare Faktoren für nachfolgende Projekte zu sammeln und zu filtern, um eine Entscheidung für ähnliche Bauwerke zeitnah und effektiv fällen zu können.

### 6.3 Charakteristik des Lüftergebäudes

Das Lüftergebäude wird in das 10 Meter hohe Basisgebäude sowie die 10 Meter hohen Lüfertürme unterteilt. Die geraden, zylindrischen Lüfertürme haben einen Außendurchmesser von 3,80 Metern bei einer Wandstärke von 30 Zentimetern. Sichtbetonqualitäten wurden an die Lüfertürme des Lüftergebäudes nicht gestellt. Die Druckfestigkeitsklasse des Betons beträgt C 35/45 und es wurde ein Beton mit einem hohen Wassereindringwiderstand eingebaut. In dem nachfolgenden Planausschnitt (Bild I) wird die Geometrie des Lüftergebäudes dargestellt.

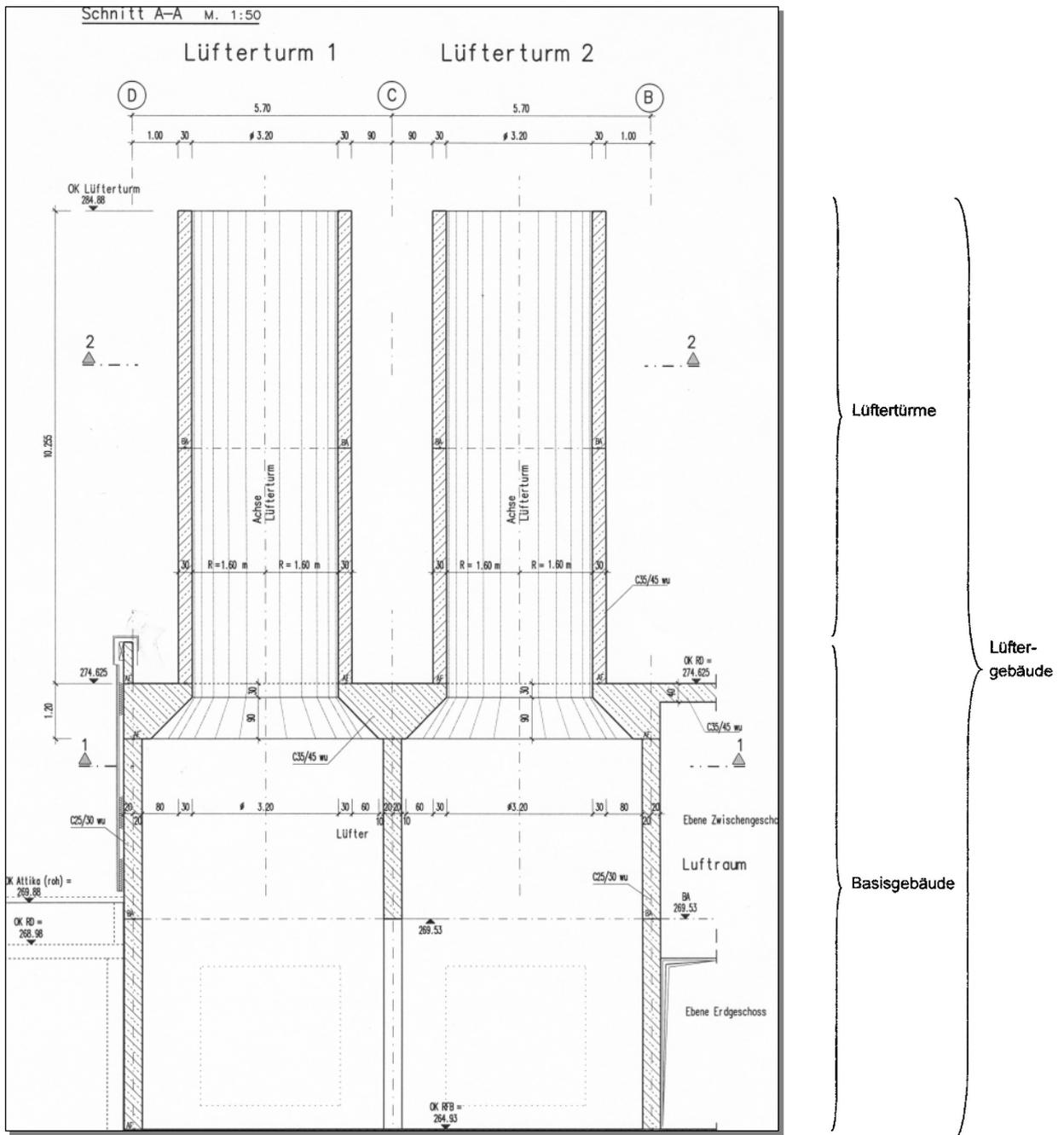


Bild I. Schnitt A-A des Lüftergebäudes

Analog den Lüferturmwänden, wurden alle Außen- sowie Innenwände des Basisgebäudes mit einem Beton mit hohem Wassereindringwiderstand hergestellt. Des Weiteren wurde eine glatte Oberfläche mit regelmäßigen Stößen, in der Sichtbetonklasse 3, gefordert. Die Druckfestigkeitsklasse der Wände beträgt C 25/30 bei Wandstärken von 35 bis 40 Zentimetern. Im Bild II ist der Grundriss des Lüftergebäudes schemenhaft dargestellt. Eine genaue Darstellung ist dem Schalplan der Bodenplatte (Anlage LGS-002A) zu entnehmen.

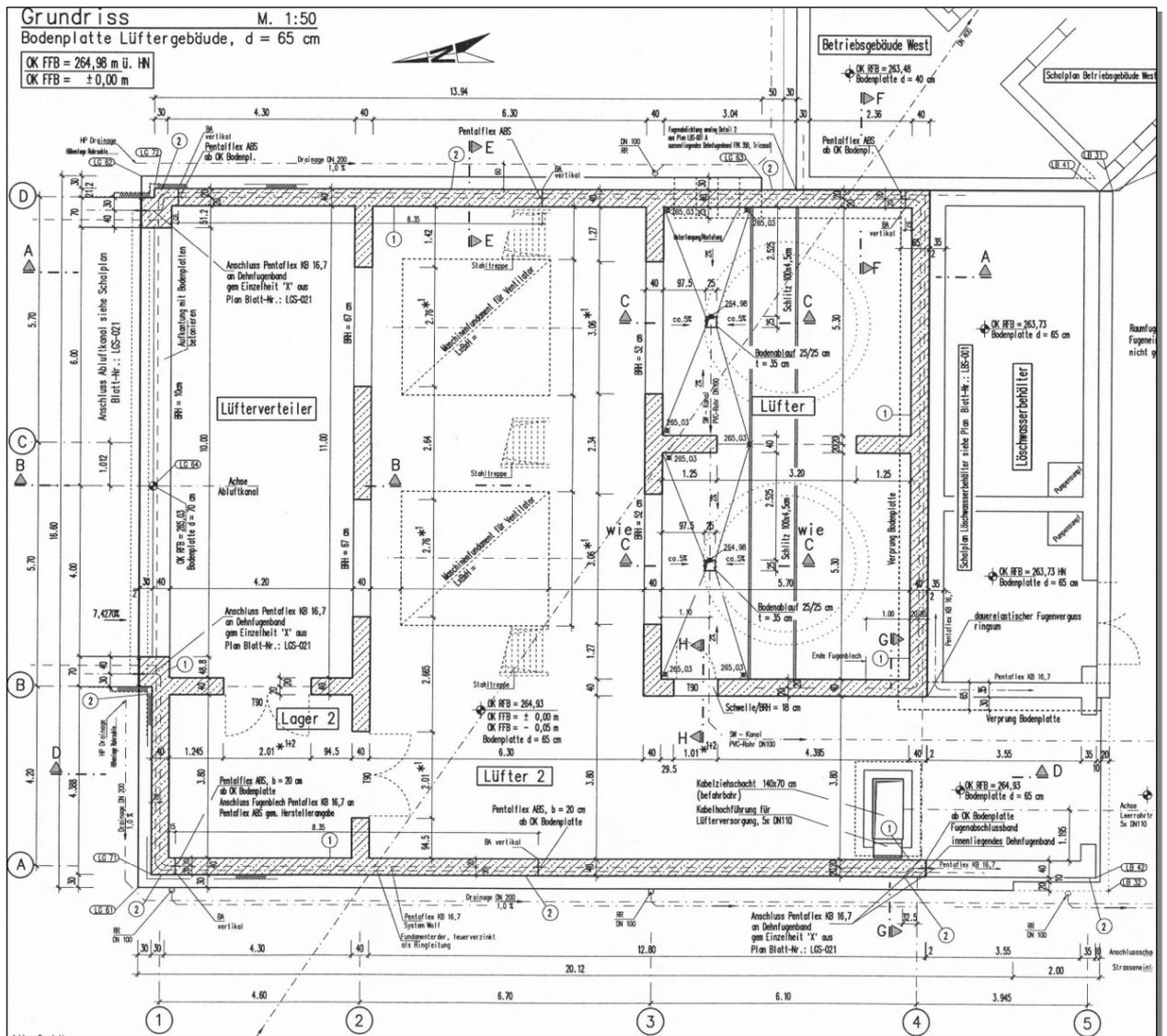


Bild II. Grundriss des Lüftergebäudes

## 7. Oberflächengestaltung und Sichtbetonklassen

### 7.1 Grundlegende Erläuterungen zur Sichtbetonqualität

Ansichtsflächen aus Beton, mit diversen Anforderungen an das Aussehen, werden als Sichtbeton bezeichnet. Diese Anforderungen müssen individuell und ausreichend beschrieben werden. Die alleinige Angabe *Sichtbeton* reicht zur Ausführung nicht aus. Nach *DIN 18217 Betonflächen und Schalhaut* und dem im Jahr 2004 erschienenen *BDZ/DBV- Merkblatt Sichtbeton* werden Ansichtsflächen aus Beton charakterisiert und in Klassen unterteilt. Es wird in vier Sichtbetonklassen mit den dazugehörigen Schalhautklassen unterschieden. Mit steigenden Anforderungen an die Oberflächenqualität steigen zugleich die Kosten der Schalhäute. Alle Klassen begründen sich auf vier Kriterien, wie Textur, Farbtongleichmäßigkeit, Ebenheit sowie Arbeits- und Schalhautfugen. Die Kriterien Textur, Farbtongleichmäßigkeit und Ebenheit sind in drei Untergruppen gegliedert. Das Kriterium Arbeits- und Schalhautfugen begründet sich aus sogar vier weiteren Untergruppen (Bild III). Die Sichtbetonklasse 1 (SB1) kennzeichnet Betonoberflächen mit geringen gestalterischen Anforderungen wie beispielsweise Kellerwände oder Bereiche mit vorwiegend gewerblicher Nutzung. Musterflächen vor Ausführung der Bauteile sind in diesem Bereich nicht vonnöten, können aber auf Wunsch angefertigt werden. Die zugehörige Schalhautklasse ist die Schalhautklasse 1 (SHK1), welche sehr geringe Anforderungen an die Oberflächenqualität einer Schalhaut stellt. Nagel- und Schraublöcher, Kratzer sowie Zementschleier können in dieser Anforderungsklasse auf der Schalhaut verbleiben.

Die Sichtbetonklasse 2 (SB2) wird in Treppenhäusern oder an Stützwänden, also in Bereichen mit normalen gestalterischen Anforderungen, verwendet. Zugehörig ist in diesem Rahmen die Schalhautklasse 2 (SHK2), welche erhöhte Anforderungen an die Schalhautoberfläche stellt. Nagel- und Schraublöcher sind nur bedingt, Kratzer sind nicht zulässig. Zementschleier und Reparaturstellen sind in geringem Umfang möglich. Das Anlegen von Musterflächen wird in diesem Sektor empfohlen, um die gewünschten Qualitäten zu definieren und abzustimmen.

Weiterhin höhere Anforderungen an Ansichtsflächen werden in der Sichtbetonklasse 3 (SB3) bewertet, wobei die Schalhautklasse 2 (SHK2) zur Erbringung dieser Qualitäten ausreichend ist. Zum Ausführungsumfang gehören Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen, wie Fassaden im Hochbau. Die Bemusterung wird im Bereich dieser Klasse dringend empfohlen, da durch die geringere Schalhautqualität Abstimmungen zur Sachdienlichkeit getroffen werden müssen. Die Kosten sind im Vergleich zur SB1 höher anzusetzen, da eine höhere Schalhautqualität mit einem höheren Preis einhergeht.

Sichtbetonklasse		Beschreibung				Beispiel	
Sichtbeton mit geringen Anforderungen	SB 1	geringe gestalterische Anforderungen				Kellerwände, Bereiche mit gewerblicher Nutzung	
mit normalen Anforderungen	SB 2	normale gestalterische Anforderungen				Treppenhäuser, Stützwände	
mit besonderen Anforderungen	SB 3	hohe gestalterische Anforderungen				Fassaden	
	SB 4	besonders hohe gestalterische Bedeutung				repräsentative Bauteile	

Sichtbetonklasse	Textur	Porigkeit		Farbton		Arbeits-, Schalhautfugen	Ebenheit	Probefläche	Schalhautklasse
		s <sup>1)</sup>	ns <sup>2)</sup>	s	ns				
SB 1	T1	P1		FT1		AF1	E1	freigestellt	SHK1
SB 2	T2	P2	P1	FT2		AF2		empfohlen	SHK2
SB 3		P3	P2			AF3	E2	dringend empfohlen	
SB 4	T3	P4	P3	FT2	FT3	AF4	E3	erforderlich	SHK3

Bild III. Übersicht über die Sichtbetonklassen

Für Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung, beispielsweise repräsentative Bauteile im Hochbau, findet die Sichtbetonklasse 4 (SB4) ihre Anwendung. Die Forderungen an die Schalhaut sind sehr hoch und in der Schalhautklasse 3 (SHK3) definiert. Bohrlöcher, Kratzer, Zementschleier sowie Reparaturstellen sind nur bedingt, zum Teil nicht zulässig. Musterflächen sind erforderlich, um Abstimmungsdefizite der Oberfläche zu vermeiden. Die Kosten dieser Ausführung sind im Vergleich zu den untergeordneten Sichtbetonklassen immens hoch. Doch oft wird von der planerischen Seite diese hohe Qualität gefordert, und das ausführende Unternehmen muss die verlangten Beschaffenheiten sichern und die gewünschte Oberfläche gestalten.

Doch nicht nur die Güte der Oberfläche spielt im Bereich des Sichtbetons eine große Rolle. Die Gestaltung der Ansichtsfläche wird immer bedeutender und bietet die Möglichkeit, einem Gebäude oder einem Bauteil eine Einzigartigkeit zu verleihen. Das Feld der Techniken zur Flächengestaltung ist beträchtlich und gründet sich aus der Vielzahl der angebotenen Schalungshäute. Im Rahmen der Studienarbeit wurde ein Überblick über die Schalungshäute, deren Beschichtungen und die Einsatzmöglichkeiten gegeben und die Fülle von Materialien erläutert. Natürliche Holzoberflächen können mittels Brettschalung erzeugt werden, wobei sägeraue, ungehobelte Bretter aufgrund ihres Saugverhaltens das Ausbluten des Betons sowie die Bildung von sichtbaren Poren verhindern. Sichtbetonflächen mit hohen Anforderungen sind nicht möglich, meist findet die Brettschalung Anwendung im Brückenbau.

Einheitliche, glatte Flächenergebnisse werden durch glatte Schalhäute erzielt, bei der sich die strukturellen Gestaltungsmerkmale auf die Schalhautfugen und Durchführungslöcher der Anker beschränken. Der Charakter der Oberfläche kann nur durch die Fugenstruktur oder die Farbigkeit beeinflusst werden. Wohingegen die Schalungsmatrizen eine vorgabetreue Texturierung besitzen und dadurch eine außergewöhnliche Flächenbeschaffenheit möglich ist. Künstlerischen und reizvollen Ansichten von Bauteilen sind kaum mehr Grenzen gesetzt. Eine Gefahrenquelle liegt in der Sicherstellung der Mindestbetondeckung ( $c_{\min}$  nach *DIN 1045-1*). Diese muss auch bei texturierten Ansichtsflächen gewährleistet werden. Textile Drainagevliese, wie Filtervliese, leiten Überschusswasser an der Betonoberfläche ab und oberflächennahe Luftporen entweichen. Das entstandene Flächenbild ist weitestgehend frei von Poren, was ein wolken- und fleckenfreies Farbbild zur Folge hat. Eine Faltenbildung ist beim Aufbringen der Vliese auf die Schalhaut zu vermeiden, um Ungenauigkeiten auf der Betonoberfläche zu verhindern.

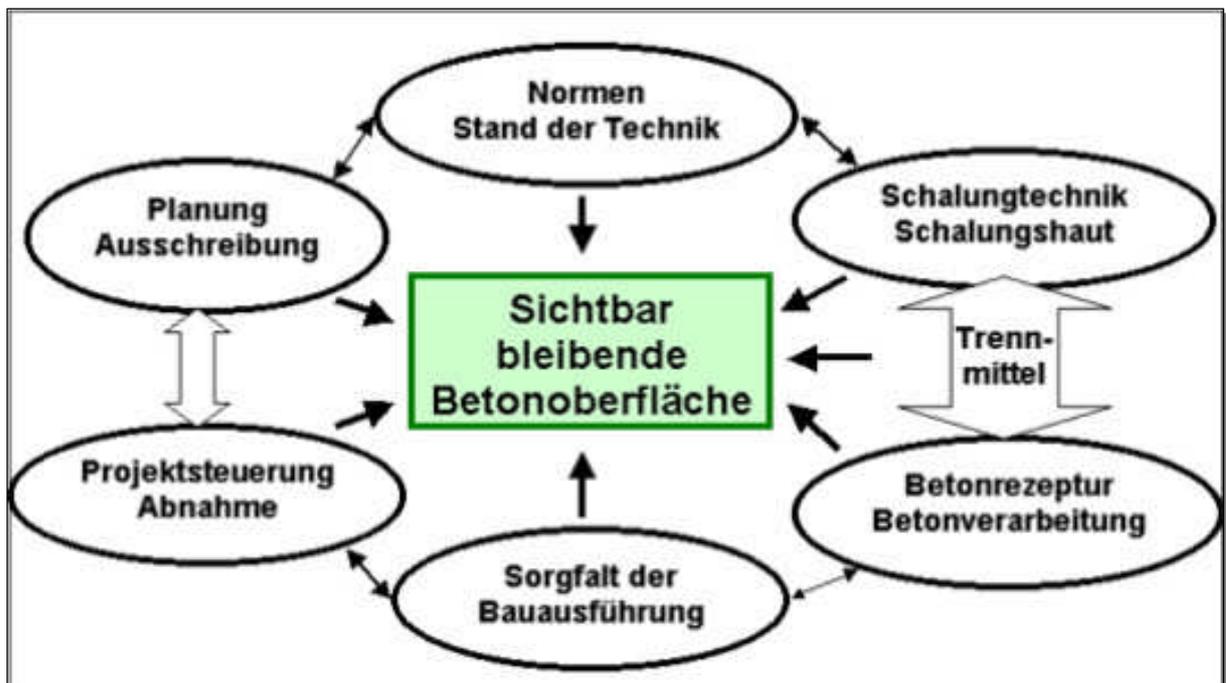


Bild IV. Einflussfaktoren auf sichtbar bleibende Betonoberflächen

Die schematische Darstellung im Bild IV macht deutlich, wie viele Faktoren im Sichtbetonbau berücksichtigt werden müssen, um ein zweckvolles Ergebnis erzielen zu können. Das Gebiet der Schalhaut ist nur ein kleiner Teil des Entstehungsprozesses eines Bauteils. Nur wenn alle ineinander greifenden Faktoren berücksichtigt werden, kann ein gelungenes Endresultat erlangt werden.

### 7.1.1 Oberflächenbeschaffenheit der Wände des Basisbauwerks



Die Außen- sowie Innenwände des Basisgebäudes, mit einer Stärke von 35 bis 40 Zentimetern, wurden mittels Ortbeton als Normalbeton nach *DIN 1045* hergestellt. Die Druckfestigkeitsklasse beträgt C 25/30 und es wurde ein Beton mit einem hohen Wassereindringwiderstand eingebaut. Im Innenbereich des Gebäudes wurden Sichtbetonqualitäten der Klasse 3 gefordert (siehe Bild V). Mit einer glatten, nicht saugenden Schalhaut wurde eine ebenmäßige Bauteiloberfläche, mit regelmäßigen Nagelstellen und Stößen, erzeugt.

Bild V. Ausschalvorgang einer Innenwand

Im Zusammenhang mit der Bewehrung entstehen häufig Schäden an der Betonoberfläche und Differenzen führen zu einer mangelhaften Sichtbetonqualität. Die Ursachen liegen meist bei der zu eng geführten oder bei zu vielen Bewehrungslagen. Nicht reparable Schäden entstehen durch die Abweichung der Mindestbetondeckung oder durch entstandene Kiesnester, welche durch Entmischung des Betons entstehen. Ausbesserungen sind nach *DIN 18217* zugelassen, doch meist sind sie trotz handwerklichen Geschicks sichtbar.

Porenfreie Ansichtsflächen oder völlig gleichmäßige Porenstrukturen oder Farbtönungen sind nicht zielsichere, erfüllbare Forderungen. Vermeidbare Fehler in der Planung, Anwendung oder Verarbeitung, führen zu einem unzureichenden Ergebnis der geforderten Ansichtsfläche und die Betonoberfläche wird als mangelhaft eingestuft. Zur Unterstützung liefert das Merkblatt *Sichtbeton* Hinweise zur Planung, Ausschreibung, Herstellung, Beurteilung sowie zur Abnahme von Sichtbetonflächen. Auch die Ebenheitstoleranzen nach *DIN 18201* und *DIN 18202* liefern Angaben zu den unterschiedlichen Anforderungen. Grundsätzlich ist zu bemerken, dass die Beurteilung von Sichtbetonflächen immer subjektiven Faktoren unterliegt und somit nicht eindeutig charakterisiert werden kann.

