Projektnummer 70452

Beschreibung des Standes der Technik und der Sicherheitstechnik für Membransysteme von Biogasanlagen

von

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Rettenberger

Ingenieurgruppe RUK GmbH
Auf dem Haigst 21
70597 Stuttgart

Im Auftrag der

Geschäftsstelle Kommission für Anlagensicherheit (KAS) bei
GFI Umwelt - Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH

Königswinterer Straße 827

53227 Bonn

Im Juni 2017

Erklärung

Der Verfasser bestätigt hiermit, dass alle Zitate ordnungsgemäß als solche kenntlich gemacht, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet und im Rahmen der Erstellung dieses Berichtes alle Urheberrechte entsprechend beachtet und respektiert wurden.

Der Bericht gibt die Meinung und Auffassung des Verfassers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (GFI Umwelt - Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH) übereinstimmen.

Ingenieurgruppe RUK GmbH

Auf dem Haigst 21

70597 Stuttgart

Kurzbeschreibung

Bei einer Vielzahl insbesondere von landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden Fermenter mit ein- oder zweischaligen Membransystemen abgedeckt. Diese Abdeckungen haben die Aufgabe, Emissionen aus den Gärsubstraten zu verhindern und Gase zum Mengenausgleich zu speichern. In der Praxis sind dabei verschiedene Probleme u.a. mit Undichtheiten und Unfällen aufgetreten.

Ziel des Vorhabens war es daher, für Membransysteme von Biogasanlagen den Stand der Technik (SdT) und den Stand der Sicherheitstechnik (SdSt) festzustellen. Dieser wird bei der Genehmigung und dem Betrieb entsprechender Anlagen gefordert.

Zur Bearbeitung der genannten Zielsetzung wurden die Literatur und die Regelwerke gesichtet, wurden zwei Umfragen bei den Inverkehrbringern und Planern von Biogasanlagen durchgeführt und darauf aufbauend Interviews abgehalten. Hieraus wurden von den sachverständigen Autoren die technischen Merkmale eines Standes der Technik und der Sicherheitstechnik abgeleitet und dem Auftraggeber in zwei Workshops vorgestellt und diskutiert.

Zusammenfassend als Schlussfolgerung aus diesem Prozess werden nunmehr im vorliegenden Bericht die technischen Elemente eines Membransystems beschrieben wie sie gestaltet sein müssten, damit sie dem SdT bzw. SdSt entsprechen. Es werden hieraus abgeleitet Vorschläge dafür gemacht, wie der SdT bzw. SdSt in einem technischen Regelwerk beschrieben werden könnte, um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen.

Abstract

On a multitude of biogas plants, especially on agricultural plants, the fermenters are covered with single-layer or double-layer membrane systems. The purpose of these covers is the prevention of gaseous emissions from the fermentation substrate and the storage of gases as a means to balance the available gas volume. Practical experience with these systems has shown various problems regarding, among others, leakages and accidents.

The project at hand thus had the purpose of determining the state-of-the-art (SAT) and the state of the art in safety technology (SOAST) regarding membrane-based gas storage systems on biogas plants. The use of SAT and SOAST is required in order to obtain a permission for the plant's operation and during operation.

To achieve said objective, the authors went over the existing literature and regulations, conducted two surveys with biogas plant distributors and planners and held interviews based on the survey results. From this the expert authors deduced the technical characteristics of the SAT and SOAST. In two separate workshops the findings were presented to the client and thoroughly discussed.

As a conclusion from this process the report at hand describes the technical components of a membrane-based gas system and the requirements they have to meet in order to comply with the SAT and SOAST. Deduced from this, the authors give several suggestions on how the SAT and SOAST could be characterized in technical regulations in order to meet the existing legal requirements.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung 2
Kurzbeschreibung 3
Abstract 3
Abbildungsverzeichnis 7
Tabellenverzeichnis 8
Abkürzungsverzeichnis 9
Zusammenfassung 13
Summary 20
1 Veranlassung 26
2 Aufgabenstellung 28
3 Technologieübersicht 30
3.1 Grundformen der Membrangasspeicher und Membranabdeckungen 30
3.2 Bestandteile von Membransystemen 34
3.2.1 Membranen 34
3.2.2 Befestigungssysteme 35
3.2.3 Unterkonstruktionen 37
3.2.4 Systeme zur Füllstandmessung 37
3.2.5 Stützluftgebläse 38
4 Herstellerrecherche zu relevanten, angebotenen Anlagenteilen (AS 1) 39
4.1 Vorgehensweise bei der Recherche 39
4.2 Auswertung – Grundsätzliches 40
4.3 Auswertung nach Bauelementen 41
4.3.1 Referenzlisten 2013 – 2015 42
5 Anforderungen und Bewertungskriterien bestehender Regelwerke (AS 2) 44
5.1 Vorgehensweise bei der Recherche 44
5.2 Verzeichnis der relevanten staatlichen und privaten Regelwerke mit Relevanz für Membransysteme 44
5.2.1 Rechtsnormen 44
5.2.2 Technische Regeln 44
5.2.3 DIN-Normen 44
5.2.4 Berufsgenossenschaftliche Regeln 45
5.2.5 Technisch-wissenschaftliches Regelwerk 45
5.2.6 Sonstiges 45
5.3 Auswertung – Zum Begriff „Stand der Technik/ Sicherheitstechnik“ 46

