

# Merkblatt zur Gasdichtigkeit von Biogastragluftdächern (sog. Doppelmembran-Biogasspeicher) im Normalbetrieb

Die Vermeidung von gasförmigen Emissionen aus Biogasanlagen ist aus Sicherheits- und Umweltschutzgründen oberste Priorität einzuräumen, da sonst

- Bereiche mit gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre entstehen können.
- Bereiche mit gesundheitsschädlichen bzw. giftigen Gaskonzentrationen entstehen können.
- Biogasanlagen nicht zur Reduzierung des „Global warming“ beitragen, sondern durch die CH<sub>4</sub>-Emissionen den Treibhauseffekt noch verstärken.

## 1. Geltungsbereich und Definitionen

Dieses Merkblatt findet Anwendung bei der Prüfung der Gasdichtigkeit von Biogastragluftdächern im Normalbetrieb.

Abgrenzung - dieses Merkblatt gilt nicht für:

- einschalige Gasspeicher mit und ohne feste Umbauung
- Tragluftdächer ohne Querlüftung bzw. mit getakteten Stützluftgebläsen

### Normalbetrieb

Normalbetrieb ist gemäß der TRBS 2152 (Juni 2006):

“Normalbetrieb ist der Zustand, in dem die Arbeitsmittel oder Anlagen und deren Einrichtungen innerhalb ihrer Auslegungsparameter benutzt oder betrieben werden.“

Zu den Auslegungsparametern, die vom Hersteller bzw. vom Inverkehrbringer mind. benannt werden müssen, gehören insbesondere:

- Temperaturgrenzen der Umgebung
- Temperaturgrenzen des Mediums
- Tatsächliche Temperaturen während der Prüfung (da dies erheblichen Einfluß auf die tatsächliche Permeation hat)
- Zulässiger Druckbereich des Traglufttraumes
- Zulässiger Druckbereich des Gasraumes
- Ansprechdruck (statisch und dynamisch) der Überdrucksicherung, d.h. effektiver Abblasedruck der Überdrucksicherung bei Gasproduktion im Normalbetrieb
- Ansprechdruck (statisch und dynamisch) der Unterdrucksicherung

- Effektiver Unterdruck der Unterdrucksicherung bei max. Saugleistung des Verdichters
- Gebläsekennlinie Fördervolumen ( $V$ ) abhängig von  $\Delta p$

Zu den notwendigen Nachweisen der verwendeten Materialien für die Gasspeicherfolie und das Wetterschutzdach gehören ferner die grundsätzlichen Eignungsnachweise der Konstruktion (z.B. Statik des Dachaufbaus) und der Werkstoffe.

### Aufbau von Biogastragluftdächern

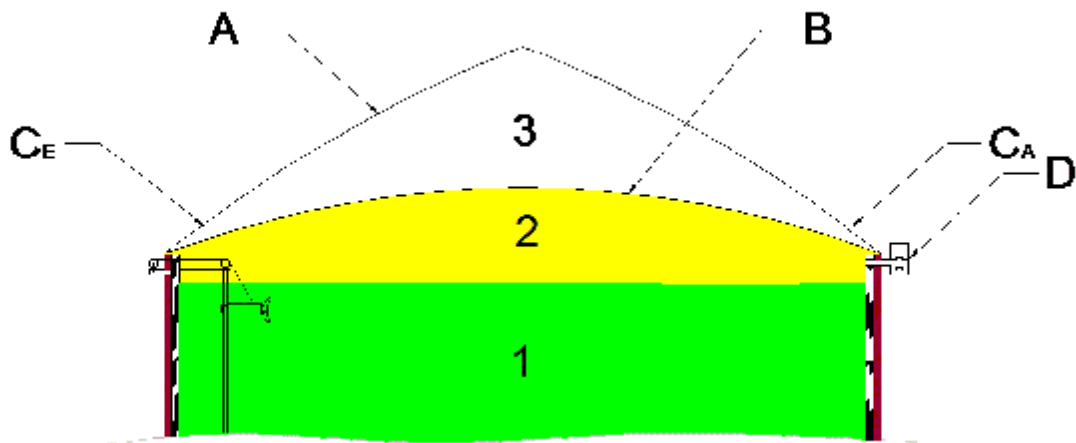
Biogastragluftdächer werden auch als Tragluftdächer, Folienspeicher oder Doppelmembran-Biogasspeicher bezeichnet. Sie sind in der Regel funktionale Komplettsysteme im Wesentlichen bestehend aus: Behälterabdeckung, Biogasspeichermembran, Befestigungs- und Stützsystem, Füllstandsanzeigen für den Gasspeicher sowie Über- / Unterdrucksicherungen.