### 7.1.2 Oberflächenbeschaffenheit der Lüfterturmwände



An die Lüfterturmwände des Lüftergebäudes wurden nach Angaben des Planers keine Sichtbetoneigenschaften gestellt. Die Oberfläche wurde eben hergestellt, mittels glatter und nicht saugender Schalhaut. Regelmäßige Stöße und Nagelstellen waren zulässig. Entstandene Betonwarzen und Grate wurden im Außenbereich abgeschliffen, um eine oberflächenfertige, absatzfreie und porenlose Ansichtsfläche zu erzielen. Um die malermäßige Nachbehandlung, in Form eines Anstrichs, gewährleisten zu können, wurden Teilbereiche durch Spachtelung ausgebessert. Der erforderliche Biegeradius wurde mit einer flexiblen Rundschalung erzeugt (siehe Bild VI).

Bild VI. Ansicht Innenschalhaut Lüfterturmwand

Die Rundschalung wurde fertig, mit Schalhaut, in geradem Zustand auf die Baustelle geliefert. Mit Hilfe von Schablonen wurde der erforderliche Radius eingestellt. Durch zwei verschiedene Elementbreiten, für innen und außen, und einem entsprechenden Ausgleichsholz



wurden die Elemente radial gegenüber gestellt. Die Elementverbindung erfolgte mittels Richtschloss (siehe Bild VII). Der zulässige Frischbetondruck der flexiblen Rundschalung beträgt nach Herstellerangaben  $60 \text{ kN/m}^2$ .

Bild VII. Flexible Rundschalung mit erforderlichem Radius

## **8. Kernprobleme der Ortbetonbauweise**

### **8.1 Mängel in der Bauausführung**

Während der Entstehung eines Bauwerks benötigt das Objekt einen Bauleiter, der die Arbeiten vor Ort überwacht. Zum einen trägt der Bauleiter die öffentlich-rechtliche Verantwortung und er sorgt dafür, dass von der Baustelle keine Gefahr für die Allgemeinheit ausgeht. Diese Funktion kann eine am Objekt tätige Person begleiten, die auch andere leitende Aufgaben übernimmt. Das ist zum Beispiel der Bauleiter eines Unternehmens oder zumindest ein Polier, der sich auf der Baustelle um den Fortgang der Arbeiten kümmert. Bei entsprechend großen Objekten kann diese Funktion auch ein Sonderbauleiter übernehmen. Der Bauherr benötigt einen Bauleiter, der im bautechnischen Bereich sachkundig ist und ihn während der Bauzeit begleitet und berät. Durch Erfahrungswerte sowie bekannte Baufehler tun sich im Gebiet des Schalungsbaus Fehlerquellen auf, die es zu vermeiden gilt. Besonderes Augenmerk hat der Bauleiter nicht nur auf die Arbeitsvorbereitung sowie den Arbeitsschutz zu legen, sondern im Punkt Ausführung sind Mängel zu vermeiden.

Aus der Verarbeitung des Frischbetons und den Einflüssen vor Ort, resultieren diverse Probleme. Anders als bei einer Fertigung im Werk ist die Ortbetonbauweise vielen störenden Einwirkungen ausgesetzt. Die Schalung für den Frischbeton kann in ihrer Abmessung vom Soll- Zustand abweichen. Weitere Mängel sind eine unzureichende Endfestigkeit. Die statisch erforderlichen und vereinbarten Festigkeiten weichen vom Ist- Zustand ab. Auch das verfrühte Ausschalen sowie Begehen des Betons kann zu Mängeln am Bauteil führen. Diese sind beispielsweise geringe Oberflächenfestigkeiten, Schwindrisse infolge zu schneller Austrocknung sowie Absandungen an der Oberfläche. Bei Bauwerken mit hohem Wassereindringwiderstand kann eine größere Wasserdurchlässigkeit die Folge von verfrühtem Ausschalen sein. Zu erwähnen ist, dass das Verbleiben eines Bauteils in der Schalung, also das Hinauszögern des Ausschalens, dem Leistungsbereich der Betonnachbehandlung zuzuordnen ist. Sichtbare Armierungseisen, gründend auf eine zu geringe Betonüberdeckung, sind nicht nur optische Fehlstellen. Die Gefahr der Carbonatisierung<sup>1</sup> und damit das Rosten des Stahls hat eine Traglastminderung zur Folge. Die Kontrolle der Bewehrung ist später nicht mehr möglich, es sei denn durch Abbruch. Aus diesem Grund sollte ein Fachmann, der auch vorab die Übereinstimmung der vor Ort verlegten Bewehrung mit der Statik überprüft, beim Einbau des Betons stets anwesend sein.

---

[KLDT99] [BOWE06]

## 8.2 Maßhaltigkeit und Ausschalfristen

Ausschalfristen sind ein weiteres Feld im sicheren Umgang mit Schalung. Ist die Festigkeit eines Bauteils zu gering, muss der Ausschalvorgang hinaus gezögert werden. Die Anordnung zum Ausschalen gibt der Bauleiter oder der Polier, nachdem er sich von der ausreichenden Betonfestigkeit überzeugt hat, gegebenenfalls auch nach Abstimmung mit einem Fachingenieur. Der Bauablauf bei der Herstellung von Betonbauteilen ist das Resultat einer funktionierenden Arbeitsvorbereitung. So können Einsparungen an der Bauzeit oder bei Lohn- und Materialkosten erzielt werden. Sinnvoll gewählte Arbeitsvorgänge im Taktplan sparen Zeit und vermeiden Personalkollisionen. Beginnend mit dem Einschalen und dem darauf folgenden Bewehren, ist es zweckmäßig, das Ausschalen und Reinigen direkt mit dem Einschalen des nächsten Taktes zu verbinden. Die Zwischenlagerung der Schalplatten und der damit einhergehende Zeitverlust werden vermieden. Neben den Bauablaufbetrachtungen ist weiterhin die Betontechnologie für das Ausschalen maßgebend. In der *DIN 1045* sind Anhaltswerte für Ausschalfristen der Bauteile geregelt. Die Fristen begründen sich auf der zulässigen, charakteristischen Festigkeit ( $f_{ck}$ ), die von der Festigkeitsentwicklung des jeweiligen Betons abhängig ist. Die Angaben zur Festigkeitsentwicklung liefert der Betonhersteller. Die Fristen können unterschritten werden, wenn durch eine statische Berechnung nachgewiesen wird, dass die beim Ausschalen auftretenden Lasten mit ausreichender Sicherheit von dem jungen Beton aufgenommen werden können. Die Betonfestigkeit kann durch eine Erhärtungsprüfung nachgewiesen werden. In der Praxis werden Bauabläufe so gestaltet, dass das Wochenende als Abbindezeit für den Erhärtungsvorgang des Betons herangezogen wird. Fällt ein Betonier- Tag einer Betondecke auf die Wochenmitte, gehen wertvolle Arbeitstage verloren. Bei Wandschalungssystemen kann man sinnvoll gewählte Taktsysteme, wie die der Vorstell Schalung nutzen, um eine Entzerrung der Arbeitsschritte zu ermöglichen. Die Ausschalfristen nach *DIN 1045* werden auf der Baustelle als Anhaltspunkt genutzt. Gerade im Bereich der Deckenbetonierung werden die Fristen berücksichtigt und weitestgehend eingehalten. Betondecken werden meist nach dem Ausschalen mit Sicherheitsstützen gesichert, um die einwirkenden Lasten sicher abtragen zu können. Diese unterstützen den jungen Beton bis die endgültige, geforderte Festigkeit erreicht ist. Abweichungen können bei Wand- oder Randabstützungen vorkommen. In diesem Fall fließen jedoch viele Faktoren in die Entscheidung des Ausschalens ein. Betoniervorgänge im Winter sind durch längere Abbindezeiten gekennzeichnet, da sich bei Frosteinfluss das Abbinden des Betons verzögert.

Wohingegen im Sommer ein schnelles Abbinden statt findet und demnach ein Frühausschalen möglich ist. In der Regel sollte die Dauer, in der der Beton in der Schalung verbleibt, möglichst langfristig gewählt werden. Doch begrenzte Vorhaltemengen an Schalung aus Kostengründen sowie begrenzte Bauzeiten führen meist zu Abweichungen der Ausschalfristen. Die Entscheidung wird immer aus dem Zusammenspiel der Erfahrungen des Poliers oder des Bauleiters sowie den örtlichen Bedingungen und Einflüssen getroffen.

Zementfestigkeitsklasse	Für die seitliche Schalung der Balken und für die Schalung der Wände und Stützen [Tage]	Für die Schalung der Deckenplatten [Tage]	Für die Rüstung (Stützung) der Balken, Rahmen und weitgespannten Platten [Tage]
32,5	3	8	20
32,5 R und 42,5	2	5	10
42,5 R, 52,5 und 52,5 R	1	3	6

Bild VIII. Ausschalfristen nach DIN 1045

Weiterhin ist die Einhaltung der Ausschalfristen (Bild VIII) notwendig, um die Durchbiegung des jungen Betons zu vermeiden. Maßkontrollen sollten bei Bauteilen in Ortbetonbauweise vor oder kurzfristig nach dem Ausschalen erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt treten zeit- und lastabhängige Verformungen noch nicht oder nur in vergleichsweise geringem Umfang auf. Bei späteren Maßkontrollen am fertigen Bauteil ist in jedem Fall die Zeitdauer seit der Herstellung zu berücksichtigen. Die Maßhaltigkeit von Ortbetonbauteilen wird wesentlich von der Schalung beeinflusst. Durch Aussteifung der Rüstung und Justiermöglichkeiten können geforderte Genauigkeiten erzielt werden. Während des Betoniervorgangs ist die Maßhaltigkeit abhängig von der Steifigkeit der Schalung und Rüstung. Durch Ausbauchungen, infolge von zu hohem Frischbetondruck, können erhebliche Unebenheiten entstehen. Der Ausschalvorgang sollte in diesem Fall nicht ohne Festigkeitsprüfung erfolgen. Die unterschiedlichen Belastungszustände der Schalung, durch die Belastung des Frischbetondrucks oder die Belastung durch das erhärtete Bauteil, müssen beachtet werden. Der Ausschalzeitpunkt sollte daher immer gewissenhaft gewählt werden.

## 9. Fugen und Belastungsfälle

Die Anordnung und Ausbildung von Fugen wird in der Regel vom Tragwerksplaner in Absprache mit dem Bauherrn und dem ausführenden Unternehmen festgelegt. Die Abstände der Fugen hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, wie beispielsweise der Art des Baugrundes, die zu erwartenden Bauteilbewegungen sowie der Lagerung des Baukörpers. Des Weiteren spielen der Bauablauf und die Betonierfolge, also die Takteinteilung, eine Rolle bei der Auswahl der Fugenlage. Die Bauteilgeometrie, sowie die zu erwartende Wärmeentwicklung im Verlauf der Hydratation<sup>2</sup> sind ebenfalls Einflussgrößen bei der Fugenplanung. Außerdem nimmt die Lage, die Menge und der Abstand der Bewehrung Einfluss auf die Planung. Bei den Fugen wird entsprechend ihrer Funktion zwischen Bewegungs- oder Dehnfugen, Arbeitsfugen oder Sollrissquerschnitten unterschieden (siehe Bild X).

Fugen mit einem Zwischenraum und einer definierten Fugenweite über die gesamte Bauteildicke nennt man **Bewegungsfugen** oder **Dehnfugen**. Die Bewegungsfuge (Raumfuge) ist ein Fugenspalt und durch die getrennten Bauteile können unterschiedliche Bauteilbewegungen infolge von Temperaturänderungen und/oder Setzungen aufgenommen und zugelassen werden. Bei Bewegungsfugen ist die Bewehrungsführung unterbrochen. Die **Pressfuge** stellt einen Sonderfall der Bewegungsfuge dar. Dabei handelt es sich um eine ebene oder verzahnt ausgebildete Fuge, in der zwei Bauteile ohne Zwischenraum gegeneinander und ohne durchgehende Bewehrung betoniert werden.

Planmäßige **Arbeitsfugen** sind Fugen, die aus Gründen des Arbeitsablaufes oder als konstruktive Maßnahme angeordnet werden. Die Arbeitsfuge teilt längere Bauteile in einzelne Betonierabschnitte, wobei die Bewehrung in der Fuge durchlaufend ist. Auch die nicht planmäßigen Arbeitsfugen, beispielsweise durch Maschinenausfall, Unterbrechungen bei der

Wanddicke in cm	Abstand in m
bis 30	20 bis 10
30 bis 60	15 bis 8
60 bis 100	10 bis 6
100 bis 150	8 bis 5
150 bis 200	6 bis 4

Betonlieferung oder auf Grund von Witterungseinflüssen, müssen berücksichtigt werden. Richtwerte für den höchstzulässigen Abstand von lotrechten Arbeitsfugen in Wänden in Abhängigkeit der Wanddicke sind im Bild IX dargestellt. Eine Abdichtung aller Fugenarten ist erforderlich.

Bild IX. Abstandsrichtwerte von Arbeitsfugen

**Sollrissquerschnitte** oder auch Sollrissfugen, Scheinfugen oder Schwindfugen dienen der gezielten Risssteuerung durch planmäßige Querschnittsschwächung und Ausbildung einer Sollbruchstelle. Zwangsspannungen im Bauteil, die zur Trennrissbildung führen können, sollen durch die Entstehung eines Risses an dem geplanten, abgedichteten Sollrissquerschnitt abgebaut werden. Unkontrollierte Risse werden somit vermieden. Die Querschnittsschwächung im Bereich des Sollquerschnittes sollte mindestens  $\frac{1}{3}$  der Bauteildicke betragen. Die rechtwinklig verlaufende Bewehrung, sofern sie statisch nicht erforderlich ist, kann ausgelassen oder deutlich reduziert werden. Der Abstand der Sollrissquerschnitte untereinander ist abhängig von der Schwindneigung des Betons, dessen Austrocknungsgeschwindigkeit und durch eventuell angrenzende Bauteile. Bei längeren Wänden sind etwa alle 6 bis 8 Meter Sollrissquerschnitte vorzusehen. Der Abstand sollte höchstens der zweifachen Wandhöhe entsprechen.

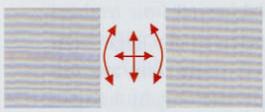
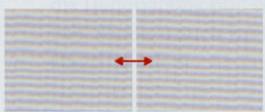
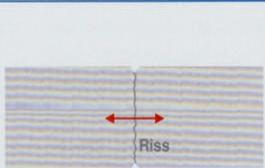
Fugenart		Anmerkungen
Arbeitsfuge		Trennung bauablaufbedingter Betonierabschnitte, durchlaufende Bewehrung
Bewegungs-fuge (Raumfuge)		Fugenspalt, der Bewegungsmöglichkeit in einer oder mehreren Richtungen zulässt, unterbrochene Bewehrung
Pressfuge		Fugenspalt, der das Bauteil in ganzer Breite trennt, Bewegungsmöglichkeit bei Bauteilverkürzung (Fugenöffnung), Druckübertragung bei Bauteilausdehnung, unterbrochene Bewehrung
Sollriss-querschnitt (Sollriss- oder Schein-fuge)		Bauteilbereich mit Querschnittsschwächung um mindestens $\frac{1}{3}$ der Bauteildicke, reduzierte Bewehrung bzw. keine Querbewehrung durch den Sollrissquerschnitt, wenn die statische Mitwirkung der benachbarten Wandabschnitte nicht erforderlich ist, siehe auch Erläuterungen zu 9.2 in [25], Bewegung (Rissbildung) zum Abbau von Spannungen aus Temperatureinfluss und Schwinden (Vermeidung von unkontrollierten Rissen)

Bild X. Übersicht Fugenarten

Fugen sollten immer geradlinig, übersichtlich und ohne Versprünge verlaufen und das Bauwerk möglichst einfach gliedern. Je komplizierter ein Fugenverlauf ist, umso schwieriger ist die Ausführung der Fugen. Hier gilt der Grundsatz: Je einfacher, desto besser. Alle Bauwerksfugen und Durchdringungen müssen dauerhaft wasserundurchlässig ausgebildet werden, wobei die Zugänglichkeit der Fugen für den Sanierungsfall bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden sollte. Die Fugenabdichtung muss ein geschlossenes und lückenloses System ergeben. Für das Versagen des Systems genügt eine einzige Fehlstelle. Ebenfalls müssen die Anschlüsse der Abdichtung wasserundurchlässig geplant und ausgeführt werden.

Im Vorfeld eines Bauvorhabens ist die Fugenbeanspruchung zu ermitteln. Diese ergibt sich aus den einzelnen, maximal zu erwartenden Verformungskomponenten und aus dem Bemessungswasserdruck  $W_s$ . Dieser entsteht aus unterschiedlichen Wasserständen, die auf das Bauwerk einwirken und wird in der Maßeinheit *bar* angegeben. Ein *bar* entspricht einer Wassersäule von 10 Metern. Die Begriffsbestimmung der Beanspruchung durch Wasser wird in der *WU-Richtlinie* des DAfStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton) in den Beanspruchungsklassen definiert.

Die **Beanspruchungsklasse 1** umfasst die Lastfälle drückendes Wasser aus Grund-, Hoch- und Schichtenwasser, nicht drückendes Wasser oder zeitweise aufstauendes Sickerwasser. Nichtdrückendes Wasser wird als Wasser in tropfbarer, flüssiger Form verstanden, das auf Bauteile keinen oder nur einen geringfügigen, hydrostatischen Druck ausübt. Folglich wirkt auf ein Bauteil im Lastfall des drückenden Wassers ein hoher hydrostatischer Druck ein. Bei zeitweise aufstauendem Sickerwasser darf sich Wasser auf wenig durchlässigen Bodenschichten nur zeitweise aufstauen. Die Beanspruchung des Wasserdrucks auf das Bauteil ist demnach von begrenzter Dauer. Die **Beanspruchungsklasse 2** umfasst die Bodenfeuchte als kapillar im Boden gebundenes Wasser und nicht stauendes Sickerwasser. Letzteres bedeutet bei sehr stark durchlässigen Böden frei abfließendes Wasser (ohne Aufstau). Bei weniger durchlässigen Böden muss das Abführen des Wassers durch eine dauerhaft funktionsfähige Dränung nach *DIN 4095* gewährleistet werden. Um Bauwerke aus Beton mit einem hohen Wassereindringwiderstand beurteilen zu können, wird die spätere Nutzung des Gebäudes gemeinsam durch den Bauherrn und dessen Planer festgelegt. Hierfür wird in zwei Nutzungsklassen unterschieden. Diese regeln die Anforderungen hinsichtlich des Feuchtetransports in flüssiger Form sowie die Entstehung von Feuchtstellen auf einer Bauteiloberfläche. In der Nutzungsklasse A gilt ein Feuchtetransport in flüssiger Form sowie Feuchtstellen auf Bauteiloberflächen als unzulässig, wohingegen die Nutzungsklasse B diese Einwirkungen in begrenztem Maß zulässt.

Bewegungsfugen sollten nur dort angeordnet werden, wo sie aus technischen Erfordernissen für das Bauwerk unverzichtbar sind. Auch hier gilt der Grundsatz: So viele Fugen wie nötig, so wenig Fugen wie möglich. Die Fugenweite der Bewegungsfuge ergibt sich aus der größten zu erwartenden Fugendehnung, wobei diese im Regelfall bei 20 Millimeter liegt. Der Abstand von Fugen zu Ecken, Kanten, Kehlen, Durchdringungen sowie zu aufsteigenden Wänden, sollte mindestens 30 Zentimeter, besser jedoch 50 Zentimeter oder mehr betragen.

Arbeitsfugen werden planmäßig festgesetzt und liegen möglichst in gering beanspruchten Bauteilen. Das Fugenabdichtungssystem in Arbeitsfugen, in horizontaler und vertikaler Richtung, sollte jeweils in einer Ebene liegen. Freie Enden des Fugenabdichtungssystems müssen mindestens 30 Zentimeter, besser jedoch 50 Zentimeter über den Bemessungswasserstand geführt werden. Oberhalb der freien Enden des Fugenabdichtungssystems sind die Bewegungs- und Arbeitsfugen gegen Hinterläufigkeit durch Wasser und gegen Eindringen von Bodenmaterial zu sichern. Überschneidungen von Fugen mit Kehlen und Kanten des Bauwerks oder untereinander, sollten möglichst rechtwinklig verlaufen. Um Probleme auf der Baustelle zu vermeiden, müssen das Fugenabdichtungssystem und die Bewehrungsführung bereits während der Planungsphase aufeinander abgestimmt werden. Rohrleitungen sollten Bodenplatten, Decken und Wände nur rechtwinklig durchdringen und auf ein Minimum begrenzt werden. Die Rohrdurchführungen sowie Durchdringungen sind wasserdicht abzudichten. Dies kann durch Dichtungseinsätze mit Gummidichtung, welche in ein einbetoniertes Faserzementrohr oder durch Einsetzen in eine Kernbohrung, erreicht werden. Alternativ werden Rohre mit Dichtkragen verwendet.

## 9.1 Ausbildung von Fugen

**Arbeitsfugen** zwischen der Bodenplatte und einer Wand können entweder in einer Ebene der Bodenplatte oder mit einer Aufkantung ausgebildet werden. Die Aufkantung dient lediglich der Einbindung des Fugenbleches oder des Fugenbandes, dabei muss die Höhe der Aufkantung auf die Abmessung der planmäßigen Abdichtung abgestimmt sein. Die Aufkantung wird in einem Arbeitsgang mit der Bodenplatte betoniert, um eine wasserdurchlässige Arbeitsfuge in diesem Bereich zu vermeiden. Eine sorgfältige Verdichtung des Betons ist die Grundlage zur Erzielung der erforderlichen Wasserundurchlässigkeit. Unzulässig ist die Ausführung mit nachträglich aufgesetzten



Aufkantung. Das Fugenblech (siehe Bild XI) nimmt nach der *DAfStb-Richtlinie* (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton) in den Richtlinien für *Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton* eine gesonderte Stellung ein.