5.3.1 Zum Begriff „Stand der Technik“ ... 46
5.3.2 Zum Begriff „Stand der Sicherheitstechnik“ ... 48
5.4 Auswertung – nach Bestandteilen von Membransystemen incl. statischen Nachweisen sowie Planung, Qualitätssicherung bei Produktion, Errichtung, Betrieb und Instandhaltung ... 49
5.4.1 Vorbemerkung ... 49
5.4.2 Anforderungen an das Membran- und Folienmaterial ... 50
5.4.3 Befestigungssysteme ... 54
5.4.4 Unterkonstruktionen ... 55
5.4.5 Systeme zur Füllstandmessung ... 56
5.4.6 Stützluftgebläse ... 56
5.4.7 Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit des gesamten Membransystems ... 56
5.4.8 Dichtheit von Membransystemen ... 60
5.4.8.1 Allgemeines 60
5.4.8.2 Berechnung der Leckagerate 61
5.4.8.3 Vorgaben zu Dichtheitsprüfungen 63
5.4.9 Hinweise zu Errichtung und Inbetriebnahme ... 65
5.4.10 Alterung ... 66
5.4.11 Instandhaltung einschließlich Kontrollen, Prüfungen, Wartung und Instandsetzung ... 67
5.4.12 Wiederkehrende Kontrollen und Prüfungen ... 68
6 Recherche bei den Herstellern hinsichtlich der für Anforderungen und Bewertungskriterien relevanten Eigenschaften ihrer in den Verkehr gebrachten Produkte (AS 3) ... 71
6.1 Vorgehensweise bei der Recherche ... 71
6.2 Weitere Herstellerbefragung und Interviews ... 73
7 Anforderungen und Kriterien zur Ableitung eines Standes der Technik hinsichtlich Emissionsminderung und Sicherheit bzw. Ableitung von relevanten Produkteigenschaften – Ermittlung des Standes der Technik (AS 5) ... 83
7.1 Grundsätzliches ... 83
7.2 Abzuleitende konkrete Anforderungen und Bewertungskriterien ... 84
7.2.1 Membranen ... 84
7.2.2 Befestigungssysteme ... 84
7.2.3 Unterkonstruktionen ... 85
7.2.4 Systeme zur Füllstandsmessung ... 85
7.2.5 Stützluftgebläse mit Rückschlagklappe, Überströmeinrichtung und Tragluftauslass ... 85

7.2.6 Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit des gesamten Membransystems 86

7.2.7 Dichtheit 86

7.2.8 Errichtung und Inbetriebnahme 86

7.2.9 Instandhaltung incl. Kontrollen, Prüfungen, Wartung, Instandsetzung 87

7.2.10 Wiederkehrende Dichtheitsprüfungen 88

8 Erforderliche Kontrollen und Prüfungen während Herstellung, Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb (AS6) 89

9 Entwurf von Anforderungen in einer TRAS sowie Klärung der Erforderlichkeit von Bauartzulassungen oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (AS7) 92

10 Weiterer Klärungsbedarf 104

11 Aufstellungsvermerk 106

12 Quellenverzeichnis 107

13 Anlagen 108

13.1 Frageliste zur Fortschreibung des Standes der Technik/Sicherheitstechnik 109

13.2 Membransysteme – Herstellerübersicht 115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundformen von internen Gasspeichersystemen (Quelle: DWA M 377) 15

Abbildung 2: Grundformen von internen Membransystemen (Quelle: DWA-M 377) 31

Abbildung 3: Folienbefestigung mit Klemmschiene 36

Abbildung 4: Folienbefestigung mit Klemmschlauch 36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich über Vor- und Nachteile der einzelnen Speichersysteme ..34

Tabelle 2: Auflistung der nach der Recherche ermittelten Marktteilnehmer 39

Tabelle 3: Auflistung der Firmenrückmeldungen aus der Marktteilnehmerbefragung 40

Tabelle 4: Auflistung der Tätigkeiten der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung 40

Tabelle 5: Auflistung der Art der angebotenen Membransysteme der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung 40

Tabelle 6: Auflistung der Art der Montage der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung 41

Tabelle 7: Auflistung der zum Einsatz kommenden wesentlichen Bauelemente der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung 41

Tabelle 8: Auflistung nach Art der Herstellung der wesentlichen Bauelemente der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung 41

Tabelle 9: Auflistung der verkauften Membransysteme der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung 42

