

## Faulbehälteranlage Klärwerk Gut Großlappen (GGL)



Das Klärwerk Gut Großlappen ist das ältere von den zwei Großklärwerken der Stadt München. Schon während des ursprünglichen Neubaus in den 50er Jahren und der Erweiterung in den 90er Jahren hat Wayss & Freytag dort Bauvorhaben abgewickelt. Nach dem nun die alten Faulbehälter ersetzt werden mussten, hat Wayss & Freytag Ingenieurbau AG als technischer Federführer einer Arbeitsgemeinschaft den Auftrag für den Neubau der Faulbehälter im Jahr 2003 erhalten. Innerhalb der Arbeitsgemeinschaft „GGL Faulbehälteranlage“ war Wayss & Freytag für den kompletten Rohbau der Faulbehälter verantwortlich; durch den Argepartner wurden nur die Spezialtiefbauarbeiten (Gründungspfähle und Verbaue) ausgeführt.

Die Baumaßnahme umfasste:

- den Bau des Betriebsgebäudes mit circa 25.000 m<sup>3</sup> UBR
- den Installationskanal mit circa 155m Länge, 6 m Breite und 6 m Höhe
- den Bau der vier Faulbehälter mit je 14.500 m<sup>3</sup> Füllvolumen

Die einzelnen Faulbehälter gehören mit je 14.500 m<sup>3</sup> Füllvolumen zu den größten Europas. Das Projekt stellte eine der ingenieurmäßig anspruchsvollsten Herausforderungen unserer Zeit dar. Die Rohbauarbeiten wurden in 2007 abgeschlossen. Im Herbst 2008 sind die Faulbehälter in Betrieb genommen worden.

# Wissenswertes

In der Faulbehälteranlage wird der bei der Abwasserreinigung anfallende Schlamm gesammelt, aufgeheizt und zum Faulen gebracht. Es entsteht Biogas, das zur Energieerzeugung genutzt wird. Mit dieser Energie werden der komplette Wärmebedarf des Klärwerks und ein Großteil des Strombedarfs gedeckt.

Im Münchner Großklärwerk Gut Großlappen mussten die annähernd 50 Jahre alten Behälter grundlegend saniert, erweitert und technisch auf neuesten Stand gebracht werden. Die wirtschaftlich und betrieblich sinnvollste Lösung lag in einem Neubau der Faulbehälteranlage.

