

# Biogasbehälter in Fertigteilbauweise

A. Barnaš

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**14/2009**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Biogasbehälter in Fertigteilbauweise

DI Alexander Barnaš  
MABA Fertigteilindustrie GmbH

BM Ing. Eduard Leichtfried  
BAUMIT Wopfinger Baustoffindustrie GmbH

DI Gerhard Danzinger  
BIOGAS GmbH Bruck an der Leitha

Dipl.-Ing. Dr.techn. Sinan Korjenic  
Technische Universität Wien – Institut für Hochbau

Dr. Franz Benjamin Schügerl  
UNIVERSITÄT WIEN – Institut für Risikoforschung

Sollenau, Jänner 2009

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## Inhaltsverzeichnis:

1. KURZFASSUNGEN .....	2
Kurzfassung (Deutsch) .....	2
Abstract (English) .....	3
2. PROJEKTABRISS.....	4
Ausgangssituation / Motivation .....	4
Inhalte und Zielsetzungen:.....	5
Methodische Vorgangsweise .....	6
Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projekts .....	6
Ausblick und Resümee .....	7
3. EINLEITUNG.....	9
Allgemeine Einführung in die Thematik.....	9
Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	9
Fokus / Schwerpunkte der Arbeit .....	10
Einpassung in die Programmlinie.....	10
Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Endberichts.....	10
4. ZIELE DES PROJEKTES.....	11
5. INHALTE UND ERGEBNISSE DES PROJEKTES .....	13
Verwendete Methoden und Daten.....	13
Beschreibung des Standes der Technik.....	20
Derzeitige Stand des Behälterbaus .....	20
Betonkorrosion: .....	22
Ortbetonbehälter aus der Sicht des Praktikers .....	22
Beschreibung der Neuerungen sowie ihre Vorteile gegenüber dem Ist-Stand.....	23
Beschreibung der Projektergebnisse .....	24
Meilensteine .....	24
Beschreibung der eventuellen Schwierigkeiten bei Erreichung der geplanten Ziele.....	25
Beschreibung der „Highlights“ des Projektes .....	26
Beschreibung der Unterschiede zum ursprünglichen Projektantrag.....	27
6. DETAILANAGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DER PROGRAMMLINIE .....	29

Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie .....	29
Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung .....	29
Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen.....	29
Effizienzprinzip .....	29
Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit.....	29
Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit .....	29
Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge .....	30
Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität.....	30
Einbeziehung der Zielgruppen .....	30
Umsetzungspotentiale .....	30
Verwertung:.....	30
Markt:.....	30
Patente:.....	31
7. SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN ERGEBNISSEN .....	32
Gewonnene Erkenntnisse.....	32
SYSTEM:.....	32
WANDELEMENTE:.....	32
DECKE:.....	33
STANDARDISIERUNG: .....	33
Weiterarbeit .....	34
Zielgruppen für die die Projektergebnisse relevant und interessant sind.....	34
8. AUSBLICK & EMPFEHLUNGEN.....	36
Empfehlungen für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten .....	36
9. ANHANG.....	37

# **1. KURZFASSUNGEN**

## **Kurzfassung (Deutsch)**

Ein Biogasbehälter mit neuartigem Abdichtungskonzept und Konstruktionsprinzip soll erstmalig in einem Pilotprojekt in Fertigteilbauweise errichtet werden.

Durch eine standardisierte industrielle Fertigung des Biogasbehälters wurden eine Reihe technischer Probleme bestehender Anlagen bei der Konstruktion, der Montage und dem Betrieb beseitigt. Des Weiteren konnten durch den industriellen Fertigungsprozess die Errichtungskosten erheblich reduziert werden.

Die Kostenreduktionen ergeben sich unmittelbar aus dem Entfall der Herstellung von Einrüstungen und Schalungen der herkömmlichen Ortbetonbauweise und durch eine wesentliche Bauzeitverkürzung auf Grund der raschen Fertigteilinstallation, mittelbar durch den Entfall bzw. die Reduktion von Planungsarbeiten und die Vereinfachung der Genehmigungsverfahren.

Die Technologie des Fertigteilbaus bietet durch die Möglichkeiten einer industriellen und den Einflüssen der Witterung unabhängigen Fertigung eine erhöhte Nutzungssicherheit. Dies sind die Voraussetzungen für die Verwendung hochwertiger Baustoffe, wie etwas das Bindemittel ‚SLAGSTAR‘, die bei ihrer Anwendung im Fertigteilbereich eine durchgehende Qualitätssicherung verlangen. Dieses neue Bindemittel sorgt für eine fünfmal höhere Säurebeständigkeit gegenüber herkömmlichen Betonbehältern und macht eine kostenintensive Beschichtung überflüssig. Erstmals wurde dieses innovative Bindemittel, bei dessen Herstellung 90% weniger CO<sub>2</sub> Ausstoß gegenüber einem CEM I Zement erzeugt wird, für die Herstellung von industriellen Betonfertigteilen erfolgreich angewandt.

Als für den Betrieb vorteilhaft erwies sich die Ausbildung einer steifen Dachkonstruktion, ebenfalls aus Betonfertigteilen, in die ein zentrales Rührwerk eingebaut werden kann. Dies sorgt für eine bessere Durchmischung des Gärsubstrates als es die üblichen seitlichen Rührwerke bewerkstelligen können.

Mittelbar ergeben sich im laufenden Betrieb der Anlagen weitere Kostenreduktionen durch eine bessere Prozesskontrolle bzw. deren Überwachung (Monitoring), die durch die standardisierte Fertigteilbauweise ermöglicht wird. Die sich daraus ergebende höhere Prozessqualität führt letztlich auch zu einer höheren Verfügbarkeit und Effizienz der Anlagen.

Nur die Fertigteilbauweise bietet die Möglichkeit die Konstruktion zerlegbar zu gestalten. Dadurch reduzieren sich einerseits die ‚lifecycle costs‘ da ein Abbau nach der Nutzungsdauer erleichtert wird, und andererseits verringern sich die Betriebskosten da schadhafte Teile nachträglich ausgewechselt werden könnten.

Die Eignung unterschiedlicher Abdichtungssysteme für diese anspruchsvolle Anwendung konnte untersucht und verifiziert werden.

Das ambitionierte konstruktive Konzept mit großformatigen Fertigteilen und nachträglichem externer Vorspannung konnte erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden und eröffnet somit eine neue Ära des Fertigteilbehälterbaus.

## **Abstract (English)**

As efforts in recent times show, the expansion task provided by the EU Renewable Energy Directive of raising the percentage of Renewables in our energy mix, is a hard achievable goal. Thus, the Kirchdorfer Industries Group decided to focus parts of their research on biogas tanks made of precast reinforced concrete elements to make a contribution to the mentioned issue. The main advantages with that technology are:

- The developed system provides reduction of construction time down to one month for a tank regardless of which size
- A higher chemical and biological resistance of the concrete without any coating by using a special hydraulic binder named SLAGSTAR
- The preferred application of a central agitator because of a hard-top roof also made of precast reinforced concrete elements
- A high processing- and material quality ensured by the precast fabrication technology
- Reduced planning times with standard tanks from 2000 – 4000 m<sup>3</sup> capacity
- 

In cooperation with Biogas GmbH in Bruck an der Leitha, Wopfinger Baustoffindustrie and the Technical University of Vienna, a prototype with a volumetric capacity of 3000m<sup>3</sup> was planned and erected. The patented technical design is leant on the tubbing technology, well known in tunnel construction. 22 side wall elements, each measured 11,6m in height, 2,7m in width, 18cm in thickness and 16t in weight, were assembled on a prepared foundation plate. The roof is built of 13 pre-stressed double T-beam disk carriers. Sealing systems with frames made of EPDM seal tapes (as used for tubbings), already clamped on the side wall elements in the factory, as well as subsequently applied sealing systems had been verified during the project. Ensuring stability according to statics, 27 external unbounded prestressing wires were applied with 80 tons of tension force each.

Providing that information, a lot of problems and perfidies had to be solved in advance. Especially the pre-stressing process in combination with the sealing system encountered unforeseeable issues, but eventually the claimed task of absolute water and gas tightness was fulfilled.

## **2. PROJEKTABRISS**

### **Ausgangssituation / Motivation**

Üblicherweise werden Biogasbehälter aus Ortbeton, Edelstahl oder aus emaillierten Stahlplatten gefertigt. In der Praxis haben alle Lösungen unterschiedliche Nachteile betreffend Kosten, Errichtungszeitraum, Dichtigkeit, Sicherung der durchgehenden Verarbeitungsqualität, Korrosionsbeständigkeit, sowie der Instandhaltungskosten.

Die Anforderungen an einen Biogasbehälter der auch als Fermenter betrieben werden kann sind unter anderem:

- Säurebeständigkeit, in Extremfällen bei Gasentschwefelung mit Luftsauerstoff bis zu einem pH-Wert von 2 im Gasraum
- Technische Dichtheit unter dem hydrostatischen Druck am Boden in Abhängigkeit von der Behälterhöhe z.B. 1.2 - 1.8 bar
- Technische Dichtheit bezüglich des Gasdrucks im Gasraum des Behälters (ungefähr 10 mbar)
- Im Fermenterbetrieb wird eine bestmögliche Durchmischung des Gärsubstrats angestrebt

Im Allgemeinen sind Biogasbehälter aus Edelstahl am teuersten und diejenigen aus emaillierten Stahlplatten am günstigsten. Letztere Variante birgt den Nachteil der hohen Beschädigungsgefahr der Emailschiene bei der aufwendigen Montage. Erstere ist wegen des hohen Materialpreises sehr teuer. Generell ist der Preis beider Varianten stark vom Stahlpreis abhängig.

Behälter sowie Fermenter aus Ortbeton befinden sich preislich zwischen den beiden, oben genannten Varianten und stellen die häufigste Bauform dar. Hierbei muss in die aufwendige Schalung die Bewehrung unter bestmöglicher Beachtung der erforderlichen Betondeckung eingelegt werden. Oftmals wird hierbei der nötige Abstand von Schalungswand und Bewehrung stellenweise deutlich unterschritten. Danach wird Lieferbeton in die Schalung eingefüllt und der Beton so gut wie möglich mit Rüttlern verdichtet. Hier kann einerseits die Qualität des angelieferten Betons wetter-, fahrzeit-, temperatur- und erschütterungsbedingten Schwankungen unterliegen, die bis hin zu einer verfrühten Erstarrung oder auch einer Entmischung des Betons führen kann. Andererseits ist das vollständig volumenausfüllende Einbringen des Betons in die Schalung sehr schwierig. Es entstehen häufig Nester zu denen kein Beton vorgedrungen ist, beziehungsweise wird die notwendige Betondeckung, welche den Bewehrungsstahl vor Korrosion schützt, unterschritten. Da im gewöhnlichen Ortbetonbau nur selten Hochleistungsbetonsorten zum

Einsatz kommen, muss die Oberfläche im Inneren des Behälters nachträglich beschichtet werden um eine ausreichende Säurebeständigkeit zu gewährleisten.

Aus diesen Gründen und weiters durch zu rasche Erstarrung aufgrund zu hoher Umgebungstemperaturen können schon von Anfang an feine Risse im Beton entstehen, beziehungsweise ein Ausreichender Schutz der Bewehrung nicht gewährleistet werden. Der Säuregehalt des Substrates führt dann zu einer schnellen, vorzeitigen Korrosion von normalem Beton, was teure Sanierungsarbeiten erforderlich macht.

In der üblichen Ausführungsform besteht der Dachabschluss eines derartigen Behälters aus einer Kunststoffolie, die nur den Einsatz von meist drei Rührwerken in den Seitenwänden des Behälters möglich macht. Diese Anordnung ist jedoch für den Gärprozess nicht optimal, da keine perfekte Durchmischung gewährleistet werden kann. Ein zentrales, also in der Mitte des Deckels montiertes, Rührwerk ist vorteilhafter und kam in dem Pilotprojekt zur Anwendung.

Die Motivation für das Projekt ergab sich aus einer günstigen Gesamt-Konstellation. Die globale Notwendigkeit den Anteil an erneuerbaren Energien bei der Energieerzeugung zu steigern und damit die langfristige Marktperspektive, das in langjähriger Erfahrung gesammelte Wissen der Maba Fertigteilindustrie um den konstruktiven Betonfertigteiltbau, die besonders für Biogasbehälter geeigneten Eigenschaften des Bindemittels SLAGSTAR, sowie letztendlich die Aussicht auf Projektförderung im Programm Fabrik der Zukunft ergaben in Summe den Ausschlag für die Projektinitiative.

## **Inhalte und Zielsetzungen:**

Um die Nachteile der Ortbetonbauweise für Biogasbehälter zu vermeiden, ist die Konstruktion des Behälters aus Fertigteilen vorgesehen.

### **Fertigteiltbauweise:**

Diese Methode ermöglicht die Produktion der Fertigteile unter industriellen Bedingungen, womit eine strikte Prozess- und Qualitätskontrolle ermöglicht wird. Die Betonqualität und Verarbeitung ist durchgehend hochwertig und mit Bedingungen wie sie direkt auf der Baustelle vorzufinden sind, nicht vergleichbar. Weiters ermöglichen großformatige Fertigteile eine rasche Montage sowie einen hohen Stand der Vorfertigung.  
→ Kostenersparnis durch Bauzeitverkürzung

### **Säurebeständigerer Beton:**

Durch sorgfältige industrielle Fertigung und die Verwendung von hochwertigen Baumaterialien wie des erhöht säurebeständigen Sulfathüttenzementes "SLAGSTAR", wird eine völlig neue, verbesserte Qualität auch im Vergleich zur Ortbetonbauweise erreicht. Durch die Verwendung von SLAGSTAR-Beton ist das Aufbringen einer Beschichtung im

Inneren des Behälters nicht zwingend notwendig.  
→ Kostenersparnis

#### Dachkonstruktion aus Betonfertigteilen:

Da auch die Dachkonstruktion des Behälters aus Betonfertigteilen bestehen soll, ist die Montage eines zentralen Rührwerks möglich. Weiters ist ein Betondach wartungsärmer als z.B. Foliendächer.

→ erhöhte Betriebssicherheit & Wartungsfreundlichkeit

### **Methodische Vorgangsweise**

- Recherchen bezüglich Behälterbau, Materialien, Normen, Bausysteme, Grundlagen von Biogassystemen
- Materialprüfungen Bindemittel SLAGSTAR sowie Entwicklung einer geeigneten Rezeptur
- Prüfung des Dichtungssystems mittels Bauteilversuchen
- Rechnerische Simulation Gesamttragwerk mit Finite Elemente Methode
- Kleinversuche zur Verifizierung von Konstruktionsdetails wie zB.: Fräsen der Bodennut, Rohrdurchführungen, etc.
- Entwicklung eines hochpräzisen Schalungssystems
- Festlegung der erforderlichen Toleranzen für Produktion und Montage
- Produktion der Elemente unter höchsten qualitätstechnischen Standards (Betonprüfungen, Festigkeitsentwicklung, Maßgenauigkeit, Schwindmaße, Lagerung)
- Erstellen eines Montagekonzepts, sowie Durchführung von Montageversuchen
- Detailliertes Vermessungskonzept zur Beurteilung von Verformungen bei Montage, Vorspannung des Behälters und Inbetriebnahme
- Entwicklung einer geeigneten Dichtheitsprüfungen
- Validierung der theoretischen Überlegungen und Voruntersuchungen im Zuge Prototypenfertigung und Behältererrichtung

### **Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projekts**

Das innovative Tragwerkskonzept wurde durch ein Ziviltechnikerbüro statisch nachgewiesen und die Betonfertigteile bemessen. Es ermöglicht die Herstellung von Standard-Behältern mit Fassungsvermögen von 2000m<sup>3</sup>-4000m<sup>3</sup>.