Tabelle 10: Differenzierung der verkauften Membransysteme nach Tätigkeit des Unternehmens 42

Tabelle 11: Angaben der Firma Sattler für ihre Gewebemembrane 964 Polyplan Biogas Type III FR (Mitteilung an den Autor) 53

Tabelle 12: Einzuhaltende Leckageraten nach TI 4 (SVLFG 2015) 64

Tabelle 13: Wiederkehrende Kontrollen und Prüfungen nach DWA-Merkblatt E-DWA-M 375 70

Tabelle 14: Auswertung des Fragebogens zur Einhaltung bestehender Regelwerke 71

Tabelle 15: Festzulegende und einzuhaltende Anforderungen an Membranen (Hinweis: der Geltungsbereich ergibt sich aus der Spalte „Bezug“) ...92

Tabelle 16: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit, Emissionsminderung und Sicherheit von Membranbefestigungen ...95

Tabelle 17: Anforderungen außer jener an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit an Unterkonstruktionen 96

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
a	Jahr
a. a. R. d. T.	Allgemein anerkannte Regeln der Technik
Abb.	Abbildung
AK-BGA	Arbeitskreis Biogasanlagen
A_{MF}	Oberfläche der Membran (in m²)
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
Art.	Artikel
AS	Arbeitsschritt
ATEX	ATmosphères EXplosibles
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
B1	Baustoffklasse B1 schwer entflammbar
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung, Berlin
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMWFW	Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft Österreich
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
BVT	Beste verfügbare Techniken
CH_4	Methan
ChemG	Chemikaliengesetz
cm	Zentimeter
CO	Kohlenstoffmonoxid
d	Tag
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
d.h.	das heißt
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
dtex	Dezitex / tex = Einheit für die Feinheit aller linienförmigen textilen Gebilde 1 tex = 1 Gramm pro 1000 Meter.
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
DVS	Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
E-DWA-M 375	Merkblatt DWA-M 375 im Entwurf
e.g.	exempli gratia - zum Beispiel

Abkürzung	Bedeutung
EMSR	Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
etc.	et cetera
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FSt	Füllstand
g	Gramm
GefahrstoffV	Gefahrstoffverordnung
GFI Umwelt	Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH
ggf.	gegebenenfalls
h	Höhe
h	Stunde
H_2	Wasserstoff
H_2S	Schwefelwasserstoff
hPa	Hektopascal
IB	Inverkehrbringer
IFAT	Internationale Fachmesse für Abfalltechnik
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
k_{FL}1.1	Bedeutungswert
kN	Kilo-Newton
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
kW	Kilowatt
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
m^2	Quadratmeter
m^3	Kubikmeter
MD	machine direction (Ketterichtung)
min	mindestens
ml	Milliliter
MSH	Membransystemhersteller
N	Newton
N_2	Stickstoff
NH_3	Ammoniak
nn	Nicht nachweisbar
NN	Normalnull
Nr.	Nummer

Abkürzung	Bedeutung
P	Permeationszahl in $m^2/(s \cdot * bar)$
PE	Polyethylen
PES	Polyester
Pkt.	Punkt
PP	Polypropylen
P_P, P_1, P_2	Partialdruck (in hPa, bar)
PR	Methan-Permeabilität der eingesetzten Membran
ProdSV	Produktsicherheitsverordnung
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PU	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
Q_v	Gasvolumenstrom in m^3/s
RAL	RAL-Farbe = normierte Farben, die die RAL gGmbH (eine Tochter von RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.) erstellt und verwaltet.
s	Wanddicke in m
SAT	State-of-the-Art
SdSt	Stand der Sicherheitstechnik
SdT	Stand der Technik
SFK	Störfallkommission
SIL-Klasse	Sicherheits-Integritätslevel
SKZ	SKZ Das Kunststoffzentrum
s.o.	siehe oben
SOAST	state of the art in safety technology
SO_x	Schwefeloxide
StörfallV	Störfallverordnung
SVLFG	Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
TD	transverse direction (Schussrichtung)
TI 4	Technische Information 4 – Sicherheitsregeln für Biogasanlagen
TRAS	Technische Regel für Anlagensicherheit
TRBS	Technische Regel für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UBA	Umweltbundesamt
ÜD/UD-Sicherung	Überdruck-/ Unterdruck-Sicherung

Abkürzung	Bedeutung
USV	unterbrechungsfreie Stromversorgung
UV	Ultraviolett
V	Volumen
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
Vds	VdS Schadenverhütung GmbH
vgl.	vergleiche
v_T	permeierender Methanvolumenstrom in ml Methan pro Zeiteinheit
WasBauPVO	Verordnung zur Feststellung der wasserrechtlichen Eignung von Bauprodukten und Bauarten durch Nachweise nach der Landesbauordnung des jeweiligen Bundeslandes
w_L	Anströmgeschwindigkeit
z.B.	zum Beispiel
Δp	Druckdifferenz
Ω	Ohm, Einheit für den elektrischen Widerstand
ρ	Dichte
σ(CH_4)	Volumenkonzentration von Methan
γP	Teilsicherheitsfaktor
7	Lichtechtheit: 7 = vorzüglich; Skala geht von 1 (sehr gering= bis 8 (hervorragend)

