

Klärwerk Gut Großlappen – Bemessung und Konstruktion der vier neuen Faulbehälter

A. Müller, Ch. Schmid, Ch. Stettner, K. Zilch

542

Baubeschreibung • Berechnung • Behälterbau

Zusammenfassung: Im Klärwerk Gut Großlappen der Münchner Stadtentwässerung werden die alten Faulbehälter durch eine neue Anlage ersetzt. Die neue Anlage besteht aus vier Faulbehältern mit einem Füllvolumen von je 14.500 m³ und einem unterirdischen Betriebsgebäude. Die Behälter sind halbkreisförmig um das Betriebsgebäude angeordnet. Im Betriebsgebäude werden die verfahrenstechnischen Anlagen der Faulbehälter untergebracht.

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 des gewählten Last- und Bemessungskonzepts ist die Gewährleistung der Dichtigkeit der Behälter während des Betriebs. Im folgenden Beitrag wird die Konstruktion der Behälter, das gewählte Bemessungskonzept und dessen Umsetzung vorgestellt.



Bild 1. Ansicht der Baustelle
Fig. 1. View of the construction site

The sewage treatment plant Gut Großlappen – Design and Construction of the four new digester

Abstract: The old digester tanks of the sewage treatment plant owned by the Münchner Stadtentwässerung will be replaced by a new facility. The new facility consists of four digesters with a filling capacity of 14.500 m³ each tank and a subterranean plant. The digesters are situated semi-circular around the plant. In this supply-building are the procedural plants for the four digesters situated. During the construction of the digester and later during the operating status, the construction has to last external forces and restrai-

ning forces, which had to be specified in their size and manner for the designing of the structure. The most important aim of the chosen load- and design concept is the warranty of the impermeability of the digesters during the operation state. The following article introduces the construction of the digesters, the chosen design concept and its implementation.

1 Einleitung

Zur Zeit nähert sich der Bau der vier Faulbehälter mit Betriebsgebäude auf dem Klärwerk Gut Großlappen (Bild 1) seiner Fertigstellung. Die Planung der Faulbehälteranlage begann im Jahr 1998 (siehe [1]). Es wurde eine Lösung für die Faulbehälter mit einer kombinierten Pfahl- und Flachgründung erarbeitet. Die Behälter sollten mit vertikal und horizontal verlaufenden Spanngliedern vorgespannt werden. Für die Vertikalvorspannung wurde Vorspannung mit nachträglichem Verbund gewählt. Während der Ausschreibung des Bauvorhabens auf Basis dieses Amtsvorschlages wurde von der ARGE Wayss & Freytag Ingenieurbau AG und Bauer Spezialtiefbau ein Sondervorschlag mit veränderter Geometrie, Spannstahtführung und Gründung der Behälter angeboten und vom Bauherrn beauftragt.

2 Geometrie der Behälter

Die Faulbehälter des Klärwerks Großlappen können aufgrund ihrer Größe in den Bereich des Großbehälterbaus eingeordnet werden. Üblicherweise werden Behälter in dieser

Dr.-Ing. André Müller

Geschäftsführender Gesellschafter
Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Lindwurmstraße 129 a
80337 München

Ing. grad. Christian Schmid

Projektleiter
OBERMEYER Planen und Beraten
Hansastraße 40
80686 München

Dipl.-Ing. Christian Stettner

Projektleiter
Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Lindwurmstraße 129 a
80337 München