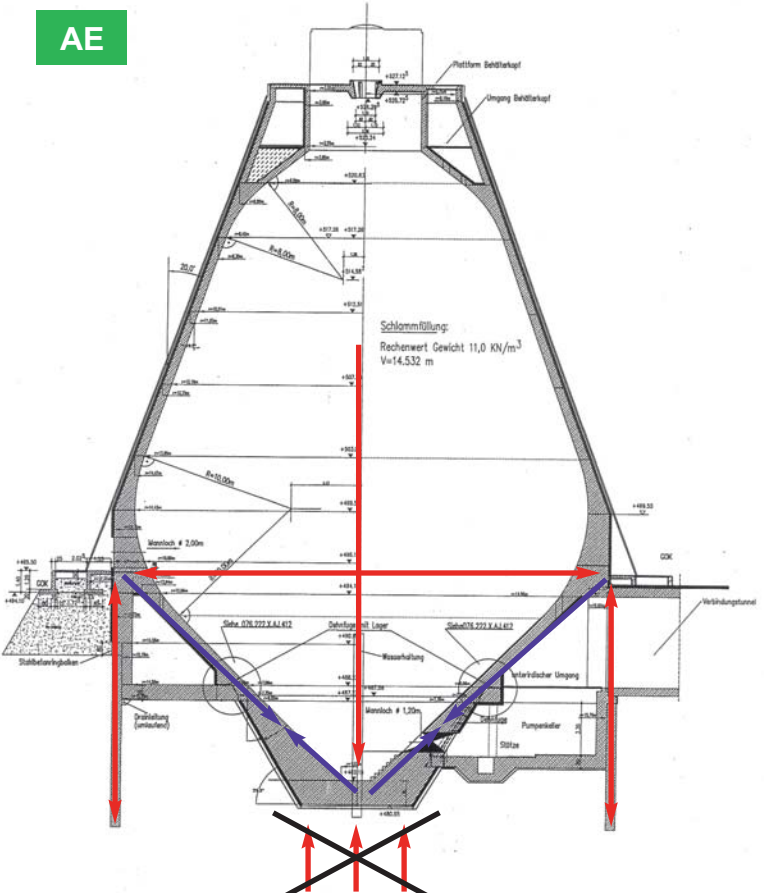
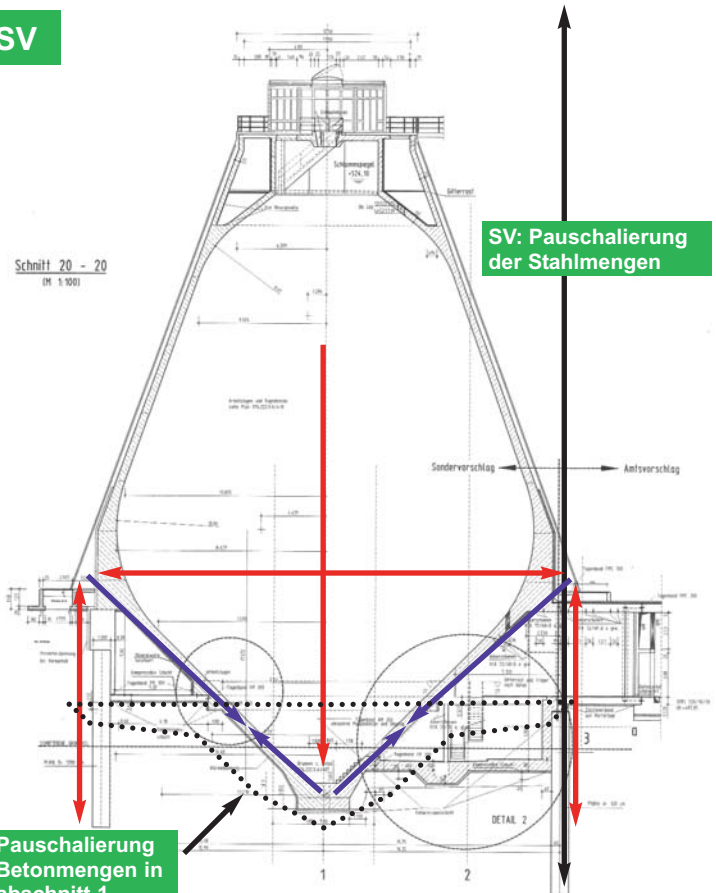
Die Entwurfsplanung für die Faulbehälteranlage ist bereits Ende 2001 abgeschlossen worden. In dieser Zeit ist auch die Entscheidung gefallen, im südwestlichen Quadranten des Autobahnkreuzes München Nord ein Fußballstadion zu bauen. Dadurch wuchsen das öffentliche Interesse und die Frage nach dem richtigen Standort der Faulbehälter.

Schlussendlich betonte die einberufene Kommission für Stadtgestaltung, dass die Anlage mit ihrer elegant modernen Architektur nicht halb versteckt werden darf, sondern selbstbewusst positioniert, das hohe technologische Niveau der Münchner Abwasserreinigung nach außen sichtbar machen sollte. Faulbehälter und Stadion setzen an der nördlichen Münchener Stadteinfahrt besondere städtebauliche Akzente. Die beiden Bauwerke stehen nicht in Konkurrenz, sondern verbinden sich mit dem Windrad auf dem Fröttmaninger Berg zu einem spannungsvollen Ensemble.

Die Faulbehälter sollen mit ihrer anspruchsvollen Industriearchitektur, direkt neben der Autobahn, den hohen technischen Standard der Abwasserreinigung im Klärwerk Gut Großlappen in das öffentliche Bewusstsein rücken und in ihrem qualitätsvollen Erscheinungsbild ein Symbol der Stadt für eine saubere Umwelt sein.

SV

AE



Kombinierte Pfahl-Platten-Gründung

Abb. 1: Vergleich Amtsentwurf (AE) - Sondervorschlag (SV)

## Beschreibung der Baumaßnahme

Die Faulbehälteranlage besteht aus vier kegelförmigen Behältern mit jeweils 14.500 m<sup>3</sup> Füllvolumen. Die 45 m hohen Behälter sind halbkreisförmig um das unterirdische Betriebsgebäude mit Treppenturm angeordnet. Die Behälter wurden mit Aluminiumpaneelen verkleidet.

Ein Installationskanal verbindet den Neubau mit der bisherigen Anlage. Im Betriebsgebäude sind die verfahrenstechnischen Anlagen der Faulbehälter untergebracht.

Der Amtsentwurf (AE) (Abb. 1) sah eine kombinierte Pfahl- und Flachgründung vor. Die Behälter sollten mit vertikal und horizontal verlaufenden Spanngliedern vorgespannt werden. Beauftragt wurden der Sondervorschlag (SV) mit veränderter Geometrie, Spannstahlführung und Gründung der Behälter (Abb. 1). Dadurch konnte z.B. im Bereich des unteren Kegels die Wandstärke um bis zu 90 cm verjüngt werden.