Die Behälterabdeckung ist aus UV – und witterungsbeständigem gewebeverstärktem Folienmaterial hergestellt. Die Biogasspeichermembran besteht aus einer flexiblen Kunststoffolie aus PVC oder PE.

Biogastragluftdächer werden als flexible Biogasspeicher und gasdichte Siloabdeckungen für Biogasanlagen (BGA) eingesetzt. Produziertes Biogas ( $\text{CH}_4$  - /  $\text{CO}_2$  – Gemisch und weitere substrat- druck- und temperaturabhängige Inhaltsstoffe im ppm - bzw. kleinen Vol % - Bereich) wird über dem Flüssigkeitsspiegel des Substrates des jeweiligen Behälters (Fermenter, Nachgärer, Gärproduktlager etc.) in einem Doppelmembran-Biogasspeicher aufgefangen.

Mittels eines oder mehrerer Stützluftgebläse wird die äußere Wetterschutzfolie des Tragluftdaches ständig in Form gehalten, so daß sie gegen Sturm und Schneelasten gemäß der Statik unempfindlich ist. Der Innendruck überträgt sich über die Biogasspeichermembran auf den Gasraum des Behälters und ergibt den Biogas-Systemdruck.

Die innen liegende Biogasspeichermembran paßt sich flexibel an die Biogasproduktion an und ermöglicht dadurch eine kontinuierliche Anpassung zwischen Gasproduktion und Gasabnahme in Abhängigkeit der Wetterbedingungen wie z.B. Sonneneinstrahlung (Ausdehnung) oder Regen (Schrumpfung) des Biogasspeichervolumens.



- A: gasdichte und witterungsbeständige äußere Behälterabdeckung  
 B: innere Biogasspeichermembran  
 C<sub>E</sub>: Stützluftgebläse / Tragluftgebläse (Eintritt) und C<sub>A</sub> (Austritt)  
 D: Über- / Unterdrucksicherung des Biogasraumes  
 1: Substratraum, 2: Biogasraum 3: Stützluftpolster (Zwischenmembranraum)

Bild 1: Biogastragluftdach auf einem Substratbehälter zur Biogaserzeugung

## 2. Ziele des Merkblattes

Dieses Merkblatt beschreibt eine Methode zur Berechnung der technisch unvermeidbaren Gasemissionen aus Biogastragluftdächern im Normalbetrieb. In Verbindung mit einer Handlungsanweisung zum meßtechnischen Nachweis bietet das Merkblatt eine Grundlage zur Beurteilung der Gasdichtigkeit von Biogastragluftdächern z.B. gemäß DVGW – Arbeitsblatt G 469 (Juli 1987) oder TRBS 2152, Teil 2 (Juni 2006).

Durch die Anwendung des hier beschriebenen Vorgehens kann der Nachweis der Gasdichtigkeit im Sinne der TRBS 2152, Teil 2 (Juni 2006) geführt werden, wodurch gasförmige Emissionen aus Biogasanlagen und das Auftreten von EX - Zonen im Normalbetrieb vermieden werden.

## 3. Grundlagen, Herleitung und rechnerischer Nachweis

Der Nachweis der Gasdichtigkeit bei Biogastragluftdächern soll über die Methankonzentration in der Abluft des Tragluftdaches ermittelt werden (siehe Bild 1, Austrittsstelle C<sub>A</sub>). Übersteigt der Meßwert den Erwartungswert (rechnerische Ermittlung), der sich aus der Gasdurchlässigkeit der inneren Biogasspeichermembran für Methan und dem Volumenstrom des Stützluftgebläses

zwischen der inneren und der äußeren Membran ergibt, dann kann auf eine Undichtheit geschlossen werden.

Die Druckdifferenz zwischen dem Substratraum und dem Raum zwischen der inneren und der äußeren Membran (siehe Bild 1, Stützluftpolster) ist sehr gering und hängt nur vom Eigengewicht der inneren Membran und der mechanischen Spannung dieser Membran ab. Der eigentliche Druckabfall (Differenzdruck) ergibt sich erst vom Stützluftpolster (Zwischenmembranraum) nach außen (gegen Atmosphäre / Umgebungsdruck) hin. Der durch das Tragluftgebläse erzeugte Luftdruck im Stützluftpolster wird nur nach innen zum Substratraum über die innere Membran übertragen.