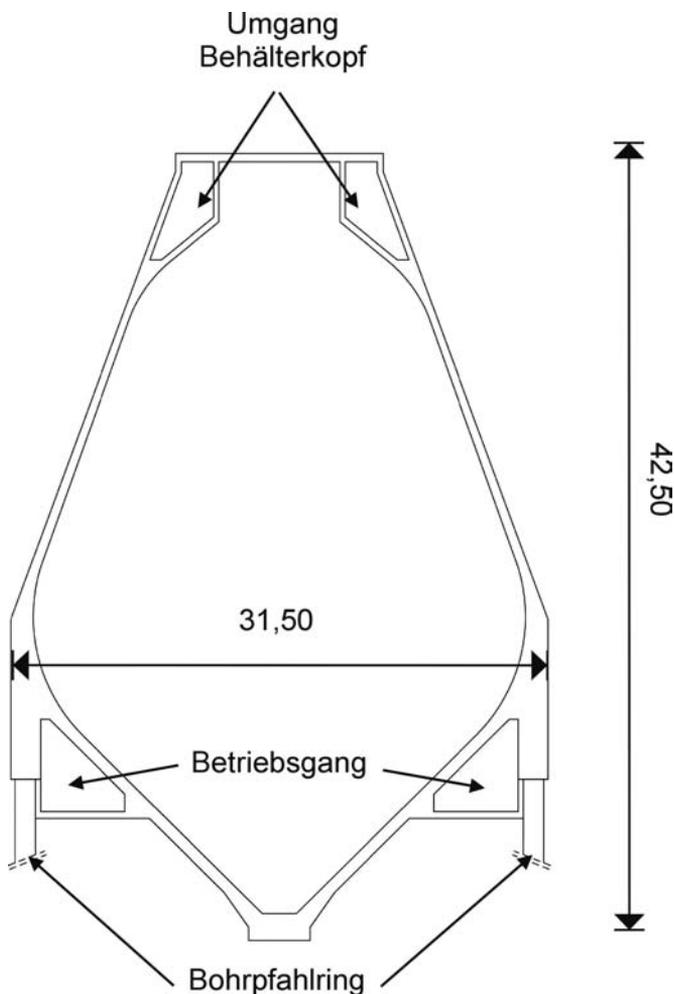


Bild 2. Querschnitt eines Behälters
Fig. 2. Cross section of a digester

Größenordnung mit eiförmiger Geometrie geplant, um die Membrantragwirkung der Schale nutzen zu können. Aufgrund der exponierten Lage der Faulbehälter des Klärwerks Gut Großlappen, in direkter Nachbarschaft zu der Fußballarena in Fröttmaning und der stark befahrenen Autobahn A9 wurde aus architektonischen Gründen eine besondere Form der Behälter gewählt. Diese kann als ein Verschmelzen eines Kegeltumpfs mit einem Kegel beschrieben werden (Bild 2). Am Behälterkopf erhalten die Faulbehälter einen Umgang und unterhalb der Äquatorebene einen Betriebsgang mit Pumpenkeller für den Betrieb und die Wartung. Durch den Betriebsgang ist ein Zugang ins unterirdische Betriebsgebäude möglich. Auf diesem Betriebsgebäude steht im Zentrum der Faulbehälteranordnung ein Treppenturm, von dem aus sternförmig Brücken zu den Behälterspitzen ausgehen. Diese ermöglichen den Zugang zum oberen Umgang der Faulbehälter.

Um das erforderliche Füllvolumen von 14.500 m^3 zu erreichen ergibt sich bei der gewählten Form eine Höhe der Struktur von 45 m . Im Verschmelzungsbereich (Äquator) besitzen die Behälter einen Durchmesser von $D = 30 \text{ m}$. Die Schale des oberen Kegeltumpfes besitzt im Mittel eine Stärke von $d = 50 \text{ cm}$ und ist mit 70° gegen die Horizontale geneigt. Der untere Kegel läuft mit einer Neigung von 45° auf eine Bodenplatte von $1,60 \text{ m}$ Durchmesser spitz zu. Mit dem gewählten Vorspannsystem des Sondervorschlages konnte im Bereich des unteren Kegels eine Wandstärke von

$d = 70 \text{ cm}$ realisiert werden. Im Verschneidungsbereich der beiden Kegeltumpfe weitet sich der Querschnitt auf maximal $3,0 \text{ m}$ auf. Zu Wartungszwecken erhalten alle Faulbehälter ein Mannloch auf Höhe des Pumpenkellers, sowie zwei gegenüberliegende Mannlöcher auf Höhe des Äquators.

3 Belastung

Die maßgebenden Einwirkungen während der Bauphase gliedern sich in die äußeren Temperaturlasten sowie die Beanspruchungen aus innerem Zwang, resultierend aus dem abschnittswisen Betonieren und Vorspannen der Konstruktion. Nach Rohbaufertigstellung werden alle vier Behälter durch eine Probefüllung mit Betriebswasser und einem Aufbringen von Gasüberdruck auf Dichtigkeit überprüft. Im Betriebszustand wirken auf die Schale der Behälter die Hauptlastfälle Eigengewicht, Flüssigkeitsdruck mit den zugehörigen Temperaturbeanspruchungen und die Kräfte aus der Vorspannung der Konstruktion. Die Belastungen aus Wind und Schnee können für die Bemessung der Behälterkonstruktion als nicht maßgebend betrachtet werden.

3.1 Flüssigkeitsdruck

Die Behälter werden im Betriebszustand mit Faulschlamm mit einer Wichte von $\gamma = 11,0 \text{ kN/m}^3$ befüllt. In der Schale erzeugt der hydrostatische Druck der Flüssigkeitslast in Ring- und Meridianrichtung Normalkräfte. Auf die geneigten Flächen des oberen Kegels wirken Auftriebskräfte, die im unteren Kegel verankert werden müssen. Die Ankerkräfte werden durch das Eigengewicht der Flüssigkeit, welches auf den unteren Kegeltumpf wirkt, egalisiert. In Ringrichtung der Schale erzeugt die Flüssigkeit Zugkräfte in Abhängigkeit von der Höhe des Flüssigkeitsspiegels und des vorhandenen Radius (Kesselformel). Durch den Knick in der Systemlinie und die Querschnittsaufweitung des Behälters im Äquatorbereich entstehen dort Störmomente die aufgrund ihres geringen Abklingfaktors in weiten Bereichen bemessungsrelevant sind.

3.2 Temperatur

Die Festlegung der Temperaturbelastung ist aus den bisherigen Normen und Richtlinien ([2],[3],[5]) für die statische Bemessung der Faulbehälter nicht eindeutig und zutreffend für die Betriebs- und Bauzustände definiert. Aus diesem Grund wurden für die Festlegung der Bemessungswerte umfangreiche thermische Berechnungen angestellt. Für die Betriebszustände ist es erforderlich, dass eine Aufheizung des Klärschlammes auf $+38^\circ\text{C}$ erfolgt. Mit dieser Temperatur wird der Gärprozess im Klärschlamm optimal unterstützt. Die Außenwände grenzen den Behälter zur Außenluft, zum Erdreich und zu Nebenräumen ab. Für den oberirdischen Behälterbereich ist eine gedämmte, hinterlüftete Fassadenbekleidung vorgesehen, zum Erdreich eine Perimeterdämmung.