## Ausführung

### Arbeitsvorbereitung

Sämtliche baubetrieblichen Randbedingungen mussten definiert werden und hieraus die dafür erforderlichen Baumethoden abgeleitet werden. Bei jedem Bauabschnitt waren die Anforderungen an das Schalungssystem mit Bewehrungslogistik, zu berücksichtigen. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt war die Erfassung aller möglichen Sicherheitsgefährdungen und die Planung sicherheitsrelevanter Maßnahmen zum Arbeitsschutz. Anhand von Bauphasenplänen wurden die verschiedenen Arbeitsschritte detailliert dargestellt und konnten somit umfassend betrachtet und geprüft werden.

### Terminplanung

In Zusammenarbeit zwischen der örtlichen Bauleitung, der Arbeitsvorbereitung, sowie den beteiligten Schalungs- und Bewehrungsfirmen wurde ein detailliertes Arbeitskonzept erarbeitet, welches Grundlage sowohl für die Bauablaufplanung, Terminplanung, die Detailplanungen, die Arbeitssicherheit und auch für die Ausführung wurde.

Dem Terminplan lag zu Beginn ein Konzept zugrunde, das den gleichzeitigen, zeitversetzten Bau von zwei Faulbehältern vorsah. Durch nicht vorhersehbare Verzögerungen im Bauablauf wurden Beschleunigungsmaßnahmen erforderlich, die letztendlich ein paralleles Arbeiten an bis zu vier Faulbehältern notwendig machten.

Zur Umsetzung der hieraus resultierenden komplexen Arbeitsabfolgen wurde eine Terminplanung angestrebt, die unter Berücksichtigung u.a. der Personal- und Materialressourcen, die Abfolge der Schalungs-, Bewehrungs-, Spannstahl- und Betonarbeiten „just in time“ erfasst. Auftretende Einflüsse, ob technisch-, witterungs-, oder personalbedingt, wurden dadurch berücksichtigt und die Auswirkungen auf den geplanten Fertigstellungstermin dargestellt. Die terminlichen Auswirkungen von Gegenmaßnahmen mussten unmittelbar erkennbar sein. Hierfür wurde die Stelle eines zusätzlichen Terminplaners auf der Baustelle eingerichtet. Dies trug entscheidend dazu bei, Schlüsselleistungen, Engpässe und kritische Bauabläufe mit dem erforderlichen zeitlichen Vorlauf