Bild XI. Anschluss mit Fugenblech

Unbeschichtete Fugenbleche aus fettfreien Blechen gemäß *DIN EN 10051* oder gemäß *DIN EN 10088-2* von einer Blechdicke mindestens 1,5 Millimetern, sind bezogen auf die Abdichtung ein nicht geregeltes Bauprodukt. Der Verwendbarkeitsnachweis für die unbeschichteten Bleche darf nach der *WU-Richtlinie* jedoch entfallen, wenn die Verwendungsbedingungen entsprechend der in der *WU-Richtlinie* vorliegenden Beanspruchungsklassen eingehalten sind und die Fugenbleche nach den Einbaubedingungen verarbeitet werden. Eine Aufkantung ist bei der Verwendung von unbeschichteten Fugenblechen notwendig, bei der Verwendung von beschichteten Blechen kann die Aufkantung entfallen. Weitere Abdichtungsmaßnahmen sind Arbeitsfugenbänder, Kombi-Arbeitsfugenbänder<sup>3</sup>, verpresste Injektionsschlauchsysteme sowie quellfähige Fugeneinlagen. Die Arbeitsfugenbänder unterscheidet man in innen liegende und außen liegende Fugenbänder. Bei den Injektionsschlauchsystemen ist keine Aufkantung sowie Bewehrungsanpassung erforderlich. Das Fugenabdichtungssystem wird auf dem ersten, fertig gestellten Betonierabschnitt befestigt.

Zur Abdichtung von **Bewegungs- oder Dehnfugen** sind Abdichtungselemente erforderlich, die durch ihre Geometrie und ihr Material in der Lage sind, Verformungen schadlos aufzunehmen und gleichzeitig die Fuge abzudichten. Im Regelfall erfolgt die Abdichtung mittels innen liegenden oder außen liegenden Dehnfugenbändern aus Elastomer<sup>4</sup> oder Thermoplast<sup>5</sup>. Alternativ dazu werden Fugenabschlussbänder, Klemmkonstruktionen oder Adhäsionsabdichtungen<sup>6</sup> eingebaut. Einen Überblick geben die Abbildungen im Bild XII. Die Auswahl der Bewegungs- oder Dehnfugenabdichtung erfolgt bezüglich der zu erwartenden Verformungen und dem maßgeblichen Wasserdruck.

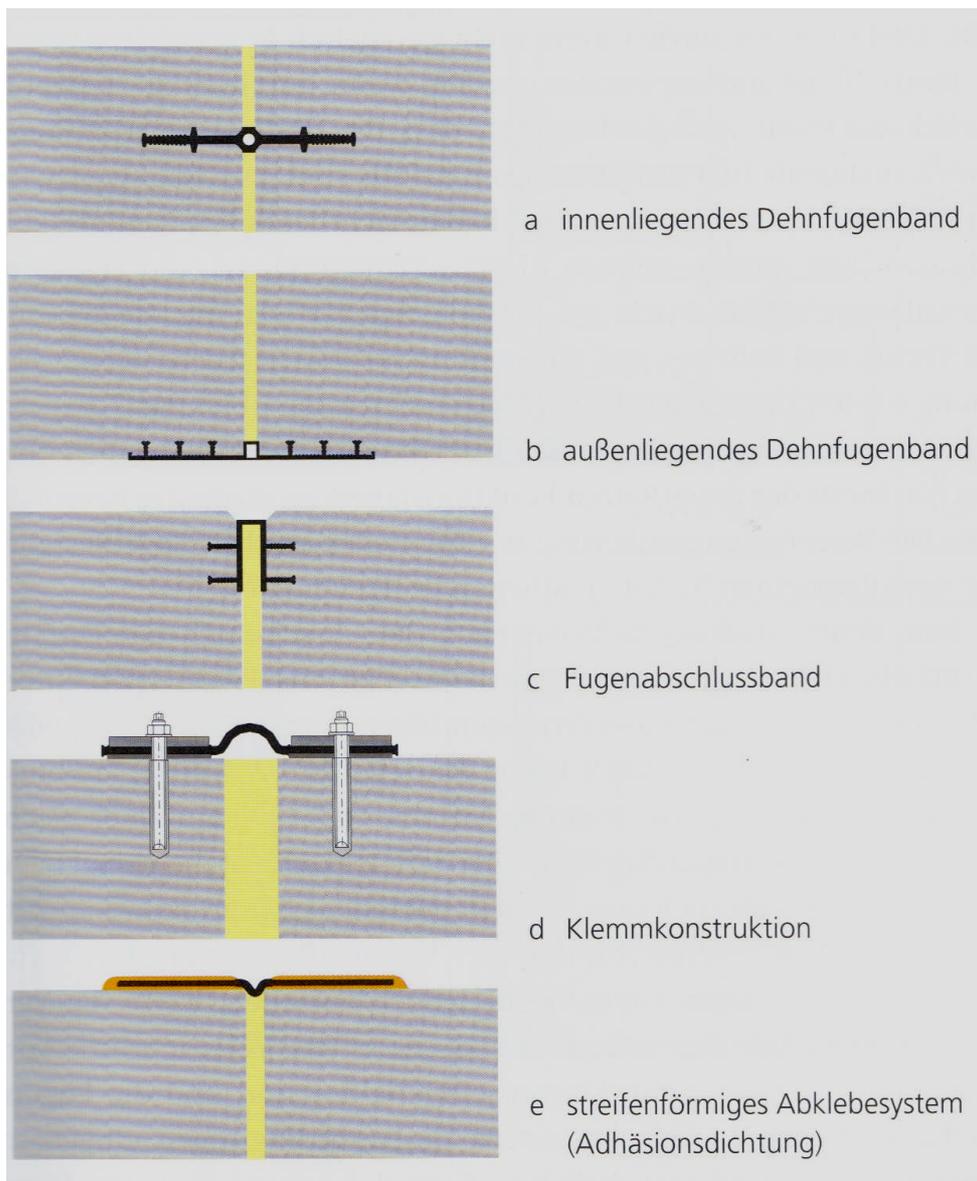


Bild XII. Abdichtungsvarianten von Fugen

Analog den Arbeits-, Bewegungs- und Dehnfugen stehen für die **Sollrissquerschnitte** verschiedene Abdichtungsvarianten zur Verfügung. Zwei Anforderungen müssen jedoch erfüllt sein. Im Bereich der Sollrissstelle muss eine Querschnittsschwächung vorhanden sein. Dies gilt auch bei Querschnitten mit kreuzender Bewehrung. Durch die Querschnittsschwächung des Bauteils wird ein Riss provoziert, der bei anstehendem, drückendem Wasser zu einem Wassereintritt auf der Innenseite der Wand führt. Um dies zu verhindern, müssen Sollrissquerschnitte nicht nur im Bauteilquerschnitt geschwächt sein, sondern gleichzeitig abgedichtet werden. Sollrissquerschnitte ohne Abdichtung sind wie Trennrisse zu behandeln. Es sollte keine Querbewehrung durch den Sollrissquerschnitt geführt werden, wenn die statische Mitwirkung der benachbarten Wandabschnitte nicht erforderlich ist. Die Abdichtung in Wänden kann durch ein Dichtrohr erfolgen. Alternativ ist eine Ausführung mit einem außen liegenden Fugenband, einem beschichteten Fugenblech oder einem Fugenkreuz aus beschichteten Fugenblechen möglich.

Neben den genannten Fugenabdichtungssystemen für Sollrissquerschnitte, kommen auch Sollrisselemente oder Sollrissfugenschienen in Kombination mit quellfähigen Fugeneinlagen, Injektionsschläuchen oder beschichteten Fugenblechen zum Einsatz. Wie bereits erläutert, sollte der Sollrissquerschnitt  $\frac{1}{3}$  der Bauteildicke betragen und das Fugenabdichtungssystem einen Wasserdurchtritt durch den planmäßig verlaufenden Sollriss verhindern. Durch das Einlegen von Dreikantleisten in die Schalung werden die Lage und der Verlauf des Risses vorgegeben. Sollrissquerschnitte in Bodenplatten können mittels V-förmiger Streckmetallabschalung ausgeführt werden, bei der der Keil nach Abklingen der Rissursachen später ausbetoniert wird. Den ausbetonierten Teil bezeichnet man als Schwindplombe. Die Abdichtung erfolgt mit einem außen liegenden Arbeitsfugenband. Der Einsatz von Dichtrohren ist in horizontalen Bauteilen nicht zulässig.

### 9.1.1 Fugenausbildung der Wände des Basisgebäudes

Da ein Beton mit hohem Wassereindringwiderstand gefordert war, wurden alle Fugen auf Grundlage der *WU-Richtlinie* ausgeführt und abdichtet. Die Abdichtung der waagerechten Arbeitsfugen wurde mittels beschichtetem Fugenblech ausgeführt (siehe Bild XIII). Die Blechstärke betrug 2 Millimeter. Die Abdichtung der senkrechten Arbeitsfugen erfolgte



Bild XIII. Beschichtetes Fugenblech

mittels eines innen liegenden Arbeitsfugenbandes mit Ankerrippen. Das Fugenband wurde als fertiges System nach *DIN 7855* aus Elastomer<sup>4</sup> zur druckwasserdichten Abdichtung eingebaut. Stöße und Verbindungen wurden vulkanisiert<sup>7</sup>.

Im Bereich des Abluftkanals, vom Basisbauwerk zum Tunnel, wurde zur Abdichtung ein außen und innen liegendes Dehnfugenband mit Ankerrippen und einem Mittelschlauch als



Bild XIV. Umlaufendes Fugenband aus Elastomer

fertig System nach *DIN 7855* verwendet (siehe Bild XIV). Das Dehnfugenband aus Elastomer<sup>4</sup> dient zur Aufnahme von eventuell auftretenden, unterschiedlichen Setzungen der beiden zuvor genannten Gebäudeteile. Weiterhin wurde im Bereich des Dehnfugenbandes ein Fugenabschlussband eingebaut.

### 9.1.2 Fugenausbildung der Lüfterturmwände

Die Lüfterturmherstellung wurde in zwei Betonierabschnitte unterteilt. Demzufolge entstand zwischen den Abschnitten eine Arbeitsfuge in einer Höhe von 279,73 Meter über HN<sup>8</sup> beziehungsweise 5 Meter über Oberkante Rohdecke des Basisgebäudes. Im Bereich der

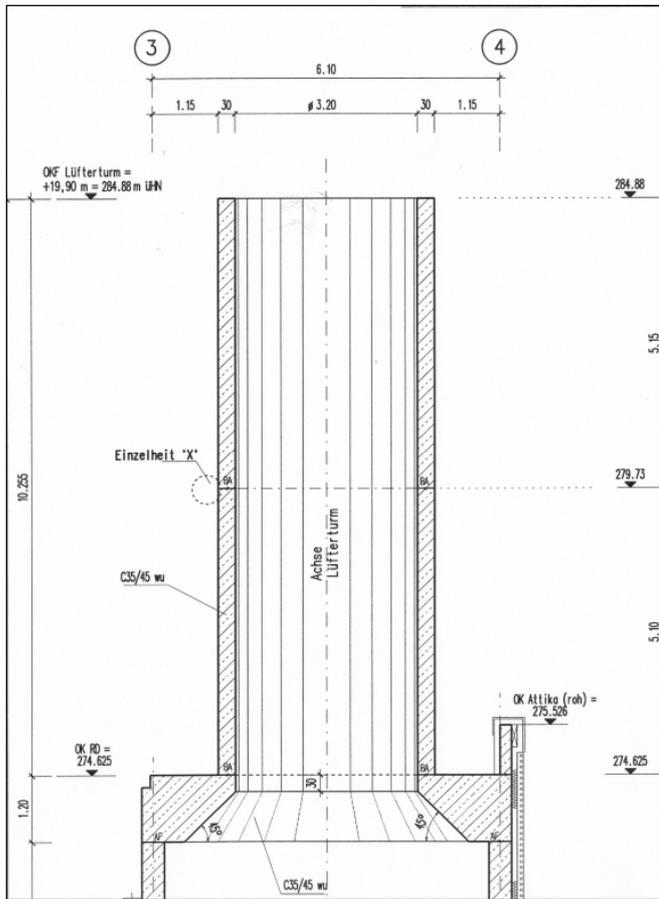
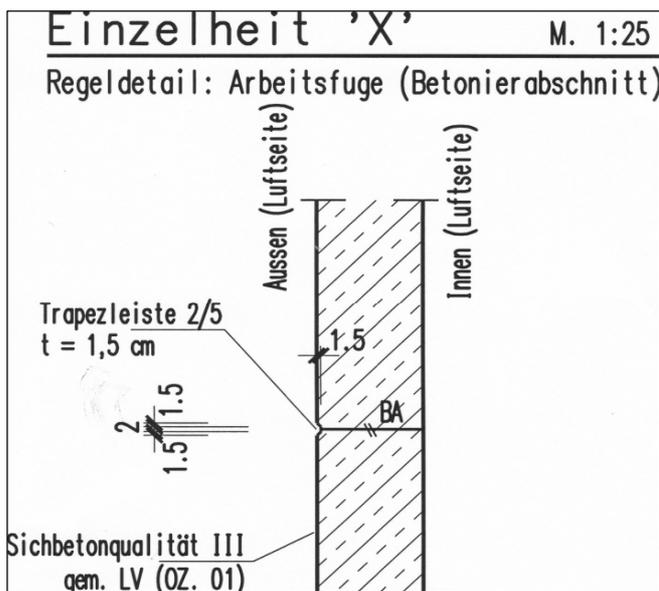


Bild XV. Schnitt Lüfterturm



Arbeitsfuge zwischen dem ersten und zweiten Betonierabschnitt der Lüfterturmwände wurden keine Bleche oder sonstige Maßnahmen zur Fugenabdichtung eingebaut. Die Fuge unterliegt keinen Beanspruchungen durch hydrostatischen Wasserdruck und Regenwasser trocknet in kurzer Zeit ab. Durch das Gewerk Dachabdichtung wurde die Arbeitsfuge zwischen der Rohdecke und dem ersten Betonierabschnitt abgedichtet. Somit bedarf es auch an dieser Stelle keiner Maßnahme die der Fugenabdichtung dient. Der Fugenschluss war über die durchlaufende Bewehrung gegeben (siehe Bild XV).

Im Bild XVI ist die Arbeitsfuge zwischen den Betonierabschnitten dargestellt. Lediglich der Einbau einer Trapezleiste war vorgesehen. Diese Leiste dient zur optischen Trennung der Betonierabschnitte und hat keine abdichtende Funktion.

Bild XVI. Detailauszug Arbeitsfuge Lüfterturm

## 10. Ankern von Schalungssystemen

Beim Einbau von Beton in die Schalung wird ein beträchtlicher Horizontaldruck auf senkrecht stehende, horizontale oder auf geneigte Schalungen ausgeübt. Diese Kräfte werden über die Schalungshaut auf die Rahmen oder Träger und Riegel geleitet und punktförmig durch die Schalungsanker aufgenommen. Da der Frischbetondruck einer Wand auf beiden Schalflächen in gleicher Größe, allerdings in entgegen gesetzter Richtung vorhanden ist, tritt der Schalungsanker als Zugglied auf und hält das System im Gleichgewicht. Dieser Anker, auch unter dem Begriff Spannstelle bekannt, ist ein Verbindungselement, das zwei Schaltafeln miteinander verbindet. Als Zugglied ist der Anker in der *DIN 18216* definiert. Der Schalungsanker besteht aus den Komponenten Ankerplatte, Ankerverschluss, Ankerstab sowie den Abstandshaltern. Die Ankerplatten leiten die Kräfte von der Schalung auf den Ankerverschluss ab. Der Ankerverschluss ist das Bindeglied zwischen Ankerplatte und Ankerstab und leitet die Kräfte in den Stab ab. Ankerverschlüsse werden in vier Gruppen unterschieden - den Keilverschluss, den Exzenterverschluss, den Keil- Exzenterverschluss sowie den Schraubverschluss. Der Keilverschluss überträgt die Kräfte durch Festklemmen des Ankerstabes mittels Keil, der Exzenterverschluss durch Festklemmen des Ankerstabes mittels Exzenter<sup>9</sup>. Der Keil- Exzenterverschluss ist eine Kombination aus den beiden vorgenannten Varianten. Eine Deformation und der Verlust des Ankerstabes ist bei diesen Verschlüssen meist die Folge und muss berücksichtigt werden. Infolge der Krafteinleitung und unter Verwendung von Reibung sind hohe Materialbeanspruchungen und Verschleiß zu vermeiden. Diese Formen der Verschlüsse spielen in der Praxis eine eher untergeordnete Rolle. Der Schraubverschluss ist durch die Lastableitung mittels Mutter, die auf ein Gewinde des Ankerstabes aufgeschraubt ist, gekennzeichnet. Die Muttern sind meist als Flügelmutter ausgebildet, damit ein einfaches Befestigen und Lösen mittels Hammer möglich ist. Diese Form der Lastübertragung ist in der Praxis die am häufigsten angewandte Methode. Gerade im Bereich der Großflächenschalung muss durch die minimierte Anzahl der Ankerstellen eine hohe Zugfestigkeit gewährleistet sein.

Der Ankerstab, das Zugglied, nimmt die eingeleiteten Kräfte auf. Bei einhäutigen Schalungen werden die Kräfte über besondere Verankerungsmittel in den Ankergrund abgeleitet. Standardmäßig hat sich auf Baustellen das Ankergewinde mit einem Durchmesser von 15 Millimetern durchgesetzt. In Ausnahmefällen kommen auch Durchmesser von 20 beziehungsweise 26,5 Millimetern zum Einsatz.

---

[SCH01] [DIN 18216]

Die Zugbelastung der Ankerstäbe ist in der *DIN 18216* genormt und in Belastungsklassen eingeordnet. Ankerstäbe dürfen weder wärmebehandelt noch geschweißt werden, denn ein eklatanter Tragkraftabfall ist die Folge von Gefügeveränderungen. Der Markt bietet bereits schweißgeeignete Ankerstäbe zur Verarbeitung an, dennoch ist das Schweißen der Ankerstäbe auf Baustellen untersagt. Nur unter kontrollierten Bedingungen können diese Stäbe geschweißt werden, doch liegen diese auf der Baustelle nicht vor. Zur Verbindung gestoßener Ankerstäbe, beispielsweise beim Schraubkonus oder der Schraubmuffe, kommt die Ankerstab- Stoßverbindung zum Einsatz. Durch den Einbau von Abstandhaltern wird der lichte Abstand in der Schalung beim Spannen des Ankerstabes gesichert. Die Anforderungen an Ankerstellen sind nicht definiert und es existieren keine Normen oder Regelwerke zur Charakterisierung. Die Anordnung und Ausbildung der Schalungsanker ist durch den Gestaltungsentwurf festzulegen und abzustimmen. Durch die meist verwendete Rahmenschalung ist das Raster vorgegeben und nicht modifizierbar. Bei der Verwendung von Trägerschalungen hat sich die Anordnung nach einem gleichmäßigen System als zweckmäßig erwiesen. Das durch die Ankerstelle entstandene Loch, in der Ansichtsfläche der Betonwand, kann mit Mörtel oder einem Kunststoffstopfen verschlossen oder mit Beton- beziehungsweise Faserzementkonen verklebt werden. Die optische Gestaltung kann dabei individuell erfolgen.

Für spezielle Anwendungen kommen Betonanker, Klebeanker und Felsanker zum Einsatz. Der Betonanker wird in ein anderes Bauteil einbetoniert, um daran die Schalung zu befestigen. Diese Anker werden bei Abstützböcken für einhäuptige Schalungen oder bei Kletter- und Sperrschalungen eingesetzt und meist als Sperr- oder Wellanker ausgebildet. Beim Betoniervorgang ist darauf zu achten, dass die Lage beibehalten und das Gewinde nicht verschmutzt wird. Der Betonanker ist zur Aufnahme von hohen Zugkräften geeignet, was aber nur durch die genaue Lage und Anzahl der Anker gewährleistet werden kann. Diese Festlegungen müssen zwingend im Zuge der Arbeitsvorbereitung getroffen werden, um den nachträglichen Einbau von Klebeankern zu vermeiden. Diese werden erst bei Bedarf gesetzt und die Kraftübertragung erfolgt durch einen Klebeverbund. Die kraftschlüssige Verbindung kann durch die Zerstörung der im Bohrloch befindlichen Klebepatrone erzeugt werden. Diese Zerstörung erfolgt durch die rotierende Ankerstange. Dabei erfolgt die Vermischung und Aushärtung der zwei Komponenten des Klebstoffes an Ort und Stelle. Die Ankerstange wird dadurch im Bohrloch festgehalten. Der Felsanker wird zur Verankerung von Schalungen im Gestein oder Beton verwendet.

Analog der Klebeanker, ist die Lage der Ankerstelle nicht im vorlaufenden Takt festgelegt, sondern erst bei Bedarf wird der Anker über eine Bohrung im Bauteil fixiert. Eine Spreizeinheit versperrt sich innerhalb des Bohrloches und bietet dem Anker halt. Schalungsanker in Bauteilen mit hohen Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit stellen Schwachstellen dar und müssen gesondert betrachtet werden.

### 10.1 Wasserdichte Ankerstellen

Für Beton mit einem hohen Wassereindringwiderstand sind die vor beschriebenen Ankerlösungen nicht hinreichend zuverlässig und dauerhaft. Bei der Belastung durch einen hohen Wasserdruck werden mehrteilige Ankerstäbe, mit verlorenen Wassersperren, eingesetzt. Die Beschaffenheit der Schalungsanker muss eine ausreichende Sicherheit gegen die Umläufigkeit des Wassers bieten. Anker, die durchgehende Hohlräume hinterlassen, dürfen bei drückendem Wasser nicht verwendet werden. Weiterhin ist zu beachten, dass Ankerlöcher, wie bereits erläutert, vollständig zu verschließen sind. Das kann mittels zementgebundenen Ankerverschlussmörtel oder mittels Kunststoffstopfen geschehen. Verbleibende, also verlorene Ankerteile, müssen mindestens 50 Millimeter unter der Betonoberfläche enden. Einfache Rundstäbe sind als Schalungsanker in Bauteilen mit hohem Wassereindringwiderstand ungeeignet. Ebenso ist darauf zu achten, dass die Anker nicht im Bereich einer Fugenabdichtung liegen oder diese sogar durchstoßen. Auch die Undurchlässigkeit von Gasen oder Strahlung, wie Röntgen- oder Neutronenstrahlung, kann eine Anforderung an ein Bauteil sein. Hierfür bieten die Ankersysteme, analog der Wasserundurchlässigkeit von Bauteilen, gute Lösungsansätze. Grundsätzlich kann Beton mit einem hohen Wassereindringwiderstand als gasundurchlässig verstanden werden, obwohl eine völlige Gasdichtheit bei Materialien nicht erreicht werden kann. Beim Einbau von Strahlenschutzbeton sollte man verlorene Schalungsanker verwenden, da das Verschließen von Ankerlöchern keinen ausreichenden Schutz bietet und damit unzulässig ist.