Die Produktionsbedingungen wurden den Anforderungen des SLAGSTAR-Betons angepasst und die Eignung dieses innovativen Baustoffes für die industrielle Fertigteileproduktion konnte erfolgreich validiert werden. Die 22 Wandelemente und alle Deckenelemente wurden entsprechend der planlichen Vorgaben hinsichtlich Betonqualität, Fertigungstoleranzen etc. hergestellt.

Die Untergrundverhältnisse vor Ort machten eine kostenintensive Bodenverbesserungsmaßnahme erforderlich. Die darauf hergestellte Bodenplatte musste aufgrund ungünstiger Beton- und Verarbeitungsverhältnisse saniert werden, da die Oberflächenfestigkeit für die Nachbehandlung (Schleifen, Schneiden) nicht ausreichte. Hier bestätigten sich die möglichen Komplikationen im Ortbetonbau.

Die Montage der Fertigteile erfolgte dank intensiver Planungsphase problemlos. Auch das Aufbringen der Wärmedämmung und das Vorspannen des Behälters wurden erfolgreich umgesetzt. Die Vermessungsergebnisse zeigten jedoch größere, durch das Vorspannen hervorgerufene, Bewegungen als durch die theoretischen Überlegungen prognostiziert.

Das Abdichtungskonzept wurde zu Folge dieser Bewegungen schrittweise verbessert und angepasst bis der Behälter die nötige Gasdichtheit erreicht hatte.

Letztendlich konnte eine voll funktionsfähiger Biogasbehälter seiner Bestimmung übergeben werden. Das innovative Fertigteilsystem mit großformatigen Wand- und Deckenelementen wurde aus statisch konstruktiver Sicht erfolgreich umgesetzt. Auch die Anwendung eines zentralen Rührwerks auf der Fertigteildecke ist ein Erfolg. Die erhöhte Säurebeständigkeit des Betons sowie die Auswirkungen der aus Kostengründen, reduzierte Ausführung der Wärmedämmung kann erst nach dem ersten Betriebsjahr quantifiziert werden.

## **Ausblick und Resümee**

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass trotz vielfältiger Probleme bei der Untergrundsituation, Produktion, Konstruktion, Montage und Ausrüstung sehr gute und erfolgreiche Lösungen getroffen wurden, welche zu dem Gesamterfolg dieses Entwicklungsprojektes führten. Für das Abdichtungskonzept konnten im Zuge der Prototypenherstellung wertvolle Erfahrungen gesammelt werden, sodass für die Folgeprojekte eine optimierte Variante zur Anwendung gelangen kann. Weiters können einige Detaillösungen hinsichtlich Abdichtung, Transport und Montage noch verbessert werden und die Qualität sowie der Grad der Vorfertigung dieses Produkts weiter gesteigert werden. In Zukunft könnten solche Behälter neben der Nutzung als Behälter für Biogasanlagen unter anderem auch der Fassung und Lagerung von Trinkwasser oder als Nachklärbecken in Kläranlagen dienen. Der Einsatzbereich ist aufgrund des Baukastensystems sehr groß.

Das Resümee fällt positiv aus: Das bislang größte Forschungs- und Entwicklungsprojekt der MABA Fertigteileindustrie sowohl was das Budget und die Zahl der zu koordinierenden

Projektpartner, als auch die technische Herausforderung betrifft konnte erfolgreich zum Abschluss gebracht werden.

Auf dem für die MABA Fertigteilindustrie gänzlich neuem Geschäftsfeld der Erneuerbaren Energieträger und Umwelttechnologien war die Entwicklung des „MABA-Tanks“ erst ein erster Schritt. Um in diesem zukunftssträchtigen Marktsegment erfolgreich zu sein, müssen auf der F&E Seite weitere Anstrengungen für Weiterentwicklungen sowie weitere Produktentwicklungen, auf unternehmerischer Seite hinsichtlich Markteinführung und Vertriebsaktivitäten unternommen werden. Die Weichen hierzu sind in der konzernweiten Unternehmens - Strategie bereits gestellt.

### **3. EINLEITUNG**

#### **Allgemeine Einführung in die Thematik**

In Situationen von Energiekrisen, wie sie kürzlich bei den Auseinandersetzungen um die Gaslieferungen nach Europa durch den Konflikt Russland/Ukraine auftrat, kommt der vermehrten Nutzung erneuerbare Energieträger zusätzliche Bedeutung zu. Nämlich den der Unabhängigkeit. Nur mit dem Ausbau erneuerbarer Energien kann gleichzeitig eine nachhaltige und sicher verfügbare Energiebereitstellung ermöglicht werden. Sie erzeugen umweltschonend und nachhaltig Energie aus Sonne, Wasser, Wind, Biomasse und Erdwärme.

Gerade die Nutzung von Biomasse machte in den letzten Jahren eine steigende Entwicklung durch. Dieser Entwicklung Rechnung tragend entschied sich die Maba Fertigteilindustrie und ihre Projektpartner ein neues, verbessertes Biogasbehälterkonzept zu erarbeiten.

In einer Biogasanlage werden organische Abfälle aller Art (Grünschnitt, Silagereste, Lebensmittelreste, abgelaufene Lebensmittel,...) unter Sauerstoffabschluss anaerob vergoren. Dabei entsteht Methangas (und Kohlendioxidgas) welches in Gasturbinen verstromt, als Wärme in Fernwärmenetze eingespeist oder durch Gaswäsche in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden kann. Je nach Anlagengröße findet der Gärprozess in großvolumigen Behälter bis zu mehreren 1.000 m<sup>3</sup> statt.

In der Konzeption des vorliegenden Projekts stützte man sich beim Behälterbau auf die Erfahrungen der Maba Fertigteilindustrie im Bereich der konstruktiven Betonfertigteilbauweise. Durch vorgefertigte Elemente sollte die Bauzeit verringert und durch den gezielten Einsatz hochwertiger Materialien die Beständigkeit gegenüber der oftmals mangelhaften, herkömmlichen Bauweisen aus Ortbeton erhöht werden

#### **Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema**

Vorab wurden zahlreiche Kontakte zu namhaften Personen in der Biogasbranche geknüpft. Ausschlaggebend für die in Angriffnahme des Projektes war letztendlich die Bereitschaft des Betreibers einer bestehenden Biogasanlage (Hr. DI Danzinger, Biogas GmbH, Bruck an der Leitha) mitzuwirken und einen noch zu entwickelnden Behälter-Prototypen für die Erweiterung der bestehenden Anlage in Auftrag zu geben. In weiterer Folge wurde gemeinsam mit den anderen Projektpartner erste grobe Konzepte erarbeitet. Als wesentlicher Beitrag für die Entscheidung zu einer Projektumsetzung ist die Kooperation mit BAUMIT Wopfinger Baustoffindustrie GmbH zu werten, deren säureresistentes Bindemittel SLAGSTAR die sonst übliche Beschichtung im Ortbetonbau erst überflüssig macht. Durch

die gemeinsamen Recherchen mit der TU-Wien, Institut für Hochbau (Prof. Dr. Kolbitsch), und der Firma Ökogas (Prof. Graf) konnte eine solide Grundlage für eine weitere Detailplanung des Behälters geschaffen werden. Obwohl der Behälter als Endlager vorgesehen ist, soll er wie ein Fermenter ausgerüstet werden, um auch diese Betriebsart in die Planung mit einzubinden.

### **Fokus / Schwerpunkte der Arbeit**

- Anwendung der Beton-Fertigteiletechnologie im Stahlbetonbehälterbau insbesondere Berücksichtigung der Tübbingtechnologie aus dem Tunnelbau
- Betontechnologie für Biogasanwendungen, Anwendung säureresistenterer Bindemittel
- Tragwerksentwurf und Umsetzung mit zentralem Rührwerk und massiver Decke
- Bauzeitminimierung beim Biogasbehälterbau

### **Einpassung in die Programmlinie**

Die Erzeugung von Biogas ist eine der fünf nachhaltigen, regenerativen Energiequellen und spielt somit eine wesentliche Rolle des nachhaltigen Wirtschaftens.

Die Maba Fertigteileindustrie GmbH, die Kirchdorfer Fertigteileholding GmbH und die BAUMIT Wopfinger Baustoffe GmbH sind Industrieunternehmen auf dem Baustoff- und Fertigteilektor und streben den Ausbau bzw. die umweltorientierte Erweiterung ihres Produktspektrums an.

### **Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Endberichts**

Siehe Inhaltsverzeichnis.

## **4. ZIELE DES PROJEKTES**

- Grundlegend: Überprüfung der Verbindung bekannter Verfahren und Techniken, die jedoch in dieser Kombination noch nie appliziert wurden und auch bisher nicht den Anforderungen eines Biogasbehälters (-fermenters) entsprechen mussten.
- Durch die Verwendung von Beton mit SLAGSTAR-Bindemittel wird eine ausreichende Säurewiderstandsfähigkeit gegen das beanspruchende Medium sichergestellt. Das nachträgliche Aufbringen einer Beschichtung soll entfallen und die Herstellkosten stark reduzieren.
- Beton unter Verwendung von SLAGSTAR-Bindemittel muss auf Anwendbarkeit und Verarbeitbarkeit für diesen Fall optimiert werden. Neue Rezepturen sowie Betonmischungen sind zu prüfen.
- Durch die Anwendung der Konstruktions- und Dichtungstechnologie aus dem Tunnelbau (Tübbing) soll erhebliche Zeit bei der Montage der Fertigteile eingespart werden. Ein nachträgliches Ausgießen der Fugen entfällt
- Das Dichtungssystem muss auf diesen speziellen Anwendungsfall (Säurebeständigkeit, konstruktive Knoten) hin in 1:1 Modellen überprüft werden.
- Ein hochpräzises Schalungssystem ist zu entwickeln und fertigen
- Der Produktionsablauf soll geplant und optimiert werden
- Die Lagerung, Verladung, der Transport sowie die Montage soll ablauftechnisch geplant werden. Für die Montage sind Probemontagen durchzuführen. Erkenntnisse daraus sollen den geplanten Ablauf weiter optimieren.
- Durch die Fertigteilmontage soll erheblich an Errichtungs- und Baustellenkosten eingespart werden können. Bei positivem Projektergebnis soll eine Errichtung des Rohbaus eines Behälters ohne Fundament in 2-3 Wochen möglich sein. Ein optimales Montagekonzept ist festzulegen und zu überprüfen.
- Die statisch-konstruktive Durchbildung soll den Einsatz eines zentralen Rührwerks ermöglichen um eine bessere Durchmischung des Gärsubstrates zu gewährleisten. Daher soll eine Decke aus Betonfertigteilen dieses Rührwerk tragen können. Die gesamte Statik und Konstruktion soll an diese Anforderung angepasst und ausgerichtet werden. Die Schwingungsbelastung muss mitbeachtet werden.
- Die nachträglich angebrachte externe Vorspannung ist zu dimensionieren.
- Die optimalen Bauarten von Rohrdurchführungen, im Speziellen das Mannloch, sind festzulegen. In der Aufteilung der externen Vorspannkabel ist darauf Rücksicht zu nehmen

- Ein Vermessungskonzept ist festzulegen welches die Verformungen des Behälters während der Montage, Vorspannung und Befüllung nachvollziehbar macht.
- Verschiedene Wärmedämmungsvarianten sind zu untersuchen und zu bewerten. Wärmedämmungseinsparungspotential durch die Nutzung von Beton statt Stahl soll abgeschätzt und überprüft werden.
- Ein Langzeitversuch soll Aufschluss über die Beständigkeit verschiedener Beschichtungen und Materialien, die dem aggressiven Medium ausgesetzt sind, geben. Der Ablauf und die Wahl der Materialien dafür soll festgelegt werden.
- Ein Konzept zur Durchführung der Dichtigkeitsprüfungen ist zu erstellen und zu optimieren.
- Etwaigen Erdbebengefährdungen sind zu überprüfen
- Die Serienreife mit Festlegungen von Standards ist zu überprüfen

## **5. INHALTE UND ERGEBNISSE DES PROJEKTES**

### **Verwendete Methoden und Daten**

Im Prinzip beruht das Projektkonzept auf der Kombination bekannter Verfahren und Techniken, die jedoch in dieser Kombination noch nie appliziert wurden und auch bisher nicht den Anforderungen einer Biogasanlage entsprechen mussten. In einer ersten Phase wurden theoretischen Überlegungen, Bemessungen und Simulationen im Zuge von Variantenstudien erstellt und bevorzugte Varianten ausgewählt. Die zweite Phase war gekennzeichnet von Dichtheits- und Bauteilversuche und um noch bestehende Unsicherheiten zu verifizieren. In der letzten, der Umsetzungsphase, wurde die Validierung im Zuge der Fertigung, Errichtung und Inbetriebnahme des Prototyps vorgenommen. Im Folgenden ist die detaillierte Vorgehensweise im Abriss der durchgeführten, chronologisch geordneten Tätigkeiten nachvollziehbar.

### **Durchgeführte Arbeiten im Rahmen des Projektes inkl. Methodik**

Nach der internen Projektfreigabe und den Bestätigungen der Förderungen wurde mit der konzeptionellen Planung begonnen. Zunächst wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt. Da firmenintern in diese Fachrichtung noch kein Know-how vorhanden war musste dieses aufgebaut werden. Gemeinsam mit den Projektpartnern TU-Wien und der Biogas GmbH wurden Funktionsweisen von Biogasanlagen, Anforderungen an Behälter als Fermenter, dem Behälterbau generell, den zu verwendenden Materialien, den Fertigungstoleranzen, den zu beachtenden Normen und den behördlichen Vorgaben intensiv recherchiert. Nicht immer war die Berücksichtigung aller Forderungen aufgrund konstruktiver und finanzieller Sicht möglich. Deren Auswirkungen auf die Praxis müssen nach Inbetriebnahme noch weiter überprüft werden (zB. Reduzierte Wärmedämmung).

Recherchen  
& Wissens-  
bildung

Aus mehreren Varianten für die Tragwerkskonzeption kristallisierte sich die technisch ambitionierteste Variante als wirtschaftlich Erfolgversprechendste heraus: Um die Montagezeiten möglichst kurz zu halten sollten die Fertigteile über die gesamte Behälterhöhe reichen und die Breite auf die max. zulässigen Transportbreiten und –gewichte ausgelegt werden. Dadurch ergaben sich extrem großformatige (B/H=2,7m/11,6) Fertigteile die gleichzeitig sehr schlank ausgebildet waren (Bauteildicke 18cm). Diese Zielsetzung stellte für die Bemessung, die Produktion und Montage eine enorme Herausforderung dar.