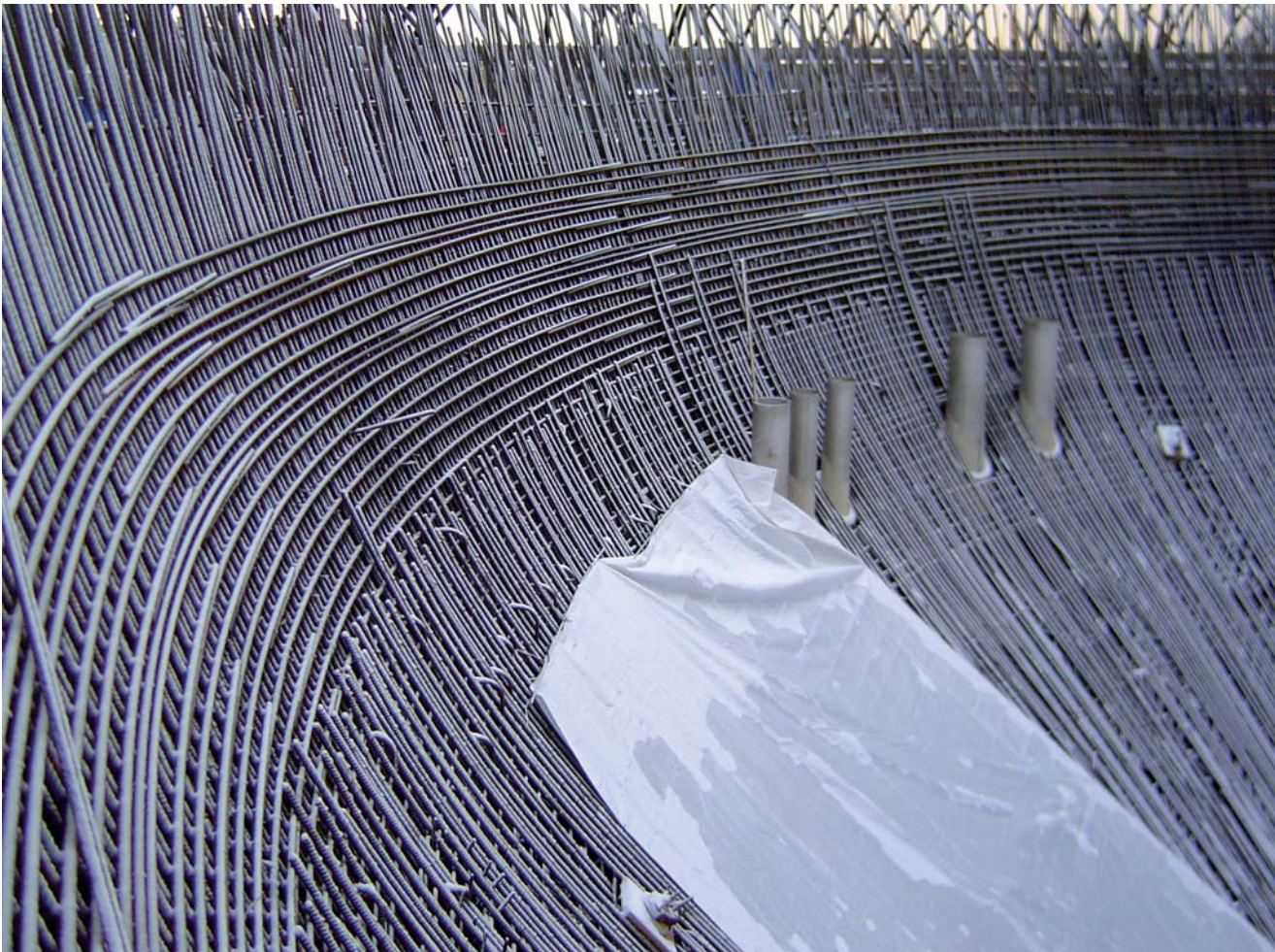


Abb. 2: Schläffe Bewehrung

zu erkennen, um möglichen Hindernissen im Bauablauf gezielt gegensteuern zu können.

### Lastfälle und Bewehrung

Während des Baus der Behälter und später im Betriebszustand wirken auf die Konstruktion äußere Lasten und Zwangsbeanspruchungen, die für die Dimensionierung der Struktur in Größe und Art definiert werden mussten. Das maßgebende Ziel ist die Gewährleistung der Dichtigkeit der Behälter während des Betriebs.

Die maßgebenden Lastfälle für die Faulbehälter sind die Temperatur und der Flüssigkeitsdruck. Der Lastabtrag erfolgt über einen in Äquatorebene angeordneten Ringbalken auf Großbohrpfähle. Geometrie und Beanspruchungen machten eine dreifache Vorspannung erforderlich: eine Ringvorspannung zur Aufnahme horizontaler Lastkomponenten, eine Meridianvorspannung mit Loopverankerung zur Aufnahme der Auftriebskräfte und eine Kegelschnittvorspannung zur Aufhängung des unteren Kegels an den Ringbalken. (Abb. 3)

Die Bewehrungsarbeiten im unteren Bereich des Faulbehälters waren durch zwei Besonderheiten geprägt:

1. In der Trichterspitze und im Kegel musste Schlaff- und Spannstahl über drei Bauabschnitte gleichzeitig eingebaut und räumlich gekrümmt, lagegenau verlegt werden. Die erarbeiteten Konzepte mittels Raumgerüst oder mobilem Montageturm mit Ausleger erwiesen sich als nicht zielführend. In Zusammenarbeit mit den Bewehrungsfirmen, dem Spannstahlverleger, den Sicherheitsorganen von Wayss & Freytag, sowie gemeinsam mit beratender Unterstützung der Bau Berufsgenossenschaft und dem Gewerbeaufsichtsamt wurde ein Einbau der Bewehrung im Trichter ohne Innengerüste festgelegt. Auch hier kam den Sicherheitsanforderungen eine besondere Bedeutung zu. Ein Verlegekonzept wurde erarbeitet. Für die Verlegung der Ringspannglieder wurde ein spezieller Abroller entwickelt, der den gleichzeitigen Einbau von bis zu vier Spanngliedern ermöglichte. Die Abfolge und Durchführung der Arbeiten wurde an 1:1 Modellen optimiert und trainiert.