Wasserdichte Ankerstellen können durch diverse Systeme realisiert werden. Hierbei zu nennen ist die **Wassersperre mittels Blech**. Dieser Anker besteht in der Regel aus einem Sperrblech, das beidseitig mit Gewindestäben verschweißt ist. Die Länge der Elemente ist geringer als die geforderte Wandstärke, so dass die Enden auf jeder Seite die geforderte Betondeckung einhalten. Auf die Enden werden Konen aufgeschraubt, die als Verbindungsmuffe für die Außenteile des Ankerstabes dienen.

Nach dem Betonieren werden die äußeren Ankerstäbe sowie die Schraubkonen entfernt und die Löcher mit Sperrmörtel verschlossen. Das verlorene Sperrblech des Plattenankers verbleibt im Beton. Auch Wassersperren in Form von **Gussstücken** finden im Bereich der Schalungsankerung ihre Anwendung. Analog der Abdichtung mittels Sperrblech, werden beidseitig Gewindestangen zur Ankerung eingebaut und nach dem Betonieren wieder gewonnen. Die Wassersperre verbleibt in der Wand und verhindert die Umläufigkeit des Wassers. Weiterhin kommt die **Spannstelle aus Kunststoff** zum Einsatz. Bei diesem System verbleibt die Kunststoffdurchführung im Beton und der Ankerstab wird geborgen. Bei erhöhten Anforderungen an den Brandschutz der Bauteile, kommen nur Faserbetonsysteme zum Einsatz. So kann man den Ankerstab wieder gewinnen, indem man durch ein Faserbeton-Spreizrohr ankert. Hierbei verbleibt das Spreizrohr im Beton und wird mit einem Faserbetonstopfen verschlossen.

### 10.1.1 Ankerlösung der Wände des Basisbauwerks

Die Erstellung der Wände des Basisgebäudes erfolgte mittels Rahmenschalung mit einer Vorhaltemenge von 500 Quadratmetern. Einseitig erfolgten die Bewehrungsarbeiten von einem Systemgerüst, an einer Stellschalung von 9,90 Metern Höhe. Nach der Bewehrungsbegehung und Freigabe der Betonierarbeiten wurde die fehlende Schaltafel gestellt und die Wandschalung über Ankerstellen geschlossen.



Bild XVII. Hüllrohre für Ankerstäbe der Rahmentafel

---

Diese Elemente bestanden zum einen aus einer 4,50 Meter und aus einer 5,40 Meter hohen Rahmentafel. Durch Löcher in der Schalhaut der Rahmentafel, konnten die Ankerstäbe durchgeführt und die Ankerstellen miteinander verbunden werden. Dieses Raster ist bei Rahmentafeln nicht modifizierbar. Für die Ankerung der Wände wurde ein weiteres System verwendet – die Ankerung durch eine wasserdichte **Kunststoff- Spannstelle**. Die Hüllrohre waren demnach Kunststoff- Durchführungen, die nach Entfernen des Ankerstabes mittels Kunststoffstopfen verschlossen wurden (siehe Bild XVII). Die Anker gingen nicht verloren, sondern konnten bei nachfolgenden Einsätzen wieder verwendet werden.

Die wasserdichte Schalungsspannstelle besteht aus einem Kunststoffrohr mit einem Innendurchmesser von 22 Millimeter sowie einer integrierten Wassersperre. Zusätzlich ist das Kunststoffrohr mit einer Spezialbeschichtung versehen, die den wasserundurchlässigen Verbund zwischen der Spannstelle und dem Beton gewährleistet. Das Verschließen der Spannstelle, nach dem Entfernen des Ankerstabes, erfolgte durch zwei Dichtstopfen, die durch Eindrücken in das Innere des Rohres eingebracht wurden. Anschließend wurde beidseitig ein Stopfen wandbündig eingeschlagen. Die geprüfte Wasserdichtheit beträgt 10 bar in Einschlagrichtung des Rohres. Durch das stabile Material kann dieses System als Abstandhalter für diverse Wandstärken dienen.

### 10.1.2 Ankerlösung der Lüfterturmwände

Die Verankerung der Schalung der Lüfertürme erfolgte durch eine begrenzte Anzahl von Ankern, denn das Rundschalungssystem wurde hauptsächlich über Elementverbindungen gehalten. Durch Richtschlösser konnten die Schalelemente einfach und schnell verbunden werden. Dank stufenloser Verbindung wurden die Zwischenräume mittels Ausgleichshölzern ausgefüllt. In der Regel werden die Ausgleichshölzer vom Anbieter geliefert, eine bauseitige Stellung dieser Hölzer ist zu vermeiden. Der Zuschnitt muss genau auf das System angepasst und maßgerecht ausgeführt werden, um die Dichtheit des Systems zu gewährleisten. Für die Schalarbeiten der Lüfterturmwände musste für die Herstellung der Passhölzer ein Tischler akquiriert werden, denn die Hölzer wurden nicht vom Schalungslieferanten bereit gestellt. Die Herstellung dieser Hölzer direkt auf der Baustelle ist kaum möglich und von zu großer Ungenauigkeit geprägt. Der erforderliche, konische Zuschnitt konnte in diesem Fall nur von einem Tischler maßgenau hergestellt werden. Für die Verankerung kamen Schraubverbindungen zum Einsatz. Analog den Wänden des Basisgebäudes wurde durch die Kunststoff- Durchführungen geankert und mittels Schraubverschluss wurden die Ankerstäbe befestigt. Bei den Ausschalarbeiten wurden die Anker geborgen, die entstandenen Löcher mittels Stopfen verschlossen (siehe Bild XVIII) und im Außenbereich der Türme verspachtelt.



Bild XVIII. Innenansicht Lüfterturm nach Fertigstellung

## 11. Sicherheit am Bau

### 11.1 Rechtliche Aspekte des Arbeitsschutzes

#### 11.1.1 Notwendigkeit des Arbeitsschutzes

Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter sind eine wesentliche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg von Unternehmen und für eine gelungene Abwicklung eines Projektes. Dies gilt umso mehr am Bau, bei dem persönlicher Einsatz, handwerkliches Können und Erfahrung jedes Einzelnen täglich neu gefordert werden. Vielfach wird hierbei jedoch übersehen, dass Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter vor Ort nicht allein auf deren Fähigkeiten und Motivation beruht. Die Bauabläufe müssen vom Bauleiter aktiv geplant, umfassend vorbereitet und stetig verbessert werden. Ein reibungsloser Bauablauf ist im Interesse aller am Bau Beteiligten. Neben den gewerblichen Arbeitnehmern sowie den Bauüberwachenden Personen profitieren auch die Bauherren von störungsfreien Abläufen, kurzen Bauzeiten sowie einer einfachen und sicheren Wartung und Instandhaltung der Bauten.

Im Baugewerbe besteht laut Statistik die höchste Unfallquote im Verhältnis zu anderen Bereichen der gewerblichen Wirtschaft. Um Tragik und Kostenerhöhung als Ergebnis von Unfällen zu vermeiden, muss durch entsprechende Maßnahmen vorgebeugt werden. Derartige Regelungen sind in verschiedenen Gesetzen und Verordnungen festgeschrieben. Der technische Arbeitsschutz bekämpft die Gefahren am Arbeitsplatz und in betrieblichen Einrichtungen. Die entsprechenden Vorschriften sind in der Gewerbeordnung, dem Arbeitssicherheitsgesetz, dem Maschinenschutzgesetz sowie in den Unfallverhütungsvorschriften definiert. Bei dem sozialen Arbeitsschutz soll die Belastung der Belegschaft durch Schutzbestimmungen begrenzt werden. Hierbei sind die Richtlinien in der Arbeitsstättenverordnung, in der Winterbau-Verordnung sowie im Jugendarbeitsschutz, um einige wenige zu nennen, festgehalten. Firmenintern ist die Fachkraft für Arbeitssicherheit zuständig für Beratungen zur Thematik Arbeitsschutz. Des Weiteren wird durch jährliche Schulungen sichergestellt, dass die Sicherheitsbeauftragten sowie die Ersthelfer im Ernstfall immer nach dem aktuellen Stand der Vorschriften handeln und die Fähigkeiten auffrischen und festigen. Die Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen geben den Stand der Technik bezüglich Sicherheit und Gesundheitsschutz wieder. Sie werden vom *Ausschuss für Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (ASGB)* aufgestellt und der Entwicklung angepasst.

Auf Baustellen bieten die von der *Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft* entwickelten *Bausteine* eine Übersicht über die wichtigsten Sicherheitsregeln zur Unfallverhütung. Die persönliche Schutzausrüstung<sup>10</sup> (PSA) sowie das Bedienen von Baumaschinen sind dargestellt und bieten dem Bauleiter oder dem Sicherheitsbeauftragten vor Ort einen Leitfaden zur sicheren Abwicklung von Bauvorhaben. In erster Linie trägt der Bauleiter die volle Verantwortung für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz auf der Baustelle und er ist für die Einhaltung der Richtlinien zuständig.

Das *Arbeitsschutzgesetz* stellt die Grundlage des deutschen Arbeitsschutzes dar und bildet die Basis für die Regelungen zum Schutz gegen Unfälle. Die Grundpflichten der Arbeitgeber und Arbeitnehmer werden in diesem Gesetz geregelt. Es schreibt die gewohnte Parität der Aufgaben des Staates und der Unfallversicherungsträger fort. Die Abgrenzung wurde in den Durchführungsanweisungen zum Arbeitsschutzgesetz im VII. Sozialgesetzbuch geregelt, wobei Überschneidungen von parallel geltenden staatlichen und berufsgenossenschaftlichen Arbeitsschutzbestimmungen nicht vermieden werden konnten. Das Arbeitsschutzgesetz setzt die europäische Rahmenrichtlinie konsequent um und verfolgt das Ziel, auch kleineren Unternehmen sicherheitsorientierte und kostengünstige Schutzmaßnahmen zu ermöglichen. Dem Gesetz nach ist jeder Arbeitgeber verpflichtet, alle erdenklichen Maßnahmen zu ergreifen, die für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer bei der Arbeit unerlässlich sind. Ein besonderes Gebot des Arbeitsschutzgesetzes ist die nach §5 geforderte Beurteilung der Arbeitsbedingungen auf Baustellen im Hinblick auf Gefährdungen der Beschäftigten. Diese Gefährdungsbeurteilung dient der Ermittlung des Gefährdungspotentials. Demnach muss der Arbeitgeber gezielte Schutzvorkehrungen treffen und deren Einhaltung und Wirksamkeit prüfen. Die Gefährdungsbeurteilung ist als eine wichtige Arbeitgeberpflicht hinsichtlich der Unfallverhütung anzusehen. Sie kann gleichzeitig als Ausgangspunkt für wirksame und zielgenaue Arbeitsschutzmaßnahmen genutzt werden. Schwachstellen der Arbeitsvorbereitung werden aufgedeckt und somit können Ausfallzeiten von Arbeitsmitteln und Arbeitskräften minimiert werden. Ein weiterer Vorteil ist die Optimierung der Arbeitsabläufe was mit einer Unfallverhütung einhergeht. Der Aufwand einer genauen Gefährdungsbeurteilung wird durch die positive Beeinflussung des Bauablaufs gerechtfertigt und sollte somit vor Baubeginn eines jeden Projektes Bestandteil der Arbeitsvorbereitung sein.

### 11.1.2 Bauherrenpflicht nach der Baustellenverordnung

Das vornehmliche Ziel der *Baustellenrichtlinie 92/57/EWG* und der am 01. Juli 1998 in Kraft getretenen *Baustellenverordnung (BaustellV)*, die das Arbeitsschutzrecht ergänzen soll, ist die Verringerung des Unfall- und Gesundheitsrisikos im Baugewerbe. Auf Baustellen ergeben sich Gefahrensituationen, insbesondere aufgrund der sich ständig ändernden Verhältnisse, der Witterungseinflüsse und des immer gegebenen Termindrucks. Aus der Tatsache, dass verschiedene Gewerke parallel ausgeführt werden müssen, erhöht sich das Gefahrenpotential. Die Baustellenverordnung richtet sich an den Bauherrn und verlangt von ihm, neben dem Einsatz eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinators (SIGEKO), die Erbringung aller notwendigen Maßnahmen zur Sicherung des Schutzes der am Bau Beteiligten.

Neben den am Bau Beteiligten Firmen trägt auch der Bauherr die Verantwortung für das Bauvorhaben, die Sicherheit und den Gesundheitsschutz. Schon in der Planungsphase sollte er die Koordination der auszuführenden Arbeiten sowie die nötigen Schutzmaßnahmen bedenken und steuern. Durch die Baustellenverordnung werden dem Bauherrn zusätzliche Pflichten auferlegt. So müssen die Arbeiten durch die Planung des Bauvorhabens so gestaltet werden, dass eine Gefährdung von Leben und Gesundheit möglichst vermieden wird. Größere Baumaßnahmen müssen der Bauaufsichtsbehörde gemeldet werden. Diese Bauvorhaben sind durch die voraussichtliche Dauer der Arbeiten von mehr als 30 Arbeitstagen und mehr als 20 gleichzeitig beschäftigten Arbeitnehmern charakterisiert. Die gleichzeitige Tätigkeit ist dadurch gekennzeichnet, dass planmäßig mindestens 21 Personen im gleichen Zeitraum auf der Baustelle arbeiten. Bei einer Überschneidung mehrerer Gewerke muss ein Koordinator bestellt werden und ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan ist zu erstellen.

Dank einer frühzeitigen Planung der Schutzeinrichtungen und Vorsorgemaßnahmen sowie deren Berücksichtigung in der Ausschreibung, kann eine spätere Gefährdung sowohl der am Bau Beteiligten als auch von nicht betroffenen Dritten minimiert werden. Die Umsetzung der Schutzforderungen bedeutet für den Bauherrn auf den ersten Blick eine Kostenerhöhung. Allerdings können die Ausgaben, beispielsweise durch eine gemeinsame Nutzung der Schutzeinrichtungen, durch Vermeidung von Terminverzögerungen und Störungen des Bauablaufs, durch spätere effizientere Wartungsarbeiten und nicht zuletzt durch Reduzierung des unfallbedingten Arbeitszeitausfalls, verringert werden.

### 11.1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutz nach Baustellenverordnung

Laut §3 der Baustellenverordnung nimmt der Sicherheits- und Gesundheitsschutz- Plan (SIGE- Plan) sowie der -Koordinator (SIGEKO) eine zentrale Stelle ein. Der SIGEKO ist ein in der Planungsphase vom Bauherrn bestellter Sachverständiger. Zu seinen Aufgaben gehört die Erstellung eines SIGE- Planes in der Planungsphase sowie dessen Fortführung und Anpassung im Laufe der Ausführung. Der SIGEKO muss die Umsetzung aller von ihm festgelegten Maßnahmen koordinieren und mit den am Bau Beteiligten abstimmen. Der SIGE- Koordinator ist ausdrücklich für die Überwachung der Arbeitssicherheit zuständig. Im Sinne der Baustellenverordnung muss er über berufliche Kenntnisse und Erfahrungen auf Baustellen verfügen. Gleichmaßen ist dies auf dem Gebiet der Arbeitssicherheit notwendig. Die Eignung eines SIGE- Koordinators hängt von den besonderen Anforderungen der jeweiligen Baustelle ab. Der Bauherr muss im Rahmen seiner Organisationsverantwortung die Eignung des von ihm bestellten SIGE- Koordinators beurteilen. Ein besonderer Qualifikationsnachweis ist hierfür gefordert. Es werden von unterschiedlichen Instituten Ausbildungslehrgänge angeboten, bei denen grundlegende Kenntnisse zur Planung und Abstimmung in der Ausführung vermittelt werden.

Die *RAB 31 (Regel zum Arbeitsschutz auf Baustellen)* beschreibt die grundsätzlichen Anforderungen an Sicherheits- und Gesundheitsschutzpläne. Durch den Leitfaden werden Empfehlungen zur Ausarbeitung eines SIGE- Planes, der die Forderungen der Baustellenverordnung erfüllt, gegeben. So muss ein SIGE- Plan vor dem Baubeginn eines Objektes erstellt werden und während dem Fortgang der Arbeiten müssen eingetretene Änderungen erfasst und eingearbeitet werden. Die auf die jeweilige Baustelle bezogenen Bestimmungen müssen in dem Plan enthalten sein und bei besonders gefährlichen Arbeiten gilt es spezielle Maßnahmen zur Sicherung zu entwickeln und umzusetzen.

Nach der Fertigstellung eines Objektes bedarf es meist einer Pflege sowie Instandhaltung des Bauwerks und dessen Einbauten. Je nach Art können die damit verbundenen Arbeiten Gefahren für die Beschäftigten in sich bergen. Werden spezielle Vorrichtungen für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten bereits bei der Planung der baulichen Anlage berücksichtigt, können neben der Steigerung der Arbeitssicherheit auch weitere finanzielle Vorteile für den Bauherrn erzielt werden.

Die Erarbeitung eines Konzeptes für eine sichere und reibungslose Instandhaltung beginnt in der Planungsphase, wird im Verlauf der Arbeiten angepasst und nach Abnahme des Bauwerks werden dem Bauherrn die Unterlagen übergeben. Darin enthalten sind alle Merkmale des Bauwerks, die Beschreibung zweckdienlicher Angaben hinsichtlich der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes sowie die Zusammenstellung aller vorgesehenen Sicherheitseinrichtungen für spätere Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten.

Obwohl die Baustellenverordnung und ihre Forderungen positive Ansätze für die Unfallverhütung darstellen, ist die Anwendung und Wirkung meist nicht ausreichend. Erfahrungsgemäß ist die Bereitschaft zur Honorierung und Bezahlung eines SIGE-Koordinators nicht vorhanden, was mit einer oberflächlichen Erstellung eines SIGE-Planes einhergeht. Zwangsläufig wird an die Anfertigung eines SIGE-Planes und an der Häufigkeit der Baustellenrevision gespart. Der Effekt, dass sicheres Arbeiten zu niedrigen Kosten und qualitativ höheren Leistungen führt, wird nicht wahr genommen. Somit bleibt die Eigenverantwortung der am Bau Beteiligten weiterhin in einem hohen Maß bestehen und ist zwingend für die positive Abwicklung von Projekten notwendig.

## 11.2 Unfallschwerpunkt Bauwirtschaft

Die Zahl der Arbeitsunfälle ist in der gewerblichen Wirtschaft in den vergangenen Jahrzehnten ständig zurückgegangen. Trotzdem ist die Bauwirtschaft mit den Unfallzahlen der Spitzenreiter unter den Gewerbebranchen. Abstürze stehen unter den schweren und tödlichen Arbeitsunfällen an besonders exponierter Stelle und zählen zu den häufigsten Unfällen. Durch die spezifischen Gegebenheiten eines jeden Bauvorhabens ergeben sich spezielle Maßnahmen für die Organisation von Arbeitsabläufen. Daraus folgt, dass auf jeder Baustelle sehr unterschiedliche, sicherheitstechnische Aufgaben zu lösen sind. Ständig wandelnde Situationen auf Baustellen, die beispielsweise auf die Fertigstellung von Bauteilen zurück zu führen sind, erschweren die Erstellung der ausreichenden Schutzmaßnahmen. Ein angemessenes und richtiges Verhalten ist, im Gegensatz zu stationären Arbeitsplätzen, enorm wichtig. Einen ungünstigen Einfluss auf die Sicherheit einer Baustelle übt die Witterung aus. Kälte, Glätte und Niederschläge erhöhen die Unfallgefahr. Der Arbeitnehmer muss sich ständig an neue Arbeitsweisen, Arbeitsabläufe und Arbeitsbedingungen anpassen. Eine ständige Aufsicht einer leitenden Person ist, auf Grund der Weitläufigkeit und Unübersichtlichkeit die auf einer Baustelle erfahrungsgemäß herrscht, unumgänglich. Nur wenn alle Beteiligten zur Verhütung von Unfällen beitragen, ist die unfallfreie Abwicklung von Projekten gewährleistet.

Als Träger für die gesetzlichen Unfallversicherungen für das Bauwesen sind die *Bau-Berufsgenossenschaften (BG Bau)* für die Definition des Arbeitsschutzes und die Veröffentlichung der *Unfallverhütungsvorschriften (UVV)* zuständig. Zusätzlich bewegt sich die BG Bau im Bereich der Heilbehandlung, Umschulung und Entschädigung der durch Berufsunfälle oder -krankheiten geschädigten, pflichtversicherten Arbeitnehmer. In verschiedenen Merkblättern und Sonderheften sowie in Schulungen werden die Sicherheitsregeln erläutert und vermittelt. Die technischen Aufsichtsbeamten sind für die Überwachung der erlassenen Vorschriften zuständig. Die Bauleitung hat die Aufgabe, die Zusammenarbeit aller am Bau Beschäftigten, im Hinblick auf Vermeidung gegenseitiger Gefährdung, zu organisieren. Für die einzelnen Arbeitsvorgänge sind die Verantwortlichen rechtzeitig zu bestimmen. Aufstellung, Vorhaltung und Überlassung von Gerüsten und Schutzeinrichtungen sind in den einzelnen Arbeitsbereichen vorausschaubar zu regeln. Bei der Baustellenbegehung ist auf das Vorhandensein und den Zustand der Einrichtung zu achten.