Zusammenfassung

Veranlassung

Die Kommission für Anlagensicherheit (KAS) hat sich entschlossen, ein Gutachten: „Beschreibung des Standes der Technik und der Sicherheitstechnik für Membransysteme von Biogasanlagen“ zu beauftragen. Ausgangspunkt ist der folgende aktuelle Situationsstand zu diesem Thema, wie ihn die KAS beschreibt:

> ► *„Die Minderung von Emissionen und die Sicherheit von Biogasanlagen müssen nach § 5 und § 22 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) dem Stand der Technik entsprechen. Bei Betriebsbereichen müssen die Sicherheitsvorkehrungen und -maßnahmen nach § 3 der Störfall-Verordnung (12. Bundes-Immissionsschutzverordnung – StörfallV) dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen, woraus sich weitergehende Anforderungen als für „nur“ genehmigungsbedürftige Anlagen ergeben können. Ein entsprechender Stand kann nur eingehalten werden, wenn auch die einzelnen Anlagenteile dem Stand der Technik bzw. der Sicherheitstechnik entsprechen. Tatsächlich ist aufgrund von Betriebsstörungen und Sachverständigenprüfungen festzustellen, dass bei Biogasanlagen in erheblichem Umfang Anlagenteile in Verkehr gebracht und verwendet werden, die weder dem Stand der Technik noch der Sicherheitstechnik zu entsprechen scheinen.*

> ► *In einigen Fällen wiesen die Betreiber von Biogasanlagen und Sachverständige darauf hin, dass Hersteller Eigenschaften von Anlagenteilen zusichern, die im Laufe des vorgesehenen Betriebs jedoch nicht eingehalten werden (d.h. Verschlechterung durch Alterung etc.). Weiter ergab sich nach Schadensfällen und bei der behördlichen Überwachung, dass von Betreibern auch selbst hergestellte Anlagenteile genutzt werden, deren Eigenschaften deutlich vom Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik abweichen. Schließlich ergaben Recherchen über Anforderungen der Regelwerke und Ergebnisse der Überwachung, dass bei einigen Anlagenteilen die Möglichkeiten zur Vermeidung und Minderung von Emissionen und Gefahren nicht ausgeschöpft werden, d.h. sich der Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik weiter entwickelt hat.“*

Um diese Missstände abzustellen und eine Anpassung an den weiterentwickelten Stand der Technik und Sicherheitstechnik zu befördern, sollten folgende Punkte bearbeitet werden:

1. Anforderungen an Arten von Anlagenteilen, die den Stand der Technik bei Emissionsminderung und Sicherheit bzw. Sicherheitstechnik definieren (da Konflikte zwischen Sicherheits- und Emissionsminderungsanforderungen eintreten könnten, sollten diese identifiziert und gelöst werden).
2. Prüfungen, Prüfverfahren und Prüfkriterien bei Herstellung, Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb, mit denen die Einhaltung dieser Anforderungen überwacht werden könnten,

jeweils zur Aufnahme in eine Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) und soweit dies nicht möglich erschien, stattdessen als

3. Kriterien für ein Bauartzulassungsverfahren bzw. eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung und
4. Auflagen für eine Bauartzulassung oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Der Gesetzgeber plant verschiedene Rechtsnormen. So ist beabsichtigt, grundlegende Anforderungen an die Emissionsminderung und die Sicherheit von Biogasanlagen in einer Verordnung zum BImSchG zu regeln. Darüber hinaus soll für weitere, konkretisierende Anforderungen eine Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) „Biogasanlagen“ ausgearbeitet werden.

Weiter soll ermittelt werden, welche Prüfungen, Prüfverfahren und Prüfkriterien zur Gewährleistung dieser Eigenschaften sowohl vor dem Inverkehrbringen, vor der Errichtung, vor der Inbetriebnahme

als auch während der gesamten, vorgesehenen Betriebsphase erforderlich sind. Entsprechende erforderliche Prüfungen, Prüfverfahren und Prüfkriterien sollen in der TRAS „Biogasanlagen“ festgelegt werden.