Der instationäre Verlauf der Isothermen im ungestörten Wandbereich wird für 8 Himmelsrichtungen nach den Werten der VDI 2078 [4] für den 23. Juli und den 22. September, sowie nach den Werten des Testreferenzjahres TRY09 für den Zeitabschnitt 25.-30. Januar ermittelt. Der Bereich um die Verankerung der Fassadenbekleidungen stellt eine Wärmebrücke dar (Bild 5). Zur Ermittlung des Verlaufs der Isothermen und Wärmeströme wurde eine dreidimensionale

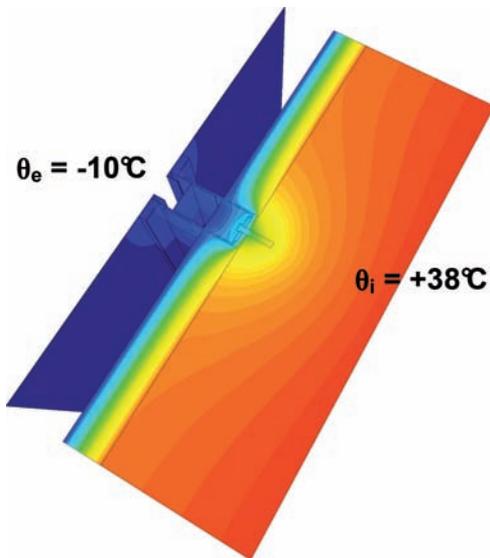


Bild 3. Bereich Fassadenbefestigung, Verlauf der Isothermen
 Fig. 3. Anchorage of the facade, gradient of isotherms

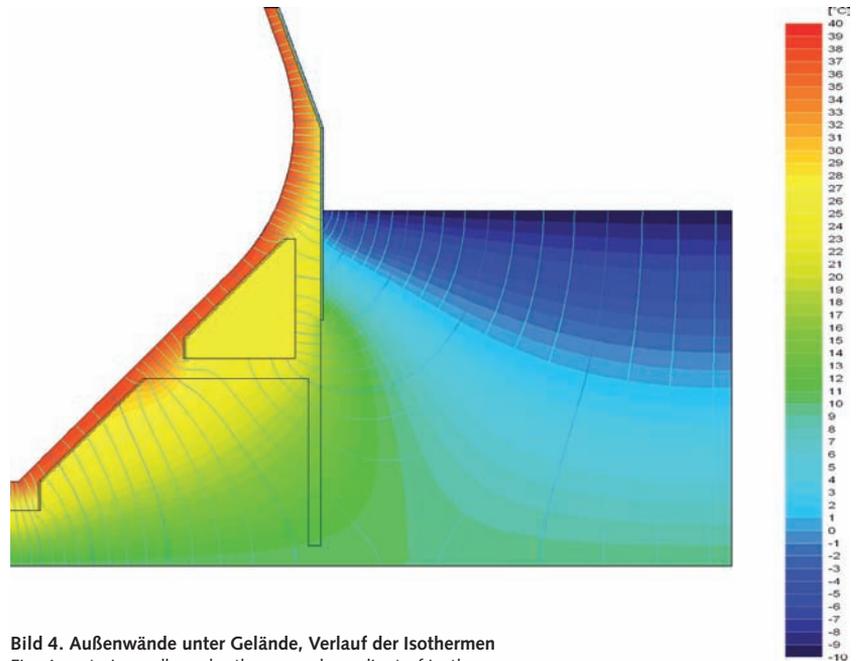


Bild 4. Außenwände unter Gelände, Verlauf der Isothermen
 Fig. 4. exterior walls under the ground, gradient of isotherms

Wärmedurchgangsberechnung für den stationären Zustand durchgeführt. Die Dicke der Dämmung wurde wie folgt festgelegt: oberirdisch 20 cm (bei den senkrechten Umfassungswänden wegen der dicken Bauteile) und 14 cm bei den schrägen Umfassungswänden.

3.2.1 Berechnung für den Endzustand

Die Außenwände, die den Behälter unten zum Erdreich und zu Nebenräumen abgrenzen, sind außenseitig, entlang der Schräge zum Erdreich lastabtragend. Aus diesem Grund wurde eine 100 mm dicke Perimeterdämmung aus Schaumglas vorgesehen. Die Oberflächen, die den Nebenräumen zugewandt sind (unterer Umgang), werden mit einem Wärmedämmverbundsystem von 120 mm Stärke gedämmt. Das Gebäude taucht in das Grundwasser ein. Strömungsgeschwindigkeit und Temperatur des Grundwassers sind nicht durch Messungen bekannt. Die Grundwassertemperatur wird in dieser Betrachtung mit $q_{GW} = +10^\circ\text{C}$ als Jahresmittel angesetzt. Die Berechnung für den stationären Zustand für den Winterlastfall zeigt folgenden Verlauf der Isothermen und Wärmeströme (Bild 4). Der Verlauf und die Dichte der Wärmestromlinien zeigen die hohe Bedeutung der Perimeterdämmung bei der vertikalen Umschließung.

3.2.2 Berechnung für den Bauzustand

Weitaus größere Belastungen treten jedoch während der Herstellung der Behälter auf. Die maximale rechnerische Temperaturdifferenz beträgt bis zu 30 K und teilweise noch darüber. Eine wirksame Maßnahme stellt die Aufbringung einer Dämmfolie dar, die die direkte Sonneneinstrahlung verhindert. Die Temperaturbelastungen sind in Bild 5 gegenübergestellt. Die maximale Beanspruchung im eingeschalteten Zustand beträgt rechnerisch bis zu 14 K (rechte Hälfte in

Bild 5). Im ausgeschalteten Zustand ohne Sonnenschutz treten Temperaturbelastungen bis zu 30 K in den Außenwänden auf (linke Hälfte in Bild 5).