Tragwerks-  
konzept

Die zweite Grundidee bei diesem Projekt auf das hochwertige und säureresistentere Bindemittel SLAGSTAR zurückzugreifen, machte umfangreiche Anwendungsanalysen sowie Rezepturoptimierungen und eine Abstimmung der Betontechnologie der beteiligten Firmen erforderlich. Es war ein Optimum an Widerstandsfähigkeit, Aushärtungsverhalten, Verarbeitbarkeit und Endfestigkeit zu erreichen. Dazu wurden beim Projektpartner Wopfinger

Beton-  
technologie

Baustoffindustrie GmbH Variantenstudien und Laborversuche durchgeführt (**Siehe Anhang A1**). Für die wirtschaftliche Anwendung im Fertigteilwerk zu ermöglichen war zusätzlich die Frühfestigkeit welche erforderlich ist um den Fertigteil aus der Schalung zu heben nach 2 Tagen sicherzustellen – Aufgrund der spezifischen Eigenschaften von SLAGSTAR und der Rahmenbedingungen der Fertigung eine besondere Herausforderung.

Die Innovation sich beim Bau dieses Behälters an der Tübbingtechnologie zu orientieren, machte die Überprüfung des Dichtungskonzepts erforderlich. Details und Konstruktionsvarianten wurden in einer Variantestudie gemeinsam mit der TU-Wien untersucht. Nach der endgültigen Festlegung wurde eine Abstimmung mit dem Hersteller für die richtige Wahl eines optimalen Dichtungsprofils erforderlich (**siehe Anhang A2**). Gewählt wurde ein 39mm breites und 19 mm dickes EPDM Profil. Anschließend erfolgte die Planung und Durchführung von 4 Dichtigkeitsversuchen an der TU-Wien, die Überprüfung der Medienbeständigkeit durch den Hersteller sowie die Herstellbarkeit der Dichtungsebene auf der Bodenplatte (siehe nachfolgende Punkte).

Dichtungs-  
system

Da auch in die Bodenplatte des Biogasbehälters diese Dichtung einzubringen war, wurde die Applizierbarkeit in einem Kleinversuch überprüft. Dazu wurde eine 2 x 3 m große Platte aus SLAGSTAR-Beton gefertigt und mit schweren Diamantschleifmaschinen ebengeschliffen. Bis zu diesem Zeitpunkt war noch nicht klar, ob die geforderte Toleranz mit diesem Verfahren eingehalten werden kann. Der Versuch zeigte jedoch erfolgreich dessen Anwendbarkeit und so wurde in weiterer Folge die Fuge in den Beton geschnitten und ausgestemmt. Das Einkleben des Dichtungsbandes, auch in den 16° Knick der Nut, machte keine Probleme. Fraglich an diesem System war jedoch noch, ob die relativ raue Unterseite der gestemmt Nut zu Undichtigkeiten führen kann. Dazu wurden Probewürfel aus der Versuchplatte ausgeschnitten und an der TU-Wien geprüft.

Boden-  
dichtung

Für die Dichtigkeitsversuche wurden verschiedene Varianten von Dichtungsstößen an der TU-Wien auf deren Dichtigkeit untersucht. Die ersten 2 Versuche erfolgten an den Probestücken die aus der Versuchplatte (siehe Absatz oben) gewonnen wurden. Nach anfänglichen Problemen das kleine lokale Probekörpersystem soweit dicht zu bekommen, dass nur die Dichtung mit dem Wasserdruck von 3 bar beaufschlagt wird, wurde die Dichtigkeit letztlich bestätigt. Um auch den T-Stoß der Dichtungen zwischen zwei Wandelementen und der Bodenplatte zu testen wurde eine spezielle Kleinschalung entworfen um genau diese Stelle nachzubilden und prüfen zu können. Durch den Bruch dieses Probekörpers beim Einbau in die Versuchsanlage musste dessen Herstellung wiederholt werden. Nach erfolgter Abdichtung zeigte sich auch dieser Stoß bei 3 bar Wasserdruck als dicht (**siehe Anhang A3**).

Dichtungs-  
stöße

Um das Wärmeverhalten und die zulässigen Wärmespannungen für die statische Berechnung eines solchen Behälters quantifizieren zu können wurden an der TU-Wien Wärmestromberechnungen in einem Finite Elemente Programm (THERM) durchgeführt (**siehe Anhang A4**). Dabei wurden verschiedene Szenarien der Wärmedämmung überprüft und wirtschaftlich bewertet.

Wärme-  
dämmung

Parallel dazu wurde die Nachweisführung der statisch-konstruktiven Durchbildung des Behälters durch das Ziviltechnikerbüro Fritsch, Chiari und Partner (FCP) vorgenommen. Nach der gemeinsam im Projektteam getroffenen Festlegung des prinzipiellen Konstruktionskonzeptes wurden System- und Detailpläne für die Ausführung der einzelnen Bestandteile entworfen. Von Anfang an war klar, dass aufgrund der Fertigteilmontage und dem erforderlichen kompletten Schließen eines „Kreises“ (22-Eck), die Fertigungs- und Montagegenauigkeiten extrem hoch sein müssen. Ein weiterer Grund dafür ist ebenfalls die Forderung der Dichtigkeit, die nur erreicht werden kann wenn Dichtung auf Dichtung, wie die Dichtigkeitsversuche gezeigt haben, liegt. Pläne, unter anderem Systempläne, Detailpläne, Werkspläne, Einbauteilpläne, Montagepläne und Vorspannkonzerte erfuhren mehrere Revisionen da auf unzählige Details geachtet werden musste (unter anderem Maßgenauigkeit/Toleranzen der gefertigten Elemente, siehe weiter unten) (**siehe Anhang A6**). Im Laufe des Projektfortschritts wurden auch zusätzliche Planungsaufgaben notwendig, die vorab nicht abzusehen waren und den Gesamtaufwand für die statisch-konstruktive Durchbildung erheblich erhöhten; wesentlich waren hierbei: Abhebe- Montagerahmen, Rührwerksflansch, Vorspannkonsolen, Aussteifungsträger, Spannkabelausteilung. Nach der Planfreigabe für die Wandelemente wurde ein Produktionsschema inkl. Qualitätssicherungskonzept und Schalungssystem entworfen; im Oktober 2007 wurde die Fertigung einer Präzisionsstahlschalung in Auftrag gegeben.

Statische  
Planung,  
Produktions  
planung

In einem in Auftrag gegebenen Gutachten wurde Ende 2007 der Baugrund von einem Sachverständigen für Geotechnik als nicht ausreichend tragfähig befunden. Darauf folgte eine nicht geplante und äußerst kostenintensive Bodenverbesserungsmaßnahme in der Form einer Rüttelstopfverdichtung. Bei dieser wurden insgesamt 156 Schottersäulen bis in eine Tiefe von Rund 6 m gegründet. Umfangreichere Planierungsarbeiten wurden damit ebenfalls erforderlich (**siehe Anhang A5**). Da der Untergrund auch weiterhin „weich“ ist und die Gefahr einer ungleichförmigen Setzung drohte wurde eine wesentlich massivere, steifere Ausführung der ursprünglich geplanten Fundamentplatte notwendig. Das Fundament wurde Anfang Dezember nach den dafür freigegebenen Plänen hergestellt.

Fundament

Nach den ersten statischen Entwürfen wurde klar, dass zum Abheben und Manipulieren der dünnen großformatigen Fertigteile im Werk ein spezieller Rahmen zu entwickeln war. Da bei dessen Planung sechs komplett unterschiedliche Lastfälle zu berücksichtigen und mit einem Finite Elemente Programm die Durchbiegung des Betonfertigteils zu berücksichtigen war, entstanden erhebliche Mehrkosten.

Abhebe /  
Montage-  
rahmen

Mitte Februar startete die Produktion der Wandelemente im Werk Wöllersdorf der MABA FTI mit dem dafür speziell optimierten SLAGSTAR-Beton. Die Stahlschalung wurde dafür hochpräzise durch einen Geometer einnivelliert um Verwindungen zu vermeiden. Verarbeitungsvermögen und Erstarrungsverhalten des Betons wurden in Betonversuchen durch weitere Rezepturoptimierung nochmals verbessert. Bei jedem Element wurden Betonproben gezogen, und auf die Festigkeitsentwicklung geprüft. Die spezifische Konsistenz des Spezial-Betons verlangte besonders sorgfältige Oberflächennachbehandlung. Die Fertigteile wurden mit dem speziellen entwickelten

Produktion  
Fertigteile  
Wand

Abheberahmen verwindungs- und durchbiegungsfrei nach ca. 40 Stunden Aushärtungszeit aus der Schalung gehoben und zum Lagerplatz gebracht. So ergab sich ein Produktionstakt von 3 Wandelementen je Woche und Schalung.

Nach der Qualitätskontrolle und Vermessung der ersten sechs Wand-Fertigteile wurde festgestellt, dass die notwendigen Ebenheits-Toleranzen von +/- 1mm an der 11,6 m langen Längsfläche der Fertigteile trotz der Präzisionsschalung nicht eingehalten werden konnten. Daraufhin wurde die Stahlschalung mit einem Hochpräzisionslaservermessungsgerät (Laser-Tracker der Firma Faro) vermessen und gemäß den Anforderungen gerichtet. Es wurde eine spezielle Schleifapparatur entwickelt und mit dieser, ebenfalls unter Zuhilfenahme der Laservermessung, die bereits gefertigten Elemente solange abzuschleifen bis sie innerhalb der zulässigen Toleranzgrenzen lagen. Auf Grund des Produktionsstopps wurde die Gelegenheit zu kleinen Umbauten zur Optimierung der Zugänglichkeit und der Nachbearbeitbarkeit an der Schalung genutzt bevor die restlichen 16 Wandfertigteile bis Ende April 2008 gefertigt wurden (**siehe Anhang A9**).

QS

Die 22 Elemente wurden nach den statischen Erfordernissen sechs Tage bei 20°C, exakt horizontal ausgerichtet, gelagert um eine ausreichende Festigkeit auszubilden. Danach erfolgte die Lagerung im Freien auf jeweils drei einnivellierten Unterlagshölzern damit sich die Elemente während der weiteren Lagerung nicht verwinden.

Lagerung

Nach der Abnahme eines Dichtungsrahmens durch den Hersteller Dätwyler an einem der Wandelemente wurden die restlichen 21 Dichtungsrahmen gefertigt. Sie wurden mit einem Spezialkleber auf die Fertigteile aufgebracht.

Dichtungs-  
rahmen

Der Arbeitsfortgang, allfällige Herstellungsmängel und deren Sanierung wurden umfangreich dokumentiert bis letztendlich die Bauteile den geforderten Qualitätsansprüchen genügten. Die Ergebnisse der während der Produktion gewonnenen Betonprüfungen wurden ebenfalls ausgewertet und protokolliert.

QS

Die Detailbemessung und Produktion der vorgespannten Deckenfertigteile erfolgte bis Mitte Juni 2008, die an einen externen Partner vergeben wurde. Die bei der Wandproduktion gewonnenen Erkenntnisse mit dem Baustoff SLAGSTAR-Beton konnten bereits angewandt werden. Nach Erreichen der statisch erforderlichen Druckfestigkeit nach ca. 5 Tagen Erhärungszeit – für jeden Träger wurden hierzu Probewürfel produziert, unter den gleichen Umgebungsbedingungen wie der Träger gelagert und geprüft - wurden die Fertigteile gegen die Schalung vorgespannt. Die Manipulation, Lagerung und der Transport erforderte bei den Elementen mit einer Spannweite bis zu 20m größte Sorgfalt. Durch die Detailbemessung der Deckenkonstruktion ergab sich die Notwendigkeit eines Aussteifungsträgers quer zur Verlegerichtung der 9 Doppel-T-Träger (**siehe Anhang A6 – Plan 4**). Diese Aussteifung war aufgrund der hohen Lasteinwirkungen durch das Rührwerk erforderlich und musste nach der Montage nachträglich in Ortbeton hergestellt werden.

Produktion  
Decke

Mitte Mai 2008 war das Abschleifen der Bodenplatte und Schneiden der Bodendichtung in die Fundamentplatte vorgesehen. Das Abschleifen dient hierbei der Herstellung einer auf

Schleifen

+/- 1mm ebenen Aufstandsfläche für die Wandfertigteile in die dann die Bodennut für die Bodendichtung geschnitten wird. Für das Ebenschleifen wurde als Qualitätssicherungsmaßnahme ein permanent begleitendes Nivellment durchgeführt (**siehe Anhang A12**). So konnte die geplante Genauigkeit eingehalten und die Arbeiten bis Mitte Juni 2008 abgeschlossen werden.

Darauf folgend wurde eine zwei Tage dauernde Präzisionsabsteckung der Innenkanten des Behälters auf der Fundamentplatte durchgeführt, die sehr geschultes Vermessungspersonal erforderlich machte. Die Genauigkeit dieser Absteckung ist die Voraussetzung, dass die Bodennut dann mit der Nut auf den Fertigteilen im Endmontagezustand übereinstimmt. Deswegen wurde nach den Präzisionsvermessungen die Naturmaße der Fertigteile in die Pläne von FCP eingearbeitet und die Daten an den Geometer weitergegeben (**siehe Anhang A11**). Eine Analyse zeigte, dass bereits geringste Abweichungen von 2mm der Breite eines Elements Ursache für das nicht mehr plankonforme Aufstehen der Wandelemente auf der Bodennut hervorrufen kann!

Absteckung

Anschließend wurde die Geometrie der Bodennut auf die Absteckung angerissen und mit einer Diamantsäge in den Beton geschnitten, ausgestemmt und schlussendlich reprofiliert. In diese Nut wurde die Bodendichtung (gleiches Dichtungsprofil wie an den Wandelementen) eingeklebt.

Bodennut

Vor der Montage waren noch der richtige Umgang sowie die richtige Reihenfolge beim Verladen der 16 Tonnen-Wandelemente zu untersuchen. Um nicht unnötig Kosten durch Verladekräne, die extern beizustellen gewesen wären, zu erzeugen wurde das Verladen durch zwei Gabelstapler statisch/dynamisch überprüft. Hierbei war insbesondere die Lagerung der Elemente (2-punkt / 3-punkt) kritisch. In einem Versuch wurde diese Vorgehensweise schlussendlich als technisch möglich beurteilt. Es wurden jedoch die Voraussetzungen für ein wirtschaftliches Verladekonzept in der Serienfertigung geschaffen.