Aufgabenstellung

Das Arbeitsprogramm sah die Bearbeitung mehrerer Arbeitsschritte (insgesamt acht) vor:

1. **AS 1:** Es war für die jeweilige Art von Anlagenteilen zu ermitteln, welche einzelnen, grundsätzlich baugleichen Anlagenteile in Deutschland von welchen Marktteilnehmern in Verkehr gebracht werden. Es war abzuschätzen, wie hoch die von 2013 bis 2015 jeweils erworbene Stückzahl in Deutschland war.
2. **AS 2:** Es waren staatliche und private Regeln zu Biogasanlagen hinsichtlich Anforderungen bzw. Kriterien an die betrachtete Art von Anlagenteilen mit Bedeutung für die Emissionsminderung und Sicherheit auszuwerten.
3. **AS 3:** In diesem Arbeitsschritt wurden Marktteilnehmer, die relevante Anlagenteile anbieten, nach für die Anforderungen und Bewertungskriterien relevanten Eigenschaften ihrer Produkte befragt und die Antworten ausgewertet.
4. **AS 4:** Abstimmung der Zwischenergebnisse mit dem Arbeitskreis Biogasanlagen der KAS.
5. **AS 5:** Es sollte eine probeweise Bewertung der ausgewählten Anlagenteile auf Basis der abgestimmten Anforderungen und Kriterien hinsichtlich des Vorliegens eines Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik in Bezug auf Emissionsminderung und Sicherheit vorgenommen werden. Für die betrachteten Arten von Anlagenteilen sollten Anforderungen oder Kriterien formuliert werden, anhand derer sich der Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik hinsichtlich Emissionsminderung und Sicherheit ergibt und sein Vorliegen überprüft werden kann.
6. **AS 6:** Für die betrachteten Arten von Anlagenteilen war zu untersuchen, welche Prüfungen bei Herstellung, Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb erforderlich sind, damit die den Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik bestimmenden Eigenschaften in allen Betriebsphasen tatsächlich gegeben sind.
7. **AS 7:** Im diesem Arbeitsschritt war zu prüfen, ob die ermittelten Anforderungen und Prüfungen in einer TRAS Biogasanlagen sinnvollerweise abschließend formuliert werden können.
8. **AS 8:** Die Ergebnisse der Ausarbeitungen sollten in einem Fachgespräch diskutiert und ggf. überarbeitet werden.

Technologieübersicht

Die zu untersuchende Technologie der Membransysteme in der Biogastechnik ist dadurch geprägt, dass sich im landwirtschaftlichen Bereich die Gasspeicherung über ein variables Volumen, welches durch elastische oder entsprechend konfektionierte Membranen ermöglicht wird, überwiegend durchgesetzt hat. Dabei werden als interne Gasspeicher jene bezeichnet, die fest auf Fermenter, Nachgärer oder Gärproduktlager installiert sind, während die getrennt von Gärbehältern aufgestellten Gasspeicher als separate Speicher bezeichnet werden. Beide Formen der Gasspeicherung sind in der Biogastechnik eine gängige Technologie.

Dieses Gutachten bezieht sich nach der Aufgabenstellung ausschließlich auf Membransysteme (Oberbegriff für Membranabdeckung und Membrangasspeichersysteme) als Teil von Gärbehältern, die dem Einschluss von Biogas dienen. Hierbei werden unterschiedliche Techniken eingesetzt und am Markt angeboten. Eine Strukturierung lässt sich dem Merkblatt DWA-M 377 (Biogas - Speichersysteme, Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen), entnehmen (vgl. Abb. 1). Hierin wird zunächst nach den folgenden Bauformen unterschieden (die dort dargestellten Gasspeichersysteme sind prinzipiell auch als Membranabdeckungen vorstellbar):

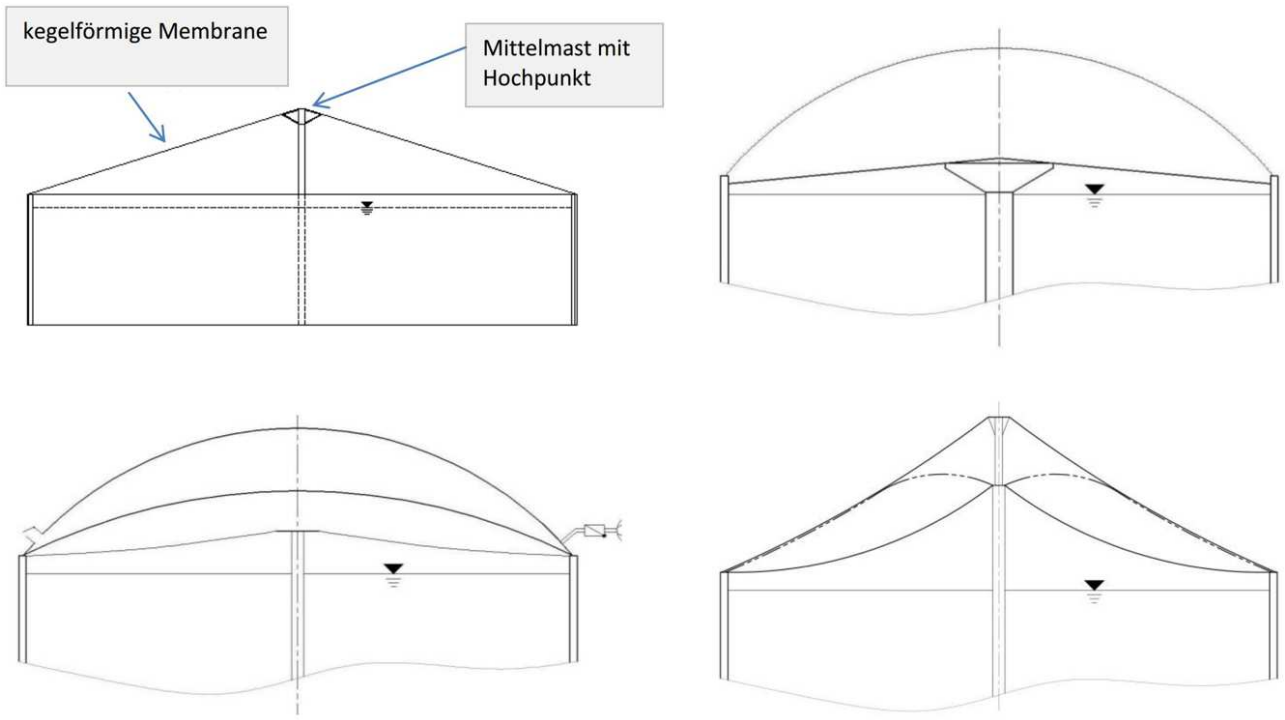
1. einschalige Gasspeichersysteme (Membranabdeckungen)
2. zweischalige Gasspeichersysteme (Membranabdeckungen)