Aus den thermischen Berechnungen ergab sich für die Umsetzung auf der Baustelle, dass die Betonoberfläche nicht ungeschützt der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein darf. Unmittelbar nach dem Ausschalen wurde daher eine 3 cm dicke Dämmung aus Polystyrolhartschaum aufgebracht, damit die Temperaturdifferenz, die in der statischen Berechnung berücksichtigt ist, eingehalten wird. Die Temperaturmessungen am Bauteil mit dieser Dämmung haben sehr gute Ergebnisse geliefert.

3.2.3 Ablauf der Probefüllung

Die Befüllung war in 4 zeitlichen Abschnitten (Bild 6) von je 1 Woche durchzuführen. Die Fördermenge für den Befüllungsvorgang betrug ca. 150 m³/h. Das eingefüllte Betriebswasser aus dem Klärwerk besaß eine Temperatur von 17°C.

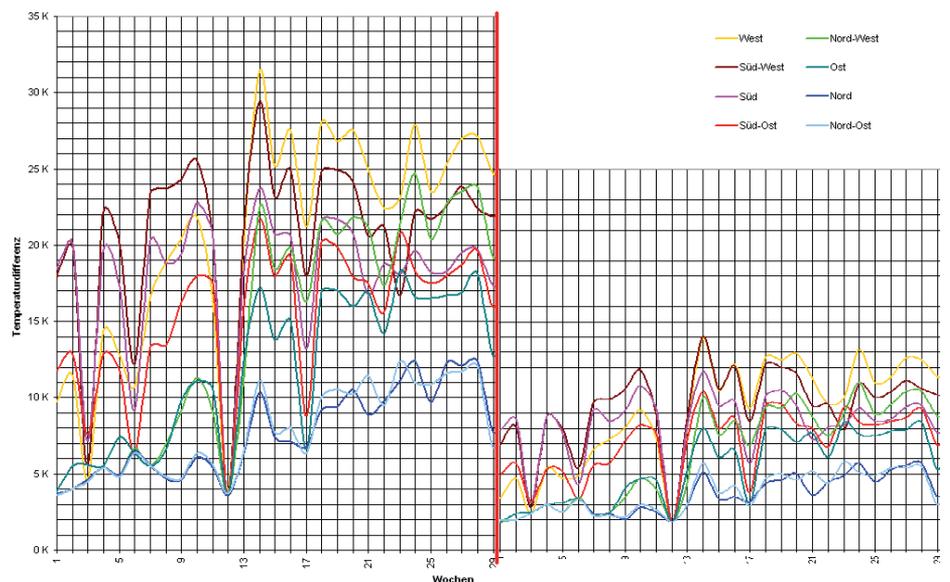


Bild 5. Temperaturbelastungen ausgeschalt und ohne Sonnenschutz / eingeschalt
 Fig. 5. Temperature load without formwork and without sunscreen / with formwork

– Der gesamte Querschnitt des Behältermantels muss während der Prüfzeit frostfrei sein, das heißt, eventuell außen austretende Prüf-flüssigkeit darf nicht zur Eisbildung führen. Für erforderliche Injektionsarbeiten ist eine Mindestbauteiltemperatur von 5°C notwendig. Damit ist eine Probebefüllung in den Monaten der Winterperiode November bis April **nicht möglich**. Die Probebefüllungen wurden bei zwei Faulbehältern im Herbst 2006 und bei den restlichen zwei Faulbehältern im Frühjahr 2007 durchgeführt. Die tatsächlichen Wetterbedingungen waren durchweg günstiger als im TRY09 dargestellt.

4 Gründung

Als Hauptgründungselement beim Sondervorschlag der Faulbehälter wirkt ein Bohrpfahlring (Durchmesser = 30 m, Pfahldurchmesser $d = 1,20$ m) auf welchem der Behälter auf Höhe des Äquators aufliegt. Der Ring wird durch den an den Betriebsgang unten angehängten Pumpenkeller auf einer Breite von 4,0 m unterbrochen. Die Eigenlast der Füllung im Kegel wird durch Spannglieder „aufgehängt“ und lagert sich auf dem Bohrpfahlring auf. Der Bohrpfahlring dient in Verbindung mit einer Spritzbetonauskleidung des Kegelaushubs im Bauzustand der Behälter als Baugrubensicherung.

Die erdberührte Fläche der Bodenplatte des Betriebsgangs wird durch eine weiche Styroporschicht von der Lastabtragung im Wesentlichen ausgenommen. An der Außenhülle der unteren Kegelspitze wird durch eine Dämmschicht aus Glasschaumplatten eine Auflagerfläche geschaffen, welche ausschließlich für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt wurde. Um die Belastungen auf die Glasschaumplatten im zulässigen Bereich zu halten, werden die Lasten durch ein Verpressen des Baugrunds unterhalb der Kegelspitze dort konzentriert und die gedämmten Mantelflächen des Kegels entlastet.

Mit dem gewählten Gründungskonzept sollen die zu erwartenden Setzungen der Konstruktion im gefüllten Zustand auf maximal 16 mm begrenzt werden. Messungen während der Probebefüllung der Behälter bestätigten die Einhaltung der gesetzten Grenzwerte.