Montage /  
Verlade-  
konzept

Am Dienstag, den 24.6.2008 wurde nach intensiver Planung mit der Montage der Wandfertigteile begonnen (**siehe Anhang A10**). Die Montage dauerte 4 Tage und verlief ohne Probleme. Die Elemente wurden einzeln verladen und transportiert und trafen je nach Fortschritt durchschnittlich im 2,5 Stunden Rhythmus auf der Baustelle ein. Um ein exaktes Versetzen auf der Soll-Innenkante zu ermöglichen wurden Anschlagwinkel auf der Bodenplatte montiert, mit Hilfe derer man das schwebende Element führen konnte. Mit Hilfe eines 240 Tonnen Kranes und dem speziell adaptierten Montagerahmen wurden die Wandfertigteile vom LKW horizontal abgeladen und danach in die vertikale Lage aufgedreht. Danach wurden sie schwebend an die gewünschte Stelle manipuliert und vorerst auf Stellschrauben abgesetzt. Damit eine millimetergenaue Lage sichergestellt werden konnte wurden die Elemente im Spiel zwischen Kran und Stellschrauben an die richtige Position versetzt. Dabei wechselten sich die Tätigkeiten Schieben und Herabsenken der 16-Tonnen Elemente bis zum endgültigen Absetzen permanent ab. Um eine gewisse Grundstabilität und eine Komprimierung der seitlichen Dichtungen zu erreichen wurde jedes Element mit dem jeweiligen Nachbarelement mit 15 Tübbingschrauben verschraubt und mit Schrägstützen

Montage  
Wand

nach innen abgestützt. So wurden Stück für Stück am ersten Tag 4, am zweiten und dritten Tag 7 und am letzten Tag wieder 4 Elemente versetzt. Ein Unwetter mit kräftigen Böen über 100 km/h testete nach dem zweiten Tag die 11 bereits versetzten Elemente auf deren Windstabilität während der Bauphase. Diese „Prüfung“ wurde ohne jeglichen Schaden bestanden.

Besondere Aufmerksamkeit wurde bei der Montage dem finalen Schließen des „Kreises“ gewidmet, da sich hierbei schlussendlich die Genauigkeiten aller Arbeiten (Planung, Produktion, Montage) summiert und entweder ein Schließen möglich ist oder auch nicht (**siehe Anhang A6**). Mehrere Varianten von Sonderschlußsteinen, Ortbetonergänzungen, etc. wurden im Vorfeld durchdacht und simuliert. Letztendlich wagte man das gleichzeitige Eindrehen zweier Standardelemente unter Verwendung von Seilwinden. Am Freitag, den 27.6.2008 konnte der Behälter wie geplant erfolgreich geschlossen werden. Die Maßnahmen zur Einhaltung der hohen Fertigungstoleranzen haben sich somit gerechtfertigt. Die Jahrzehnte lange Erfahrung im Versetzen von Fertigteilen des Antragstellers, sowie die permanente Anwesenheit des Projektleiters während der Montage spielten hierbei eine wesentliche Rolle zum Erfolg.

Schließen  
Behälter

Es folgte das Aufbringen der Wärmedämmung durch einen Fassadenbauer, die Montage der Rohrdurchführungen und die Montage der Z-förmigen Unterlagswinkel für die Vorspannkabel.

Die Rohrdurchführungen wurden aus Edelstahlrohren mit einer Ringraumdichtung und einer Absperrplatte zur Innenseite des Behälters ausgeführt (**siehe Anhang A6 – Plan 6**). Für die Durchführung wurden bereits bei der Herstellung der Fertigteile Futterrohre in die Schalung eingelegt. Die Innenplatte wurde bei der Montage noch zusätzlich mit Epoxydharz zur Wand hin abgedichtet. Dazu wurden Vorab Eignungstests für das zu verwendende Epoxydharz durchgeführt. Nach dem Einbau erfolgten das Komprimieren der Ringraumdichtung sowie das Anschweißen der noch benötigten Flansche.

Rohrdurch-  
führungen

Als Wärmedämmung wurden 8 cm dicke EPS-F plus Fassadenplatten vom Projektpartner Wopfinger, gespachtelt, armiert und gekratzt verwendet. Die Wärmedämmung befindet sich nur zwischen den Lisenen (Satteln der Fertigteile). Dessen Applikation wurde im Vorfeld mit Haftzugversuchen an Probeelementen durchgeführt.

Wärme-  
dämmung

Während der Wärmedämmarbeiten wurden am Dienstag, den 8.7.2008 die Deckenelemente versetzt. Diese wurden wiederum einzeln geliefert und mit einem leistungsstarken Kran präzise versetzt. Die Decke besteht aus neun Durchlaufträgern und an den zwei Seiten aus jeweils drei Kassettenelementen. Alle Elemente wurden mit Tübbingschrauben mit der Decke verschraubt (**siehe Anhang A6 – Plan 4**).

Montage  
Decke

Nach der Montage der Decke erfolgte dem Vermessungsplan folgend die sogenannte Nullmessung des Behälters. Dazu wurden auf jedem Element sechs Reflektorfolien, jeweils zwei auf drei Messebenen, angebracht mit Hilfe derer man die Verschiebungen während des Vorspannens, bzw. des Füllens nachvollziehen konnte (**siehe Anhang A13**).

Null-  
messung

Grundlage für die Vorspannung war das Vorspannungskonzept welche ebenfalls von FCP erstellt wurde. Große Herausforderungen waren hierbei besonders die Berücksichtigung des Mannlochs auf der Behälterwand sowie die Vorspannkonsolen, die sich nicht auf der Behälterwand abstützen durften. Man entschied sich für eine 180°-Vorspannung, d.h. 2 am Behälter gegenüberliegende massiven Vorspannkonsolen an denen wechselweise die Vorspannpresen angesetzt wurden (**siehe Anhang A6 – Plan 5**).

Vorspannen

Nach der Fertigstellung der Fassade wurde mit den Vorspannarbeiten begonnen. Als erstes wurden die zwei 11,5 m hohen Verankerungskonsolen der insgesamt 27 Spannkabel aufgestellt. Danach wurden die Spannkabel in die dafür, bereits vorher montierten, Z-Unterlagswinkel eingelegt. Entgegen der ursprünglichen Annahme die Spannkabel nur alle 5,5 m mit den Unterlagswinkeln zu unterstützen wurde diese Unterstützung alle 2,7 m erforderlich. Jedes Spannkabel besteht aus 4 Litzen die jeweils zu zweit in einem mit Fett verpresstem Kunststoffhüllrohr und einem zusätzlichen Mantel geführt werden. Nach dem Vorspannen der untersten 4 Spannkabel wurde eine Vermessung des Behälters durchgeführt, die eindeutig erkennen lies das sich dieser um bis zu 10 mm noch verschob, bzw. „in Form brachte“.

Die weiteren 23 Spannkabel wurden nach Spannanweisung vorgespannt. Wieder wurden weitere Bewegungen nach der vollständigen Vorspannung bei der zweiten Folgemessung festgestellt. (**siehe Anhang A13 und A14**).

Verformung

In weiterer Folge wurde der Aussteifungsträger an der Decke geschalt, bewehrt und gemeinsam mit den Längsfugen der Doppel-T-Deckenelemente betoniert. Die Längsfugen der Deckenelemente wurden vorher noch mit einem im Siedlungswasserbau üblichen Dichtstoff (PCI Escutan TF) abgedichtet. Gemeinsam mit dem Betonieren des Aussteifungsträgers wurde auch der Rührwerksflansch eingegossen.

Aussteifungsträger

Es erfolgte eine statisch-konstruktive Durchbildung des Rührwerksflansches (**siehe Anhang A8**). Um die tatsächliche Beständigkeit von anderen Materialien als Edelstahl im Gasraum eines Biogasbehälters quantifizieren zu können wurde der Rührwerksflansch verzinkt ausgeführt. Zusätzlich wurde eine spezielle Beschichtung auf Epoxydharzbasis von Sika, die speziell für Biogasanlagen entwickelt wurde, aufgebracht.

Rührwerksflansch & Materialien

Es folgten die Dichtigkeitsversuche mit einem Prüfdruck von 15 mbar. Dieser liegt dabei weit über dem Betriebsdruck von 3 mbar. (**siehe Anhang A15**).

Druckprüfung Luft

Für die Prüfung der Flüssigkeitsdichtheit wurden – nach Einholung der wasserrechtlichen Bewilligung - 3000 m<sup>3</sup> Wasser aus der Leitha in den Behälter gepumpt. Nach eintägiger Beruhigungszeit (in dieser Zeit nimmt der Beton Wasser auf, die Temperatur gleicht sich an, Wasserbewegungen beruhigen sich) wurde der Behälter 48 Stunden auf Wasserverlust geprüft. Dieser war zwar über den beobachteten Zeitraum minimal, konnte aber trotzdem nicht akzeptiert werden, da die Flüssigkeit (Gärs substrat) im Inneren nicht in das Grundwasser gelangen darf. Es wurden umfangreiche Überprüfungen angestellt um mögliche Korrelationen zwischen den Elementen, der Aufstandsfläche, der Kontaktfläche,

Druckprüfung Wasser

dem Produktionsablauf und den vorhandenen undichten Stellen aufzuspüren (**siehe Anhang A16**).

Nach Bestimmung Fehlstellen und deren Ursachen wurde ein Sanierungskonzept ausgearbeitet. Das Abdichten erfolgte mit dem Sika Kombiflex System, sowie mit Sikaflex Tank Abdichtmasse. Die anschließende Dichtigkeitsprüfung konnte schlussendlich erfolgreich absolviert werden (**siehe Anhang A15**).

Sanierung  
Fugen

Die Ausrüstung des Behälters erfolgte teilweise während aber hauptsächlich nach den Dichtigkeitsprüfungen. Ein zentrales Rührwerk der Firma STAMO sorgt für die korrekte Durchmischung des Gärsubstrats. Die umfangreichen Rohrinstallationen sowie Anschlüsse wurden hergestellt um den Behälter als vollwertigen Fermenter betreiben zu können. Dazu wurde unter anderem die Montage von Edelstahlheizleitungen im Inneren des Behälters erforderlich. Diese wurden auf Unterlagswinkel, die an den Wänden montiert wurden, angebracht. Die gesamte Elektrik und Steuerung musste diesen Erfordernissen angepasst werden. Weiters sind eine Aufstiegshilfe (selbststehend) sowie ein Schutzgerüst um sämtliche, am Dach zu Revisionszwecken zugänglich zu haltenden, Einrichtungen sicher zugänglich zu machen noch teilweise zu errichten. Ein Blitzschutz muss ebenfalls ausgeführt werden.

Ausrüstung

## **Beschreibung des Standes der Technik**

### **Derzeitige Stand des Behälterbaus**

Biogasbehälter werden üblicherweise in Ortbetonbauweise oder aus vernieteten, emaillierten Stahlplatten bzw. verschweißten Edelstahlplatten hergestellt.

#### **Stahlbauweise:**

In der Stahlbauweise kommen zwei Systeme zum Einsatz. Ersteres verwendet einzelne emaillierte Stahlplatten, welche unter hohem Aufwand abgedichtet und vernietet werden müssen. Wird die Emailschiicht beschädigt ist innerhalb weniger Monate ein Leckageschaden vorhanden. Die andere Stahlbauweise verwendet Edelstahlplatten, welche an Ort und Stelle zusammengeschweißt werden müssen. Neben den hohen Personalkosten für die Schweißarbeiten treiben die extrem hohen Materialkosten für Edelstahl die Gesamtinvestitionen in die Höhe. Bei beiden Methoden spielt der Stahlpreis eine entscheidende Rolle.

Im Allgemeinen werden jedoch wesentlich weniger Biogasbehälter in Stahlbauweise gegenüber der Betonbauweise hergestellt, da die Herstellung entweder extrem teuer (Edelstahl) oder sehr sanierungsanfällig (emailierter Stahl) ist.

### Ortbetonbauweise

Auch die Ortbetonbauweise birgt einige Komplikationen:

- Bei der Anlieferung des Fertigbetons kann es bei Transportzeiten länger als 2 Stunden bereits zu Entmischungen des Betons kommen, die dann zu Rissen und somit zu Undichtigkeiten führen.
- Das Wasser/Bindemittelverhältnis ist bei Ortbeton etwa doppelt so hoch als bei Beton für Fertigteile. Anderenfalls wäre der Ortbeton nicht transportierbar. Dies führt dazu, dass das Schwinden und somit die Schwindrisse im Ortbeton gegenüber Betonteilen in der Fertigteilbauweise wesentlich höher sind.
- Die säurebeständige Beschichtung der gas- und flüssigkeitsberührten Oberfläche ist vor Ort auf der Baustelle nur mit hohem Aufwand in der geforderten Qualität zu bewerkstelligen.
- Bei der gängigen Bauweise in Ortbeton führt die oft unterschiedliche Qualifikation der Bautrupps zu stark voneinander abweichenden Herstellungsqualitäten
- Insgesamt beträgt die Bauzeit eines Behälters in Ortbetonbau in dieser Größenordnung zwischen einem halben und einem Jahr (laut ÖNORM müsste ein derartiger Behälter in drei Monaten errichtet werden können. In der Praxis wird diese Zeitspanne immer überschritten). In Fertigteilbauweise kann ein Behälter innerhalb von 14 Tagen hergestellt werden.
- Da kaum eine Baufirma über eine ausreichende Menge an Schalungselementen verfügt, wird der Behälter in Ortbeton immer nur abschnittsweise errichtet und die vorhandene Schalung hochgeschoben. Dies ist ein weiterer Grund für die lange Bauzeit und hat auch unvermeidlich Arbeitsfugen zur Folge, die zu Undichtigkeiten führen.

Des Weiteren wird im Ortbetonbau die Dachkonstruktion oft aus Kostengründen nicht aus Beton hergestellt, sondern erfolgt die Behälterabdeckung mit einer Folie. Die Konstruktion einer Decke erfordert im Ortbetonbau die Konstruktion einer Säule in der Mitte zur Abstützung. Der Grund dafür ist, dass schon geringste Bewegungen der Kuppel durch quer wirkende Schubkräfte sonst zu Undichtigkeiten an der Schnittstelle Behälter/Deckel führen würden. Die Fertigteilbauweise hingegen ermöglicht die Verwendung eines massiven Deckels ohne Säule, der den gesamten Behälter in sich stabilisiert.

Ein zentrales Rührwerk kann deshalb nicht befestigt werden; bei herkömmlichen Behältern in Ortbetonbauweise werden in der Regel drei, seitlich an der Wand symmetrisch angeordnete Rührwerke montiert.

Obendrein können die drei seitlichen Rührwerke nicht immer eine vollständige vertikale Durchmischung garantieren, was dann zu einer sogenannten „Schwimmdeckenbildung“ führt, die wieder eine verminderte Gasbildung zur Folge hat. Im Extremfall kann diese Schwimmdeckenbildung zum Stillstand des Gärprozesses führen.

Die Dichteanforderungen an einen Biogasfermenter sind sowohl im Hinblick auf die Gasdichtheit als auch im Hinblick auf die Flüssigkeitsdichtheit zu betrachten. Aufgrund statischer Berechnungen ist im Ortbetonbau eine „Weiße Wanne“ auszuführen. Aufgrund verschiedener Unwägbarkeiten kann es zu einer Undichtheit der Behälter kommen.

