

Speicherung von Biogasen

Roland Stehle, Heilbronn

- 1 EINLEITUNG**
- 2 ENTWICKLUNG DER GASBEHÄLTERTECHNIK**
- 3 ARTEN VON BIOGASBEHÄLTERN MIT MEMBRANDICHTUNG**
 - 3.1 Niederdruckgasbehälter**
 - 3.2 Drucklose Biogasbehälter**
 - 3.3 Biogasbehälter mit Druckluftpolster**
 - 3.4 Biogasbehälter landwirtschaftlicher Biogasanlagen**
- 4 EINFLUSS DES BIOGASBEHÄLTERS AUF DIE ANLAGENSICHERHEIT**
 - 4.1 Bericht des Sachverständigen**
 - 4.2 Ablauf der Ereignisse mit einem Niederdruckgasbehälter**
 - 4.3 Unfall auf der Biogasanlage Deponie Deiderode**
- 5 SICHERHEITSGRUNDSATZ DES EXPLOSIONSSCHUTZES**
- 6 SCHLUSS**

1 Einleitung

Gasbehälter – viele hier werden denken: „Das kennen wir doch schon lange, was soll hierüber Neues berichtet werden?“

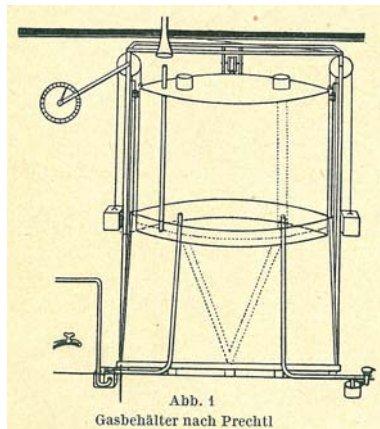
Wie in vielen Bereichen unseres Lebens hat auch hier die technologische Entwicklung der letzten Jahre so umfangreiche Veränderungen bewirkt, dass es sich lohnt auch dieses Thema neu zu beleuchten.

In meinem Vortrag möchte ich Ihnen zuerst eine kurze Darstellung über die historische und technologische Entwicklung der Gasbehältertechnik geben.
Anschließend werde ich die wesentlichen Unterschiede der heute gebräuchlichen Gasbehälter mit Membrandichtung erläutern sowie die sich hieraus ergebenden unterschiedlichen sicherheitstechnischen Merkmale.

Anhand eines schweren Unfalls möchte ich Ihnen darlegen, mit welchen Konsequenzen die Sicherheit einer Biogasanlage durch die Art des Gasbehälters beeinflusst wird.

2 Entwicklung der Gasbehältertechnik

Die ältesten Fundstellen in der Literatur zur Gasspeicherung reichen bis in das Jahr 1789 zurück.



Die erste zeitlich belegte Darstellung eines Gasbehälters stammt von Prechtl aus dem Jahr 1817.

Der Gasbehälter bestand aus einer Wassertauchung in der sich eine durch Gegengewichte geführte Glocke schwimmend bewegte. Durch das Eigengewicht der Glocke wurde das Gas unter Druck gesetzt.

Dieses auch heute noch aktuelle Prinzip der Gasspeicherung wurde in vielen Gasanlagen der kommunalen Gasversorgung und Abwasserreinigung sowie der Industrie umgesetzt.

Gasbehälter nach Prechtl



Das Bild zeigt einen vor ca. 100 Jahren errichteten Behälter.

Die auch heute noch bestehende Aktualität der Technik wird dadurch belegt, dass derzeit auf der Abwasserreinigungsanlage Teheran eine Anlage mit zwei Glockengasbehältern je 5000 cbm errichtet wird.

Glockengasbehälter mit Wasserbecken

Ein wesentlicher technologische Entwicklungsschritt ergab sich im Jahr 1948 durch den sogenannten „Wiggins-Behälter“ mit einer Membrandichtung. Durch die Membrandichtung konnte auf die aufwändige Wasserdichtung verzichtet werden.

Heute stellen Gasbehälter mit Membrandichtung eindeutig die dominierende Technologie zur Speicherung von Biogas dar.



Auf die Spitze getrieben wird der Begriff „Membrangasbehälter“ durch dieses Beispiel, in dem auf allen überflüssigen „Ballast“ verzichtet wird.