Für die Diffusion von Methan durch eine Membran ist der Konzentrationsunterschied beidseits der trennenden Membran ausschlaggebend. Ersetzt man die Konzentrationen mit Hilfe der allgemeinen Gasgleichung, dann ergeben sich die Partialdrücke der Gasbestandteile. Für die Gasdurchlässigkeit der Biogasspeichermembran ist die Druckdifferenz der Partialdrücke wesentlich. Im Substratraum mit angenommenen 55 Vol. % Methangehalt und einem Luftdruck von 1.013 hPa ergibt sich ein Partialdruck für Methan von 557 hPa. Im Zwischenmembranraum ist die Methankonzentration bei intakter Membran näherungsweise null. Zur Berechnung der „normalen“ Gasdurchlässigkeit ist demnach etwa der halbe Luftdruck anzusetzen.

Berechnungsbeispiel für den Methanverlust (Methanpermeation) durch eine intakte Biogasspeichermembran (siehe auch Sicherheitsregeln für Biogasanlagen (Fermentationsanlagen) auf Basis der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [http://www.das-ib.de/mitteilungen/Sicherheitsregeln\\_BGA\\_23III2009.pdf](http://www.das-ib.de/mitteilungen/Sicherheitsregeln_BGA_23III2009.pdf) S. 31 ff.)

- Substratraumdurchmesser  $d = 20 \text{ m}$   
Gasdurchlässigkeit bezogen auf Methan =  $1.000 \text{ cm}^3 / (\text{m}^2 \times d \times \text{bar})$   
(Obergrenze laut Nr. 2.4.1 der Technische Information 4: Sicherheitsregeln für Biogasanlagen der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft).

$\mathcal{V} = \text{Membrankonstante} \cdot A \cdot (p_1 - p_2)$  mit  $A = d^2 \cdot \pi / 4$

$$\mathcal{V} = 1000 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^2 \cdot d \cdot \text{bar}} \cdot \frac{(20\text{m})^2 \cdot \Pi}{4} \cdot 0,557 \text{ bar} = 0,17 \frac{\text{m}^3}{d} = 0,0073 \frac{\text{m}^3}{h}$$

Bei einem Stützluftgebläse mit  $100 \text{ m}^3/h$  ergeben sich dann 73 ppm Methan in der Abluft.

Herleitung der Formel:

Die fundamentalen Gesetze der Diffusion wurden von R. Fick beschrieben:

$$\frac{\partial n(x, t)}{\partial t} = -D \cdot A \cdot \frac{\partial c(x, t)}{\partial x} \quad \text{erstes Ficksches Gesetz}$$

Liegt eine Komponente auf beiden Seiten einer Membran der Dicke  $d$  in verschiedenen Konzentrationen ( $c_1$  und  $c_2$ ) vor, lautet das erste Ficksche Gesetz:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{D \cdot A}{d} \cdot (c_1 - c_2) \tag{1}$$

wobei: D = Diffusionskoeffizient  
 A = Austauschfläche senkrecht zum Teilchenfluß  
 d = Dicke der Membran

Aus der allgemeinen Gasgleichung  $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

ergibt sich  $c = \frac{n}{V} = \frac{p}{R \cdot T} \tag{2}$

wobei: c = Konzentration  
 n = Stoffmenge  
 V = Volumen  
 p = Partialdruck  
 T = absolute Temperatur  
 R = allgemeine Gaskonstante

Setzt man (2) in (1) ergibt sich

$$\frac{dn}{dt} = \frac{D \cdot A}{d} \cdot \frac{p_1 - p_2}{R \cdot T} \tag{3}$$

mit  $n = \frac{V}{V_m}$

wobei:  $V_m$  = molares Volumen ergibt sich

$$\frac{dV}{dt} = \frac{D \cdot V_m}{d \cdot R \cdot T} \cdot A \cdot (p_1 - p_2) \tag{4}$$

wobei  $\frac{D \cdot V_m}{d \cdot R \cdot T}$  als Membrankonstante für die Gasdurchlässigkeit definiert wird

Vol % Methan	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45
CH <sub>4</sub>											
mbar	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
mbar	557,15	547,02	536,89	526,76	516,63	506,5	496,37	486,24	476,11	465,98	455,85
Partialdruck											
CH <sub>4</sub>											

Tabelle 1: Beispielhafte Methangehalte im Biogas und Partialdruck

Zum meßtechnischen Nachweis der Methankonzentration in der Abluftströmung des Wetterschutzdaches (C<sub>A</sub> nach Bild 1) ist somit eine Diagonaldurchströmung zwischen dem Eintritt der Stützluft (C<sub>E</sub> nach Bild 1) und des Abstromes notwendig. Kurzschlüsse oder kurze Wege zwischen Stützlufteintritt und Stützluftabstrom sind zu vermeiden. Ferner ist bei diesem meßtechnischen Nachweis das Stützluftgebläse kontinuierlich mit gleichbleibender Stützluftmenge zu betreiben.