- Schlechte Bedingungen bei der Aushärtung des Betons → RISSBILDUNGEN
- Die Bewehrungsdichte verursacht eine mangelhafte Verdichtung des Betons zwischen den Schalungen
- Rissbildungen bei der Verbindung der Bodenplatte bzw. der Decke mit den Seitenwänden auf Grund von Zwangsspannungen
- Begrenzte Sanierungsmöglichkeiten des Betonbehälters (Verpressungen und Innenbeschichtung möglich)

#### **Betonkorrosion:**

- Bei der Entschwefelung von Biogas durch Lufteintrag in den Nachfermenter bildet sich das  $H_2S$  teilweise in Elementarer Form aus. Teilweise wird das  $H_2S$  über den Stoffwechsel von Thiobakterien - welche sich an der Betonoberfläche ansiedeln – in Schwefelige Säure umgewandelt. An der Betonoberfläche kommt es dadurch zu einem Säureangriff. Durch diesen Säureangriff wird die Lebensdauer des Behälters herabgesetzt. Eine Verhinderung der schädlichen Effekte erfolgt durch Innenbeschichtung der Behälter.
- Betonkorrosion kann auch durch mechanische Belastung hervorgerufen werden. Sand und andere Störstoff wirken während des Rührvorganges auf die Oberfläche des Behälters ein und bewirken durch entstehende Scheuerkräfte eine Betonabrieb.

#### **Ortbetonbehälter aus der Sicht des Praktikers**

Die Probleme beim Ortbeton sind bei unserer Anlage (Partner P2) in dem Maße sichtbar, dass folgende Schäden bzw. Bedrohungen entstanden sind.

- 1 Die Mischgrube ist mit einem Zentralrührwerk ausgestattet: Unter diesem Rührwerk ist durch die Verwirbelung (Flüssigkeit wird vom Rührwerk nach unten gedrückt) bereits eine 10 cm Vertiefung entstanden ist. Diese Vertiefung musste schon einmal saniert werden.

- 2 Durch die Rotation der Flüssigkeit wurde die Betonoberfläche im Bereich des durchschnittlichen Befüllstandes bereits angegriffen. Diese Oberfläche muss im 2. Betriebsjahr bereits saniert werden.
- 3 Sorgen macht uns ebenfalls ein durchgehender Riss beim Anschluss der Decke an den Behältermantel.
- 4 Bei der Verwendung von Ortbeton bei den Silowänden sind massive Schäden eingetreten. Es haben sich Risse gebildet, welche die Siloflüssigkeit nach außen durchdringen lassen. Folgende Sanierungsversuche wurden bereits durchgeführt, haben aber keinen nachhaltigen Erfolg gebracht.
- 5 Verpressen der Risse- kein anhaltender Erfolg
- 6 Abschleifen der Silowandinnenseite, verspachteln dieser und bestreichen mit Silolack (dies wurde an einer Versuchsfläche durchgeführt) – kein anhaltender Erfolg
- 7 Im Zuge der Verspachtelung der Versuchsfläche wurde die gesamte Silo-Innenwand mit Silolack 2x bestrichen. – kein anhaltender Erfolg

## **Beschreibung der Neuerungen sowie ihre Vorteile gegenüber dem Ist-Stand**

Durch eine standardisierte industrielle Fertigung des Biogasbehälters sollen eine Reihe technischer Probleme bestehender Herstellungstechniken beseitigt werden. Des Weiteren sollen durch den industriellen Fertigungsprozess die Errichtungskosten reduziert werden.

Die Kostenreduktionen ergeben sich unmittelbar durch folgende Neuerungen:

- den Wegfall der sonst erforderlichen Beschichtung durch die Anwendung einer ausgereiften Betontechnologie und der Nutzung von säurebeständigeren SLAGSTAR als Bindemittel in einem industriellen Fertigungsprozess mit hoher Qualitätssicherung
- die Reduktion der Instandhaltungskosten aufgrund der Verwendung des säureresistenteren SLAGSTAR-Betons
- die Reduktion der Betriebskosten und die Vermeidung von Schwimmschaum durch ein zentrales Rührwerk am Stahlbetondeckel
- den Entfall der Herstellung von Einrüstungen und Schalungen im herkömmlichen Ortbetonbau
- eine wesentlich kürzere Bauzeit

- den Entfall bzw. die Reduktion von Planungsarbeiten und Vereinfachung der Genehmigungsverfahren aufgrund des standardisierten Systems
- die höhere Prozessqualität, die letztlich auch zu einer höheren Verfügbarkeit der Anlagen führt
- die reduzierte ‚lifecycle costs‘ da ein Abbau nach der Nutzungsdauer erleichtert wird.

## **Beschreibung der Projektergebnisse**

Die Ergebnisse die sich durch die umfangreiche Planung und erfolgreiche Ausführung ergaben waren durchgehend positiv.

Das primäre Ziel die unterschiedlichen Technologien (Tunnelbautechnologie, Biogastechnologie, Dichtungskonzept, ...) in diesem Projekt miteinander verschmelzen zu lassen konnten in der Planung mit voller Zufriedenheit erreicht werden. Das Fertigteilkonzept unter zu Hilfenahme der Tübbingtechnologie stellte sich nach intensiver Planung und Ausführung in der Realität für diesen Anwendungsfall als vollständig funktionstüchtig heraus.

Die Anwendung des säureresistenteren Bindemittels SLAGSTAR konnte in die industriellen Fertigungsprozesse erfolgreich integriert werden. Dessen Verarbeitbarkeit konnte auf ein Maximum erhöht werden. Alle weiteren Bemühungen die Rezeptur für ein Maximum an Medienbeständigkeit auszulegen, kann erst in der Zukunft beim Monitoring der Bausubstanz bestätigt werden.

Ebenfalls als bestätigt gilt das Potential der deutlichen Zeiteinsparung durch die Verkürzung der Montagezeit eines Biogasbehälters aus industriell hergestellten Fertigteilen. Das „Zusammenbauen“ von fertigen Teilen ist dabei um ein vielfaches schneller als die konventionelle Vor-Ort-Schalungsbauweise bzw. das Aufwendige verbinden einzelner Stahlplatten.

## **Meilensteine**

Folgende Meilensteine wurden für den Projektablauf festgelegt:

- Variantenfreigabe nach einer Variantestudie
- Planfreigabe der gewählten Variante
- Abschluss Betonentwicklung – Freigabe Beton
- Freigabe Abdichtungskonzept
- Freigabe Produktion, nach erfolgter Detailplanung und Schalungsbestellung
- Freigabe Montage nach erfolgreicher Fertigstellung des Fundaments und allen Vorbereitungen für die Montage

- Freigabe Montage
- Fertigstellung Montage
- Dichtheitsprüfung
- Fertigstellung Betonbehälter
- Ausrüstung
- Inbetriebnahme, nach Probetrieb

### **Beschreibung der eventuellen Schwierigkeiten bei Erreichung der geplanten Ziele**

Die anfängliche Schwierigkeit die unterschiedlichen Technologien in diesem Projekt zu vereinen wurde durch umfangreiche Planungsarbeiten sowie Vorversuche gemeistert. So wurde zum Beispiel die Dichtigkeit des geplanten Dichtungssystems nach vier Versuchen bestätigt.

Eine große Herausforderung stellte mit Sicherheit die Produktion der Wandfertigteile dar. Die hohe, unbedingt erforderliche, Genauigkeit der großformatigen Fertigteile in Bezug auf die Ebenheit und Lage der seitlichen Kontaktflächen war nur nach hochpräzisen Vermessungen und Korrekturen zu erreichen. Die anfänglichen Schwierigkeiten wurden aber richtig erkannt und Gegenmaßnahmen konnten getroffen werden. Nachfolgend wusste man auf welche Umstände besonders zu achten war.

Eine weitere Herausforderung lag in der Anwendung eines Hochleistungsbetons, in diesem Fall mit dem Bindemittel SLAGSTAR. Die zunächst schwierige Verarbeitbarkeit des Frischbetons, sowie die notwendigen stark verkürzten Ausschallfristen stellten große Aufgaben für die Betontechnologie dar. Nach Optimierung der Betonrezeptur konnte jedoch ein zufriedenstellender Einbau bei verbesserter Festigkeitsentwicklung erreicht werden.

Für eine betriebswirtschaftlich sinnvolle industrielle Fertigung ist das frühe Entschalen und Abheben des „jungen“ und wenig erhärteten Betonfertigteils essentiell. Diese Tatsache machte einen Abheberahmen beträchtlicher Dimension erforderlich. Dieser dient dem frischen Betonteil beim Abheben aus der Schalung als statische „Unterstützung“. Für die Montage wurde dieser Rahmen weiter ausgebaut, um das Wandfertigteil auch während dem Aufdrehen in die vertikale Lage nicht zu hohen Belastungen auszusetzen.

Die Produktion der Deckenfertigteile war weniger anspruchsvoll, da die Toleranzen weniger eine Rolle spielten als bei den Wandelementen. Die Weitergabe der Erfahrungen die man bei der Produktion der Wandelemente mit dem SLAGSTAR-Beton gemacht hat, führte bei den Deckenelementen zu einer reibungslosen Produktion.

Die Schwierigkeiten die der Baugrund mit sich brachte konnten vorab nicht beurteilt werden und wurden auch nicht erwartet. Insbesondere deswegen, weil der Untergrund bei den vier bestehenden Behältern der Biogasanlage in Bruck an der Leitha ausreichend tragfähig war. Der stark setzungsgefährdete Untergrund musste laut Gutachten mit einer

Rüttelstopfverdichtung verbessert werden. Die finanziellen Kosten die dabei, auch durch Planung und Gutachten entstanden waren enorm.

Das Schleifen der Fundamentplatte auf der Aufstandsfläche der Wandelemente war besonders herausfordernd. Auf der 3 x 2 m großen Testplatte noch leicht zu bewerkstelligen gestaltete sich die Arbeiten auf dem 20 x 20m großen Fundament ungleich schwieriger. Nachdem eine Ebenheitsgenauigkeit von mindestens +/- 1 mm im Bereich der Aufstandsfläche der Wandelemente im Grundriss einzuhalten war, wurde nach den ersten, erfolglosen Schleifvorgängen das Konzept abgeändert. Es wurde mit Hilfe eines Nivelliergerätes der Schleifvorgang in „Echtzeit“ kontrolliert und permanent nachkorrigiert. Nach 2 Wochen dauernden nicht zufriedenstellenden Anstrengungen konnten so nach nur 4 Tagen die gewünschten Toleranzen eingehalten werden.

Eine der größten Herausforderungen stellte mit Sicherheit die Montage der Wandfertigteile dar. Es wurden zahlreiche Varianten theoretisch durchüberlegt, sodann ein umfangreiches Montagekonzept (**siehe Anhang A10**) festgelegt und immer wieder optimiert und erweitert. Schlussendlich waren auch noch am Tag vor der Montage einige Punkte unklar und mussten erst bei der Montage vor Ort festgelegt werden. Besonders das Handling der extrem großen sowie schweren Wandelemente war vorab nicht abschätzbar. Schließlich wurden während der Montage alle noch vorhandenen Ungewissheiten gelöst und der gesetzte Termin und Ablaufplan konnte hierfür eingehalten werden. Auch der kritischste Vorgang, das Schließen der letzten 2 Wandelemente zum vollständigen Behältering, wurde aufgrund hoher Planungs-, Produktions- und Montagesorgfalt ohne größere Probleme bewältigt.

Das Vorspannkonzept des Behälters stellte in der gewählten Variante ein Novum dar dessen Risiken es zu überprüfen und bewerten galt. Hierbei handelt es sich um die extreme Kraft die die externe Vorspannung, die den Behälter wie ein Fass zusammenschnürt, auf die Wandfertigteile ausübt. Vorab war nicht abschätzbar war wie sich diese Tatsache auf die Fertigteiltechnik auswirken würde, da im Grunde genommen alle Elemente unter dem Einfluss dieser hohen Kräfte in Ihrer Lage nicht fixiert und im Prinzip noch „beweglich“ waren. Deshalb wurde ein Messkonzept festgelegt mit dem die Bewegungen die durch das Vorspannen hervorgerufen werden laufend überwacht und quantifizierbar wurden.

Die anfängliche geringfügige Undichtigkeit des Behälters boten einerseits Gelegenheit ein einfandfreies Sanierungskonzept zu entwickeln, andererseits konnten durch die Ursachenforschung wertvolle Erkenntnisse für Verbesserungen bei zukünftige Anwendungen gewonnen werden.

### **Beschreibung der „Highlights“ des Projektes**

Der rechnerische Nachweis der Anwendbarkeit der aus dem Tunnelbau entlehnten Technologien und Konstruktionsprinzipien für den Behälterbau war ein bedeutender Meilenstein. Das durch die Maba Mitarbeiter entwickelte Konstruktionsprinzip wurde durch die von dem Ziviltechnikerbüros Fritsch, Chiari und Partner durchgeführten Berechnungen

und Simulationen als machbar eingestuft. Daraufhin erfolgte der Startschuss für die Detailplanung der einzelnen Bau- und Bestandteile des Behältersystems.

Ein weiteres Highlight war dann die Bestätigung des Abdichtungskonzepts unter den Anforderungen eines Biogasbehälters durch die Bauteilversuche der TU-Wien (**siehe Anhang A3**).

Die Herstellung aller Bauteile mit den geforderten Maßtoleranzen war eine weitere Bestätigung, dass diese Technologie sowie die Betontechnologie mit SLAGSTAR auch in Zukunft mit Erfolg in der industriellen Fertigung angewandt werden kann. Die erstmalige serielle Produktion von industriell gefertigten Fertigteilen dieser Dimension mit dem innovativen Baustoff SLAGSTAR konnte unter regulären Werksbedingungen erfolgreich validiert werden.

Der Abschluss der Fertigteile - Montage in nur 4 Tagen für die Wandelemente und einem weiteren für die Deckenelemente stellte für das gesamte Projektteam den emotionalen Höhepunkt schlechthin dar. Es herrschte allgemeine Euphorie über die erfolgreiche Umsetzung des innovativen Montagekonzepts. Auch rückblickend waren die neu entwickelte Manipulations- und Montageverfahren für die großformatigen und dabei extrem schlanken Wandbauteile die innovativste Leistung dieses Projekts.

Nach der Sanierung der Abdichtung konnte schlussendlich der positive Dichtigkeitsversuch absolviert werden. Es war die Bestätigung, dass dieses Projekt trotz konstruktiver und finanzieller Schwierigkeiten als Erfolg gewertet werden kann. Das innovative Bauverfahren weist alle Voraussetzungen auf in naher Zukunft den Bau von Biogas- wie auch sonstigen Flüssigkeitsbehälter von Grund auf revolutionieren.