### 11.3 Leistungsanforderung an den Bauleiter

Bauprozesse sind wechselvolle und vielseitige Abläufe, die durch eine Vielzahl unterschiedlicher Randbedingungen, sowie spezielle Anforderungen an das zu erstellende Bauwerk geprägt sind. Der Bauüberwachende Bauleiter muss zu Beginn seiner Tätigkeit sowohl seine eigenen Arbeitsabläufe organisieren und einzusetzende Mittel und Methoden auf die konkrete Arbeitsaufgabe abstimmen, als auch den Bauprozess organisatorisch planen, damit er als Bauleiter seiner Aufgabe in der Bauüberwachung gegenüber Dritten nachkommen kann. Viele Projekte beginnen chaotisch und dieser Zustand hält, für die Beteiligten, meist unerträglich lange an. Oft wird in der Praxis ohne Struktur und ohne Auswahl sowie Anpassung geeigneter Arbeitsmittel mit einem Projekt begonnen. Zweifellos sind in den ausführenden Firmen Arbeitsmittel und Erfahrungen aus bereits abgewickelten Vorhaben vorhanden. Die richtige Auswahl ist entscheidend, um das spezielle Bauvorhaben zu realisieren und die Wünsche des Bauherrn zu erfüllen. Zu Beginn eines Projektes müssen die organisatorischen Reglements klar definiert und Arbeitsmittel sinnvoll ausgewählt und installiert werden. Die richtigen, organisatorischen Vorbereitungen sind maßgebend, um die recht turbulenten Startzeiten eines Bauvorhabens zu kontrollieren und zu leiten. Durch Projekteinleitungsgespräche können die Aufgabenbereiche klar definiert und Entscheidungsträger bestimmt werden. Darüber hinaus sollte eine monatliche Projektbesprechung erfolgen, um die Turbulenzen einzudämmen und einen geregelten Bauablauf zu erzielen.

Die Errichtung des Lüftergebäudes für das Bauvorhaben Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala zeigt den Verantwortungsbereich eines Bauleiters auf. In der gründlichen Vorbereitung einer Baustellendurchführung liegt der Schlüssel zu wirtschaftlichem und technischem Erfolg eines Objektes. Die komplexen Aufgaben eines Bauleiters erfordern fachlich exakte und rechtlich sichere Lösungen. Grundlage für alle Überlegungen ist, dass eine Baustelle umso reibungsloser abgewickelt werden kann, je genauer die Arbeitsvorbereitung betrieben wurde. Der Dialog zwischen Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Bauleitung ist die Grundvoraussetzung für eine gründliche Abwicklung eines Projektes. Hierfür reicht das fachliche Wissen im Bereich der Bautechnik längst nicht aus. Schlagwörter wie Projektmanagement, Kostenkontrolle und Mitarbeitermotivation prägen die Baustellenorganisation und dem wird mehr und mehr Aufmerksamkeit geschenkt.

Vielmehr muss ein guter Bauleiter in allen Bereichen des Bauens ein weit reichendes und fundiertes Wissen mitbringen, um am Ende eines Bauvorhabens nicht nur ein mangelfreies, sondern auch ein wirtschaftlich gutes Ergebnis zu erzielen. Ein erfolgreicher Bauleiter hat in Zeiten schneller Medien und immer höher werdenden Vertragsstrafen auch eine gestiegene Verantwortung an seine Unternehmung. Nach wie vor bleibt dem Geschick, dem Einfühlungsvermögen und dem technischen Wissen eines Bauleiters, bei der verantwortlichen Leitung einer Baustelle, großer Spielraum. Dies wird auch in Zukunft ein wesentliches Kriterium für die Tätigkeit des Bauleiters bleiben.

### **11.3.1 Sichere Verwendung von Schaltafeln**

Grundsätzlich sind die Verwendungsanleitungen sowie die Montagehinweise der Schalungshersteller zu beachten und einzuhalten, welche sich fortwährend auf der Baustelle befinden sollten. Darin geregelt ist die Reihenfolge des Auf-, Um- und Abbaus der Schalung. Gewichtsangaben zu den einzelnen Schaltafeln sind beim Versetzen mittels Krantechnik vonnöten, um einen sicheren Transport gewährleisten zu können. Dazu notwendig sind auch Angaben zur Lage der Anschlagpunkte sowie der geeigneten Anschlagmittel. Abmessungen, wie Länge und Breite der Arbeitsbühnen einschließlich des Seitenschutzes und diverser Zugänge, sind Gegenstand der Montagehinweise. Lose Kleinteile sind vor dem Transport, verbleibende Teile gegen Herabfallen, zu sichern. Gefahr besteht bei ungewöhnlichen Windstärken. Bei diesem Lastfall sind die Schalelemente nur mit Leitseilen während des Krantransportes zu führen, Schrägzug ist zu vermeiden. Ist die Gefahr zu groß, wird der Kranbetrieb eingestellt. Diese Entscheidung obliegt dem Kranführer. Grundsätzlich gilt, dass der Kranbetrieb bei Windgeschwindigkeiten ab 13 Metern pro Sekunde und/oder bei Gewitter einzustellen ist. Die Anschlagmittel sollten erst gelöst werden, wenn alle Schalelemente standsicher abgestützt und auf einem tragfähigen Untergrund aufgestellt sind. Betoniergerüste müssen mit einem Seitenschutz versehen werden, wobei Arbeitsplätze so anzuordnen sind, dass sie leicht und ohne zusätzliche Leitern oder Böcke erreicht werden können. Meist sind vom Schalungshersteller sichere Zugänge zu den Arbeitsplätzen durch systemgebundene Treppen oder Leitern vorgesehen.

### 11.3.2 Sicherungsmaßnahmen bei der Errichtung des Lüftergebäudes

Bei der Abwicklung des Lüftergebäudes des Bauvorhabens Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala, lag die Verantwortung der sicheren Montage der Schalung im Aufgabenbereich des zuständigen Bauleiters und seines Poliers. Durch langjährige Erfahrung im Bereich der Ortbetonbauweise konnte das Bauvorhaben ohne Zwischenfälle abgewickelt werden und Störungen in Form von Unfällen traten nicht auf. Alle Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten der Wandbereiche des Basisgebäudes wurden von einem Arbeitsgerüst realisiert. Dieses Gerüst bestand aus 2 Meter langen Elementen und wurde polygonal um die Lüfterturmwände aufgestellt. Die Gesamthöhe der Rüstung betrug 10 Meter. Damit war nicht nur ein gefahrloser Aufstieg für das Personal, sondern gleichzeitig ein sicheres Arbeiten ausgehend von dem Gerüst, gewährleistet. Nach Fertigstellung der Rohdecke des Basisgebäudes wurde der erste Innenkern der Lüfterturmwandschalung gestellt. Durch fortlaufende Ein- und Umrüstmaßnahmen konnten die Bewehrungsarbeiten vom Gerüst erfolgen, die Schalung geschlossen und der erste Abschnitt betoniert werden. Das Gerüst wurde für den zweiten Betonierabschnitt auf 10 Meter Höhe aufgestockt und die Arbeiten konnten fortgeführt werden. Da eine Konsollösung durch den geringen Abstand der Türme untereinander nicht möglich war, wurde dieses Fassadengerüst als Arbeitsgerüst gewählt. Das Gerüst diente demnach als sichere Aufstiegshilfe, als Arbeitsplatz für Bewehrungsarbeiten sowie als Aufstandsfläche, die für die Betonierarbeiten ohnehin benötigt wurde. Im Innenkern der Lüfterturmwände befanden sich stabile Lasttürme, die zur Aussteifung der Schalung und als Aufstandsfläche im Innenbereich dienten. Als tragfähiger Untergrund für die Lasttürme diente die Deckenschalung der Rohdecke. Diese wurde durch zusätzliche Sicherheitsstützen unterstützt um die anfallenden Lasten sicher aufnehmen zu können.

Analog der Gerüsthilfen der Lüfterturmwände wurden die Wände des Basisgebäudes mit einem Fassadengerüst eingerüstet. Die Gesamthöhe betrug 10 Meter. Durch dieses Gerüst konnte ebenfalls ein sicherer Aufstieg sowie eine Aufstandsfläche für Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten sicher gestellt werden. Durch fortlaufende Umrüstung war eine ständige Anpassung an die sich regelmäßig verändernde Bauteilgeometrie gegeben. Die Gerüstarbeiten waren von unkompliziertem Charakter und es traten keine Schwierigkeiten beim Auf- sowie Abbau auf. Die Arbeiten wurden durch ein Gerüstbauunternehmen durchgeführt.

Weiterhin wurden alle Arbeitsschutzrichtlinien eingehalten. Das Tragen einer persönlichen Schutzausrüstung (PSA)<sup>10</sup>, ebenso das strikte Alkoholverbot wurde zu jedem Zeitpunkt durchgesetzt. Für die Sicherheit vor Ort war ein ausgebildeter Ersthelfer, in dem Fall ein Polier, verantwortlich. Unfallvermeidung ist nach wie vor ein wichtiges Ziel bei der Errichtung von Bauwerken. Doch nur in Zusammenarbeit von allen am Bau Beteiligten kann dieses Ziel realisiert werden. So konnte durch die Kooperation eines Sicherheitskoordinators, durch die Kontrollmaßnahmen des Bauleiters und Poliers sowie durch den verantwortungsbewussten Umgang des Personals, das Bauvorhaben ohne Zwischenfälle abgewickelt werden.

## 12. Schalungslösung der Lüfterturmwände

### 12.1 Charakteristik der Rundschalung

Verstellbare Rundschalungen (siehe Bild XIX) werden von diversen Anbietern in unterschiedlichen Konstruktionsarten, als System- oder Sonderschalung, angeboten. Jedoch ist die Mietauslastung recht unterschiedlich. Das liegt zum einen an den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten und zum anderen daran, dass es sich bei Rundschalungsprojekten um Objektgeschäfte handelt, die eine kontinuierliche Auslastung kaum ermöglichen. Das Einsatzgebiet reicht vom Kläranlagen-, Behälter- und Silobau bis hin zu Sportstätten- und Verkehrswegebauprojekten. Auch die unterschiedlichen Ausführungsarten müssen im Zuge



der Arbeitsvorbereitung erschöpfend beleuchtet und sorgfältig geprüft werden, da diese Objekte im Regelfall komplizierter als alltägliche Projekte sind. Dabei kann die Ausführung mittels Systemlösungen oder Sonderlösungen erfolgen, immer in Abhängigkeit des Bauteils und der Randbedingungen.

Bild XIX. Erster Schaltakt der Lüftertürme

Die Problematik der Rundschalung liegt grundsätzlich an der fehlenden Anpassung an jedes Objekt. Jedes Bauwerk weist unterschiedliche Radien, Wandhöhen und Ankerungsarten auf. Des Weiteren ist die Längenabwicklung der Außen- und Innenschale unterschiedlich. Die Variierbarkeit der einzelnen Elemente auf verschiedene Radien geschieht mit Spindeln, die mit Zwang die Schalhaut in die erforderliche Krümmung bringen und dort behalten. Der Befestigung der Schalhaut kommt somit eine ganz besondere Bedeutung zu. Die notwendige Längsanpassung, an die unterschiedlichen Abwicklungen innen und außen, erfolgt durch verschieden breite Elemente und durch Passhölzer zwischen den Elementen, wobei die Elementverbindung kritische Stellen bezeichnen. Eine Besonderheit stellt die ankerlose Rundschalung dar, bei der über einen Gelenkriegel-Ring der Frischbetondruck über den Ringzug aufgenommen wird. Hierbei können nur geschlossene Ringe geschalt werden, während bei der geankerten Schalung auch einzelne, gekrümmte Bauteile ausgeführt werden können.

Man unterscheidet zwischen spindelbaren Rundschalungen auf Basis einer Holzträgerschalung, ankerfreien Gelenkriegeln, verstellbaren Trapezträgerschalungen und Rundschalungen mit Gliedergurten. Auch polygonal einsetzbare Rahmentafeln sind Lösungen der verschiedenen Anbieter. Die Aufzählung der unterschiedlichen Systeme soll deutlich machen, dass man sich mit der Schalungslösung im Zuge der Arbeitsvorbereitung ausführlich und gewissenhaft auseinandersetzen muss, bevor eine Entscheidung für eine bestimmte Methode getroffen werden kann. Ein exakter System- und Kostenvergleich in der Planungsphase erspart Unstimmigkeiten in der Ausführungsphase. Den größten Marktanteil hat derzeit die spindelbare Rundschalung.

Die Konstruktionsunterschiede der **spindelbaren Rundschalung** liegen vor allen Dingen in der Wahl von Vollwand- beziehungsweise Gitterträgern und in der Verwendung von unterschiedlichen Aufbauarten der Schalungshaut. Es handelt sich hierbei um eine Systemschalung die aus mehreren Elementhöhen besteht. Diese Schalung kann in 60 Zentimeter Abschnitten bis auf über 7,00 Meter Höhe verbunden werden. Die vormontierte Schalung wird in geradem Zustand auf die Baustelle geliefert und die Einspindelung erfolgt erst vor Ort auf den gewünschten Radius. Dazu sind Bogenlehren als Kontrollinstrument aus Schalungshaut im Lieferumfang enthalten. Die Systeme können einen Frischbetondruck von ungefähr  $60 \text{ kN/m}^2$  aufnehmen. Als Schalungshaut werden in der Regel 21 Millimeter starke, filmbeschichtete Platten verwendet, um einen Radius ab 3,50 Meter auszubilden. Alternativ können mit einer Schalungshautstärke von 18 Millimetern Radien ab 2,50 Meter realisiert werden. Für noch geringere Radien ab 1,00 Meter werden die Elemente mit einer 9 Millimeter starken Platte versehen, wobei diese aber vor Ort nach dem Einspindeln mit einer weiteren 9 Millimeter starken Platte zu belegen sind. Nach dem Einstellen des erforderlichen Radius werden die Elemente mittels Kran aufgerichtet und miteinander verbunden. Der aufrechte Elementabschluss ist mit einem Endprofil aus Stahl eingefasst und bildet die Anschlussstellen für die Elementverbindungen. Die Endprofile sind meist analog den Verbindungsmitteln der Rahmenschalung. Das auf der Innenseite liegende Element wird je nach Wandstärke mit dem Außen liegenden Element verbunden, wobei ein Ausgleich mittels Passhölzern möglich ist. Die Schalkörper stehen sich somit radial gegenüber und ebenso radial verlaufen die Ankerungen.

Die **Rundschalung aus Rahmentafeln** ist inzwischen eine verbreitete Methode, um ovale Bauteile zu schalen. Es handelt sich nicht um eine runde Schalung, sondern um eine Schalung mit Polygonzügen. Je nach Elementbreite und Radius kann ein rundes Bauteil angefertigt werden, wobei bei dieser Ausführungsart von der ausgeschriebenen Rundform abgewichen wird. Bei frühzeitiger Abstimmung bezüglich dieser Schalmethode kann man ein wirtschaftliches Ergebnis erzielen. Es bieten sich zwei verschiedene Möglichkeiten an, mit Rahmentafeln polygonartig zu schalen. Traditionell werden zwischen den Rahmenelementen jeweils passgenau zugeschnittene, trapezförmige Kanthölzer angeordnet. Die Vorbereitung dieser Hölzer ist jedoch sehr zeitaufwändig und nur auf einen Radius anwendbar. Der Elementstoß wird mit den standardmäßigen Verbindungsmitteln gehalten. Die Elemente stehen sich gegenüber und die Ankerung erfolgt mittig durch das Trapezholz. Es ist eine große Ankerplatte vorzusehen, um benachbarte Rahmentafeln sicher zu halten.

Eine weitere Möglichkeit, um mit Rahmentafeln rund zu schalen, ergibt sich aus dem Gebrauch von wieder verwendbaren und verstellbaren Zwischenelementen, wie dem Bogenblechen, Formleisten, Radiuselementen und Vieleckausgleichen. Der Vorteil liegt darin, dass die Teile nicht vor Ort vorbereitet werden müssen und diese gemietet werden können. Die Anbieter halten die Bogenbleche in der Höhe ihrer Rahmenschalungen vor und diese sind damit auch aufstockbar. Auch bei dieser Methode stehen sich die Schalungselemente gegenüber und je nach herzustellendem Radius und eingesetzter Bogenblechbreite kommt es vor, dass in diesem Arbeitsschritt Differenzen in der Übereinstimmung der Bleche auftreten können. Durch das einmalige Zwischenschalen von einem nächst kleineren oder größeren Bogenblech kann dieser Versatz einfach ausgeglichen werden. Die Ankerung verläuft mittig durch das Bogenblech und kurze Verteilerriegel leiten die auftretenden Lasten sicher in die Profile der Rahmenschalung ein.

Auf dem Markt existieren, analog den bereits beschriebenen Schalhäuten, eine Vielzahl an Konstruktionsvarianten und Schalungslösungen, ob als System- oder als Sonderschalung. Genau hier lag die Anstrengung, im Zuge der Errichtung der Lüfterturmwände, das wirtschaftlichste und zweckmäßigste System zu entwickeln. Im nachfolgenden werden die angebotenen Ausführungsvarianten der diversen Hersteller wirtschaftlich und technisch betrachtet und die Entscheidungsfindung wird methodisch nachvollzogen.

## 12.2 Erläuterung der Ausführungsvorschläge für die Lüfterturmwände

Da eine Fertigteilbauweise der Lüfterturmwände nach ergebnisloser Akquisition nicht möglich war, musste ein Herstellungskonzept der Lüfertürme in Ortbetonbauweise entwickelt werden. Hierzu wurden diverse Lösungsvorschläge von Systemanbietern angefordert, im Gespräch entwickelt und ausgewertet. Die Anbieter werden namentlich nicht benannt, sondern erhalten eine variable Bezeichnung. Drei Angebote wurden geprüft. Wobei die Anbieter A und B den Zuschlag nicht erhielten. Anbieter C unterbreitete das wirtschaftlichste Angebot und erhielt somit den Zuschlag für die Ausführung. Bei schwierigen geometrischen Formen sind Universalsysteme oft nicht flexibel und wirtschaftlich genug. In solchen Fällen sind individuelle Lösungen gefragt, basierend auf dem Know-how, der Erfahrung und den richtigen Produkten der Schalungshersteller sowie der handwerklichen Leistung des Eigenpersonals. Nachfolgend werden die technischen Vorschläge der Anbieter A, B und C erläutert und die angebotenen Systeme beschrieben.

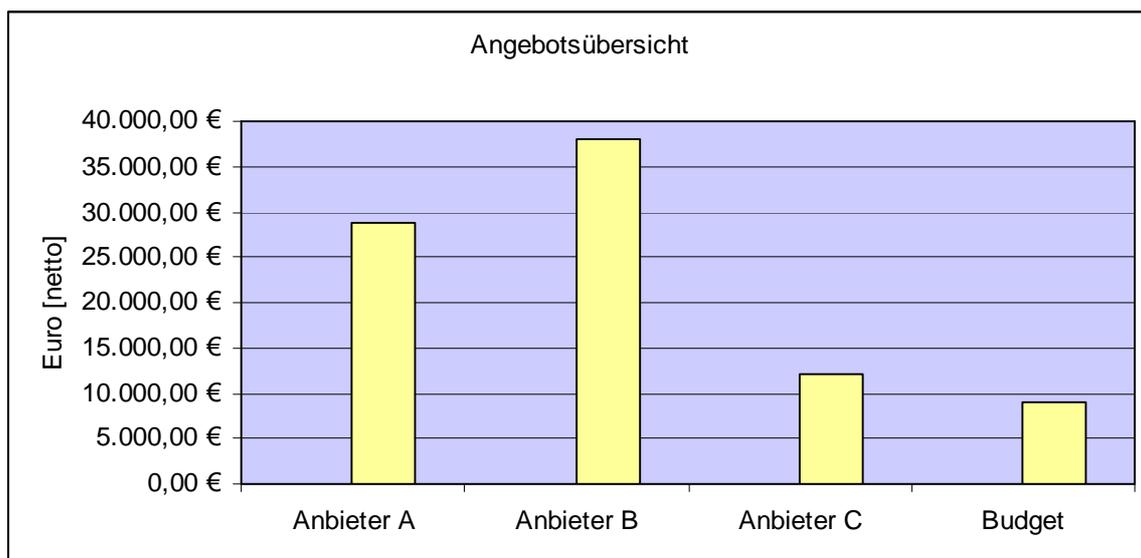


Diagramm I. Angebotsübersicht der Bieter inklusive Budget

Zur Veranschaulichung der Kosten ist die Darstellung der Angebotsendsummen aller vorliegenden Schalungsvorschläge mittels Säulendiagramm (Diagramm I) dienlich. Durch die auf der x-Achse aufstehenden Säulen wird die Ausprägung des Angebotsniveaus charakterisiert. Die Preisverteilung ist übersichtlich dargestellt und einfach überschaubar. Die Kosten werden erfasst und können somit schematisch bewertet werden. Die Säulen enthalten nur begrenzte Werte zur Angebotsbeurteilung. Der Preisspiegel ist inbegriffen, die Kosten sind dargelegt und das Budget dient als Basis zur Entscheidungsfindung. Jedoch sind die reinen Kosten nicht ausschlaggebend für die Erteilung eines Zuschlages.

Bei der Kostenbetrachtung wird durch das Säulendiagramm der Anbieter C als Bestbieter verstanden, dennoch fehlen Untersuchungen zum System, den örtlichen Gegebenheiten und technischen Einflussgrößen. Die Betrachtung wird nur auf der Grundlage des Angebotspreises vorgenommen. Weiterhin fließen Faktoren wie langjährige Zusammenarbeit, Vertrauen und Erfahrungswerte der Hersteller in diese Darstellung nicht mit ein. Somit ist die Illustration ein hilfreiches Instrument bei der Bewertung der Angebote, aber keine Garant für die Beinhaltung aller relevanten Umstände, die das Bauvorhaben mit sich bringt. Eine optische Darstellung durch das Säulendiagramm ist bei der Bewertung der Angebote hilfreich, da die Übersicht die Unterschiede genau aufzeigt. Nachfolgend werden die vorliegenden Angebote genau beleuchtet, um weitere Einflussgrößen wie Aufbau, Anwendung und Vorhaltezeit beurteilen zu können. Auffallend erkennbar ist, dass keiner der Anbieter im Bereich des Budgets liegt. Dies erfordert Maßnahmen um das angestrebte Budgetziel zu erreichen.