Ob sich die beiden Damen der Energie bewusst sind, die sie in ihren Händen halten, werden wir nie erfahren.

Mobiler Membrangasbehälter in China



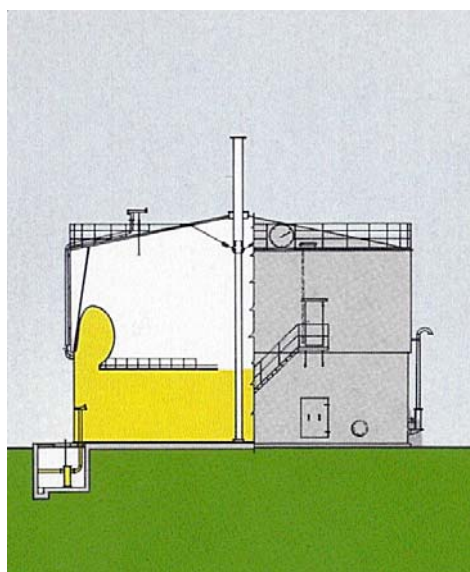
Die Wirkung einer Biogas-Explosion wurde durch dieses Ereignis eindringlich demonstriert.

Die Anlage wurde weitgehend zerstört, nur durch glückliche Umstände blieb es bei erheblichem Sachschaden. Personenschäden waren nicht zu beklagen.

Unfall auf der Biogasanlage Nusbaum

3 Arten von Biogasbehältern mit Membrandichtung

3.1 Niederdruckgasbehälter



Niederdruckgasbehälter

Die Eigenschaft eines Glockengasbehälters, Gas unter konstantem Druck durch Variation des Volumens zu speichern bildet der Niederdruckgasbehälter am besten nach.

Der Gasdruck wird durch eine bewegliche Belastungseinrichtung erzeugt, die mittels einer Membran zum Gehäuse abgedichtet ist.

Zur Führung der Belastungseinrichtung sind Teleskopsysteme und Seilzugsysteme gebräuchlich.

Die Behältertechnik kann in einer Vielzahl von Schutzgehäusen installiert werden. Hier einige Beispiele:



Biogasbehälter mit geschweißtem Stahlblechgehäuse



Biogasbehälter mit Tragkonstruktion aus Stahlprofilen und Profilblechverkleidung



Biogasbehälter mit Gehäuse aus emaillierten Stahlblechplatten, die miteinander verschraubt sind



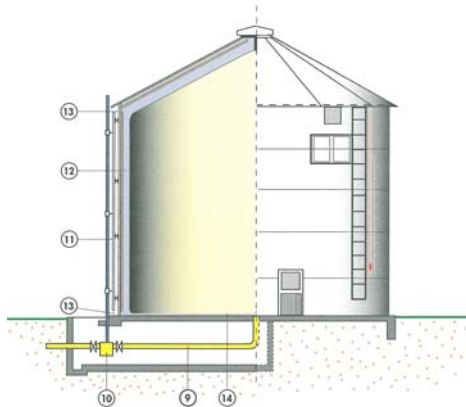
Biogasbehälter mit in der Erde versenktem Betonunterteil und aufgespannter Schutzhülle

Die wesentlichen sicherheitstechnischen Merkmale des Niederdruckgasbehälters sind:

- Das Gas wird durch die Belastungseinrichtung unter Druck gesetzt
- Luft kann gegen den Druck des Gases nicht eindringen, das Gassystem ist keine Zone
- Eine Dichtheitsprüfung durch Messung der Leckagerate ist möglich
- Die gesamte Oberfläche der Membran ist einsehbar
- Der Luftraum oberhalb der Membran ist jederzeit einsehbar
- Eine Begehung des Gasraums ist möglich

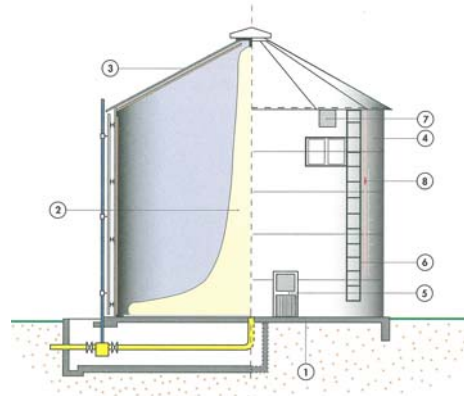
3.2 Drucklose Biogasbehälter

Vor ca. 20 Jahren begann die Entwicklung der drucklosen Membrangasbehälter, motiviert durch die Suche nach einer Möglichkeit zur Senkung der Investitionskosten.