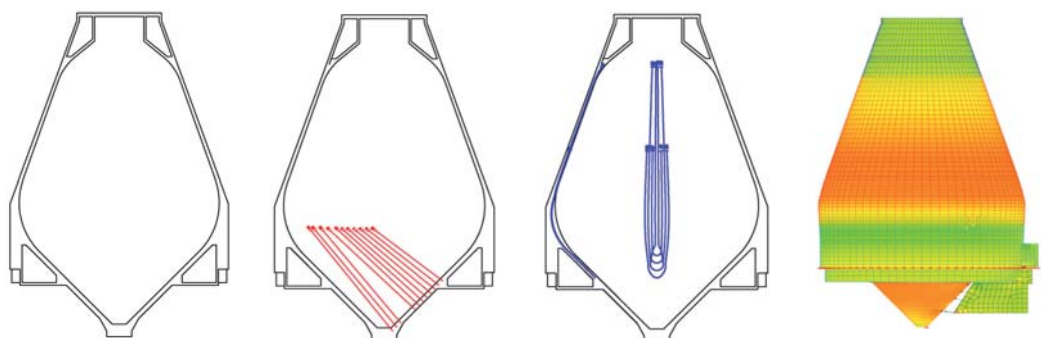
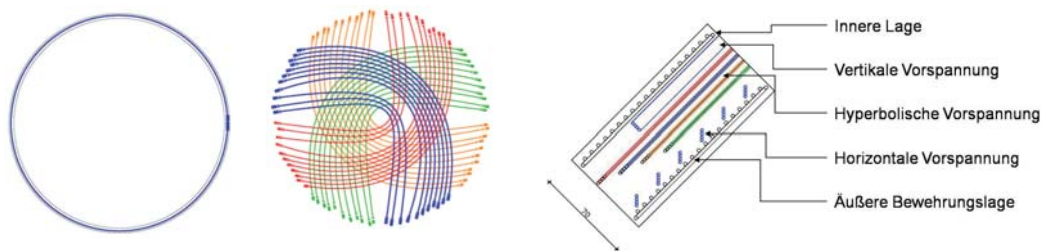
Abb. 3: Verankerung der Spannnischen



Abb. 4: Verankerung der hyperbolischen Spannglieder



Abb. 5: Vertikale Vorspannung



■ Zug  
■ Druck



Abb. 6: Darstellung der Lage der Spannbewehrung

2. Die zweite Besonderheit lag in der hohen Bewehrungsdichte der Kegelschalung. Bei einer Bauteilstärke von 70 cm waren pro m<sup>2</sup> Stellschalung bis zu 450 kg Bewehrung (Schlaff- und Spannstahl) lagen genau und lagestabil einzubauen. Auf Grund der geforderten Einbautoleranzen wurde jede Bewehrungslage und jedes Spannglied im Zuge der Qualitätssicherung vor dem Einbau in der Lage markiert, unmittelbar nach dem Einbau vermessungstechnisch überprüft und ggf. korrigiert. Eine enge Terminabstimmung ermöglichte hier ein kontinuierliches effizientes Arbeiten.

### Schalung

Die verwendete Schalung wurde auf die speziellen Anforderungen zugeschnitten. Durch den hohen Zeitdruck war eine ungewöhnlich große Menge von 700 to Schalmaterial notwendig, das auf 32 Lkw-Zügen, nach speziellem Terminplan, angeliefert und aufgebaut wurde. Bei der Termingestaltung mussten die Termine der Fußballweltmeisterschaftsspiele 2006 eingeplant werden, da an diesen Tagen aus Sicherheitsgründen die Zufahrtsstraßen zur Baustelle gesperrt wurden. Die geforderte Wasserundurchlässigkeit ließ keine Anker zu, die eine Verbindung zwischen Innen- und Außenschalung hergestellt hätten. Asymmetrische Belastungen, die sich während der Betonage z.B. durch geringe Pegelunterschiede des Frischbetons ergaben (Abb. 7) mussten berücksichtigt werden. Eine besondere Herausforderung an die Schalung stellte der Betoniervorgang dar. Während in der Trichterspitze

ze die Betonierfenster mit der vorhandenen dichten Bewehrung abgestimmt werden mussten, wurde im darauffolgenden Betonierabschnitt die Schalung im Zuge der Betonage kontinuierlich, spiralförmig geschlossen.

Die stählernen Haupttragglieder der einzelnen Schalungen bestanden aus Zugringen bei den Außenschalungen und Druckringen bei den Innenschalungen. Verbunden wurden die Ringe durch Vertikalträger (Spanten), welche den Betondruck durch zwischen den Spanten eingekeilte Schaltafeln erhielten und diesen an die Ringe weitergaben.