**Anbieter A** unterbreitete ein Angebot für ein Kletterschalungssystem. Die Lüfterturmwände wurden in zwei Betonierabschnitte, mit je 5 Metern Höhe, unterteilt. Die erste Ebene wurde durch eine Trägerschalung realisiert. Hierbei wurde die Schalungslösung mittels Trägerrosten mit einem Formholz ausgebildet. Die Stärke der Einzelbretter beträgt 21 Millimeter zuzüglich einer Plexplatte von 9 Millimeter Stärke. Es handelt sich um eine projektbezogene, vormontierte Großflächenschalung, bei der die Frischbetondruckaufnahme variabel dimensionierbar ist. Die Anforderungen an die Oberflächenqualität des Betons können mit einer Mehrschichtenplatte erbracht werden, dies war bei diesem Bauvorhaben jedoch nicht nötig. Die Schaltafel besteht aus einer Schalhautplatte, aufliegend auf Holzschalungsträgern und abschließend aus Stahlwandriegeln. Ein umfangreiches Sicherheits- und Arbeitszubehör, wie Abstell- und Einrichthilfen, Arbeitsbühnen und Umsetzhilfen sind Bestandteil des Systems. Die Anwendung ist sehr benutzerfreundlich, da ein rasches Aufstellen der Schalung auf der Baustelle durch passgenau vormontierte Elemente erfolgt. Im Lieferumfang sind die vormontierten Elemente, Verbindungsteile, Einrichtstützen, Betonierkonsolen und Ankerteile enthalten. Die Aufdopplung bei Wandsprüngen, Faserbetonrohre für wasserdichte Ankerstellen sowie die Demontage des Systems sind bauseitige Leistungen und werden nicht angeboten. Das Traggerüst der Türme für den ersten Betonierabschnitt hat eine Höhe von 15 Meter, bei einer Aufstellebene von 264,93 Metern über HN<sup>5</sup>. Das bedeutet, die Aufstellfläche befindet sich auf der Bodenplatte des Lüftergebäudes und stabilisiert die Innenschalung der Türme.

---

[A07]

Es ist ein Traggerüst aus hochbelastbaren Stahlrahmen, welches für große Unterstellhöhen und bei erheblichen Lasten (schwere Decken, Unterzüge) verwendet wird. Durch eine werkzeugfreie Montage ist eine einfache Handhabung auch in großen Höhen gewährleistet. Durch ein rasches Fixieren der Diagonalkreuze wird ein schnelles und sicheres Aufstocken des Gerüsts ermöglicht und eine millimetergenaue Höhenanpassung wird durch Kopf-, Fußbeziehungweise Lastspindeln erreicht. Für den zweiten Betonierabschnitt ist eine hoch belastbare, kranabhängige Kletterschalung für Bauwerke jeder Form und Neigung vorgesehen. Das umfangreiche Baukastensystem beinhaltet eine Kletterkonsole, eine Fahreinheit, Einrichtspindeln, Fahrriegel, eine Hängebühne, diverse Verbindungsteile, Schutzgeländer und Schachträger, wobei die Kletterkonsolen als schwere Gerüstbühnen verwendbar sind. Ein Universalkletterkonus bildet die Aufhängestellen. Durch ein schnelles Umsetzen der Schaltafeln und der Klettergerüste als Einheit, kann die Kranzeit reduziert werden. Die Kletterschalung von Anbieter A erlaubt geregelte Arbeitstakte bei hohen Bauwerken. Einfach aufgebaut ist sie in einem großen Bereich auf viele Anforderungen einstellbar.

**Anbieter B** unterteilt die Lüfterturmwände in der ersten Angebotsphase in 3 Betonierabschnitte. Im Zuge der Angebotsüberarbeitung wurde auf zwei Betonierabschnitte, mit einer Höhe von 5,00 Meter, reduziert. Die Lüfterrohrinnenschalung bildet den Innenkern und wird mittels Sonderschalung, mit einer Schalhöhe von 10,80 Metern, erstellt. Die Lüfterturmaußenschalung besteht aus vier Einzelelementen, die nach den Bewehrungsarbeiten gestellt und verbunden wurden. Die Schalhaut besteht aus gehobelten Brettern. Die Unterstützungskonstruktion der Lüfterrohr Außenschalung besteht aus leistungsstarken Stahl-Rahmenstützen, auf denen sich die Arbeitsfläche für die Betonierarbeiten befindet. Die Höhe der Arbeitsfläche wird den fertig gestellten Betoniertakten angepasst. Trotz kleiner Abmessungen ist die Konstruktion in der Lage, hohe Vertikal- und Horizontalbeanspruchungen ohne Last ableitende Verbände zu bewältigen. Durch das geringe Grundrissmaß von 1 x 1 Meter ist dieses System auf Baustellen mit schwierigen Bedingungen immer von Vorteil. Auch bei der Errichtung der Lüfterturmwände stand wenig Raum, in Kombination mit hohen Lasten, an. Die Verbindung aus diesen Umständen erbrachte den erläuterten Lösungsvorschlag. Die geschlossenen, verwindungssteifen Rahmen, die Diagonalen und Spindeln sind feuerverzinkt und so dimensioniert, dass eine dauerhafte Nutzung garantiert wird.

Lastrahmenstützen, die der sicheren Lastabtragung dienen, werden unter der Rohdecke unterhalb der Lüfterturmschalung aufgebaut. Es ist eine projektbezogene, vormontierte Sonderschalung, die durch eine große Vorhaltemenge an Schalung charakterisiert ist.

Das Angebot von **Anbieter C** beinhaltet eine flexible Systemschalung, modifizierbar für alle Radien, ab einem Meter aufwärts. Die mit der Schalhaut montierten Elemente werden im geraden Zustand auf die Baustelle geliefert. Mit Hilfe von Schablonen und einem Freilaufschlüssel kann in kurzer Zeit der erforderliche Radius eingestellt werden. Die Modifikation der Radien ist schnell realisierbar. Mit zwei verschiedenen Elementbreiten, für innen und außen und einem entsprechenden Ausgleichsholz, werden die Systemteile radial gegenüber gestellt. Die Elementverbindung erfolgt mittels Richtschloss, welches das Passholz klemmt. Der zulässige Frischbetondruck für dieses System liegt bei ungefähr  $60 \text{ kN/m}^2$ . Als Arbeitsplatz wird eine Faltbühne angeboten, die alle Sicherheitsanforderungen erfüllt. Diese Bühne wird fertig montiert auf die Baustelle geliefert und verfügt bereits über das erforderliche Zubehör, wie Abstützverlängerung, Nachlaufbühne oder Geländeraufstockung. Das Gerüst im Innenteil des Lüfterrohrs ist ein modulares Systemgerüst, welches auf der Rohdecke aufsteht. Das Gerüst ist so konzipiert, dass die notwendigen Aufstandshöhen der Schalung abgesichert werden. Ebenfalls wird die gekrümmte Schalung durch das Systemgerüst ausgesteift. Nach dem Betonieren wird das Gerüst demontiert, der Gerüstbelag aufgenommen und die Kreuzspindeln abgebaut. Werden Sichtbetonqualitäten an die Oberfläche gestellt, so rät der Hersteller, die Schalhaut erst vor Ort zu montieren, um etwaige Transportschäden zu vermeiden. In der Regel besteht die Schalhaut, wie auch bei den Lüfterturmwänden verwendet, aus einer Mehrschichtenplatte (Furnierholz) von 21 Millimetern Stärke. Anbieter C bezieht seine Schalhautplatten aus dem finnischen Raum. Diese Hölzer haben den Vorteil, dass sich die Nagelbilder schließen und kleine Defekte kaum sichtbar bleiben.

Anbieter C bietet eine Systemschalung an, die in geradem Zustand geliefert wird und auf der Baustelle noch in die erforderliche Form gebracht werden muss, was mit einem erhöhten Zeitaufwand einhergeht. Zum anderen ist das Geschick des Personals zu beurteilen. Das Herrichten der Schalung und der damit verbundene Mehraufwand ist ein negativer Punkt hinsichtlich der Zuschlagserteilung für das Angebot. Kosten und Aufwand gilt es zu beurteilen, um eine Entscheidung treffen zu können.

Die Ausführung einer individuellen Schalung ist immer abhängig von verschiedenen Faktoren. Die Verknüpfung von Fachwissen und Erfahrungen spielt bei der Entwicklung einer Schalungslösung eine immense Rolle. Somit müssen im Leistungsbereich der Arbeitsvorbereitung exakt alle Einflussfaktoren beleuchtet werden, um im Dialog mit einem Fachplaner und dem Bauleiter oder Polier eine wirtschaftliche Variante entwickeln zu können. Nach Beurteilung der Angebote sowie der Untersuchung der Ausführbarkeit, wurde dem Anbieter C der Zuschlag erteilt. Im nachfolgenden Kapitel werden die Kosten der einzelnen Anbieter gegenübergestellt, der Verlauf der Entscheidungsfindung aufgezeigt und die Gründe für den Zuschlag erörtert. Durch eine übersichtliche Darstellung der Preisspiegel können die Angebote effektiver bewertet werden. Überschaubar und schnell kann man die Gesamtkosten erfassen. Ein direkter Systemvergleich ist nicht möglich, da die Systemanbieter verschiedene Module zur Bauabwicklung aus ihrem Sortiment anbieten. Lediglich die Kosten sowie die Zeitansätze sind zu beurteilende Faktoren bei dieser Angebotsbewertung.

Zusammenfassend sind die Angebote darin zu unterscheiden, dass Anbieter A und B vorgefertigte Teile in Form einer Sonderschalung auf die Baustelle liefern. Dies bedeutet einen zeitlichen Vorteil für diese Systeme, denn eine Bearbeitung vor Ort durch das Personal ist nicht notwendig. Sonderanfertigungen stehen jedoch meist mit erhöhten Kosten im Zusammenhang, was durch den Mehraufwand der Fertigung begründet ist. Hier liegt der Vorteil klar in dem von Anbieter C unterbreiteten Angebot. Es kann komplett auf Sonderlösungen verzichtet werden, da die Schalungslösung zur Errichtung der Lüfterturmwände als Systemschalung im Sortiment von Anbieter C vorhanden ist. Bei erhöhten Anforderungen an die Betonoberflächenqualität scheidet dieses System jedoch aus und eine Sonderanfertigung wäre notwendig. Sichtbetonqualitäten sind mit dem von Anbieter C angebotenen Schalungssystem nicht realisierbar. Im Falle von erhöhten Anforderungen an die Qualität der Betonoberfläche wären die Ausführungsvarianten von Anbieter A und B maßgebend für die Errichtung der Lüfterturmwände. Die Mietkosten aller angebotenen Systeme beziehen sich auf eine Vorhaltezeit von zwei Monaten.

### 12.3 Angebotsbewertung der Ausführungsvorschläge der Lüfterturmwände

Im Folgenden werden die Kostenangebote der Anbieter A, Anbieter B sowie von Anbieter C gegenübergestellt und im Verlauf bewertet.

#### 12.3.1 Angebot Bieter A

Anbieter A	Menge	Einh.	EP (€)	GP (€)
<b>Schalungssystem</b>				
Trägerschalung Grundkosten	1	psch		68,84
Trägerschalung Geräteservice 2%	1	psch		550,70
Trägerschalung Kaufanteil	1	psch	2.616,00	2.616,00
Trägerschalung Miete	2	Mon	867,36	1.734,72
Trägerschalung Montage	1	psch	13525,94	13.525,94
			<b>ZS:</b>	<b>18.496,20</b>
<b>Aufstellebene</b>				
Grundkosten	1	psch		127,82
Geräteservice 1,8%	1	psch		920,30
Kaufanteil	1	psch	552,00	552,00
Miete	2	Mon	1.610,52	3.221,04
			<b>ZS:</b>	<b>4.821,16</b>
<b>Klettergespärre</b>				
Klettergespärre Grundkosten	1	psch		111,82
Klettergespärre Geräteservice 2%	1	psch		894,59
Klettergespärre Kauf	1	psch	329,6	329,60
Klettergespärre Miete	2	Mon	1408,98	2.817,96
			<b>ZS:</b>	<b>4.153,97</b>
<b>Sonstiges</b>				
Technische Bearbeitung	1	psch	<b>ZS:</b>	<b>480,00</b>
An- & Abtransport	1	psch	<b>ZS:</b>	<b>740,00</b>
			<b>Summe:</b>	<b>28.691,33</b>

Tabelle A. Angebotsübersicht Anbieter A für zwei Monate Vorhaltung (Nettopreise)

Nach Auflistung der Einzelkosten sowie Darstellung aller enthaltenen Kostenpunkte beträgt die Angebotsendsumme des Anbieters A 28.691,33 Euro (siehe Tabelle A). Dieses Angebot gilt inklusive der Klettervorrichtung sowie der Aufstellebene. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die Kletterkonstruktion einen erhöhten Aufwand für den ersten Aufbau mit sich bringt. Die Ausführbarkeit muss durch das Geschick des Personals gewährleistet sein. Eine schnelle Umsetzung ist bei der Kletterschalung das Ziel und sollte durch den Einsatz der Arbeiter sicher gestellt werden. Umfangreiche Vorarbeiten sind nicht notwendig, da die Schalteile vorgefertigt auf die Baustelle geliefert werden. Die Aufdupplung der Schalhaut auf dem Innen- sowie Außenelement erfolgt bauseits.

### 12.3.2 Angebot Bieter B

Das Angebot von Anbieter B setzt sich aus den Komponenten der Lüfterrohrinnenschalung, der Lüfterrohraußenschalung, der Unterstützungsstruktur sowie den Lastrahmenstützen zusammen.

Anbieter B	Menge	Einh.	EP (€)	GP (€)
<b>Schalungssystem</b>				
Unterstützung f. Außenschalg. Grundkosten	1	psch	120,00	120,00
Unterstützung f. Außenschalg. Miete	2	Mon	750,00	1.500,00
Unterstützung f. Außenschalg. Reinigung	1	psch	375,00	375,00
			<b>ZS:</b>	<b>1.995,00</b>
<b>Lüfterrohrinnenschalung</b>				
Lüfterrohrinnenschalg. Grundkosten	1	psch	260,00	260,00
Lüfterrohrinnenschalg. Miete	2	Mon	1.670,00	3.340,00
Lüfterrohrinnenschalg. Reinigung	1	psch	835,00	835,00
Lüfterrohrinnenschalg. Kaufteile	1	psch	12.300,00	12.300,00
			<b>ZS:</b>	<b>16.735,00</b>
<b>Lüfterrohraußenschalung</b>				
Lüfterrohraußenschalg. Grundkosten	1	psch	160,00	160,00
Lüfterrohraußenschalg. Miete	2	Mon	1.015,00	2.030,00
Lüfterrohraußenschalg. Reinigung	1	psch	510,00	510,00
Lüfterrohraußenschalg. Kaufteile	1	psch	11.695,00	11.695,00
			<b>ZS:</b>	<b>14.395,00</b>
<b>Lastrahmen</b>				
Lastrahmenstützen Grundkosten	1	psch	105,00	105,00
Lastrahmenstützen Miete	2	Mon	650,00	1.300,00
Lastrahmenstützen Reinigung	1	psch	325,00	325,00
			<b>ZS:</b>	<b>1.730,00</b>
<b>Sonstiges</b>				
Technische Bearbeitung	1	psch	<b>ZS:</b>	<b>300,00</b>
An- & Abtransport	1	psch	<b>ZS:</b>	<b>2.800,00</b>
			<b>Summe:</b>	<b>37.955,00</b>

Tabelle B. Angebotsübersicht Anbieter B für zwei Monate Vorhaltung (Nettopreise)

Die Angebotsendsumme von Anbieter B beträgt 37.995,00 Euro (siehe Tabelle B). Einen Großteil der Summe bestimmen bei diesem Angebot die Kaufteile der Lüfterrohrinnen- und außenschale. Da ein Kauf nicht zweckdienlich ist und der Preis im Vergleich zu den Mitbietern ausreißt, kommt der Bieter B nicht in Betracht. Ebenfalls sind die Transportkosten hoch, was auf die außergewöhnlich Form der Sonderschalung zurück zu führen ist. Positiv zu bewerten ist die unkomplizierte Handhabung für das Personal auf der Baustelle. Lediglich das Stellen der Schalung würde als Arbeitsschritt anfallen, ein Umbau der Schalung ist nicht notwendig. Der Lüfterrohrinnerkern wird als Stellschalung ausgebildet, so dass die Bewehrungsarbeiten von einem Arbeitsgerüst durchgeführt werden können. Die Außenschalung wird je nach Schaltakt umgesetzt.

Der zeitliche Vorteil dieses Systems kann sich bei der geringen Anzahl an Umschläge jedoch nicht positiv auswirken. Weiterhin kann von einem Wiederverwenden der individuellen Sonderschalung bei nachfolgenden Projekten nicht ausgegangen werden, damit ist der Kosten-Nutzen-Faktor zu gering, um diese Schalmethode auszuführen.

### 12.3.3 Angebot Bieter C

Anbieter C bietet eine Systemlösung mittels Systemteilen an und verzichtet komplett auf Sonderlösungen, da seine Angebotspalette runde Schallösungen vorsieht (siehe Tabelle C). Der sichere Aufstieg sowie ein standfester Arbeitsplatz für die Bewehrungsarbeiten werden über ein innen liegendes Systemgerüst sowie eine außen befestigte Faltbühne gesichert.

Anbieter C	Menge	Einh.	EP (€)	GP (€)
<b>Schalungssystem</b>				
Schalung Lüftertürme Grundkosten	1	psch	1.115,26	1.115,26
Schalung Lüftertürme Miete	2	Mon	3.122,67	6.245,34
Kaufartikel	1	psch	84,80	84,80
Geräteservice 1,8%	0	psch	1.606,00	0,00
			<b>ZS:</b>	<b>7.445,40</b>
<b>Faltbühnen</b>				
Faltbühnen Grundkosten	1	psch	114,64	114,64
Faltbühnen Miete	2	Mon	320,97	641,94
Kaufartikel	1	psch	693,07	693,07
			<b>ZS:</b>	<b>1.449,65</b>
<b>Systemgerüst</b>				
Gerüst Grundkosten	1	psch	238,99	238,99
Gerüst Miete	2	Mon	367,82	735,64
Kaufartikel	1	psch	0,00	0,00
			<b>ZS:</b>	<b>974,63</b>
<b>Technische Bearbeitung</b>				
Technische Bearbeitung	1	psch	500,00	500,00
			<b>ZS:</b>	<b>500,00</b>
<b>An-/Abtransport</b>				
An-/Abtransport	4	Sattel	436,00	1.744,00
			<b>ZS:</b>	<b>1.744,00</b>
			<b>Summe:</b>	<b>12.113,68</b>

Tabelle C. Angebotsübersicht Anbieter C für zwei Monate Vorhaltung (Nettopreise)

Den Zuschlag erhielt der Anbieter C nicht nur auf Grund der günstigsten Angebotsendsumme, wobei Kosten bei der Vergabe von Leistungen nach wie vor eine entscheidende Rolle spielen, sondern durch einen zweckmäßigen Lösungsvorschlag. Die Kosten der Kaufartikel sind im Vergleich zu den Mitbietern sehr gering, was für das Angebot spricht. Eine Mietung der Teile wird in der Praxis angestrebt. Das Vorhalten von Schalung im Baubetrieb wird vermieden, da unnötige Kosten für Reparaturen und Instandhaltung entstehen.

Bei großen Bauvorhaben wird daher versucht, einen Schalungsanbieter zu akquirieren und diesen über die gesamte Bauzeit zu halten, um Unstimmigkeiten bei der Abrechnung, beim Abtransport und bei Reparaturen von Verschleißteilen zu verhindern. Anbieter C liegt der Budgetgrenze von 9.041,00 Euro im Vergleich am nächsten. Um das Budget zu erreichen sind technische sowie kaufmännische Vertragsverhandlungen notwendig.

#### 12.3.4 Gegenüberstellung und Angebotsbewertung der Lüfterturmwände

Nachfolgend sind die Angebotsendsummen (netto) der Anbieter A bis C in der Tabelle D zusammengefasst. Das Budget beträgt 9.041,00 Euro.

Anbieter	Anbieter A	Anbieter B	Anbieter C	Budget	
Mieteinheit pro Monat					
Schalungssystem (Träger-, Kletter-, Rundschalung)	867,36 €	3.435,00 €	3.122,67 €	Ermittelt aus Urkalkulation	
Zubehör (Gerüste, Aufstellebenen, Stützen)	3.019,50 €	650,00 €	688,79 €		
<b>Zwischensumme:</b>	<b>3.886,86 €</b>	<b>4.085,00 €</b>	<b>3.811,46 €</b>		
Einmaliger Aufwendungen sowie Kaufteile					
Schalungssystem (Träger-, Kletter-, Rundschalung)	16.761,48 €	26.255,00 €	1.200,06 €		
Zubehör (Gerüste, Austellebenen, Stützen)	2.936,13 €	430,00 €	1.046,70 €		
Sonstiges (Transport, Technische Bearbeitung)	1.220,00 €	3.100,00 €	2.244,00 €		
<b>Zwischensumme:</b>	<b>20.917,61 €</b>	<b>29.785,00 €</b>	<b>4.490,76 €</b>		
<b>Gesamtsumme</b>	<b>24.804,47 €</b>	<b>33.870,00 €</b>	<b>8.302,22 €</b>		<b>9.041,00 €</b>

Tabelle D. Übersicht der Angebotspreise Lüfterturmwände pro Monat (Nettopreise)

Der Vergleich der Angebote lässt erkennen, dass eine Gegenüberstellung der einzelnen Positionen, wie sonst in einem Preisspiegel üblich, nicht möglich ist. Jedes Angebot beinhaltet verschiedene Konstruktionen, Bestandteile und Zubehör, die einen Vergleich nicht zulassen. Die Gegenüberstellung der Angebotsendsummen definiert **Bieter B** als Ausreißer. Die Kosten betragen das Dreifache vom günstigsten Anbieter, das ist eine Differenz von etwa 200 Prozent. Der Kaufanteil ist mit ungefähr 26.685,00 Euro besonders hoch. Nach einer technischen Klärung, die im Zuge der Vertragsverhandlung mit allen Bietern durchgeführt wurde, konnten die Kosten nicht maßgeblich verringert werden. Obgleich die Ausführungslösung einen zeitlichen Vorteil für die Bauteilabwicklung darstellt, war bei diesem Angebot der Preis entscheidend. Der Zuschlag konnte nicht erteilt werden, da der zeitliche Vorteil die hohen Kosten nicht ausgleichen konnte. Weiterhin sind Aufwendungen für die Demontage sowie die Entsorgung der Sonderelemente zu berücksichtigen.