Diese beiden grundsätzlich zu unterscheidenden Bauformen werden weiterhin untergliedert nach der Art der Stabilisierung der Außenmembran.

1. mechanisch vorgespannt
2. pneumatisch gestützt

Auf diesen Grundmerkmalen basieren dann die weiteren technischen Elemente wie Tragkonstruktion und Auflager einschließlich des statischen Systems, Befestigungssysteme im Wandbereich, Füllstandsmessverfahren sowie Stützluftgebläse und Überströmeinrichtungen. Nach diesen Unterscheidungen und Merkmalen wird die weitere Bearbeitung vorgenommen, z.B. die Anforderungen an die Statik. Tatsächlich ist der Markt durch eine Vielzahl von Varianten an Membransystemen geprägt, die von den Grundformen mehr oder weniger abweichen. Eine prinzipielle Darstellung nach DWA M 377 der Grundformen kann aus Abbildung 1 ersehen werden.

Abbildung 1: Grundformen von internen Gasspeichersystemen (Quelle: DWA M 377)



Bei einschaligen Membransystemen besteht die Folie bzw. Membran typischerweise aus Materialien wie EPDM-Folien (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) oder PVC-beschichteten Polyestergeweben (Polyvinylchlorid). Es handelt sich dabei um eine Bauform, die in der Praxis eine breite Anwendung gefunden hat, bei der als eine relevante Eigenschaft u.a. die komplette Einsehbarkeit genannt wird.

Die einschaligen Membransysteme untergliedern sich, wie bereits erwähnt, in mechanisch vorgespannte und pneumatisch gestützte Systeme.

Zweischalige Membransysteme werden oft auch als Doppelmembransysteme bezeichnet. Sie bestehen aus einer äußeren Membran (Außenmembrane) als Behälterabdeckung und einer inneren Membran zur Speicherung von Biogas (Gasmembrane), die als PE-, PP-, PU- und EPDM -Membranen oder PVC-beschichtete Polyestergewebe-Membranen eingesetzt werden. Wie bei allen vorgespannten Membransystemen (ein- und zweischalige) dürfen, damit Faltenbildung und Flattern der Membranfläche, die

zur Verkürzung der Lebensdauer der Membran führen können, vermieden werden, nach Relaxationsvorgängen im Gewebe und bei Belastung keine spannungslosen Zustände in der (Außen-)Membran auftreten (Erhaltung der Ringspannung).

Im Gegensatz zu den mechanisch vorgespannten Systemen, werden pneumatische Systeme durch einen ständig unter Druck stehenden Luftraum zwischen Außenmembrane und Innenmembrane stabilisiert. Die Außenmembranen stellen, wie auch die einschaligen Membranen, eine Gruppe von zugbeanspruchten, räumlich gekrümmten und vorgespannten Leichttragwerken dar.

Unterhalb der Außenmembrane liegt ein höherer Absolutdruck vor, als in der umgebenden Luft. Dadurch wird die Außenmembrane gespannt.

Der Druck unterhalb der Gasmembrane richtet sich bei allen Membransystemen nach den Betriebszuständen. Bei den zweischaligen Membransystemen müssen zur Aufrechterhaltung ausreichender Druckzustände unterhalb der Gasmembrane ausreichend dimensionierte Nachström- oder Abströmmöglichkeiten für die Gase sowie Abschaltwerte vorgesehen werden, wobei drei Betriebszustände zu unterscheiden sind:

1. Leerer Gasspeicher: Die Gasmembrane liegt auf der Unterkonstruktion auf, der Gasdruck ist geringer oder gleich dem Stützluftdruck.
2. Teilgefüllter Gasspeicher: Der Gasdruck ist um das Eigengewicht der Gasmembran und gegebenenfalls der Vorspannung einer elastischen Folie höher als der Stützluftdruck.
3. Überfüllter Gasspeicher: Gasdruck kann auch höher als der Stützluftdruck sein. In diesem Fall könnte die innere Membrane an der äußeren anliegen und an dieser reiben.