Druckloser Biogasbehälter gefüllt

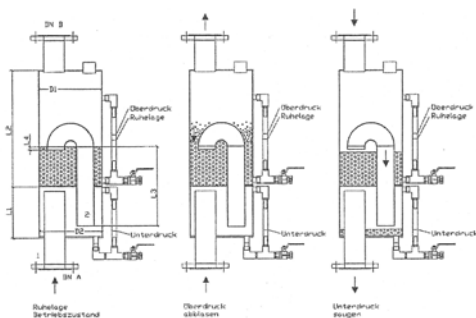
Die Membran ist in ein Schutzgehäuse eingebaut in dem sie sich zur Füllung des Behälters ausdehnen kann. Spezielle Einrichtungen zur Führung der Membran sind im Regelfall nicht vorhanden.



Druckloser Biogasbehälter leer

Der drucklose Biogasbehälter darf nur bis auf das dargestellte Restvolumen entleert werden. Bei weiterer Entleerung kann die Membran durch Zugkräfte an der Zentrumsbefestigung infolge eines Unterdrucks beschädigt werden.

Der drucklose Biogasbehälter kann weder hohen Drucken noch Unterdrucken ausgesetzt werden. Zur Druckabsicherung werden häufig hydraulische Systeme eingesetzt, deren Flüssigkeitsstände infolge der geringen Druckdifferenzen sehr exakt eingehalten werden müssen.



**Kombinierte hydraulische Über-
Unterdrucksicherung**

Das hier gezeigte kombinierte Sicherheitssystem verschließt eine Tauchleitung durch eine Flüssigkeitsvorlage.

Bei Überdruck wird das überschüssige Gas durch die Tauchung ausgeblasen.

Das Ansprechen der Unterdrucksicherung führt zum Verlust der Sperrflüssigkeit, die nach unten gesaugt wird. Luft wird zur Verhinderung eines Unterdrucks in das Gassystem eingesaugt. Danach findet ein ungehinderter Austausch zwischen Biogas und Atmosphäre statt.

Auch durch mechanischen Sicherheitssystemen zum Beispiel mittels gewichtsbelasteter Klappen ist aufgrund der geringen Druckdifferenzen keine zuverlässige Trennung zwischen Biogas und Atmosphäre realisierbar.

Grundsätzlich können für drucklose Biogasbehälter die gleichen Gehäusebauformen wie für Niederdruckgasbehälter eingesetzt werden.



Häufig verbreitet sind kostengünstig herzustellende Schutzgehäuse aus dem Silobau.

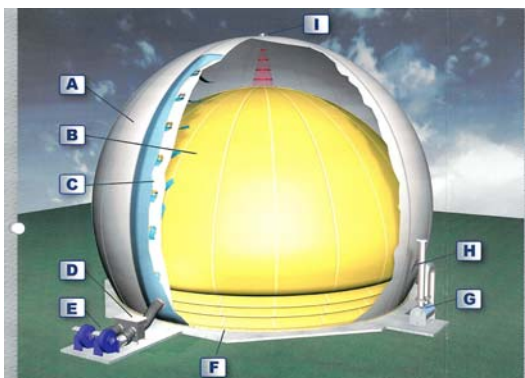
Druckloser Biogasbehälter mit Schutzgehäuse

Die wesentlichen sicherheitstechnischen Merkmale des drucklosen Biogasbehälters sind:

- Das Biogas wird durch eine Druckerhöhungsanlage abgesaugt
- In bestimmten Anlagenteilen insbesondere vor der Druckerhöhungsanlage besteht Unterdruck
- Luft kann in das Gassystem eingesaugt werden, das Gassystem der gesamten Anlage ist Zone 1
- Eine Dichtheitsprüfung durch Messung der Leckagerate ist nicht möglich
- Die Luftraumseite der Membran ist jederzeit einsehbar, bei bestimmten Bauformen jedoch nur eingeschränkt
- Eine Begehung des Gasraums ist nicht möglich

3.3 Biogasbehälter mit Druckluftpolster

Auf dem deutschen Markt nur von eingeschränkter Bedeutung sind Biogasbehälter mit einem Druckluftpolster zur Druckerzeugung.