Zur Erstellung der Behälterspitze diente die trichterförmig ausgehobene Baugrube als Außenschalung. Innenseitig wurden die Segmente der Schalung eingehoben und im Trichter verschraubt. Die auf die Schalung wirkenden Auftriebskräfte wurden über horizontale Ebenen aufgenommen (Abb. 9). Die Ebenen waren über Zugstangen an die vorab betonierete Platte der Trichterspitze rückverankert.

Bei der Schalung des oberen Kegels erfolgte die Aussteifung des Tragskeletts durch Aussteifungsebenen und schräge Seilabspannungen. An den Vertikalträgern der Innenschalung konnten Arbeitsbühnen fixiert werden, um die entsprechenden Bauabschnitte bewehren zu können. Der jeweilige Bauabschnitt wurde nach der Verlegung der äußeren Bewehrungslagen mit der Außenschalung geschlossen. An den Vertikalträgern der Außenschalung wurden nun die Arbeitsebenen für die Betonage der Bauabschnitte befestigt.

### Beton

Eine komplizierte Bauteilgeometrie und gleichzeitig eine hohe Bewehrungsdichte führen dazu, dass bei Einsatz konventioneller Rüttelbetone, auch bei sorgfältigem Einbau und hoher Fließfähigkeit, Hohlstellen oder Kiesnester im Bauteil auftreten können.

Somit war es notwendig, für die Trichter einen selbstverdichtenden Beton (SVB) zum Einsatz zu bringen. Das Baustofflabor der Wayss & Freytag Ingenieurbau AG entwickelte eine neue SVB-Rezeptur, die den speziellen Anforderungen, wie gute Fließeigenschaften bei ausreichend langer Bearbeitungszeit (2 Std.), danach rasches Aussteifen, Hydratationswärmeentwicklung von maximal 60°C und keine verbleibende Schaumbildung an den Schüttlagenoberflächen Rechnung trug. Der hohe Flugaschegehalt des SVB führten dazu, dass sich ein Festigkeitsniveau im Bereich der Klasse C50/60 einstellte. Gefordert war ein C35/40!

Trotz der hervorragenden Eigenschaften des selbstverdichtenden Betons waren spezielle Qualitätssicherungsmaßnahmen zu treffen.

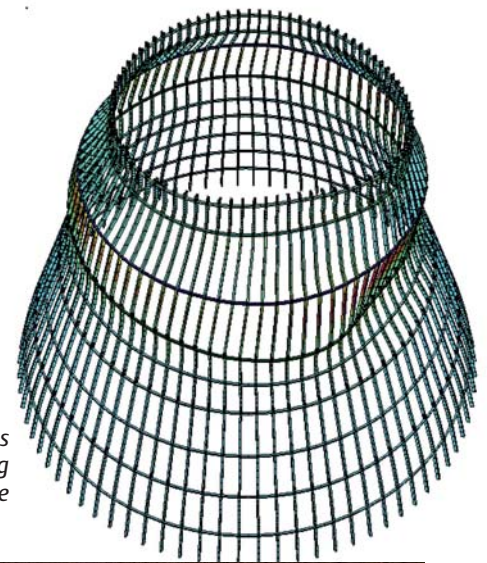


Abb. 7: Verformung aus asymmetrischer Belastung während der Betonage



Abb. 8: Bewehrung Trichter

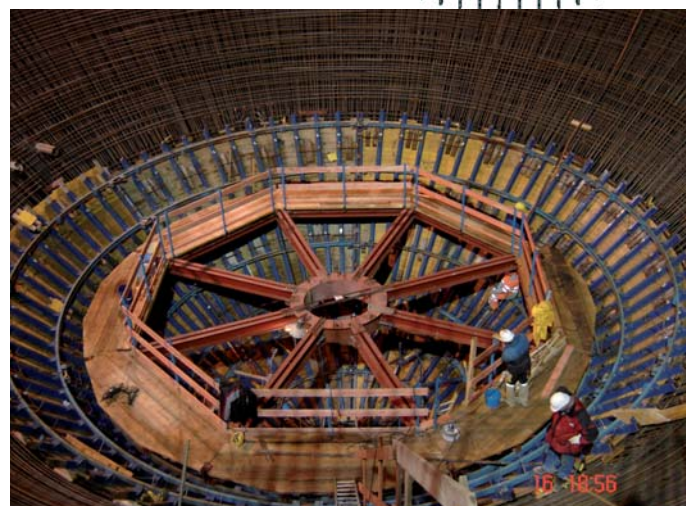


Abb. 9: Horizontale Aussteifung

Für die bis zu 80 Stunden dauernden Betonagen wurde die regionale Wettervorhersage ausgewertet, um günstige Betonierzeiten festzulegen. Für unvorhergesehene größere Niederschläge, starke Sonneneinstrahlung, oder niedrige Außentemperaturen wurde eine textile Abdeckung entwickelt, die auch den Anforderungen der Betonierabfolge gerecht wurde. Bei hohen Lufttemperaturen und windigem Wetter kamen Geräte zur Vernebelung von Wasser zum Einsatz.