### **Beschreibung der Unterschiede zum ursprünglichen Projektantrag**

Der Größte Unterschied zum eingereichten Projekt betrifft die erhöhten Projektkosten. Gründe für die Kostenerhöhung sind:

- Höherer Entwicklungs- und Produktions- und Qualitätssicherungsaufwand um durchgehend das Projektrisiko zu minimieren. Dadurch entstanden erhebliche Mehrkosten für den Antragsteller
- Die stärkere Ausführung der Fundierung, sowie eine Bodenverbesserungsmaßnahme aufgrund der schlechten Untergrundverhältnisse vor Ort
- Sanierung des Dichtungssystems
- Kosten für die Ausrüstung aufgrund gestiegener Herstellungskosten und Ausstattung für Fermenterbetrieb
- Diverse Mehrkosten durch erhöhten Kontrollbedarf der einzelnen Arbeitsschritte um Toleranzen und Genauigkeiten immer für den Gesamterfolg des Projekts abschätzen zu können

Aus technischer Sicht wurden alle geplanten Abläufe laut Antrag durchgeführt. Diverse Details erfuhren Änderungen, diese tangieren aber das Gesamtkonzept nur unwesentlich. Diese marginalen technischen Änderungen umfassen z.B.:

- 22 statt 23 Elemente, die 11,6 m statt 18 m hoch sind
- Reduzierung des Prototyp-Volumens von 4000 m<sup>3</sup> auf 3000 m<sup>3</sup> um Kosten zu sparen
- Teilflächenwärmedämmung statt Vollwärmeschutz- Blechvorsatzfassade
- Betriebsdruck 3 mbar, Prüfdruck 15 mbar statt ursprünglicher fälschlicherweise Annahme von ca. 600 mbar Gasdruck

Die geplante Projektdauer wurde zwei Mal verlängert. Dies hatte folgende Gründe:

- Erheblich höhere Planungsarbeit um alle Risiken vorab einschätzen zu können, beziehungsweise risikobewusst zu handeln
- Aufwendigere Schleifarbeiten am Fundament
- Dichtungsversuche und Sanierung der Fugen
- Aufwendige Ausrüstung der Anlage, da Betrieb als Fermenter möglich sein soll

## **6. DETAILANAGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DER PROGRAMMLINIE**

### **Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie**

Darstellung der Möglichkeit die nachhaltige Energieproduktion in Biogasanlagen durch die Bereitstellung besserer Behältertechnologie zu verbessern. Bestätigt durch ein Demonstrationsprojekt samt der Errichtung eines Prototypen aus industriell gefertigten Stahlbetonfertigteilen mit 3.000 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen.

Nachhaltiges Wirtschaften und die Entwicklung innovativer Produkte eines Industrieunternehmens gehen somit Hand in Hand.

### **Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung**

Biogas nutzt lokale Abfälle, stellt die lokale unabhängige Energieversorgung sicher.

### **Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen**

Die Biogastechnologie zählt zu den wesentlichsten erneuerbaren Energiequellen. Ein Behälter aus Fertigteilen, der diese Technologie kosteneffizienter macht ist ein wesentlicher Schritt zur vermehrten Nutzung dieser Energiequelle.

### **Effizienzprinzip**

Gerade der Fertigteilbau beschreibt das Maximum an Materialeffizienz. Nur hier können hochwertigste Baumaterialien verarbeitet werden. Die Montage und damit die Bauzeit kann erheblich verringert werden und macht Biogasbehälter für die Betreiber wesentlich schneller verfügbar.

### **Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit**

Durch die Fertigteilbauweise sind die Life-Cycle Costs wesentlich geringer, da der Abbau der Fertigteile mit einfachsten Mitteln zu bewerkstelligen ist. Die Verwendung von SLAGSTAR als Bindemittel ist die umweltschonendste Methode Beton herzustellen, da bei dessen Erzeugung um 90% weniger CO<sub>2</sub> freigesetzt wird als für herkömmlichen CEMI Zement.

### **Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit**

Die entwickelte Technologie ermöglicht die Erweiterung des Anwendungsgebiets auf viele Sektoren (Siedlungswasserbau, Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft) mit geringem

zusätzlichen Entwicklungsaufwand. Die Behälter können in ihrem Fassungsvermögen simpel angepasst werden. Die Möglichkeit bereits im Werk Einbauteile vorzusehen ermöglicht eine hohe Anpassungsfähigkeit an diverse lokale Situationen.

### **Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge**

Die Fertigteiltechnologie gewährt ein Maximum an Prozesssicherheit und damit an Qualität. Qualitativ hochwertige Bauteile halten länger und gewährleisten somit eine höhere Betriebssicherheit der Anlage und weniger Ausfallzeit durch Sanierungsmaßnahmen. Fertigteile können leichter ersetzt und saniert werden als andere Bauweisen.

### **Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität**

Beim Projektpartner BAUMIT Wopfinger Baustoffe GmbH sowie beim Antragsteller können durch die Entwicklung eines neuen Produkts neue Arbeitsplätze geschaffen und langfristig gesichert werden.

## **Einbeziehung der Zielgruppen**

Vertreter aller relevanten Gruppen waren in das Projekt involviert. Siehe Projektpartner.

## **Umsetzungspotentiale**

### **Verwertung:**

Generell erfolgt die Verwertung durch den Verkauf von Fertigteilbehältern. Die Kirchdorfer Fertigteilholding als Maba - Mutter hat in ihren 11 Produktionsstätten, die über ganz Europa verteilt sind, die Möglichkeit Fertigteile zu vermarkten. Eine weitere Verwertung soll durch Lizenzvergaben an Lizenzpartner erfolgen. Das Produkt selbst soll auch in anderen Marktsektoren Fuß fassen. Dazu zählen unter anderem der Siedlungswasserbau (Klärbecken, Nachklärbecken, Absetzbecken) und die Trinkwasserversorgung (Speicherbehälter, Hochbehälter). Für den Partner Wopfinger (Bindemittelhersteller) erfolgt die Verwertung in Form des Bindemittelverkaufs.

### **Markt:**

Der größte Markt für Biogasanlagen ist derzeit der deutsche Markt. In Deutschland werden zur Zeit ca. 700 Biogasanlagen pro Jahr errichtet. Das Konsortium geht davon aus, dass die gegenständliche Biogastechnologie binnen dreier Jahre einen Marktanteil von 10% erringen kann. Dies wären somit alleine für Deutschland mindestens 70 Anlagen pro Jahr. Bei einer

entsprechenden Gestaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und zugehörigen Förderungen im Land Österreich, steht auch hier ein großes Potential zu Verfügung. Gerade in Zeiten in denen Energiekrisen ihre Auswirkungen zeigen ist die Wahrscheinlichkeit einer solchen Umgestaltung der Gesetzeslage hoch.

Das Produkt soll durch seine rasche Verfügbarkeit, seiner kurzen Errichtungszeit sowie seiner qualitativ hochwertigen Ausstattung äußerst konkurrenzfähig sein. Im Schnitt rechnet man für einen fertigen Biogasbehälter aus Betonfertigteilen mit ca. 90 - 110 €/m<sup>3</sup> an Errichtungskosten.

**Patente:**

Die Fugenausbildung ist patentrechtlich geschützt.

## **7. SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN ERGEBNISSEN**

### **Gewonnene Erkenntnisse**

#### **SYSTEM:**

- 1 Das konstruktive Konzept konnte vollständig umgesetzt werden. Das Fertigteilssystem ist mit der externen Vorspannung kombinierbar. Entscheidend hierbei ist das Einhalten der hohen Toleranzanforderungen, sowie die möglichen Verformungen zu Folge Vorspannung abschätzen und beurteilen zu können.
- 2 Die Anwendung des erhöht säurebeständigen Betons benötigt besondere Aufmerksamkeit in der Verarbeitung. Um die Verarbeitungsqualität mit diesem Baustoff sicherzustellen sind für die geplante Serienreife entsprechende interne Richtlinien und Schulungsunterlagen zu erstellen und die Produktion je Werk entsprechend zu schulen.
- 3 Die aufwendigen Nutfräsarbeiten können auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse vereinfacht werden. Die Kontaktfläche der Fertigteile können verbreitert werden, wodurch die Fertigteile einer geringeren statischen Beanspruchung ausgesetzt sind.
- 4 Aus wirtschaftlicher Sicht wären zur Ergänzung des Fertigteilbehälters Elemente für die Bodenplatte zu überlegen, die man über Stellschrauben zuerst einnivelliert und dann mittig ausbetoniert. Das aufwendige Ebenschleifen und die präzise Vermessung zum Aufreißen der Aufstandgeometrie könnten mithin entfallen. Eine Anschlagkante könnte die Führungswinkel am Ortbetonfundament ebenfalls überflüssig machen. Kann dieses Konzept erfolgreich umgesetzt werden, ließe sich hier vor allem erheblich Arbeitszeit vor Ort einsparen.
- 5 Das Vorspannkonzep ist vor allem bezüglich Arbeitsablauf zu optimieren. Die Winkel für die sollten für die Höhenlage sollten bereits im Werk angebracht werden. Weiters könnte das System auf die gesamte Höhe des Behälters durchgehenden Vorspannkonsolen auf Einzelkonsolen je Spannkabel geändert werden. Damit lässt sich erheblich Material einsparen.

#### **WANDELEMENTE:**

- 6 Die Einbauteile, die in den Innenraum des Behälters orientiert sind (Segmentankerhülsen), sind zukünftig aus Edelstahl (V4A) herzustellen. An diese kann dann problemlos die bei Fermentern erforderliche Heizleitung montiert werden. Die Haftung – Verantwortung zwischen Wand- bzw. Heizleitungshersteller ist zu regeln.

- 7 Die Lagerung der Fertigteile im Werk sollte so erfolgen, dass die notwendige Wärmedämmung bereits im Werk aufbringbar ist – diese Erhöhung der Fertigungstiefe hilft weiter Zeit zu sparen, die Wertschöpfung zu erhöhen und lässt auch eine höhere Verarbeitungsqualität erwarten.
- 8 Das einseitige Einlegen einer Montageschiene (Halfenschiene) auf einer Lisene über die gesamte Länge des Wandfertigteils ermöglicht eine einfache, werksinterne Montage der Montagehilfswinkel für richtige Höhenlage der Vorspannkabel. Weiters können etwaige Kabel, Rohre, Aufstiegshilfen an diese Schienen befestigt werden. Der Grad der Fertigungstiefe der Wandelemente würde weiter zunehmen.
- 9 Die Rohrdurchführungen könnten gänzlich, als in die Schalung vor dem Betonieren einzulegende Einbauteile hergestellt werden. Diese können mit beidseitigen Hutmutterflanschen ausgerüstet werden. Nachträgliche Montage bzw. Schweißarbeiten wären hiermit nicht mehr notwendig.
- 10 Die Montage könnte mit der Verbesserung des Montagerahmens erleichtert und schneller erfolgen. Statische Optimierungen sollten sich hierbei auf ein Versetzen ganz ohne Hilfsgerüst, nur über Kugelkopfsegmentanker, konzentrieren. Das Ablaufoptimierungspotential ist groß.
- 11 Stellschrauben sind verzinkt ausgeführt, falls keine Montagealternative dafür entwickelt werden kann.

#### **DECKE:**

- 12 Um ein durchgehendes Fertigteilbaukastensystem zu erreichen, könnten die Deckenfertigteile als torteneckförmige Kuppelbauteile statt wie bei dem vorliegenden Projekt aus Durchlaufträgern hergestellt werden.
- 13 Wird das Konzept der Durchlaufträger, wie sie in diesem Projekt ausgeführt wurden weiterverfolgt, sind statische Optimierungen erforderlich die die nachträglichen Arbeiten vor Ort (Betonieren Aussteifungsträger, Vergießen Deckenfugen) auf ein Minimum reduzieren.
- 14 Wird aus betrieblichen Gründen kein zentrales Rührwerk benötigt, ließe sich eine Variante mit Foliendach entwerfen.

#### **STANDARDISIERUNG:**

- 15 Für verschiedene Belastungsarten (Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen, Lebensmittelresten, Fetten, Ölen, Fleisch,...) sowie Betriebsarten (Verwendung als Fermenter, Zwischenfermenter, Endlager) des Behälters sollen belastungsspezifische Betonrezepturen entworfen werden.
- 16 Aus der für dieses Projekt vorliegenden Statik sollen Typenstatiken für unterschiedliche Behältergrößen erstellt werden.

## **Weiterarbeit**

Die Weiterarbeit sollte sich unter anderem auf die Erhöhung der Fertigungstiefe der Betonfertigteile selbst konzentrieren. Diese könnten mit allen notwendigen Durchlässen, Öffnungen, Anschlüssen, Montagevorrichtungen und einer Wärmedämmung bereits im Werk ausgerüstet werden. Die nachträgliche Installation und Montage von Spannkabel, Rohranschlüssen, Halterungen, Heizleitungen und Aufstiegshilfen kann erheblich erleichtert und beschleunigt werden. Eine Herstellung eines komplett betriebsfähigen Behälters samt Fundament könnte somit in nur 1,5 Monaten möglich sein.

Weitere Entwicklungsarbeiten sollten sich auf die Ausgestaltung von Detaillösungen sowie die Bauart der Dachkonstruktion des Behälters fokussieren. Hier besteht noch ein großes Potential an möglichen Materialeinsparungen sowie der Möglichkeit einer Zeitersparnis bei der Produktion und der Montage. Eine Torteneckenkonstruktion wäre erstrebenswert.

Die Montage könnte weiter erleichtert werden, wenn der Montagerahmen kleiner bzw. leichter ausgeführt werden könnte. Diese Anforderung soll statisch / dynamisch untersucht und in Versuchen überprüft werden.

Statt der Fundamentplatte könnten torteneckförmige Fertigteilfundamentplatten zur Anwendung kommen, die bereits alle notwendigen Montage- und Einrichtungshilfen beinhalten.

Auch die Herstellung von standardisierten Unterlagen sollte in weitere Entwicklungsarbeiten einfließen. Eine Typenstatik für verschiedene Behältergrößen soll abgeleitet werden.

Betontechnologisch wäre die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Betriebsumgebung und nötiger Betonsorte sinnvoll. Für verschiedene Belastungsgrenzen könnte man so dann verschiedene Betonqualitäten verwenden.

Die Wirkung der Wärmedämmung wurde rechnerisch simuliert und wird erst im ersten Betriebsjahr auf seine tatsächliche Wirksamkeit geprüft. Stellt sich die angebrachte Wärmedämmung als zu gering heraus, sollten Nachrüstungsvarianten der Wärmedämmung und deren Applizierbarkeit im Werk entwickelt werden.

## **Zielgruppen für die die Projektergebnisse relevant und interessant sind**

Die Projektkenntnisse, sowie das entwickelte Produkt, sind zunächst sicherlich für die gesamte Biogasbranche von höchstem Interesse. Somit alle Beteiligte die bei der Planung, Errichtung und dem Betrieb von Biogasanlagen zusammenwirken. Generell haben die Ergebnisse und die Möglichkeit Biogasbehälter zukünftig aus Fertigteilen zu erstellen das Potential eine Revolution im Behälterbau einzuleiten. Die Biogastechnologie kann kosteneffizienter und wirtschaftlicher genutzt werden, da die Investitionen in diese

zukunftsreiche regenerative Energieform mit billigeren Behältern geringer ausfallen. Anlagen amortisieren sich somit schneller und werden für Investoren interessanter.

Für planende Firmen stellt die Tatsache, dass ein standardisierter Biogasbehälter mit fertig vorliegender Statik neue Möglichkeiten der effizienten und schnellen Planung solcher Anlagen ermöglicht. Dabei ist die vorhandene Technologie auch für viele weitere Einsatzzwecke anwendbar. Dazu zählen Wasserbehälter in jeglicher Form für Trink- oder Brauchwasserzwecke. Offene Behälterformen für Absetzbecken im Siedlungswasserbau oder als Güllelager in der Landwirtschaft.