Auch bei einschaligen Membransystemen sind bei der Betrachtung der Drücke im Behälter die Betriebszustände leer, teilgefüllt und überfüllt (soweit möglich) zu unterscheiden.

Herstellerrecherche

Zur Recherche der durch Firmen in Verkehr gebrachten Anlagenteile wurde diesen ein Fragebogen übersandt. Hierüber wurden Informationen zu den wesentlichen Bauteilen abgefragt.

Von den ermittelten und angefragten 57 Firmen haben sich bis zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Abschlussberichtes nur 13 zurückgemeldet, 11 Firmen haben den Fragebogen ausgefüllt zurückgeschickt. Danach wurden von diesen im Jahre 2015 762 Membransysteme verkauft nach 810 im Jahre 2014 und 878 im Jahre 2013. Jedoch konnten aus der Umfrage keine bevorzugten technischen Systeme erkannt werden. Die Firmen, die den Fragebogen beantworteten, waren nach ihren Angaben mit dem einschlägigen Regelwerk überwiegend gut vertraut.

Anforderungen und Bewertungskriterien nach bestehenden Regelwerken

Um hier den entsprechenden Kontext herzustellen, sei zunächst der Begriff „Stand der Technik“/ „Stand der Sicherheitstechnik“ erläutert. Dieser hat bei Biogasanlagen eine große Bedeutung, da die relevanten Gesetze und Verordnungen hierauf Bezug nehmen. So ist zwar zunächst zu unterscheiden, ob es sich bei einer Biogasanlage um eine nicht genehmigungsbedürftige, um eine genehmigungsbedürftige Anlage oder um eine der Störfall-Verordnung unterliegende Anlage handelt; gleichwohl sind alle Anlagen hinsichtlich Gefahrenabwehr bzw. ggf. zusätzlich aus Gründen der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen mit Vorkehrungen und Maßnahmen auszustatten, die dem Stand der Technik und, soweit es sich um der StörfallV unterliegende Anlagen handelt, dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen. Die Definition des Begriffs „Stand der Technik“ bzw. „Stand der Sicherheitstechnik“ ergeben sich dabei aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetz und der StörfallV.

In der Literatur und in den Regelwerken lassen sich verschiedene Anforderungen finden für:

- Membran- und Folienmaterial
- Membranen
- Befestigungssysteme
- Unterkonstruktionen
- Systeme zur Füllstandsmessung
- Stützluftgebläse mit Rückschlagklappe und Tragluftauslass
- Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit des gesamten Membransystems
- Dichtheit von Gasembranen
- Errichtung und Inbetriebnahme
- Wartung, Instandhaltung, Reparaturen
- Instandhaltung (incl. Kontrollen, Prüfungen, Wartung, Instandsetzung)

Diese Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen (bezüglich der Einzelheiten wird auf die Kapitel 8 und 9 verwiesen):

Bei Membranen handelt es sich um Teile immissionsschutzrechtlicher Anlagen und um Bauprodukte, die über definierte und für den Anwendungszweck erforderliche Eigenschaften verfügen müssen. Eine Liste der Materialkennwerte ist für den konkreten Anwendungsfall zusammenzustellen.

Eine besondere Bedeutung hat die Permeationsrate von Methan bezogen auf die Fläche, Zeit und Partialdruck (ml $CH_4/(m^2 \cdot d \cdot 1000\ hPa)$. Sie begrenzt letztlich die Emission, was bislang nur über ein allgemeines Minimierungsgebot geregelt war. Insoweit sind geringere Werte, wenn es keine anderen Ausschlussgründe gibt, höheren vorzuziehen. So sind am Markt Membranen mit Werten für die Permeationsrate von Methan < 250 $ml/(m^2 \cdot d \cdot 1000\ hPa)$ verfügbar. In wieweit aus der gemessenen Permeationsrate auf die reale Permeation geschlossen werden kann, ist derzeit noch nicht eindeutig zu belegen. Insbesondere ist der Einfluss der Temperatur relevant und somit zu berücksichtigen.