Ein typisches Beispiel dieses Biogasbehälters ist der Doppelmembranbehälter, bei dem eine Außenhülle durch ein Stützluftgebläse aufgeblasen wird. Die Stützluft übt gleichzeitig Druck auf die Innenmembran aus, wodurch das Biogas unter Druck gehalten wird.

Das funktionale Prinzip dieses Biogasbehälters wurde auch in einigen Fällen mit einem starren Gehäuse aus verschweißten Stahlblechen realisiert.

Biogasbehälter mit Druckluftpolster

Die wesentlichen sicherheitstechnischen Merkmale des Biogasbehälters mit Druckluftpolster sind:

- Das Gas wird durch ein Luftpolster unter Druck gehalten
- Luft kann in das Gassystem gedrückt werden, das Gassystem der gesamten Anlage ist Zone 1
- Eine Dichtheitsprüfung durch Messung der Leckagerate ist nicht möglich
- Die Innenmembran ist nicht einsehbar
- Eine Begehung des Luftraums ist nicht möglich
- Eine Begehung des Gasraums ist nicht möglich

3.4 Biogasbehälter landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden vorwiegend Biogasbehälter eingesetzt, die durch ein Foliendach über dem Fermenter gebildet werden.



Die Behälter werden entweder drucklos betrieben mit einer Druckerhöhungsanlagen um das Biogas abzusaugen.

Die eigentliche Speichermembran befindet sich verdeckt unter dem hier sichtbaren Zeltdach

Druckloser landwirtschaftlicher Biogasbehälter



Oder wie in diesem Beispiel gezeigt mit einem Druckluftpolster zur Erzeugung des Gasdrucks.

Sichtbar ist hier gleichfalls nur die Außenhülle.

Landwirtschaftlicher Biogasbehälter mit Druckluftpolster



Eine weitere Alternative sind elastische Membranen, die den Gasdruck durch die Oberflächenspannung infolge der Ausdehnung der Membran erzeugen.

Neben der Anlage ist eine defekte Membran zu erkennen, die offenbar durch eine zu große Dehnung zerstört wurde.

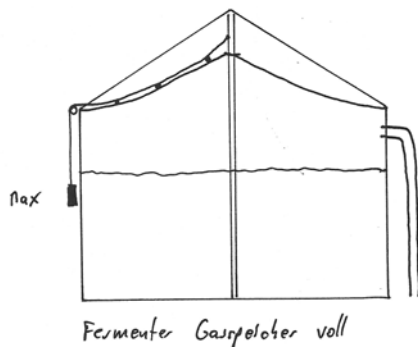
Landwirtschaftlicher Biogasbehälter mit elastischer Membran

4 Einfluss des Biogasbehälters auf die Anlagensicherheit

Die Bedeutung der zuvor dargestellten sicherheitstechnischen Merkmale für die Sicherheit der gesamten Biogasanlage möchte ich anhand des bereits zu Beginn meines Vortrags erwähnten Unfalls auf der Biogasanlage Nusbaum erläutern.

4.1 Bericht des Sachverständigen

Der Bericht des Sachverständigen beschreibt die Anlage als eine typische landwirtschaftliche Biogasanlage.

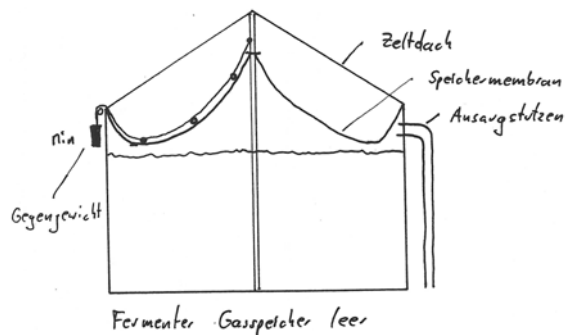


Skizze aus der gutachterlichen Stellungnahme der TÜV Industrie Service GmbH

Das Gas wird unter einer Speichermembran drucklos gespeichert. Die Speichermembran dient gleichzeitig zur Abdeckung des Fermenters. Durch ein weiteres Zeltdach ist die Speichermembran verdeckt. Eine Folge dieser Konstruktion ist, dass die Beschäftigten der Anlage die Bewegungen der Speichermembran nicht beobachten können. Eventuelle Defekte der Inhaltsmessung können nicht erkannt werden.