Vorteile ergeben sich vor allem für Biogasanlagenbetreiber. Die üblichen Planungs- und Errichtungszeiten von Biogasanlagen können mit der vorliegenden Behältertechnologie erheblich beschleunigt werden. Der Betreiber spart somit Zeit und Kapital, da die Anlage früher in Betrieb gehen kann. Daraus ergibt sich in gewisser Hinsicht auch ein Volkswirtschaftlicher Nutzen, da die Biogastechnologie durch das bessere Kosten / Nutzen – Verhältnis konkurrenzstärker werden kann (der Nutzen durch die frühere Inbetriebnahme wird gesteigert und die Kosten werden durch die billigere Herstellung verringert) und eine unabhängige und klimaneutrale Energieerzeugung bereitstellen kann.

Betreiber und Inhaber von Betonfertigteilterwerken die nach neuen, innovativen Produkten mit nachhaltigen Marktchancen interessiert sind.

Für die Forschung und den Bereich der Baubranche hat dieses Projekt eine Vorreiterrolle in Bezug auf Ressourcenoptimierung. Neben der klimaneutralen Herstellung des Bindemittels (dieses wird nicht gebrannt wie herkömmlicher Zement) wird durch die Fertigteiltertechnologie ein Höchstmaß an Personal- und Kosteneffizienz erzielt.

Konkret angesprochene Zielgruppen sind:

- Betontechnologisch Interessierte im Bereich der Biogasanlagen (Universitäten, Beton- und Zement Interessensverbände, etc.)
- Planer von Biogasanlagen
- Betreiber von Biogasanlagen
- Betreiber von Betonfertigteilterwerken
- Kommunen, Länder, Gemeinden die den Ausbau von Biogasanlagen beabsichtigen
- Bund dem die Erkenntnisse zur Verwirklichung der Kyoto Ziele helfen können
- Interessenten die im Siedlungswasserbau bzw. in der Trinkwasserversorgung tätig sind

## **8. AUSBLICK & EMPFEHLUNGEN**

### **Empfehlungen für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten**

Der Sulfathüttenzement SLAGSTAR weist eine hohe Säurebeständigkeit auf. Die Frühfestigkeitsentwicklung ist bei Sulfathüttenzement im Vergleich zu Portlandzementen geringer ausgeprägt. Gerade die Frühfestigkeit ist aber für die industrielle Fertigung von Betonfertigteilen ein entscheidender betriebswirtschaftlicher Faktor, da er die Ausschalzeit und damit die Schalungsbelegung definiert. Eine Weiterentwicklung der Bindemittel- und Betontechnologie wäre aus diesem Aspekt heraus wünschenswert.

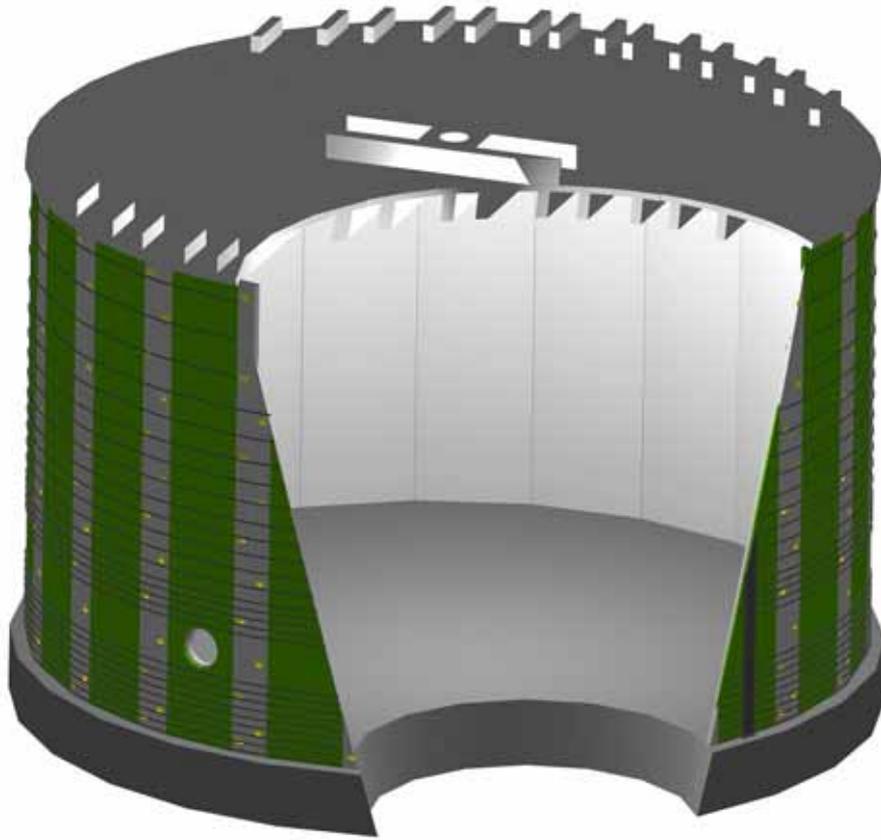
Verbesserungen und Weiterentwicklungen sind wie oben erwähnt bei Montagerahmen, Fundament aus Fertigteileplatten, Standardisierung der Unterlagen und Typisierung verschiedener Behältergrößen anzustreben.

Betontechnologisch wäre die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Betriebsumgebung und nötiger Betonsorte sinnvoll. Für verschiedene Belastungsgrenzen könnte man so dann verschiedene Betonqualitäten verwenden. Generell gibt es in der Literatur wenig Langzeit - Erfahrungsberichte in denen der Säureangriff denen Biogasbehälter ausgesetzt sind dokumentiert wird. Hier wäre eine Studie mit der Zielrichtung der Standardisierung der Anforderungen an die Betonqualitäten für Biogasanlagen anzustreben.

## **9. ANHANG**

A1: Bildergalerie

A2: Presstexte



*Systemfoto*



*Fertiger Behälter*



*Schalung der Wandfertigteile*



*Schalungsdetails und Einbauteile, Futterrohr (rechts oben), Mannloch (rechts mitte), Ringraumdichtung (rechts unten)*





*Im Produktionsablauf. Links Schalung der Wandelemente, Rechts fertiges Element mit Abheberahmen*



*Links: Element mit aufgebrachtener Dichtung  
Rechts: Element vor aufbringen der Dichtung (2 Nuten erkennbar – in eine wird die Dichtung eingeklebt, die andere dient zu nachträglicher Verpressung)*



*Lagerung der Fertigteile auf dem Lagerplatz*



*Umgebauter Manipulationsrahmen*



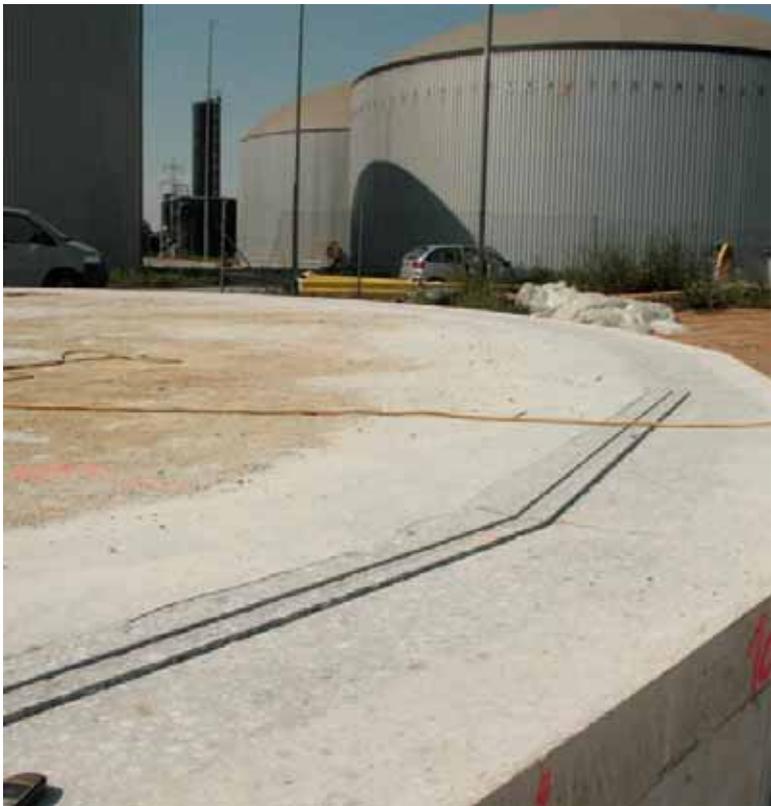
*Bodenverbesserungsmaßnahme Rüttelstopfverdichtung*



*Fertiggestelltes Fundament inklusive Sanierung (obere 20cm starke Platte)*



*Ebenschleifen der Bodenplatte mit  
Diamantschleifmaschinen. Gefordertes  
Ebenheitsmaß +/- 1mm!*



*Links: Fertig geschliffenes Fundament mit bereits eingearbeiteten Nuten zur  
Aufnahme der Dichtung  
Rechts: Reprofilierter Nut mit Dichtungsband, die zweite Nut dient der nachträglichen  
Verpressung*



*Manipulation der Fertigteile auf der Baustelle mit dem eigens konzipierten Montagerahmen*



*Absetzen eines  
Wandelements*





*Während der Montage (Oben: Schrägstützen dienen zur Versteifung)*



*Vogelperspektive während der Montage. Gut sichtbar der rundum sichtbare Dichtungsrahmen*



*Vor dem Schließen*



*Geschlossenes 22-Eck*



*Aufbringen der Wärmedämmung und Versetzen der Deckenelemente*



*Während der Deckenmontage*



*Rohrdurchführungen mit  
Ringraumdichtung*



*Geschlossener Behälter mit bereits eingebauter Heizleitung*



*Montierte Z-Montagewinkel für die Aufnahme der Spannkabel*

*Vorspannkonsolen 11,5m lang, 2t schwer für 27 Vorspannkabel*



*Fertiggestellte Wärmedämmung und erste eingelegte Vorspannkabel*



*Verspannen der Spannkabel mit ~80 t/Kabel*



*Vorspannarbeiten abgeschlossen.  
Auch Anschluss der  
Rohrleitungen bereits  
durchgeführt.*



*Aufbetonieren des  
Aussteifungsträgers sowie  
vergießen der Deckenfugen*

*Unten: Beschichten des  
Rührwerksflansches*





*Fertiggestellte Decke samt Aussteifungsträger und Rührwerksflansch. Im Hintergrund sind die Überzüge der Deckenträger zu erkennen.*



*Durchführung der Dichtigkeitsprüfungen mit einem Standrohr*



*Sanierungsarbeiten im Inneren des Behälters It. Sanierungskonzept. Abdichtungen bis in eine Höhe von 12m sowie über Kopf an der Decke.*



*Dichtungsbandstoß (In Epoxydharzbett versetzte Hypalonkunststoffdichtungsbänder)*



*Fertig sanierter Behälter mit Heizleitungen*



*Fertiggestellter Behälter*

Beton + Zement

Biogas-Anlage

**MABA Fertigteilindustrie GmbH:**

## **Erster MABA-Tank errichtet**

**Die Herstellung von Biogas gilt als zukunftsweisende und umweltverträgliche Technologie. Im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelte MABA FTI einen ersten Biogasbehälter aus Betonfertigteilen mit zukunftsweisendem technologischen Konzept. Er ging vor wenigen Wochen in Betrieb.**

In Bruck an der Leitha (Niederösterreich) stellt die Biogas Bruck/Leitha GmbH & Co. KG seit vier Jahren Biogas aus natürlichen Rohstoffen her. Zur Erweiterung der bestehenden Anlage wurde von der MABA Fertigteilindustrie – erstmalig aus Betonfertigteilen – ein Behälter mit 3.000 Kubikmeter Fassungsvermögen zur Gewinnung von Biogas errichtet.

Bei der Brucker Anlage handelt es sich um eine so genannte CO-Fermentationsanlage. Neben landwirtschaftlichem Ursubstrat (Gras, Rüben-, Maissilage, Gülle usw.) können und dürfen auch Produkte wie Reststoffe aus der Nahrungs- und Lebensmittelindustrie eingesetzt werden. Die Gärung findet in Fermentern bei einer Temperatur zwischen 35 und 40 Grad Celsius statt. Dadurch entsteht Biogas, das sich vorwiegend aus Methan und Kohlendioxid zusammensetzt. Es wird in einer Kraft-Wärme-Kopplung (Motor mit Generator) in Strom und Wärme umgewandelt. Der Strom fließt überwiegend in das öffentliche Netz. Die überschüssige Wärme – ein Teil ist für den Eigenbedarf der Anlage nötig – steht dem Fernwärmenetz Bruck zu Verfügung. Das jährliche Produktionsvolumen dieser Anlage liegt derzeit bei zwölf Millionen Kilowattstunden Strom und 15 Millionen Kilowattstunden Wärme.

### **Innovative Technologie**

In Bruck an der Leitha wurde ein innovatives Pilotprojekt realisiert. Bei diesem vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) im Rahmen des Programms „Fabrik der Zukunft“ und dem Land Niederösterreich geförderten Forschungsprojekt arbeitete die MABA Fertigteilindustrie mit Firma Wopfinger eng

zusammen. Während MABA FTI für die Fertigungstechnologie, die gesamte Projektleitung und die Montage verantwortlich zeichnete, brachte Firma Wopfinger eine spezielle Betontechnologie ein.

Auf dieser Grundlage entstand ein wartungsfreies System, das sich am Konstruktionsprinzip von Tübbing für den Tunnelbau orientiert. MABA FTI gilt als Spezialist für die Herstellung von Tübbing und produzierte diese anspruchsvollen Betonfertigteile unter anderem für den Wienerwald-Bahntunnel oder einen Druckwasserstollen für das Kraftwerk Hieflau.

Bei der Produktion der Fertigteile kam das Bindemittel Slagstar von Wopfinger zum Einsatz. Dafür wird spezieller, gemahlener Hüttensand verwendet, der bei der Herstellung kein Kohlendioxid abgibt. Der so gefertigte Beton widersteht chemischen Angriffen ohne Beschichtung wesentlich besser als herkömmlicher Beton. Hergestellt wurden die Fertigteile in Präzisionsschalungen mit 32 Quadratmeter Schalungsfläche.

Die Elemente wurden rundum mit Dichtnuten ausgestattet, in die Profile aus EPDM-Material von Dätwyler (Dichtungen für den Tunnelbau) eingelegt sind. An den Seiten werden diese Dichtungen durch Schraubverbindungen komprimiert. An den Ober- und Unterkanten der Wände erfolgt die Komprimierung durch das Eigengewicht der Fertigteile. Um dem hydrostatischen Druck im Inneren des Behälters standzuhalten, kamen umlaufende externe Spannglieder von VT-Vorspanntechnik, Salzburg zum Einsatz. Voraussetzung für die spätere Gas- und Flüssigkeitsdichtheit sind geringe Maßtoleranzen der Wände.

## **22 Elemente mit 11,6 Meter Höhe**

Das Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Biogasbehälters für Bruck an der Leitha mit einem Fassungsvermögen von 3.000 Kubikmetern repräsentiert einen Wert von einer Million Euro. Die Errichtung erfolgte durch das Montageteam der MABA Fertigteilindustrie. Es übernahm auch die Herstellung der Bodenplatte und das Vergießen der Betondecke.