Die Frischbetontemperatur wurde über das Jahr zwischen 15 und 18°C eingestellt. Zahlreiche, zusätzliche Temperaturmesssonden lieferten Messergebnisse, die zentral erfasst und begleitend zur Betonage ausgewertet wurden. Gleichzeitig wurden darüber die Temperaturen in den Klimakisten mit den Probewürfeln gesteuert. Über die Temperaturentwicklung der Betonagen zusammen mit den Druckfestigkeitsprüfungen der Probewürfel, konnten Rückschlüsse über das Ansteifverhalten und die Frühfestigkeiten des Betons im Bauteil gemacht werden. Bei auftretenden Unregelmäßigkeiten

konnten die Betonlabore unmittelbar gegensteuern. Dadurch war es möglich die Schalung in kritischen Bereichen im abbildenden Beton mit Kurzankern zusätzlich zu sichern.

Im Trichter wurden an den Zugstangen, welche die Schalung gegen Auftrieb sichern, je drei Ankerkraftmessgeber vorgesehen, um Hebungen zu kontrollieren. Die Lagehaltigkeit der Trichterspitze wurde zusätzlich mittels Laserstrahl und Zieltafel kontrolliert. Mit Hilfe der Vermessungstechnik wurde eine automatische Kontrolle entwickelt und aufgebaut, die kontinuierlich die Relativbewegungen definierter Schalungspunkte aufzeichnete, sowie optisch und akustisch Überschreitungen einzelner Grenzwerte anzeigte (Monitoring). Dies stellte sich als unverzichtbares Instrument der Qualitätssicherung heraus. Ein detaillierter Arbeitsablauf regelte die Betonagen, die in Schraubenlinien über den Behälterumfang erfolgten. Die Betonsteiggeschwindigkeit pro Stunde, die Umlaufgeschwindigkeit für einen Betonerring, die maximale Höhe der einzelnen Schüttagelagen, die maxi-

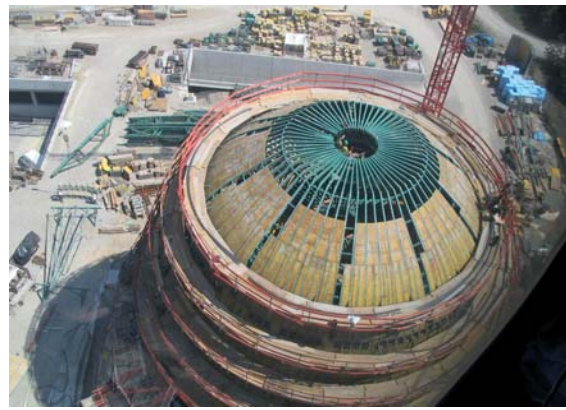


Abb. 10: Innenschalung, Behälterabschluß



Abb. 11: Außenschalung Trichterspitze



6 Abb. 12: Betonage

male Höhe der Schüttkegel an der Betoneinbringstelle, den Abstand der einzelnen Betoneinbringstellen und den maximalen Verschwenkungsbereich der Betoneinbaustellen bei Betonagen mit mehreren Betonpumpen wurden festgelegt und überwacht. Nach Abschluss der Betonierabschnitte wurde die Betonoberfläche mit 5 cm Wasser überstaut um die Rissbildung an der Betonoberfläche zu minimieren.

### Fazit

Das engagierte Zusammenspiel zwischen Bauherrn, Planer und Baufirma mit ihren Stabstellen und Beratern machte die Verwirklichung des anspruchsvollen Bauwerks möglich. Durch das Zusammenwirken aller Beteiligten konnte trotz technisch, geometrisch und terminlich schwierigen Anforderungen ein sicheres Arbeiten ermöglicht werden. Hervorzuheben ist, dass die Arbeiten ohne schwere Unfälle abgeschlossen werden konnten.