Die Kosten der Ausführungsvariante von **Anbieter A** betragen im Vergleich zum Lösungsvorschlag von Bieter B die Hälfte, das bedeutet eine Verminderung, zu Anbieter B, von etwa 50 Prozent. Die Ausführung mittels Kletterschalung war somit eine in Betracht kommende Variante, die aber auf Grund der Kosten den Zuschlag nicht erhielt. Des Weiteren ist der Betrag für die zu verwendende Trägerschalung sehr hoch. Auch bei dieser Ausführungsvariante ist der Ausführungsaufwand vor Ort sehr gering, kann aber den enormen Preis nicht rechtfertigen. Analog dem Anbieter B sind die Ausgaben für die Demontage sowie Entsorgung zu berücksichtigen. Weder Anbieter A noch Anbieter B werden dem gesetzten Budget gerecht. Obwohl ein zeitlicher Vorteil bei beiden Systemen vorhanden ist, sind die bestehenden Nachteile zu groß. Somit konnte ein Zuschlag aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht erteilt werden. **Anbieter C** erhielt durch einen systembedingten Lösungsvorschlag und geringe Kosten den Zuschlag für das Bauvorhaben. Eine schnelle und unkomplizierte Handhabung vor Ort war nur bedingt gegeben, da eine Modifizierung der Schalelemente nötig war. Doch durch das Geschick des Personals kann der Zeitaufwand auf ein Minimum reduziert werden. Der Kaufanteil war mit rund 2.246,00 Euro sehr gering, was dem Ziel, wenige Teile selbst vorhalten zu müssen, sehr entgegen kam. Wenngleich die Position der monatlichen Schalungsmiete den größten Anteil des Angebotes von Bieter C ausmacht, wird schlussendlich der preislich günstigste Vorschlag erzielt. Das Einstellen des erforderlichen Radius der Schalung ist durch eine Schablone mühelos durchführbar, auch wenn der zeitliche Aufwand dadurch erhöht ist. Kosten für die Demontage sowie Entsorgung entfallen zudem beim Anbieter C komplett.

Nicht nur die Sicherheit spielt auf der Baustelle eine entscheidende Rolle, auch eine unkomplizierte Handhabung ist dienlich für die Ausführung von Bauteilen. Die Angebotsbeurteilung ist nur ein Schritt im Zuge der Untersuchung der Schalungslösung der Lüftertürme des Lüftergebäudes der Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala. Im weiteren Vorgehen wird der Werdegang der Verhandlungen beschrieben und die tatsächlichen Kosten werden ermittelt. Der Soll- Ist- Vergleich gibt Aufschlüsse über die Abwicklung und tatsächlichen Aufwendungen für die Errichtung der Lüfterturmwände. Eine Kostenfeststellung nach Abwicklung eines Bauvorhabens ist zweckdienlich für nachfolgende Projekte und sollte immer Bestandteil einer Objektabwicklung sein. Über die Instrumente Budget, Preisspiegel sowie Ist- Kosten von Leistungen, kann eine Maßnahme wirklichkeitsnah geprüft und beurteilt werden.

## 12.4 Planungsanpassung und Verhandlung der Lüftertürme

Nach der Wahl des geeigneten Anbieters, in diesem Fall des Anbieters C, wurden technische wie kaufmännische Verhandlungen vom Bauleiter durchgeführt. Es kam hinzu, dass im Laufe der Angebotsverhandlungen die Geometrie der Lüfterturmwände beeinflusst werden konnte. Diese Möglichkeit ist in der Praxis äußerst selten, denn die Ausführungsplanung der Objekte ist weitestgehend in der Phase der Ausschreibung abgeschlossen oder externe Planungsbüros sind mit der Planungsaufgabe betraut. Die Planung der Lüfterturmwände des Lüftergebäudes für das Bauvorhaben der Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala konnte durch diverse Absprachen vereinfacht werden. Diese Möglichkeit bestand, da die Planung des gesamten Bauvorhabens von der Tiefbauabteilung der Firma PORR Technobau und Umwelt GmbH durchgeführt wurde. So lagen die ausgeschriebenen Querschnitte der Lüfterturmwände zwischen 30 bis 40 Zentimetern, was die Schalvorgänge deutlich verkomplizierte. Durch eine Querschnittsänderung auf eine durchgehende 30 Zentimeter starke Lüfterturmwand konnten die Wandversprünge entfernt und somit die Schalkkosten reduziert werden. Diese Faktoren flossen in die nachfolgenden Angebotsverhandlungen mit ein, was eine Angebotsanpassung zur Folge hatte.

Durch den begrenzten Raum zwischen den Türmen wurde in der Angebotsüberarbeitung ein Fassadengerüst an der Außenseite der Türme favorisiert. Der Aufbau des Gerüsts wurde durch die am Bau tätige Gerüstbaufirma durchgeführt, da diese Arbeiten bereits im Umfang der vereinbarten Leistung enthalten waren. So konnten auch in diesem Bereich Kosten minimiert werden, da eine gewinnorientierte Vergabe des Gerüsts erfolgte. Dieses Gerüst dient als sichere Aufsteighilfe ebenso wie als Arbeitsplatz für die Bewehrungs- und Betoniervorgänge. Die Faltbühne konnte entfallen, was die Kosten so verringerte, dass das Budgetziel in etwa erreicht werden konnte. Nach der Überarbeitung des Angebotes durch den Anbieter C wurden Kosten in Höhe von 9.689,40 Euro vereinbart. Der Zuschlag wurde erteilt.

Erfahrungsgemäß ist die Abgabe eines Angebotes nicht gleich zu setzen mit dem daraus folgenden Auftrag. Während der Akquisition ist die Planung eines Bauwerkes meist nicht abgeschlossen, was Abwandlungen der Baubeschreibung nach sich zieht. Änderungswünsche des Bauherrn und Absprachen zu Konstruktionsvereinfachungen werden berücksichtigt.

All diese Änderungen müssen bei der Vertragsverhandlung berücksichtigt werden und das Angebot bedarf einer Anpassung an die aktuelle Planungssituation. Ein Bauwerk unterliegt in der Planungsentwicklung und in seiner Entstehung stetig Änderungen und Anpassungen. Im Aufgabenbereich eines Bauleiters liegt auch die Erfassung all der Änderungen. Stets flexibel auf diese Abweichungen zu reagieren und die Errichtung des Gebäudes trotz ständiger Wandlungen gewinnbringend zum Abschluss zu führen, ist eine Hauptaufgabe des Bauleiters. In Zeiten von knappen Gewinnspannen ist es enorm wichtig, sorgsam mit den zur Verfügung stehenden Mitteln zu arbeiten und Verträge rentabel zu verhandeln. Das Vergaben nicht immer das Budget einhalten, ist in der Praxis gängig. Hier Bedarf es dem Geschick des Bauleiters, ein positives Endergebnis zu erzielen. Einzelvergaben bestimmen sein Tagesgeschäft, dennoch sollte er das ganzheitliche Ergebnis der Baustelle nicht vernachlässigen. Eine verlustgeprägte Vergabe kann durch eine darauf folgende Vergabe in einem anderen Gewerk, die das Budget einhält oder gar unterschreitet, ausgeglichen werden.

## 12.5 Kostenverlauf über die Bauzeit

Der Verlauf der Kosten über die Bauzeit wird über das Controlling gesteuert. Das Controlling ist eine Komponente der Führung und unterstützt die Lenkungsaufgabe. Controlling bedeutet nicht Kontrolle, sondern dient dem Zweck der Überprüfung. Es ist ein Untersuchungsinstrument für die Erreichung des angestrebten Zieles. Im Falle von Abweichungen können Maßnahmen zeitnah ergriffen werden, um das Baustellenergebnis zu lenken. Die geplanten Ziele werden als Soll- Werte angegeben und während der Ausführung entstehen die Ist- Werte. Diese werden entsprechend verglichen und angepasst. Der Controlling-Gedanke hat das Ziel, wirtschaftliche und terminliche Vorgaben durch eine möglichst genaue Planung, durch Steuerung der Abläufe, durch Feststellung der Abweichungen anhand der Soll- Ist- Vergleiche und durch Ergreifen von Maßnahmen zu erreichen, beziehungsweise diese zu übertreffen. Die einzelnen Handlungen im Rahmen des Controllings werden durch den Regelkreislauf kontinuierlich durchgeführt. Nur durch die laufende Informationsgewinnung, -verarbeitung und -verwertung sowie anschließender Steuerungsanweisung kann es gelingen, sich konsequent in Richtung der gesetzten Ziele zu bewegen. Der Kreislauf besteht aus den Instrumenten Durchführung, Erfassung, Vergleich und Analyse und wird baustellenbedingt mehrfach wiederholt. Das Baustellen-Controlling darf niemals Selbstzweck sein, sondern es soll ausschließlich dem besseren Erkennen von Abweichungen und dem gezielten Ergreifen von Maßnahmen und somit dem Verbessern, zumindest dem Halten, des Erfolges dienen. Es soll das tatsächliche Baustellenergebnis darstellen. Weiterhin kann man im Falle von Budgetüberschreitungen Maßnahmen zur Gegensteuerung ergreifen. Für diese Maßnahmen ist der Bauleiter zuständig der geeignete Handlungen durchführen muss. Die Differenz zwischen der Auftragskalkulation und der Arbeitskalkulation ist ein Maß dafür, ob die Bauleitung das gewünschte wirtschaftliche Ziel erreicht, beziehungsweise unter- oder überschritten hat. Denn diese Kalkulation ist eine Zielvereinbarung zwischen dem Bauausführenden Unternehmen und dem Bauherrn.

Das Controlling beim Bauvorhaben Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala wurde über monatliche Projektbesprechungen sichergestellt. Die Absprachen fanden immer zwischen dem baustellenverantwortlichen Bauleiter und dem zuständigen Kaufmann statt. Die Feststellung des aktuellen Baustellenergebnisses bot einen Ausblick auf die bevorstehenden Kosten und diente auch in diesem Fall der Steuerung.

---

Nur durch den Austausch zwischen Kaufmann und Bauleiter kann das Controlling als Steuerungsinstrument eingesetzt werden und die Baustelle zu einem wirtschaftlich positiven Endergebnis führen.

Von enormem Einfluss auf die Kosten sind die Komponenten Schalungsmiete oder -kauf. Der Trend Schalungssysteme als Komplettleistung abzurufen und somit die Mietkosten aber keine Vorhaltekosten buchen zu müssen, ist richtungweisend für die Zukunft. Der Aufwand, Schalung zu pflegen und instand zu halten, ist für viele Unternehmen nicht tragbar und der Schalungskauf ist rückläufig. Ferner bleibt die Flexibilität eines Unternehmens bestehen, denn durch die Auswahl diverser Schalungsanbieter können Angebote verglichen und passende Vorschläge ausgewählt werden. Auch technische Neuerungen können in die Schalungslösung einbezogen werden, da sich die Schalungshersteller immer auf dem neuesten Stand der Technik befinden. Die Wettbewerbsfähigkeit bleibt somit erhalten und kann positiv beeinflusst werden. Ebenso entfallen Kosten für die Lagerhaltung, was eine Entlastung für das Unternehmen bedeutet und folglich die Allgemeinen Geschäftskosten, die in die Angebotskalkulation mit einfließen, verringert. Von Bedeutung, doch meist vernachlässigt, ist die Qualitätsvereinbarung bei der Rücklieferung der Schalungsteile. Hier ergeben sich oft Unstimmigkeiten über Schäden, Reparatur sowie Schrottanteil der gemieteten Einheiten. Eine vorherige Abstimmung, beispielsweise im Zuge der technischen Verhandlungen, kann Kontroversen diesbezüglich verhindern.

## 12.6 Kostenfeststellung der Lüfterturmwände

Die Bewertung der Angebote verfolgt das Ziel, einen wirtschaftlichen Anbieter zu selektieren und die zweckmäßige Erstellung des Bauteils zu sichern. Fortlaufend sind die tatsächlichen Kosten festzustellen. Nach Beendigung der Arbeiten und mit der Legung der Schlussrechnung ist das Endergebnis zu ermitteln. Diese Kostenfeststellung ist ein wichtiges Kontrollelement nach Beendigung einer Baumaßnahme. Erst der Soll- Ist- Vergleich kann das wirkliche Baustellenergebnis darlegen.

Nach Sichtung und Zusammenstellung aller vom Anbieter C gestellten Rechnungen, nach Beendigung des Bauvorhabens, wurden Nettokosten in Höhe von 6.730,80 Euro ermittelt (siehe Tabelle E).

Datum Rechnungslegung	Rechnung aus Miete	Rechnung aus Kauf	Rechnung für Reinigung
25.09.2008		500,00 €	
26.09.2008		885,20 €	
30.10.2008	373,75 €		
17.11.2008			1.144,40 €
19.11.2008		46,74 €	392,53 €
20.11.2008	588,17 €		
28.11.2008	2.395,87 €		
28.11.2008	150,93 €		
29.11.2008		84,68 €	
29.11.2008		57,92 €	
23.12.2008	10,61 €		
25.02.2009	100,00 €		
<b>Summe</b>	<b>3.619,33 €</b>	<b>1.574,54 €</b>	<b>1.536,93 €</b>
<b>Gesamtsumme</b>			<b>6.730,80 €</b>

Tabelle E. Kostenübersicht der Lüfterturmwände (Nettopreise)

Die Differenz zum Angebotspreis liegt bei 2.958,60 Euro. Damit steht den tatsächlichen Kosten ein verhandelter Preis von 9.689,40 Euro gegenüber. Da das Angebot das Budget in Höhe von 9.041,00 Euro überschritt, mussten Maßnahmen zur Verringerung der Kosten getroffen werden. Diese Maßnahmen führten tatsächlich zu einer Senkung der Kosten und zur Annäherung an das Budgets. Durch wirtschaftliches Arbeiten konnte der verhandelte Preis sogar noch unterschritten, was einen Budgetüberschuss zur Folge hat. Die Vergabe der Leistung an Anbieter C war wirtschaftlich effektiv. Die Differenz zwischen dem verhandelten Preis zu den tatsächlichen Kosten begründet sich aus der verringerten Vorhaltezeit für die gemieteten Schalttafeln.

### 13. Bauzeit und Baukosten

Die Bauzeit spielt eine entscheidende Rolle hinsichtlich eines wirtschaftlich effektiven Einsatzes der Produktionsfaktoren. Zu kurze Bauzeiten führen in der Regel zu höheren Kosten, schlechter Qualität und damit einhergehend zu Unstimmigkeiten zwischen den Vertragspartnern. Dennoch werden in Zukunft geringe Ausführungszeiträume für die Ausführung von Projekten richtungweisend sein. Die Bauzeit hat, bezogen auf die Bauausführung, Auswirkungen auf die Kosten, die Logistik, die Baustelleneinrichtung sowie auf den Bauablauf. Zur Berechnung der Bauzeit werden Produktionsmengen und Leistungswerte benötigt. Wird der Gesamtablauf in Ablaufabschnitte unterteilt, sind darüber hinaus Anordnungsbeziehungen festzulegen, um die Bauzeit berechnen zu können. Die Produktionsmengen resultieren aus den Abmessungen der Bauteile. Die Leistungswerte folgen aus den Arbeitsleistungen oder Geräteleistungen.

Die Art der Leistung, die Umstände der Leistungserbringung, die geschuldete Menge sowie Qualität und die Bauzeit sind bestimmende Faktoren für die Höhe der Baukosten. Die Anzahl der maximal einsetzbaren Arbeitskräfte ist im Hochbau immer im Zusammenhang mit der zur Verfügung stehenden Arbeitsfläche und der Anzahl der einsetzbaren Krane zu sehen. Doch auch die Größe der Mindestarbeitsflächen bestimmt die Wahl der Schalungssysteme. Einwirkung auf die Arbeitsproduktivität und somit indirekt auf die Bauzeit, hat die tägliche Arbeitszeit je Arbeitskraft. Ab einer bestimmten Höhe der täglichen Arbeitszeit ist mit großen Produktivitätsverlusten zu rechnen. Gerade im Bereich des Schalungsbaus wird auf eine effektive Handhabung und somit eine Minimierung der Mietzeiten geachtet. Eine unkomplizierte Montage der Schaltafeln, durch das Eigenpersonal vor Ort, ist eine wichtige Einflussgröße zur Verringerung der Vorhaltezeiten. Komplizierte Aufbauten, schlechte Handhabung und eine erschwerte Montage der Schalungssysteme geht mit einer längeren Bauzeit einher. Das Geschick des Eigenpersonals gilt es genau einzuschätzen und die Fähigkeiten in Bezug auf das gewählte Schalungssystem abzuwägen. Jeder Vorhaltezeitraum, meist wird dieser Zeitraum in Monaten angegeben, erhöht die Kosten der Schalung und somit die Gesamtbelastung für ein Bauvorhaben. Somit ist es äußerst wichtig, die vereinbarten Vorhaltezeiten einzuhalten und die gemieteten Schalenteile zeitnah an den Hersteller zurück zu liefern. Wie sich der Kostenverlauf in Bezug auf den Ausführungszeitraum auswirkt, wird im nachfolgenden Kapitel erläutert. Es wird aufgezeigt, dass lange Vorhaltezeiten mit erhöhten Kosten einhergehen.

### 13.1 Bauzeit der Lüfterturmwände

#### 13.1.1 Soll- Ist- Vergleich der Vorhaltezeit

Im Zuge der Angebotskalkulation wurde ein Stundenansatz für die Errichtung der Lüfterturmwände ermittelt. Hierbei flossen die Arbeitsvorgänge Schalen und Betonieren in die Darstellungen ein. Durch die Verwendung von Arbeitszeitrichtwerten und den bekannten Mengen konnte, wie in Tabelle F aufgezeigt, eine Bauzeit von 648,5 Stunden ermittelt werden.

Leistung	Stundenansatz [h/m <sup>2</sup> ], [h/m <sup>3</sup> ]	Menge [m <sup>2</sup> ], [m <sup>3</sup> ]	Zeit - Soll [h]	Zeit - Ist [h]	kalkulierter Zeitansatz Anbieter C
Schalen	2,4	244,9	587,6	Angaben Polier	2 Monate Vorhaltung
Betonieren	0,9	67,7	60,9		
Gesamtstunden für Lüfterturmwände			648,5	683	1280

Tabelle F. Bauzeitermittlung der Lüfterturmwände

Angesetzt wurde eine Kolonne von 4 Arbeitskräften mit einer regulären Arbeitszeit von 8 Stunden je Arbeitstag. Demnach entspricht der Ausführungszeitraum, der zur Errichtung der Türme kalkuliert wurde, 20 Arbeitstage. Die monatlichen Mietkosten von Anbieter C wurden für 2 mal 30 Kalendertage berechnet. Demzufolge lag der kalkulierte Ansatz von Anbieter C bei 1280 Stunden. Daraus ergibt sich ein temporärer Bereich, der im Hinblick auf die Kosten, beeinflussbar ist. Ein exakter Anliefertermin, effiziente Schalzeiten vor Ort und ein zeitnaher Abtransport der gemieteten Schaleinheiten bedeuten eine erhebliche Verringerung der Kosten. Es gilt folglich die Vorhaltezeit so kurz wie möglich zu gestalten um Kosten zu sparen. Nach Abschluss der Arbeiten wurden vom zuständigen Polier 683 Stunden für die Errichtung der Lüfterturmwände fest gestellt, inklusive aller Reinigungs- sowie Ladearbeiten der Schalttafeln. Hieraus ergibt sich eine Überschreitung von 34,5 Stunden bezogen auf den kalkulierten Zeitansatz, jedoch eine erhebliche Minimierung bezüglich der Vorhaltezeit von Anbieter C. Trotz des Mehraufwandes, verursacht durch die Modifizierung der Schalung vor Ort durch das Eigenpersonal, konnten die intern angesetzten Stunden annähernd eingehalten werden. Auf die Kolonne von 4 Arbeitskräften beträgt die Differenz einen Arbeitstag. Ausschlaggebend für die Abweichungen können Witterungseinflüsse oder eine ungenaue Zuordnung der Leistung durch den Polier sein. Auch die Schalungsmodifizierung ist ein Grund für die zeitliche Abweichung.

Definitiv ist jedoch zu bemerken, dass trotz des hohen Umbauaufwandes, die Vergabe an Anbieter C und die Ausführung der Schalarbeiten mit dessen Systemschalung, handwerklich reibungslos und wirtschaftlich positiv ausgeführt werden konnte. Durch eine Unterschreitung der angebotenen Vorhaltezeit, wurden die Kosten gesenkt, was die Differenz zwischen dem verhandelten Vertragspreis und den tatsächlichen Kosten begründet. Die Verwendung von Sonderlösungen kann für größere Bauteile sinnvoll sein. Bei der Ausführung der Lüftertürme des Lüftergebäudes wäre der Einsatz einer Sonderschalung uneffektiv, was auch auf die geringen Schaleinsätze zurück zu führen ist. Die kurze Bau- und Vorhaltezeit der Schalung für die Lüfterturmwände ist ein Anhaltspunkt für die begründete Verwendung der Systemschalung.