Das Biogas wird durch eine Druckerhöhungsanlage aus dem Behälter abgesaugt und zu den Gasmaschinen gefördert.

Die weiteren Ereignisse schildert der Sachverständige wie folgt:



Skizze aus der gutachterlichen Stellungnahme der TÜV Industrie Service GmbH

Innerhalb eines kurzen Zeitraums sind an beiden Fermentern der Biogasanlage die Messseile der Inhaltsmessung abgerissen, wodurch eine vollständige Füllung der Biogasbehälter signalisiert wurde.

Die Gasmaschinen arbeiteten mit maximaler Leistung und entleerten die Gasbehälter. Die nach unten hängende Speichermembran wurde durch einen geringen Unterdruck an den Ausgangsstutzen gesaugt und verschloss diesen. Infolgedessen wurde durch die Druckerhöhungsanlage im Gassystem ein ausreichend hoher Unterdruck erzeugt um die Wasservorlagen der Entwässerungseinrichtungen innerhalb des Betriebsgebäudes einzusaugen.

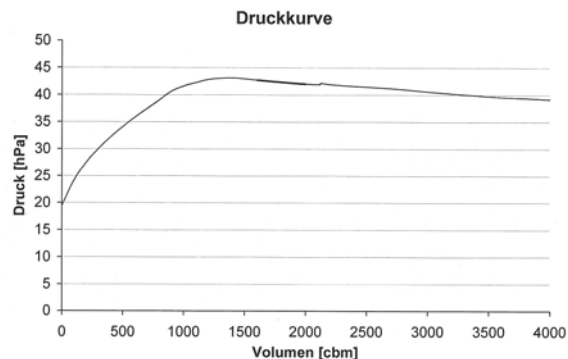
Nach Ausfall der Gasmotoren trat nun das weiter in den Fermentern erzeugte Biogas über die nicht mehr verschlossenen Entwässerungseinrichtungen aus und bildete innerhalb des Gebäudes eine zündfähige Atmosphäre die dort eine geeignete Zündquelle fand.

4.2 Ablauf der Ereignisse mit einem Niederdruckgasbehälter

Wie wären diese Ereignisse in einer Biogasanlage mit einem Niederdruckgasbehälter abgelaufen?

Von der Möglichkeit eines Defekts der Inhaltsmessung muss bei jedem Biogasbehälter ausgegangen werden.

Eine mechanische Messung mittels eines Seilzugsystems wird konstruktionsbedingt bei einem ähnlichen Defekt immer eine vollständige Füllung signalisieren. Bis zu diesem Zeitpunkt sind die Abläufe also völlig identisch, die Gasmaschinen arbeiten mit maximaler Leistung und entleeren den Biogasbehälter.



Der Niederdruckgasbehälter versorgt die Gasmaschinen mit Biogas durch seinen Betriebsdruck. Eine Druckerhöhungsanlage ist nicht erforderlich.

Während der Entleerung des Niederdruckgasbehälters fällt der Druck im unteren Füllbereich deutlich ab wodurch die Gasmaschinen selbstständig ausgehen bevor der Gasdruck auf den Atmosphärendruck abgesunken ist.

Druckkurve eines Niederdruckgasbehälters

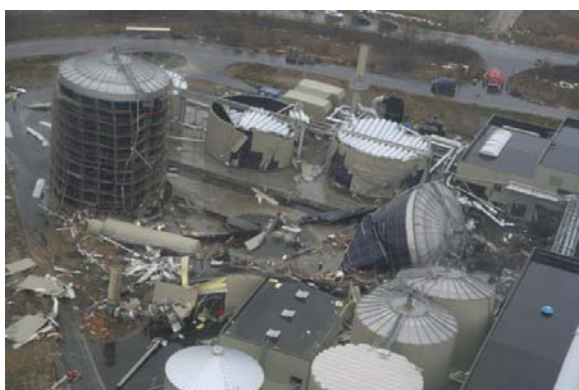
Die Bildung eines Unterdrucks ist sicher ausgeschlossen, die Wasservorlagen der Entwässerungseinrichtungen können nicht eingesaugt werden.