Der Biogasbehälter misst 19 Meter im Durchmesser. 22 Elemente mit 11,6 Meter Höhe, 18 Zentimeter Dicke und einem Einzelgewicht von 16 Tonnen waren für die Behälterwand erforderlich. Etliche Rohrdurchführungen mit Flanschen und ein Mannloch für die jährliche Inspektion wurden bereits bei der Fertigteilproduktion berücksichtigt. Durch die Ausführung der Decke aus vergossenen Betonfertigteilen ist im Gegensatz zu anderen Konstruktionen ein zentrales Rührwerk möglich. Das bringt einen optimalen Wirkungsgrad. Der MABA-Tank ist flüssigkeitsdicht bis zwei bar und und gasdicht bis zu einem Überdruck von 15 mbar.

Insgesamt nahm die Realisierung dieses Pilotprojektes vom Beginn der Entwicklung bis zur Fertigstellung eineinhalb Jahre in Anspruch. Dazu meint Dr. Bernhard Rabenreither, Geschäftsführer der MABA Fertigteilindustrie GmbH: „Wir sehen unser Engagement im Bereich Biogasanlagen als einen strategischen Schritt zur Förderung und Entwicklung umweltfreundlicher und nachhaltiger Technologien.“

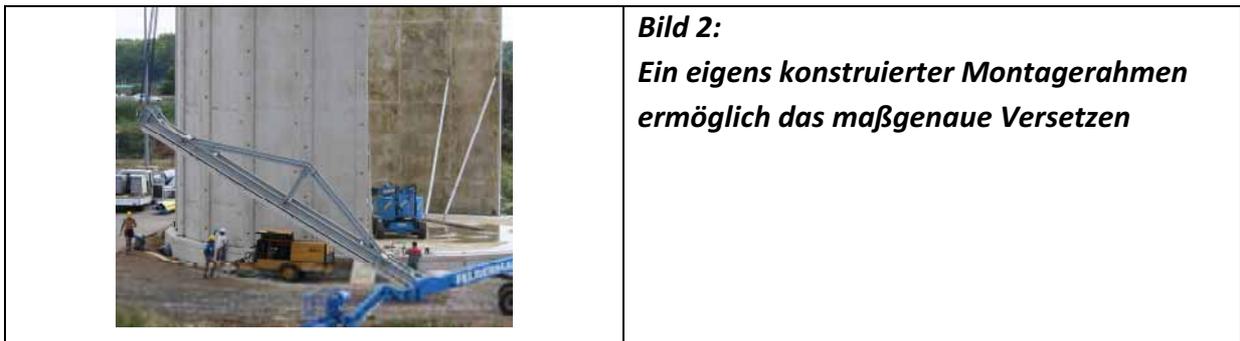
Vor Ort wurde von MABA FTI die Bodenplatte hergestellt und geschliffen, um eine millimetergenaue ebene Aufstandsfläche für das Versetzen der Wandelemente zu ermöglichen. Anschließend erfolgte das Einfräsen der Nuten für die Dichtungen. Die Länge der Seitenwände stellte eine besondere Herausforderung für die Montagegruppe dar. Um ein Durchbiegen der Fertigteile zu verhindern, wurde ein eigenes Stahlgerüst konstruiert, das die Kräfte bei der Montage aufnimmt. Mit dieser Technik konnte jedes Element mit 32 Quadratmeter Fläche innerhalb einer Stunde versetzt werden. Eine Woche nach Montagebeginn waren Wände und Decke fertig montiert. In der nächsten Woche folgten der Verguss der Deckenelemente und die Wärmedämmung der Wände, um die nötige Betriebstemperatur mit möglichst geringem Energieeinsatz zu erzielen. Die dritte Montagewoche war für die Befestigung der Vorspannglieder reserviert. Mitte August fand die Gas- und Wasser-Dichtheitsprüfung statt, Ende August 2008 wurden das Rührwerk eingebaut und die Elektro-Anschlüsse hergestellt. Damit war der erste Biogasbehälter aus Betonfertigteilen bereit für die weiteren Einbauten.

### **Interessante Zukunftsperspektiven**

Beim Biogasbehälter der MABA Fertigteilindustrie handelt es sich um ein standardisiertes Produkt, dem bedeutende Zukunftsperspektiven eingeräumt werden. Nach Expertenmeinung kann je 500 Hektar Agrarfläche mit Nahrungsmittelproduktion eine Biogasanlage mit je drei Behältern allein aus der Reststoffverwertung wirtschaftlich betrieben werden. Da Österreich über 7,5 Millionen Hektar Agrarfläche verfügt, ergibt das ein theoretisches Potenzial von 15.000 Anlagen mit insgesamt 45.000 Behältern. Mit der von MABA FTI entwickelten Technologie können derzeit Behälter zwischen 2.000 und 4.000 Kubikmeter Fassungsvermögen errichtet werden. Seine Leistungsfähigkeit hat dieses technisch höchst anspruchsvolle Konzept in Bruck an der Leitha bereits bewiesen. Bei diesem Einsatz widerstehen die Fertigteile massivsten chemischen Angriffen ohne zusätzliche Beschichtung. Außerdem wurde die Flüssigkeits- und Gasdichtheit nachgewiesen.

Der neue MABA-Tank eignet sich daher auch für andere Zwecke hervorragend, beispielsweise als Wasserspeicher oder Güllebehälter.

**Bildunterschriften:**

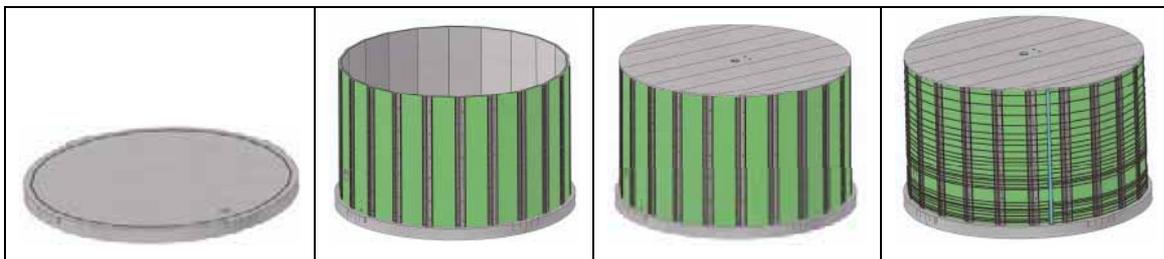




**Bild 4:**  
*Nach der Außenwand-Dämmung folgt das Einhängen der Deckenelemente*



**Bild 5:**  
*Nach dem Anbringen der Spannseile ist der MABA-Tank fertig für die Druckprüfung*



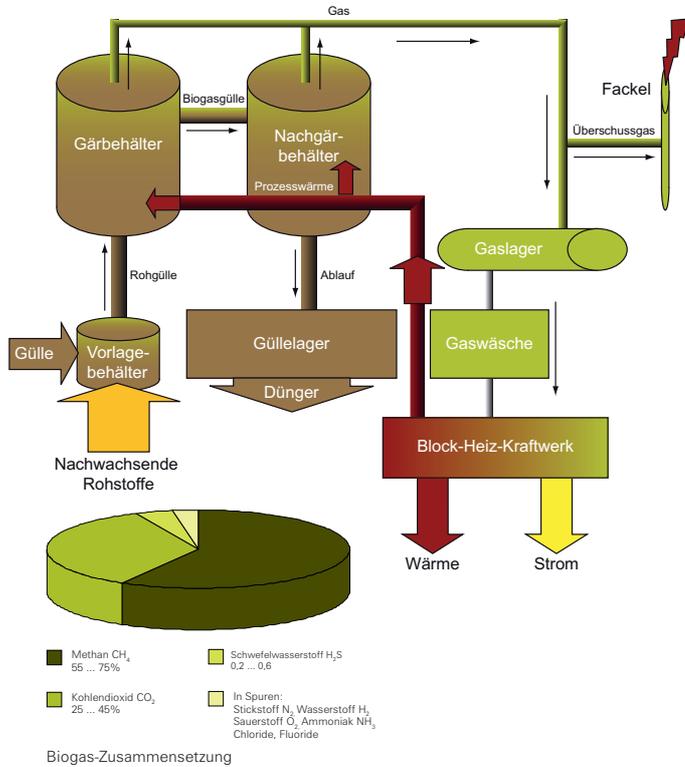
**Bild 6:**  
*Montageablauf des ersten MABA-Tanks im Überblick: 1. Bodenplatte mit gefräster Dichtungsnut, 2. Wand + Außendämmung, 3. Decke, 4. fertig mit umlaufenden Spanngliedern*

Fotos: MABA FTI

Abdruck honorarfrei

## Biogasbehälter in Fertigteilbauweise

### 1 Funktionsweise einer Biogasanlage



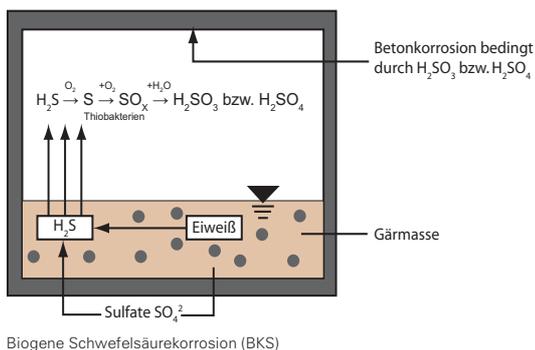
### 2 Problemlösungsprozess

Eine Herausforderung in der Projektorganisation war die Steuerung des inter- und transdisziplinären Teams. Lösungsorientiertes Arbeiten war die Grundlage des vorliegenden Entwicklungsprozesses.

Bei der Realisierung des neuen, innovativen Biogasbehälters mussten technische, wirtschaftliche, umwelt- und gesellschaftsrelevante Probleme bedacht und gelöst werden.

Ziele bei der Planung und Herstellung des neuen Prototyps:

- Gas- und Flüssigkeitsdichtigkeit des Behälters.  
*Ziel: Leicht realisierbare und auf andere Anlagen übertragbare Lösung.*
- Erstmalige Verwendung und Montage von Wandfertigteilen in dieser Größe.  
*Ziel: Entwicklung einfach zu bedienender Fertigteile (Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit).*
- Betonqualität  
*Ziel: Verbesserter Werkstoff mit hohem Widerstand gegen starken chemischen Angriff ohne zusätzliche Beschichtung.*

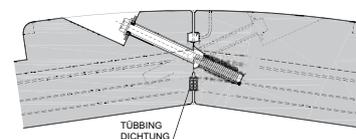
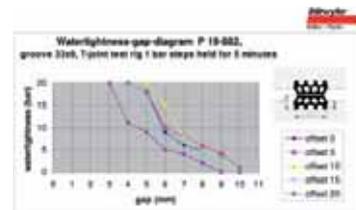


- Vorspannung eines aus einer Vielzahl von Fertigteilen bestehenden Behälters dieser Größe.  
*Ziel: Entwicklung eines entsprechenden Montagekonzeptes.*
- Statische und dynamische Beanspruchung durch zentrales Rührwerk.  
*Ziel: Konstruktive Berücksichtigung.*
- Wirtschaftliche Problemstellungen  
*Ziel: Reduktion der Kosten durch effiziente Umsetzung (Vorfertigung) und entsprechendes Monitoring.*
- Gewährleistung Implementierung existierendes Know-How.  
*Ziel: Verbesserung herkömmlicher Standards.*

### 3 Innovationsgehalt

Zahlreiche Merkmale des Projektes sind innovativ bis weltweit einzigartig.

- Flüssigkeits- und Gasdichtigkeit durch Verwendung von Dichtungen aus dem Tunnelbau.



Fugendetail Wandelement - Wandelement

Fugendetail Bodenplatte - Wandelement

- Erfindung eines eigenen Transport- und Montagekonzeptes für die Errichtung des Fertigteilbehälters.



Transportkonzept / Montagekonzept

- Bessere Betonqualität durch:
  - Verwendung von Slagstar (fünffach höhere Säurebeständigkeit)
  - bessere Verarbeitung von „grünem Beton“ im Fertigteilwerk
  - Herstellung der Fertigteile im Werk
- Anhebung der Ausführungsqualität verspricht niedrigere Instandhaltungskosten.
- Beseitigung von immer wiederkehrenden technischen Problemen sowie Reduktion der Fertigungskosten durch eine standardisierte Fertigung und damit Typisierung von Biogasbehältern.  
=> Wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der Einsatzrate der Behälter.

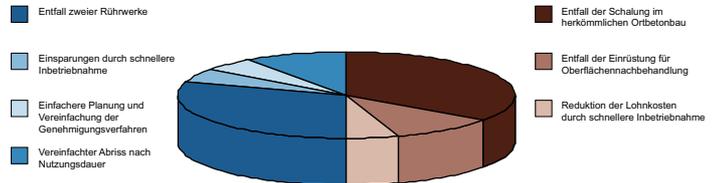
# Beitrag zur Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung

# F C P

## Biogasbehälter in Fertigteilbauweise

### 4 Effizienz und Wirtschaftlichkeit

- Anfallende Kosten bei Herstellung eines Biogasbehälters können um ca. 20 % gegenüber bisherigen Behältern reduziert werden (Fertigteilbauweise).
- „Stückzahleneffekt“: Desto höher die produzierten Stückzahlen, desto geringer der Preis.
- Kostenreduktionen durch eine bessere Prozesskontrolle bzw. deren Überwachung. Die höhere Prozessqualität führt zu einer höheren Verfügbarkeit der Anlagen.



### 5 Umwelt- und Gesellschaftsrelevanz

- Biogas ist ein regenerativer Energieträger, der zu keinen zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen führt.
- Durch die Verwendung von Slagstar als Bindemittel bei der Betonherstellung wird eine CO<sub>2</sub>-Einsparung bis zu 90 % im Vergleich zu herkömmlichen Zementen erreicht.
- Durch den Entfall zweier Rührwerke ergibt sich ein verminderter Energiestrombedarf von ca. 40 KW.
- Die in Österreich bereits etablierte Biogastechnologie soll durch gegenständliches Projekt weiterentwickelt und forciert werden. Ziel ist es, die Kosteneffizienz und damit die Konkurrenzfähigkeit der Biogastechnologie zu erhöhen und damit deren Einsatz zu erleichtern.



Montage Wand- und Dachelemente

### 6 Exportfähigkeit

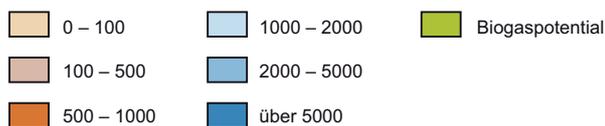
- Der Biogasboom in Österreich und Deutschland hat Auswirkungen über die Ländergrenzen hinaus.
- In Deutschland stieg die Anzahl der Biogasanlagen innerhalb von drei Jahren um 85 %, von 2010 im Jahr 2004 auf 3711 im Jahr 2007. Zurzeit werden in Deutschland ca. 700 Biogasanlagen pro Jahr errichtet. Es wird davon ausgegangen, dass ein Marktanteil von mindestens 10 % errungen werden kann, d. h. 70 Anlagen pro Jahr.
- Biogasanlagen in agrarischen Ländern Ost- und Südeuropas sind derzeit wenig verbreitet, es besteht jedoch ein großes Biogaspotential.



Vor Inbetriebnahme

Spannkabelverankerung

#### Biogas-Energie 2006 (GWh)



Fertigung Wandelement