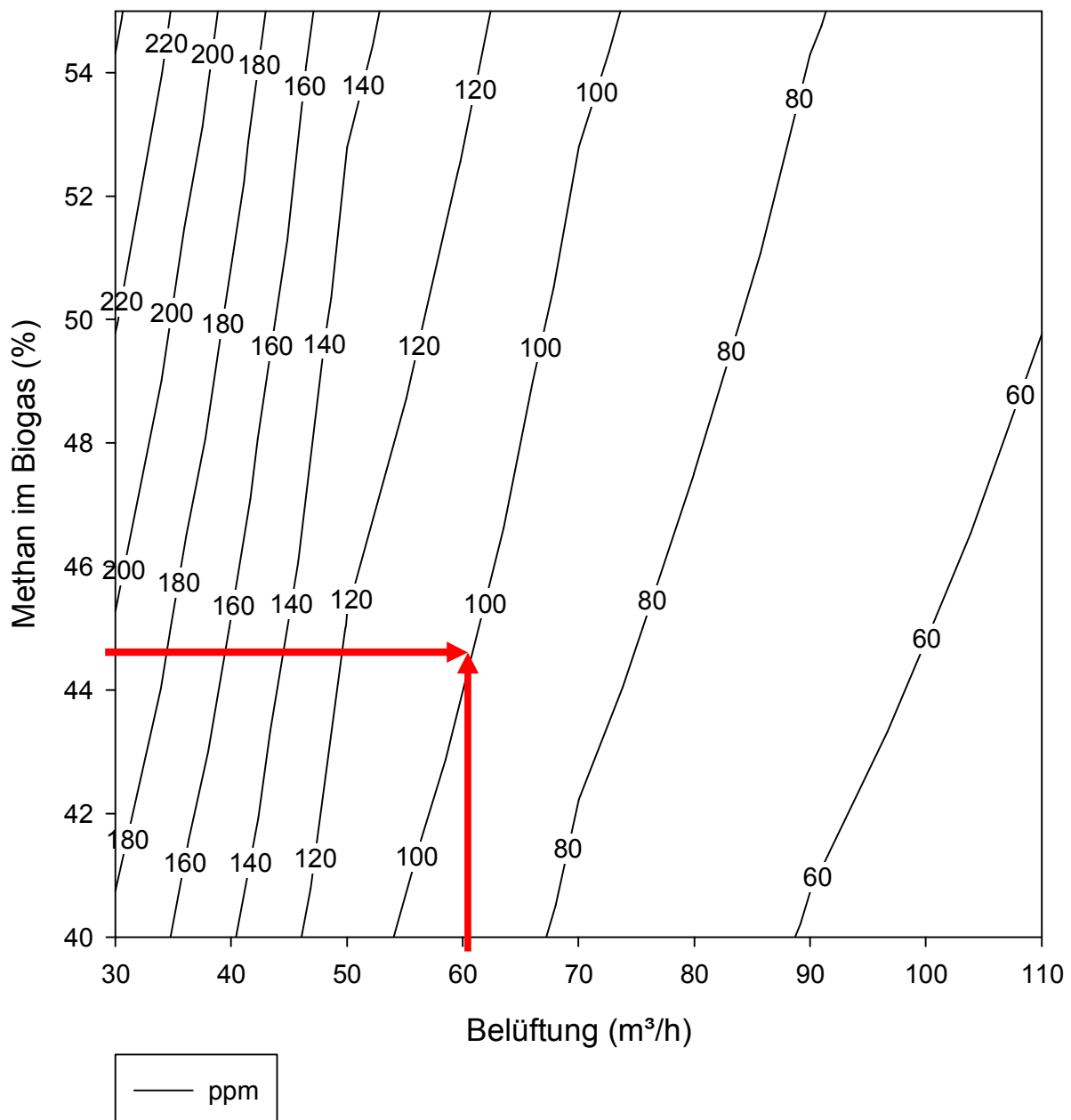


Bild 2: Methankonzentration (in Vol. % ) im Biogas in Abhängigkeit von dem Durchmesser des Substratbehälters (hier d = 20m), der Methankonzentration im Biogas (y – Achse) und der Belüftungsrate durch das Stützluftgebläse (x – Achse). Im Bild für die Methankonzentration (in ppm) in der Abluft ( $C_A$  nach Bild 1). Gezeichnetes Beispiel s.u.