Budget Lüfterturmwände	Angebot C Systemschalung	tatsächlich festgestellte Kosten
9.041,00 €	12.113,68 €	6.730,80 €

Tabelle G. Gegenüberstellung der Soll- Ist- Kosten der Lüfterturmwände

Durch die Darstellung der Soll- Ist- Kosten in Tabelle G wird deutlich, dass das Budgetziel durch die bereits erläuterten Maßnahmen sogar unterschritten wurde. Lag der Angebotspreis für die Systemschalung anfangs über der Budgetgrenze, so konnte durch Verhandlungen und eine effiziente Mietauslastung ein Endergebnis weit unter dem gesetzten Budget erzielt werden. Der Mehraufwand an Stunden wurde durch die geringen Kosten kompensiert. Dieser Überschuss liegt dem Baustellenergebnis jedoch nicht als Gewinn vor. Mit der Untersuchung der Lüfterturmwände wurde nur ein Bereich des Lüftergebäudes ausführlich betrachtet und stellt demnach nicht das gesamte Baustellenergebnis dar.

Im nachfolgenden Kapitel gilt es den Einfluss der Vorhaltezeit der Schalungssysteme, bezogen auf die Kosten, zu prüfen. Es wird untersucht, in wie weit sich eine längere Bauzeit auf die Mietkosten und damit auf die Belastung der Baustelle auswirkt und ab welchem Zeitpunkt die Verwendung eines Sonderschalungssystems sinnvoll ist.

### 13.1.2 Vergleich der Schalungsvarianten bezüglich der Vorhaltezeit

Betrachtet man den Kostenverlauf einer Schalung über einen längeren Zeitraum wird deutlich, dass die Miete für die Vorhaltung der Schalung in einem hohen Maß ansteigt und somit bei Bauzeitüberschreitungen exorbitante Mehrkosten auftreten. Nicht nur für die geringe Bauzeit, bezogen auf die Errichtung der Lüfterturmwände, sondern auch für mehrere Monate Vorhaltung ist die Systemschalung von Anbieter C die kostengünstigste Variante (siehe Diagramm II).

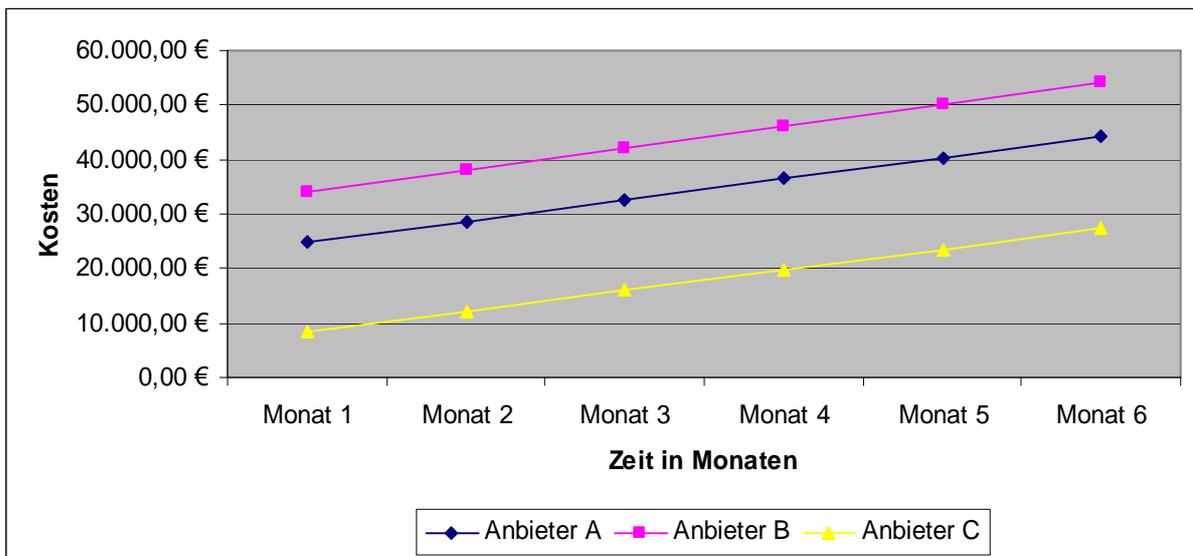


Diagramm II. Kostenverlauf der System- und Sonderschalung

Bereits im Bereich der einmal auftretenden Kosten liegen die Anbieter A und B weit über dem Kostenniveau von Anbieter C. Auch über einen längeren Zeitraum nähern sich die Kosten der verschiedenen Anbieter nicht an. Da die monatlichen Mietbelastungen ungefähr im gleichen Verhältnis stehen, ist ein linearer Kostenanstieg aller Angebote die Folge. Eine Annäherung der Kosten, oder gar ein Wandel des Kostenniveaus der unterschiedlichen Anbieter im Verlauf einer längeren Bauzeit stellt sich nicht ein. Jedoch wird eindeutig dargestellt, dass die Kosten monatlich konstant ansteigen und somit der Vorhaltung der Schalung ein besonderer Stellenwert zukommt. Der Einsatz einer Sonderschalung bedarf demnach einer gewissenhaften Untersuchung, um wirtschaftlich eingesetzt werden zu können. Sonderlösungen gehen immer mit hohen Kosten einher. Jedes Bauvorhaben wird durch diverse Unterschiede charakterisiert und somit kann eine Entscheidung für oder gegen ein Sonderschalungssystem nur objektbezogen gefällt werden. Für die Errichtung der Lüftertürme des Lüftergebäudes war der Einsatz der Systemschalung eine wirtschaftlich und technisch effektive Lösung.

Dies kann aber nicht auf jedes radial zu schalende Bauteil bezogen werden. Einflussgrößen wie Geschick und Erfahrung des Eigenpersonals sind von großer Bedeutung bei der Wahl des geeigneten Systems. Die Bauzeit, geforderte Qualitäten sowie auszuführende Formen fließen in die Auswahl mit ein. Eine Entscheidung kann auch nur im Zusammenspiel mit den Schalungsherstellern getroffen werden. Der Angebotsbereich der Schalung ist enorm vielseitig und eine große Anzahl von Ausführungsvarianten steht zur Verfügung. Lösungsvorschläge von normal anwendbaren, über modifizierte Systemschalung, bis hin zu Sonderschalungskonstruktionen gilt es zu untersuchen und die passende Methode zu filtern. Nicht immer gelingt es, trotz guter Arbeitsvorbereitung und Absprachen mit den Schalungsherstellern, den wirtschaftlich besten Vorschlag auszuführen. Erst die Kostenfeststellung nach Abschluss der Schalarbeiten kann ein tatsächliches Ergebnis, ob positiv oder negativ, aufzeigen.

Bei der Wahl des Schalungssystems von Anbieter C wurde, wie die Gegenüberstellung der Soll- Ist- Kosten beweist, die effektivste Variante ausgewählt. Ob bei nachfolgenden, ähnlichen Projekten auf das System zurück gegriffen wird, ist fraglich. Trotz der guten Erfahrung und des positiven Endergebnisses wird in Zukunft der Variantenvergleich nicht entfallen. Veränderte Bedingungen werden die Untersuchung von Lösungsvarianten immer erfordern, denn in der Regel wiederholen sich Abmessungen und Grundrisse der Bauwerke kaum. Standortbedingte Einflüsse fließen, ebenso wie die Bauzeit, in die Schalungsauswahl mit ein. Signifikant für die Sonderschalungen sind jedoch in jedem Fall die höheren Kosten. Dabei gilt es zu untersuchen, ob sich die hohen Kosten durch eine Bauzeitminderung verringern lassen. Nicht zu unterschätzen ist auch die Verarbeitung des Frischbetons. Meist sind durch die angebotenen Schalungssysteme kaum Grenzen in Bezug auf die Abmessungen der Betonierabschnitte gesetzt. Doch die Betontechnologie darf bei der Auswahl der Schalung und der Takteinteilung nicht vernachlässigt werden. Zu hohe Einbauhöhen können das Entmischen des Betons zur Folge haben. Kiesnester oder gar Festigkeitsverlust des entstandenen Bauteils gilt es zu vermeiden. Die Verwendung von Schüttröhren verhindert das Entmischen des Betons. Jedoch ist die Anwendung während des Betoniervorganges im Wandbereich, durch die Bewehrungsführung, umständlich. Die Aufzählung macht deutlich, dass die Wahl des geeigneten Schalungssystems von vielen Faktoren abhängig ist. Ein Austausch zwischen dem Bauausführenden sowie dem Schalungshersteller ist unvermeidbar und zwingend für die erfolgreiche Errichtung von Ortbetonbauteilen erforderlich.

## 14. Ergebnis der Untersuchungen

Die Untersuchung der Schalungs- und Gerüstlösung für das Objekt Lüftergebäude zeigt die hohe Verantwortung der Bauausführenden im Bereich der Ortbetonbauweise auf. Die Auswahl des technisch und wirtschaftlich geeigneten Schalungssystems, über die passende Taktplanung bis hin zur Einhaltung aller vom Bauherrn vorgegeben Anforderungen, obliegt vielen Einflussfaktoren. Nur der verantwortungsbewusste Umgang der Arbeitskräfte vor Ort kann zu einem gelungenen Schaltergebnis führen. Dies kann der fachgerechte Umgang mit den Schaltafeln oder der maßgenaue Einbau der Fugenabdichtungssysteme bedeuten. Nur handwerkliches Geschick ist ein Garant für die erfolgreiche Errichtung von Ortbetonbauteilen. Genau dieses Geschick des Eigenpersonals gilt es zu bewerten und bei der Wahl der Schalungslösungen zu berücksichtigen. Komplexe Konstruktionen sowie komplizierte Sonderlösungen können Bauzeitverzögerungen zur Folge haben, was auf einen schwierigen Gebrauch der Schalung zurück zu führen ist.

Weiterhin wurde aufgezeigt, dass das Schalen mittels Sonderlösungen jederzeit einer genauen Betrachtung bedarf. Da Sonderschalungselemente stets mit einem höheren Preis verbunden sind, gilt es den Nutzen für das jeweilige Bauvorhaben genau zu bestimmen und die erhöhten Kosten mit einer eventuellen Bauzeitminderung zu begründen. Eine eindeutige Aussage, bezogen auf die Schalung von radialen Ortbetonbauteilen, kann nicht getroffen werden. Zu viele Einflussfaktoren bestimmen die Auswahl der Schalungssysteme. Jedes Bauwerk aus Beton ist stets durch unterschiedliche Randbedingungen gekennzeichnet. So haben Umwelteinwirkungen, wie der Standort oder Witterungseinflüsse, ganz entscheidendes Gewicht für den Erfolg oder Misserfolg eines Schalvorganges. Eine beständige Schalungslösung für nachfolgende Projekte konnte nicht ermittelt werden, da jedes Bauvorhaben einen Variantenvergleich benötigt. Durch die unterschiedliche Schalungsentwicklung der am Markt präsenten Hersteller ist es ratsam, eine umfassende Beratung zu nutzen und diverse Angebote zu vergleichen. Oft treten gerade beim Schalen von radialen Bauwerken ungeahnte Schwierigkeiten auf, die nur im Zusammenspiel mit der zuständigen Bauleitung und den Schalungsherstellern zu lösen sind.

Die Betontechnologie ist ebenfalls ein Parameter den es zu betrachten gilt. Sind dem Schalungsbau, in Bezug auf Abmessungen der Bauteile, kaum Grenzen gesetzt, darf diese Komponente nicht vernachlässigt werden. Das Schalen eines Bauteils ist nur ein Schritt bei der Erstellung von Ortbetonteilen. Der Arbeitsvorgang des Betonierens ist analog dem Schalen ebenfalls gewissenhaft durchzuführen.

Auch der Arbeitsplatz für das Personal muss standsicher sowie gut erreichbar sein. All diese Faktoren verlangen Erfahrung und Geschick aller am Bau Beteiligten. Die Entwicklung einer Schalungslösung ist ein Prozess der im Laufe der Zeit und durch Abstimmungen reift. Der ständige Dialog zwischen dem Hersteller und der Bauleitung, auch über die Planung hinaus, ist ein wichtiges Instrument für die Anwendung der Schalung. Viele Anbieter begleiten die Objekte auch während der Bauphase, um bei eventuellen Störungen eingreifen zu können. Ebenfalls ist die Reflektion des Eigenpersonals für Weiterentwicklungen für die Schalungshersteller von großer Bedeutung. Nur durch mühelosen Gebrauch der Schalung vor Ort sind die Angebote rentabel und die Stundenansätze einzuhalten.

Die Aufgabenstellung der Diplomarbeit, welche die Erarbeitung eines Auswahlverfahrens bezüglich der Schalungslösungen anstrebte, konnte nur bedingt umgesetzt werden. Die Realisierung eines solchen Verfahrens ist durch die Vielzahl der Einflussfaktoren abhängig. Der Verlauf der Auswahl für ein geeignetes Schalungssystem ist immer identisch. Beginnend mit der Angebotsabfrage, über die Angebotsbewertung bis hin zur technischen sowie betriebswirtschaftlichen Verhandlung ist der Vorgang gleich bleibend. Dennoch ist nach den erfolgten Untersuchungen kein Schalungssystem für nachfolgende, ähnliche Projekte zu empfehlen. Demzufolge ist ein Variantenvergleich unumgänglich. Die Entwicklung eines Schemas zur oberflächlichen Bestimmung eines Schalsystems ist nicht realisierbar. Zu viele Faktoren gilt es in die Entscheidungsfindung mit einzubeziehen, die in einer Grafik oder in einem Leitfaden nicht darstellbar sind. Jedes Objekt weist Differenzen zu ähnlichen Objekten auf, die in die Schalungslösung einfließen.

Konfrontiert mit immer kürzeren Bauzeiten, komplexen Formgebungen und hohen Qualitätsansprüchen, erfordert die erfolgreiche Abwicklung einer Baustelle vor allem schnelles und kosteneffizientes Bauen. Daraus ergeben sich aber auch Vorteile für die Schararbeiten von Ortbetonbauteilen. Durch eine große Auswahl von Ausführungsmöglichkeiten bleibt die Konkurrenzfähigkeit eines Bauunternehmens bestehen und kann positiv beeinflusst werden. Durch Modifikation der Schalungssysteme, gute Geschäftsbeziehungen zu Schalungsherstellern und durch die Bereitschaft Neuerungen einzubeziehen, kann man sich von Mitbewerbern abgrenzen. Die exorbitante Auswahl an Schalungslösungen sollte im Bereich der System- oder in der Sonderschalung als Chance gesehen und demnach auch genutzt werden, um eine Weiterentwicklung auf diesem Gebiet und die damit einhergehenden Vorteile voll auszuschöpfen.

---

## 15. Begriffserläuterung

- [1] Carbonatisierung      Unter Carbonatisierung versteht man die chemische Reaktion, bei der in das Betonbauteil eindringendes Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) mit Wasser zu Kohlensäure reagiert und sich diese mit Kalkhydrat zu Kalkstein (Calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$ ) verbindet. Diese Vorgänge bewirken eine Abnahme der Alkalität des Betons. Sinkt der pH-Wert unter einen Wert von 10 ist kein aktiver Korrosionsschutz mehr gegeben. Die Passivierungsschicht des Betonstahls ist nicht mehr stabil und löst sich auf.
- [2] Hydratation            Beim Mischen von Zement mit Wasser entsteht Zementleim. Es beginnt eine chemisch- physikalische Reaktion, die nach einer gewissen Zeit das Ansteifen und Erstarren des Zement- Wasser- Gemisches bewirkt. Die Reaktion des Zementes mit Wasser nennt man Hydratation. Das Erstarren und Erhärten beruht vor allem auf der Bildung kristallwasserhaltiger Verbindungen, die als Hydratphase bezeichnet werden.
- [3] Kombi-Arbeitsfugenband      Das Kombiarbeitsfugenband ist ein duales Abdichtungssystem. Es besteht aus einem Fugenband und einem integrierten Quellgummi. Das Dichtprinzip Umlaufweg und Quellung werden vereint.
- [4] Elastomer                Elastomere sind formfeste, aber elastisch verformbare Kunststoffe. Sie können sich bei Zug- und Druckbelastungen elastisch verformen, wandeln sich aber nach der Beanspruchung wieder in ihre ursprüngliche, unverformte Gestalt zurück.
- [5] Thermoplast              Thermoplast, auch Plastomere genannt, sind Kunststoffe, die sich in einem bestimmten Temperaturbereich einfach verformen lassen. Dieser Vorgang ist reversibel, das bedeutet, dass die Abkühlung und Wiedererwärmung des Materials beliebig oft wiederholt werden kann, solange bis durch Überhitzung eine thermische Zersetzung eintritt. Thermoplasten sind schweißbar.

- 
- [6] Adhäsionsdichtung Bei Adhäsionsdichtungen handelt es sich um streifenförmige Fugenabdichtungen, z.B. gewebekaschierter Elastomer oder PVC, die mit geeigneten Klebern auf Epoxidharzbasis vollflächig druck- und wasserfest auf den Beton geklebt werden.
- [7] Vulkanisation Vulkanisation ist ein thermisch-technisches Verfahren, bei dem Kautschuk unter dem Einfluss von Zeit, Temperatur und Druck gegen atmosphärische und chemische Einflüsse sowie gegen mechanische Beanspruchung widerstandsfähig gemacht wird. Das Material wird mittels des Verfahrens vom plastischen in einen elastischen Zustand überführt. Es entsteht ein Gummi.
- [8] HN (Höhennull) Normalhöhennull (NHN) ist die Bezugsfläche über dem Meeresspiegel im deutschen Haupthöhennetz seit 1992. Nullpunkt ist der Amsterdamer Pegel. Bis 1992 war die amtliche Bezugsfläche für Höhen Normalnull (NN). Die Umstellung erfolgte im Zuge der Zusammenführung der Höhennetze der alten und neuen Bundesländer sowie im Zusammenhang mit der europaweiten Vereinheitlichung der Höhennetze.
- [9] Exzenter Der Wortursprung stammt aus dem Lateinischen und bedeutet *aus der Mitte = ex centrum* und ist als Asymmetrie zu verstehen. Exzenter werden zur Umsetzung einer Drehbewegung verwendet. Bei Hobelmaschinen oder anderen technischen Geräten dient der Exzenter zur Kraftübersetzung.
- [10] PSA Die Persönliche Schutzausrüstung muss dem Arbeitnehmer vom Arbeitgeber bereitgestellt werden. Sie besteht aus einem Schutzhelm, Arbeitsschutzschuhen, Handschuhen und Arbeitsschutzkleidung, immer in Abhängigkeit von der ausgeführten Tätigkeit. Der Arbeitnehmer ist zum Tragen dieser Ausrüstung verpflichtet, um Verletzungen zu vermeiden.

## 16. Literaturverzeichnis

### Normen und Regelwerke

- [BGBAU09] *Bausteine*  
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Juli 2008
- [DIN 18216] *Schalungsanker für Betonschalung*, Dezember 1986
- [DIN 18217] *Betonflächen und Schalungshaut*, Dezember 1981
- [Merkblatt H8] *Sichtbeton – Techniken der Flächengestaltung*  
Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln 2009
- [Merkblatt H9] *Schalung für Beton*  
Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln 1999
- [MFPA04] *MFPA: 5. Leipziger Bauschadenstag*  
MFPA Leipzig GmbH, Leipzig 2004
- [MKB SB04] *Sichtbeton*  
Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln 2004

### Lektüre und Werke

- [BOWE06] BOGUSCH, N.; WEBER, H.: *Prüfungsfragen für Bausachverständige*  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IBR, Stuttgart 2006
- [ERTL06] ERTL, R.: *Toleranzen im Hochbau*  
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2006
- [FREMD75] EHRLICH, R.; GURST G.; KÜSTNER H.: *Kleines Fremdwörterbuch.*  
VEB Bibliographisches Institut Leipzig 1975
- [HOH09] HOHMANN, R.: *Fugenabdichtung bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton*  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IBR, Stuttgart 2009
- [KLDT99] KLINDT, L.: *Kein Ärger am Bau*  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IBR, Stuttgart 1999
- [SCH01] SCHMITT, R.: *Die Schalungstechnik – Systeme, Einsatz und Logistik.*  
Ernst & Sohn Verlag für Architekten und technische Wissenschaften, Berlin 2001
- [SD04] STYPA, D.: *Arbeits- und Schutzgerüste*  
Ernst & Sohn Verlag für Architekten und technische Wissenschaften, Berlin 2004

**Zeitschriften**

- [BuS\_509] *Beton- und Stahlbetonbau*  
Ernst & Sohn, Heft 5, Mai 2009
- [mb-news4/09] *mb-news*  
mb AEC Software GmbH, Nr.4/2009
- [PS\_Feb08] *Die Nachtschwärmer vom Pörzbergtunnel*  
Pressespiegel, Anzeige Rudolstadt vom 17. Februar 2008

**Sonstige Unterlagen**

- [A07] *Projektvorschlag BV Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala*  
Anbieter A vom 28.11.2007
- [B08] *Projektvorschlag BV Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala*  
Anbieter B vom 16.01.2008 / 18.03.2008
- [C07] *Projektvorschlag BV Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala*  
Anbieter C vom 28.11.2007
- [D08] *Angebotsunterlagen Kegelstumpfhalbelement*  
Anbieter D vom 04.06.2007
- [PA08] BIELING, M.: 3.Praxisarbeit *Bauüberwachung Betriebsgebäude*  
*BV Ortsumfahrung Rudolstadt-Schaala*  
Stand vom 29.April 2008
- [SBK05] *PORR Schulungsunterlagen Baukostencontrolling (Grundlagen)*  
Stand vom 01. März 2005
- [LGS-012A] *Schalplan Lüftergebäude – Wände Lüftertürme*  
Stand vom 06. März 2008
- [LGS-002A\_03] *Schalplan Bodenplatte Lüftergebäude*  
Stand vom 06. März 2008

**Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich,

dass ich meine Diplomarbeit mit dem Thema

*Schalungs- und Gerüstlösung für das Objekt Lüftergebäude*

1. ohne fremde Hilfe angefertigt habe,
2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und
3. dass ich meine Diplomarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Schmölln, 14. August 2009

---

Ort, Datum

---

Unterschrift