5 Bemessung und Konstruktion

5.1 Bemessungskriterien

Neben den üblichen Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit liegt bei Flüssigkeitsbehältern naturgemäß das Hauptaugenmerk auf den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zur Sicherstellung der Dichtigkeit.

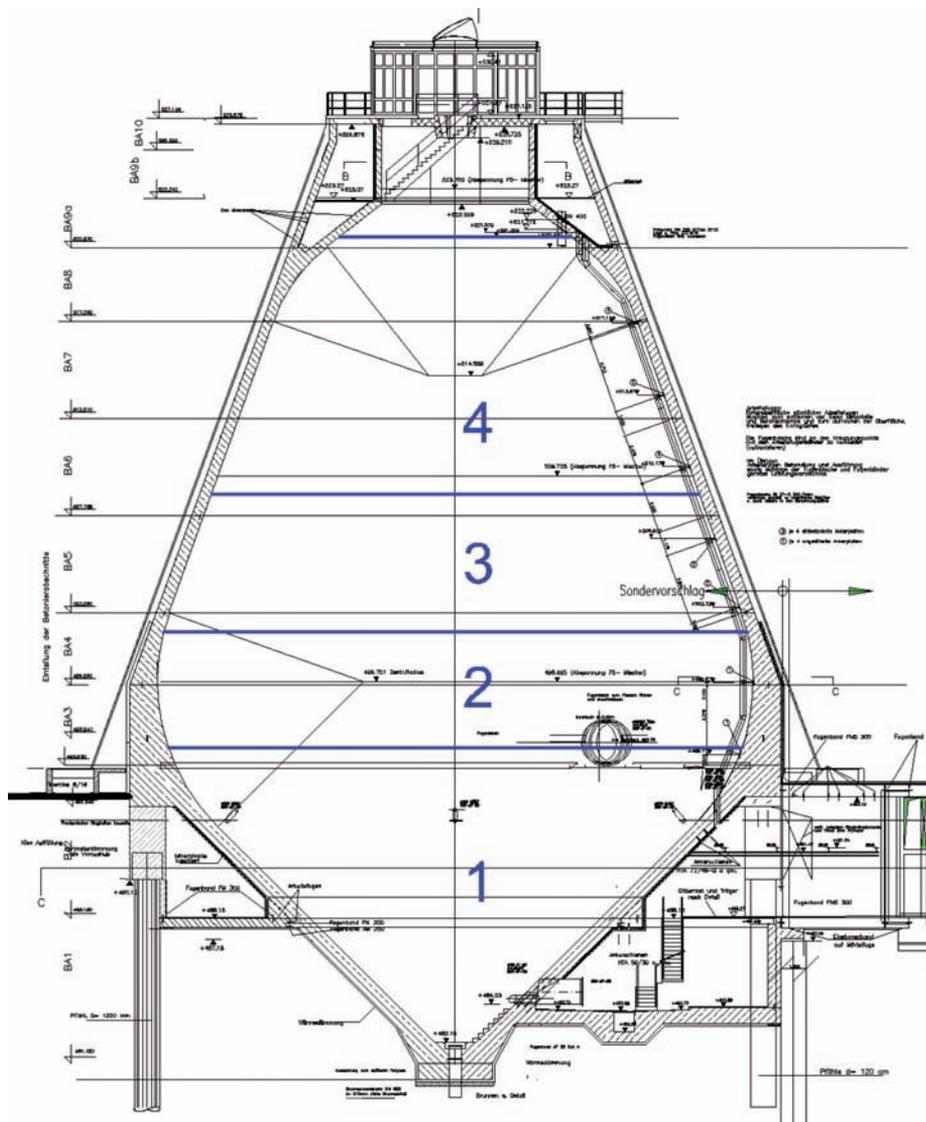


Bild 6. Faulbehälter mit den Probebefüllungsabschnitten
Fig. 6. digester with the sections of the testfillingprocess

Jeweils nach ca. 1½ Tagen wurde die Befüllung für den Rest der Woche angehalten und der Behälter in diesem Zustand kontrolliert. In dieser Zeit wurden auch Setzungsmessungen durchgeführt.

3.2.4 Berechnungen zur Probebefüllung

Rechnerische Untersuchungen zur Probebefüllung basierend auf Daten des Testreferenzjahres TRY09 ergaben folgende Eingrenzung in der zeitlichen Abfolge der Probebefüllung:

- Die Temperatur der Zulaufflüssigkeit darf nicht mehr als 15 K über der Bauteiltemperatur des Behältermantels liegen, um Schäden aus den thermischen Belastungen zu verhindern.
- Bis zur vollen Füllung des Behälters bleibt die provisorische Wärmedämmung an den Außenwänden.
- Die direkte Sonneneinstrahlung muss verhindert werden. Das Fassadengerüst wird mit Beginn der Befüllung aufgebaut und ist mit voller Füllung des Behälters fertiggestellt.
- Die Sonnensegel werden am Fassadengerüst außen befestigt, anschließend wird die provisorische Wärmedämmung entfernt.