**Erläuterung zu Bild 2:**

Insbesondere beim An- und Abfahren (kein Normalbetrieb im Sinne der TRBS 2152) von Biogasanlagen liegt der Biogasgehalt unter 50 Vol. %  $CH_4$ . Zudem variiert die Belüftungsrate für das Stützluftgebläse je BGA. Bild 2 zeigt exemplarisch (bei einer Obergrenze der Gasdurchlässigkeit von  $1000 \text{ cm}^3 / (\text{m}^2 \times \text{d} \times \text{bar})$ ), ab welcher Methankonzentration – gemessen am Austritt der Stützluftmenge bei Querlüftung – von einer Undichtigkeit der Gasspeicherfolie gesprochen werden kann.

Gezeichnetes Beispiel:

Werden am Austritt der Stützluftmenge bei Querlüftung mehr als 100 ppm CH<sub>4</sub> bei einer Lüftungsrate von 60 m<sup>3</sup>/h (x-Achse) und einem Biogasgehalt von 44,5 Vol. % (y-Achse) gemessen, liegt eine Undichtigkeit vor.

Überschreitungen der gemessenen Gaskonzentration zum rechnerischen Nachweis unter Berücksichtigung der Meßwertfehler sind als Undichtigkeit der Biogasspeichermembran anzusehen.

## 4. Nachweise – Messungen

### 4.1 Neubau von Anlagen

Die v.g. Nachweise und Messungen müssen vom Errichter / Inverkehrbringer erstellt werden.

### 4.2 Betrieb von Anlagen

Die Intervalle der Wiederholungsmessungen muß der Arbeitgeber im Sinne der BetrSichV (in der Regel Betreiber / Besitzer der BGA) in Art, Umfang und Intervall im Rahmen seines Explosionsschutzdokumentes seiner BGA festlegen.

### 4.3 Durchführung der Messungen

#### 4.3.1 Biogasspeichermembran

Zur Dichtheitsüberprüfung der Biogasspeichermembran im Normalbetrieb wird die Gaskonzentration im Abluftstrom der Tragluft analysiert.

Dazu ist sicherzustellen, daß keine Abluft außerhalb der zu prüfenden Öffnung entweicht.

#### 4.3.2 Behälterwand / Krone

Dichtheitsprüfungen an der Behälterwand / Krone können während des Normalbetriebs z.B. mit schaubildenden Mitteln durchgeführt werden. Der Nachteil dieser Methode besteht jedoch darin, daß lediglich eine Undichtigkeit festgestellt, jedoch keine Rückschlüsse auf die Leckrate gezogen werden können.

#### 4.3.3 Personen

Die Messungen sollten von Personen durchgeführt werden, die im Sinne der BetrSichV und TRBS 1203 als "Befähigte Personen" (Mai 2010, Anhang 2, allgemeine Befähigung) gelten.

#### 4.3.4 Meßgeräte

a) Zum Nachweis des Explosionsschutzes, d.h. unterhalb der UEG (Unteren Explosionsgrenze von 4,4 Vol. % CH<sub>4</sub> in einem N<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub> / O<sub>2</sub> – Gemisch), sind

„Geprüfte Gaswarngeräte“ einzusetzen. Die aktuelle Liste kann über [www.exinfo.de](http://www.exinfo.de) ID-1316.0 eingesehen werden.

b) Zum Nachweis der ppm – Konzentrationen nach Freimessung des Arbeitsbereiches bezüglich möglicher EX - Atmosphäre, z.B. FID (Flammenionisationsdetektor), Laser – Adsorptionsspektrometriegerät oder mittels anderer gleichwertiger mit anderen gleichwertigen Verfahren durchgeführt werden.

Die Gasmengen könnten zusätzlich mit Strömungsmeßgeräten festgestellt werden.

Mögliche Ausführungen von Messungen:



Bild 3 und 4. Die Prüfgasentnahme ist gemäß linkem Bild gesichert aus der Abluftöffnung zu entnehmen. Im linken Bild wird jedoch das Stützluftpolster nicht komplett quer durchströmt. Im rechten Bild sind sog. Personenschutzmeßgeräte zur Messung verwendet worden, die vor einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre (geA) warnen und nicht Konzentrationen im ppm – Bereich (wie im linken Bild) messen können.