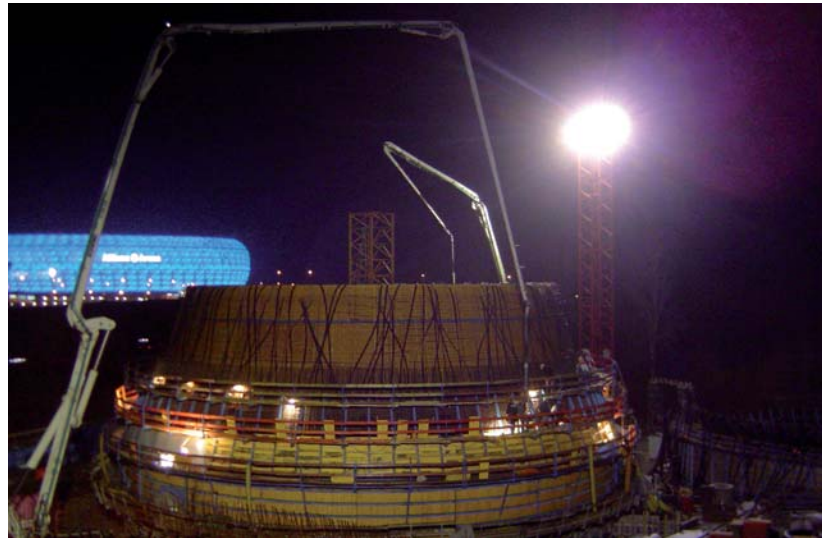


Abb. 13: Betonage bei Nacht



Abb. 14: Aufbringen der Außendämmung

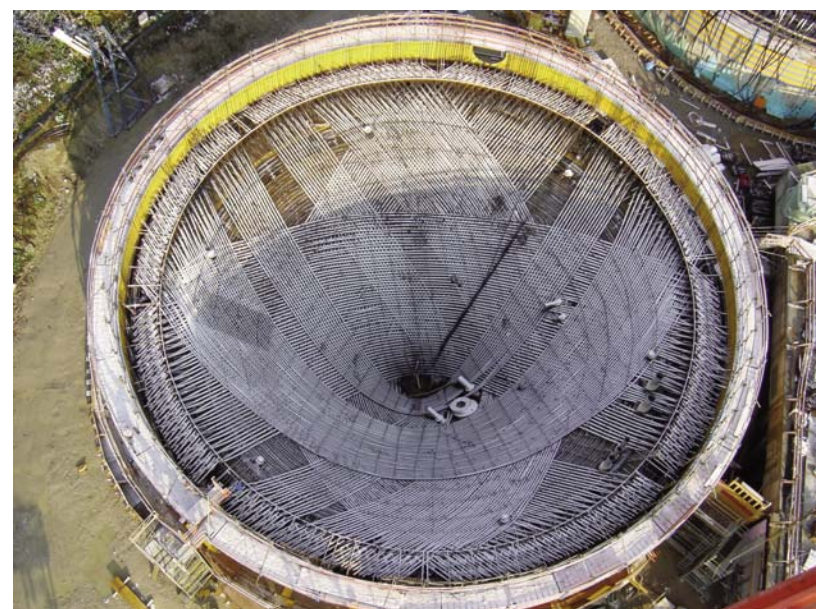


Abb. 16: Hyperbolische Vorspannung

links Abb. 15: vorgefertigter oberer Behälterabschluß mit angehängter Arbeitsbühne



## Allgemeine Daten

Auftragserteilung für die Rohbauarbeiten am 27.03.2003

Probetrieb mit Klärschlamm ab Frühjahr 2008

Bauherr: Stadtentwässerungswerke der Landeshauptstadt München

Bausumme netto € 24 Mio.

## Technische Daten

Kennzahlen :	Je Faulbehälter	Gesamt Mengen inklusive aller Nebenbauwerke
Höhe untere Trichterspitze bis Deckel	45 m	
Durchmesser am Äquator	33 m	
Füllvolumen	14.500 m <sup>3</sup>	58.000 m <sup>3</sup>
Beton	3.700 m <sup>3</sup>	27.500 m <sup>3</sup>
davon Selbstverdichtender Beton	1.300 m <sup>3</sup>	5.200 m <sup>3</sup>
Betonstahl	190 kg/m <sup>3</sup> 700 to	4.300 to
Spannstahl	52 kg/m <sup>3</sup> 195 to	780 to
Schalung	12.500 m <sup>2</sup>	100.000m <sup>2</sup>



Wayss & Freytag Ingenieurbau

Wayss & Freytag Ingenieurbau AG  
Konzerngesellschaft der Royal BAM Group  
Bereich Süd  
Aidenbachstraße 46  
81379 München

Telefon: 089 78025-0  
Telefax: 089 78025-105  
E-Mail: [ingbau.muenchen@wf-ib.de](mailto:ingbau.muenchen@wf-ib.de)  
[www.wf-ingbau.de](http://www.wf-ingbau.de)  
[www.bam.nl](http://www.bam.nl)