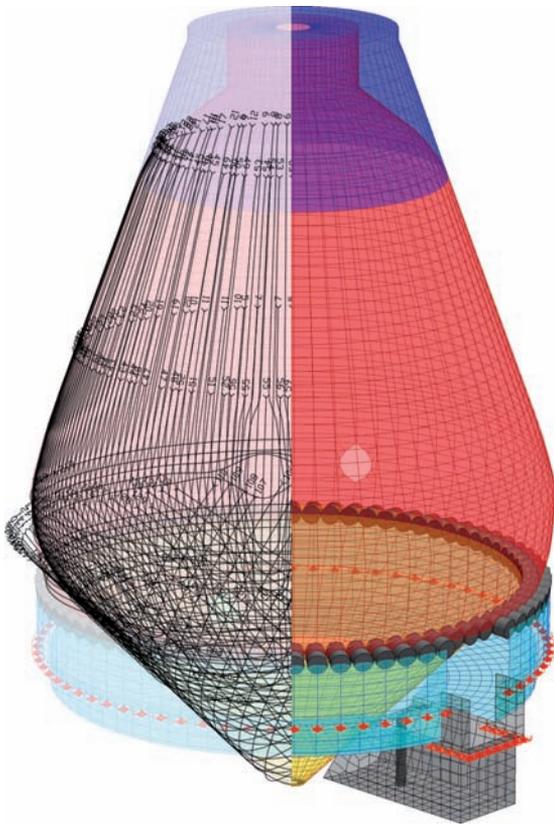


Bild 7. Vorspannkomponenten mit deren FE-Modellierung (Software: Infograph)
 Fig. 7. Components of prestressing in the FE-model (software: infograph)

Grundlage der Bemessung ist die DIN 1045–1. Die Genehmigungsphase des Amtsvorschlages lief parallel zur Einführungsphase der neuen Normengeneration der DIN 1045 (siehe auch [1], [8] und [9]). Als Lasten wurden Eigengewicht, ständige Lasten, Verkehr, Vorspannung, Füllung, Temperatur, Schnee, Wind und Erddruck angesetzt.

Die Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise wurden unter Berücksichtigung der Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte nach [2], [5] und [6] geführt. Dabei konnte die Faulschlammfüllung mit der Sicherheit $\gamma_{\text{sup}} = 1,35$ angesetzt werden, da deren spezifisches Eigengewicht „genau“ bekannt war. Dasselbe galt für die Probefüllung mit Betriebswasser. Die Kombinationsbeiwerte für Füllung und Temperatur bei Stapelbetrieb waren eigene Festlegungen.

5.2 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Diese Nachweise wurden für die normale Grundkombination (ständige und vorübergehende Bemessungssituation) geführt.

5.3 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Grundlage für diese Nachweise sind die Expositionsklassen, die geforderten Rissbreiten sowie die Mindestdruckzonen. Sie wurden mit dem Bauherrn abgestimmt. Die Behälterinnenwand wurde in die Expositionsklasse XA2 ([2], Tab. 3, chemisch mäßig angreifende Umgebung) eingestuft. Daraus ergab sich eine Mindestbetondeckung für den gesamten Faulbehälter mit $c_{\text{min}} = 30$ mm bzw. $c_{\text{nom}} = 50$ mm angesetzt. Weiterhin wurden die Faulbehälter in die Klasse 2 (lokale Dichtigkeit) nach [5] eingestuft. Danach sind keine äußerlich wahrnehmbaren Leckagen erlaubt. Die Nachweise zur



Bild 8. Horizontale Vorspannung
 Fig. 8. Horizontal prestressing

Rissbreitenbegrenzung wurde für zentrischen Zwang und unter Lasteinwirkung mit $w_k = 0,10$ mm (Behälterinnenwand) und $w_k = 0,20$ mm (Behälteraußenwand sowie alle übrigen Bauteile) durchgeführt.

Als weiteres Element des Dichtigkeitskonzeptes wurde die Begrenzung der Rissbreiten durch folgende Nachweise ergänzt:

- Einhaltung einer Mindestdruckzone von $x > 2/3$ h unter maximaler Einwirkungskombination (Eigengewicht, Vorspannung, Erddruck aus Bauwerkslasten, Schlammfüllung mit unterschiedlichen Füllständen, Temperatur)
- Ständige Einwirkungen (Eigenlast, Vorspannung, Erddruck aus Bauwerkslasten, Schlammfüllung mit unterschiedlichen Füllständen) werden mit $0,5$ N/mm² zum Zeitpunkt t_{so} in der Mittellinie überdrückt (minimale Mittelspannung)

6 Vorspannung

Die gewählten Abmessungen und das definierte Bemessungskonzept der Faulbehälter Gut Großlappen erforderten eine Konstruktion als vorgespannte Schale (**Bild 7**). Es wird im gesamten Behälter eine verbundlose Vorspannung mit Spannbändern bestehend aus vier Litzen eingesetzt. Die Vorteile der verbundlosen Vorspannung durch den integrierten Korrosionsschutz (kein Einfädeln und Verpressen notwendig) und den geringen Reibungsverlusten beim Vorspannen kommen bei Behälterkonstruktionen zum Tragen. Entsprechend den Kräften aus dem Flüssigkeitsdruck lassen sich die Anteile der Vorspannung zuordnen:

- Horizontale Vorspannung
- Vertikale Vorspannung
- Hyperbolische Vorspannung

Aus dem horizontalen Anteil des hydrostatischen Flüssigkeitsdrucks entstehen in der Schale Ringzugkräfte. Die horizontal verlaufenden Ringspannglieder wirken den Ringzugkräften entgegen. Die Ringspannglieder sind bis auf den unteren Trichterbereich und den Behälterkopf im gesamten Bauwerk verteilt (**Bild 8**). Der Abstand der Spannbänder mit je 4 Litzen liegt zwischen 20 und 50 cm. Ausgenommen hiervon sind die unterhalb und am Äquator liegenden Bereiche. Dort sind für die Aufnahme des Flüssigkeitsdrucks und der dort erzeugten Störmomente in der Ebene bis zu 4 Spann-



Bild 9. Vertikale Vorspannung
Fig. 9. Vertical prestressing

bänder hintereinander erforderlich. In Summe wird der Faulbehälter durch 136 Ringspannglieder vorgespannt. Der vertikale Anteil des Flüssigkeitsdrucks erzeugt im Kegelstumpf Auftriebskräfte, welche von in der Mittellinie der Schale verlaufenden Meridianspanngliedern aufgenommen werden (**Bild 9**). Die Meridianspannglieder verankern sich mit Schlaufenankern, die etwa im oberen Drittel des Kegels liegen. Vorspannt wird die eine Hälfte der Meridianspannglieder an Spannankern etwa auf halber Höhe des Kegelstumpfes, die andere Hälfte an Spannankern im oberen Umgang des Behälterkopfes. Aufgrund der Lage der Spannanker in Querschnittsmitteln erfordert der Spannvorgang der Meridianspannglieder ein Unterbrechen des Baufortschrittes.

Im Kegel des Behälters ist analog zum Kegelstumpf der vertikale und horizontale Anteil des hydrostatischen Flüssigkeitsdrucks abzutragen. Dies geschieht durch Spannbänder (**Bild 10**), welche in der Verschneidungslinie des dünnwandigen Trichters mit einer zwischen 45° und 50° Grad geneigten Ebenen verlaufen (hyperbolische Vorspannung, [7], [8]). Eine Staffelung der Verschneidungsebenen von der Trichterspitze beginnend nach oben und ein sukzessives Kippen in die Horizontale erzeugt eine Schar von Spanngliedverläufen, deren Krümmung im Umlenkpunkt stetig abnimmt. Vier Scharen an Spannbändern sind jeweils um 90 Grad zueinander versetzt. Durch den gewählten Spanngliedverlauf erhält man im unteren Kegel eine nahezu rotationssymmetrische Kraftverteilung. Diese wirkt aufgrund ihrer fast senkrecht zur Schalenfläche gerichteten Wirkungslinie (**Bild 11**) dem hydrostatischen Druck direkt entgegen.

7 Betonstahlbewehrung

Ein weiteres Element zur Einhaltung der Dichtigkeitskriterien war eine Begrenzung der Rissbreiten. Der bemessungsrelevante Zustand ergab sich im Bauzustand bei noch fehlender Vorspannung. Die dort wirkenden Belastungen aus äußerem Zwang (Sonneneinstrahlung, Temperaturlasten im Bauzustand) und innerem Zwang (Abfließen der Hydrationswärme der einzelnen Bauabschnitte) mussten unter Einhaltung der zulässigen Rissweiten von der Betonstahlbewehrung aufgenommen werden. Die Begrenzung der Stahlspannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, vor allem für große Stabdurchmesser, ergab Bewehrungs-



Bild 10. Hyperbolische Vorspannung
Fig. 10. Hyperbolic prestressing

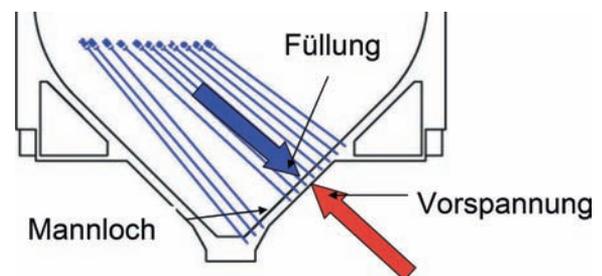


Bild 11. Wirkungsprinzip der hyperbolischen Vorspannung
Fig. 11. Operating principle of hyperbolic prestressing

grade von bis zu 220 kg/m⁵, welche hohe Anforderungen an die konstruktive Durchbildung des Querschnittes stellen. Bei der Ermittlung der erforderlichen Bewehrung in Ringrichtung wurde in den oberen Abschnitten das Differenzschwinden der einzelnen Abschnitte berücksichtigt, um die Querschnitte wirtschaftlich und betonierbar zu dimensionieren. Im Zustand ohne Vorspannung konnten geringfügig höhere Rissbreiten zugelassen werden, da nach Aufbringung der Vorspannung der Sollzustand wieder erreicht werden konnte.

8 Konstruktive Durchbildung

Durch die vorhandene Größenordnung und Form der Behälter sind erhebliche Mengen an Betonstahl- und Spannstahl erforderlich, um die auftretenden Kräfte abzutragen. Die Vorgaben aus der Bemessung waren durch eine sehr detaillierte Planung der Betonstahl- und Spannstahlverteilung in eine auf der Baustelle umsetzbare Form zu bringen.