Wird der Niederdruckgasbehälter durch die nachfolgende Gasproduktion wieder gefüllt, wird das Biogas nach vollständiger Füllung des Behälters über dessen Sicherheitseinrichtungen in die Atmosphäre abgeblasen.

Ein Gasaustritt in das Betriebsgebäude wäre nicht möglich gewesen, die Sicherheit der gesamten Anlage wäre durch ein System mit einem Niederdruckgasbehälter in entscheidender Weise verbessert und die Explosion im Betriebsgebäude sicher verhindert worden.

4.3 Unfall auf der Biogasanlage Deponie Deiderode

Zu Beginn diesen Jahres ereignete sich auf der Biogasanlage der Deponie Deiderode ein äußerst schwerwiegende Unfall.



Luftbild Deponie Deiderode, Pressemeldung des NDR

Ob zu diesem Unfall bereits eine gutachterliche Stellungnahme vorliegt ist mir nicht bekannt.

Die in der Presse und im Internet veröffentlichten Meldungen sind in wesentlichen Aussagen zum Teil widersprüchlich.

Zum Unfallhergang werden Szenarien diskutiert, die auf der Annahme eines Bersten der Fermenter unter hydrostatischem Druck basieren.

Das Ergebnis der Unfalluntersuchung muss eine vollständige Erklärung der Entstehung des sichtbaren Schadens ergeben.

Insbesondere die Zerstörung des mittleren Fermenters in sehr kleine Trümmerstücke ist durch ein Bersten infolge hydrostatischen Drucks nur schwer zu verstehen.

Eine Explosion eines Biogas – Luftgemischs muss meiner Ansicht nach daher auch in die Überlegungen zum Schadenshergang einbezogen werden.

In diesem Fall muss untersucht werden, wo sich die Zündquelle befand und wie die Zündung in die Fermenter geleitet wurde.

5 Sicherheitsgrundsatz des Explosionsschutzes

Die Explosionsschutzregel sieht als Sicherheitsgrundsatz folgende Reihenfolge der Schutzmaßnahmen vor:

- **Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre vermeiden**
- **Zündung explosionsfähiger Atmosphäre vermeiden**
- **Auswirkung einer Explosion verhindern**

Das heißt Maßnahmen durch die eine Zone verhindert oder eine Zone geringerer Gefährdung erreicht wird sind gegenüber Maßnahmen des Zündschutzes zu bevorzugen.

Biogasbehälter deren Dichtheit nicht geprüft werden kann und deren Gassystem eine Zone ist widersprechen dieser Reihenfolge.

6 Schluss

Zum Abschluss möchte ich einige Fragen stellen, die sich mir bei der Arbeit zu diesem Vortrag gestellt haben und auf die ich keine Antwort finden konnte:

- **Wer trägt im Falle eines Unfalls die Verantwortung, wenn der auslösende Defekt der Anlage durch die Beschäftigten nicht erkannt werden kann, da die Konstruktion der Anlage eine Kontrolle nicht zulässt?**
- **Ist der Betrieb einer Anlage nach den „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ zulässig, wenn die vorgeschriebenen jährlichen Prüfungen der Dichtigkeit nicht durchgeführt werden können?**
- **Wie hoch muss der Kostenvorteil sein, der das Risiko der Gefährdung von Menschenleben rechtfertigt?**

Denn diese Schlagzeile:

„Als es knallte, bin ich in Deckung“

Explosion in Nusbaumer Biogasanlage – Zur Unglückszeit anwesender Betreiber bleibt unverletzt

hätte auch anders lauten können.

Bildquellennachweis:

Fritz Wehrmann, Die Gasspeicherung (1954)
Firma EISENBAU HEILBRONN
Firma ENTEC
Firma MUCHE Kläranlagenbau
Firma SATTLER
Gutachterliche Stellungnahme der TÜV Industrie Service GmbH
Pressemeldung des NDR