Bild 5 und 6. Die Prüfgasentnahme erfolgt korrekt aus der Abluftöffnung



#### 4.4 Tipp für Messungen an der Behälterwand / Behälterkrone

Dichtheitsprüfungen z.B. gem. DVGW G 469 A4: Sichtverfahren mit Betriebsdruck und schaubildendem Mittel



Bild 7. Diese Meßmethode (Nachweis mit schaubildendem Mittel) weist zwar eine Undichtigkeit nach, gibt jedoch keinen Hinweis auf Gasqualität noch Gasquantität

## 5. Prüfprotokoll (Muster)

**BGA-Daten**  
(Bezeichnung,  
Anschrift –  
Straße, PLZ, Ort)

**Prüfobjekt** Biogastragluftdach für den Behälter: \_\_\_\_\_

**Äußerer Zustand:** .....

**Nachweise** (z. B. nach TI4, Hersteller-  
erklärungen etc.) **Innenfolie**  Dokumentation  
vorhanden

**Außenfolie** (z.B. UV –  
beständig,  
Frostbeständig)  Dokumentation  
vorhanden

**Klemmschlauch**  
(z.B. UV –  
beständig,  
Frostbeständig)  Dokumentation  
vorhanden

**Stützluftgebläse** **Volumenstrom  
im  
Normalbetrieb**  Dokumentation  
vorhanden

**Betriebsdruck** (und Absicherung) **Gasspeicher** **Klemmschlauch**  Dokumentation  
vorhanden

**Prüfanlaß**  Inbetriebnahme  Verdacht auf  
Undichtigkeit  Wiederkehrend  Nach  
Wartung  Behördlich  
angeordnet

**Prüfverfahren**  Druckprüfung  Ausnebeln  Schaum  Messung

**Beschreibung**  
Andere

**Prüfbeginn / -  
ende** **Datum** **Uhrzeit**

**Prüfdruck  
Nachweis  
durch.....**

**Witterung** **Temperatur  
Nachweis  
durch  
.....**

**Prüfer**

Sach – und  
Fachkunde nach:

.....

**Prüfdauer**

**Nachweis  
durch**

.....

**Prüfergebnis**

keine  
Undichtigkeit

Leckagen

Meßergebnisse  
(separates Blatt)

**Angewandte  
Normen und  
Regelwerke /  
Bemerkungen**

**Datum,  
Firma,**

**Namen**

**Unterschrift**

ENTWURF

Verfasser:

**SVK Biogas**  
Sachverständigenkreis

[www.svkbiogas.de](http://www.svkbiogas.de)

zusammengesetzt aus:

Kurt Awater	ingenieurbüro awater
Armin Bojahr	Gesellschaft für Umwelttechnik Bojahr mbH & Co. KG
Torsten Fischer	Krieg & Fischer Ingenieure GmbH
Dr. Sarah Gehrig	Dr. Gehrig Management- & Technologieberatung GmbH
Frank Herter	
Martin Paproth	Paproth Ingenieurdienstleistungen
Reinhold Schoon	SBS Reinhold Schoon
Wolfgang Horst Stachowitz	DAS – IB GmbH

unter Mitarbeit von:

Regierung von Niederbayern



Regierung von Niederbayern - Postfach - 84023 Landshut

Dr. Joachim Clemens, [gewitra GmbH](#)

Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen – falls nicht am Ort erklärt:

- TRBS Technische Regeln für Betriebssicherheit
- CH<sub>4</sub>: Methan
- CO<sub>2</sub> Kohlendioxid
- PE: Polyethylen
- UV: Ultraviolett
- ppm: parts per million
- PVC Polyvinylchlorid
- m: milli
- Ü : Überdruck
- hPa: Hektopascal (Zahlenwert identisch mit mbar)
- Vol. %: Volumenprozent
- h: Stunde
- m<sup>3</sup>: Kubikmeter
- DVGW: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
- TI: Technische Information

**Quellen:**

Im Text erwähnt

**Anmerkungen und Hinweise zu diesem Merkblatt bitte an:**

[info@SVKBiogas.de](mailto:info@SVKBiogas.de)

**bis zum 29. I. 2011**

Vorstellung des Merkblattes am 3. / 4. Mai 2011 in Erfurt auf der Bio – und Deponiegastagung „Synergien nutzen und voneinander lernen V“

**SVK Biogas**  
Sachverständigenkreis