Als kritische Punkte zeigten sich vor allem:

- Oberes Drittel des unteren Trichters mit 4 Scharen hyperbolischer Spanngliedern, stehende Schlaufenanker der vertikalen Vorspannung, vier Bänder horizontaler Vorspannung (incl. Verankerungsstellen) und vierlagiger Betonstahlbewehrung
- Schleifende Schnitte der Ringvorspannung durch die äußerer Betonstahlbewehrung zu den Ankerpunkten
- 220 Verankerungsstellen auf Äquatorhöhe für die hyperbolische Vorspannung
- Zulagebewehrung und Übergreifungsstöße der Betonstahlbewehrung unter Beachtung der zulässigen Mindestabstände

Anhand einer Einteilung des Querschnittes im unteren Kegel in verschiedene Bewehrungsebenen (**Bild 12**) konnten die einzelnen Komponenten der Vorspannung im Bauwerk untergebracht werden. Eine Vernadelung der einzelnen Schichten konnte teilweise durch die vorhandenen Abstandshalter (Schubzulagen) und im Einleitungsbereich der Spannglieder zusätzlich gesteckte Bügel erreicht werden. Im unteren Bereich des Faulbehälters wurde aufgrund der dort vorhandenen Konzentration an Spann- und Betonstahlbewehrung selbstverdichtender Beton eingesetzt.

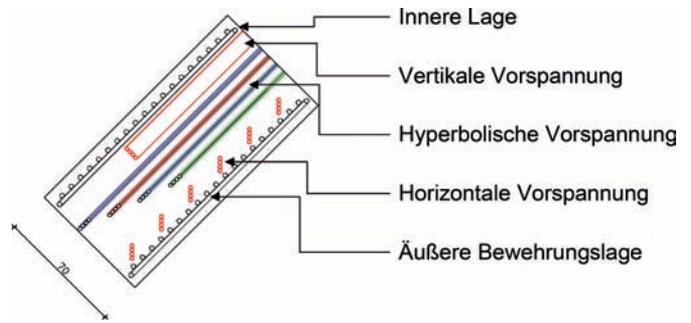


Bild 12. Schema zur Querschnittsgliederung im Kegel
Fig. 12. scheme of the disposition in the cross-section of the cone

9 Zusammenfassung

Die Anforderungen an die Größe und Form der Faulbehälter stellte die an Bau und Planung beteiligten Personen vor besondere Herausforderungen.

Für die Gewährleistung eines einwandfreien Betriebes und der Dauerhaftigkeit der Behälter waren die maßgebenden Einwirkungen Temperatur und Füllungslast in einem Bemessungs- und Dichtigkeitskonzept zu erfassen. Die sich daraus ergebenden Bewehrungsgrade erforderten eine detaillierte Ausführungsplanung, um eine baubetriebliche Umsetzung zu ermöglichen.

Bei allen betroffenen Punkten konnten durch die enge Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten die Fragestellungen aus der Planung und Bauausführung betrachtet und in Übereinstimmung gebracht werden. Die erfolgreich durchgeführten Probebefüllungen und Gasdichtigkeitsprüfungen an allen vier Behältern bestätigen die in der Planung getroffenen Annahmen, sowie die Qualität der Bauausführung.

Projektbeteiligte:

Bauherr:	Münchner Stadtentwässerung
Tragwerksplanung (Amtsvorschlag):	OBERMEYER Planen und Beraten, München
Tragwerksplanung (Sondervorschlag):	Peter Jäger Bauingenieure AG, Basel (CH)
Bauausführung:	ARGE Neubau Faulbehälter Klärwerk Großlappen Wayss & Freytag / Bauer Spezialtiefbau
Prüfingenieur:	Univ. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. K. Zilch

Literatur

- [1] Achermann, M.; Sailer, M.: Erfahrungen mit der Anwendung der DIN 1045-1 am Beispiel Klärwerk Gut Großlappen, SEW München: Neubau des Klärwerks. Massivbau 2004; Forschung, Entwicklung und Anwendung; Springer VDI Verlag
- [2] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
- [3] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.: Merkblatt W 311, Planung und Bau von Wasserbehältern; Grundlagen und Ausführungsbeispiele, 02/1988
- [4] Verein Deutscher Ingenieure VDI e.V.: VDI-Richtlinie 2078, Berechnung der Kühllast klimatisierter Gebäude bei Raumkühlung über gekühlte Raumschließungsflächen, 02/2003
- [5] EN 1992-3, EC 2 Teil 3, Planung von Stahlbeton und Spannbetontragwerken, Teil 4: Stütz- und Behälterbauwerke aus Beton, 2004
- [6] DIN ENV 1991-1, EC 1 Teil 1, Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Tragwerken, 1995
- [7] Naumann, W.: Beitrag zum Problem der Spanngliedführung in Kegel- und Kugelschalen, Dissertation RWTH Aachen, 1982
- [8] Jäger, P.: Erfahrungen mit der Anwendung der DIN 1045-1 am Beispiel Klärwerk Gut Großlappen, SEW München: Das Vorspannkonzzept der Ausführungsplanung. Massivbau 2004; Forschung, Entwicklung und Anwendung; Springer VDI Verlag
- [9] Müller, A.; Stettner, Ch.: Erfahrungen mit der Anwendung der DIN 1045-1 am Beispiel Klärwerk Gut Großlappen, SEW München: Besondere Aspekte der Bemessung und Konstruktion. Massivbau 2004; Forschung, Entwicklung und Anwendung; Springer VDI Verlag
- [10] Wärmedämmung der Behälter-Außenwände, Wärmeschutztechnische Untersuchung von OBERMEYER Planen+Beraten GmbH, Januar 2003
- [11] Iványi, G.; Buschmeyer, W.: Flüssigkeitsbehälter, Betonkalender 2000, Ernst & Sohn Verlag