Bei den Befestigungssystemen werden ausschließlich Eigenprodukte der Lieferanten in den Verkehr gebracht. Es existiert hierzu kein Regelwerk oder eine DIN Vorschrift. Letztendlich stellen die Befestigungssysteme vom Planer bzw. Lieferanten konzipierte Einrichtungen dar, die ihrerseits aus Bauprodukten (Schrauben, Profile, Unterlegscheiben, Dichtungsmaterialien) bestehen. Wesentlich ist, dass für diese tragenden Bauteile die erforderlichen Nachweise der Tragfähigkeit und damit auch der Gebrauchstauglichkeit (durch Verformung) erbracht werden müssen. In wieweit dadurch die Dichtheit beeinflusst werden könnte, konnte nicht geklärt werden. Gründe, dass hierzu keine Untersuchungen in der Literatur zu finden sind, sind nicht bekannt.

Unterkonstruktionen, die überwiegend zur Ablage der Membrane in der unteren Position dienen, sind tragende Bauteile, für die ein Tragfähigkeitsnachweis erbracht werden muss.

Füllstandsmesssysteme für Biogasspeichersysteme bestehen aus am Markt erhältlichen Komponenten, die vom Anwender/Lieferanten/Planer zu Messverfahren integriert werden. Insoweit sind die Einzelkomponenten von den Vorschriften für Inverkehrbringer umfasst, nicht jedoch zwangsläufig die integrierten Systeme zur Füllstandsmessung. Für die Anwendung bei Membransystemen existieren daher auch keine Regelwerke. Eine allgemein anerkannte Regel der Technik ergibt sich praktisch nur durch das Kriterium der Marküblichkeit. Die Art der eingesetzten Technik ist vom Anwender/ Lieferanten/ Planer abhängig und unterscheiden sich von Anlage zu Anlage entsprechend.

Stützluftgebläse mit Rückschlagklappe und Tragluftauslass sind Einrichtungen zur druckgesteuerten Stützluftversorgung zweischaliger Membransysteme. Sie bestehen aus mehreren Komponenten (Gebläse, Rohrleitungen, Rückschlagklappe, Überströmeinrichtung, Tragluftauslass). Sie werden vom Anwender/ Lieferanten /Planer zu einem Gesamtsystem integriert. Teilweise wird dies planerisch darge-

stellt und dimensioniert. Bei Versagen der Anlagentechnik bzw. bei Stromausfall muss das Stützluftgebläse so lange betriebsfähig bleiben, bis der Speicher leer gefahren bzw. anderweitig in einen sicheren Zustand überführt werden konnte.

Soweit erkennbar, werden derzeit Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit, an die Emissionsminderung, an die Sicherheit (Brand- und Explosionsschutz) für Membransysteme entsprechend den Vorgaben nach Merkblatt DWA -M 377 noch nicht durchgeführt. Die Voraussetzungen hierzu sind aber gegeben.

Durchgängig wird im technischen Regelwerk, z.B. des DVWG eine technische Dichtheit gefordert. In Fachkreisen (KAS) wird gefordert, dass die Anlagen auf Dauer technisch dicht sein sollen und nur, soweit der Stand der Technik dies nicht zulässt, mindestens technisch dicht. Dies betrifft überwiegend mögliche Gasaustritte infolge konvektiver Gasausströmungen an Schadstellen sowie an lösbaren Verbindungen, die z.B. infolge Alterung des Dichtungsmaterials undicht werden können. Für die Dichtheitsprüfung stehen mehrere Verfahren, jedoch mit unterschiedlichen Nachweisgrenzen und Anwendungskriterien zur Verfügung. Im DWA Merkblatt M-375, das sich derzeit noch im Gelbdruck (Entwurf) befindet, ist die Dichtheitsprüfung umfassend beschrieben.

Während der Errichtung und der Inbetriebnahme erfolgt eine Vielzahl von qualitätssichernden Maßnahmen, die sich bei Nichterfüllung negativ sowohl auf das Emissionsverhalten als auch auf das Sicherheitsniveau der Membransysteme auswirken können. Eine entsprechende Dokumentation mit Angaben zu den technischen Spezifikationen ist daher vorzunehmen. Insbesondere müssen dabei die Beschreibungen der Merkmale des Membransystems so beschrieben werden, dass entsprechende Nachweise geführt werden können. Damit die Inbetriebnahme des Membransystems emissionsarm und sicher erfolgen kann, müssen über die Inbetriebnahme Inbetriebsetzungsprotokolle für das Tragluftsystem und Inbetriebnahmeprotokolle mit den vorgenommenen Einstellungen erstellt werden.

Durch Arbeiten bei Wartung, Instandsetzung, Kontrollen und Prüfungen kann es zu Emissionen kommen bzw. können Gefahren entstehen. Andererseits helfen diese zur Sicherung der Langzeitbeständigkeit und der rechtzeitige Austausch der Membranen hilft dazu, Emissionen zu verhindern bzw. Gefahren zu vermeiden. Hinsichtlich der Beständigkeit sind Vorgaben durch die Hersteller in Bezug auf Austauschzyklen zu machen und von den Betreibern einzuhalten. Sofern keine Vorgaben des Inverkehrbringers vorliegen, werden teilweise Mindestaustauschzyklen von 3 Jahren genannt.

Wesentlich sind die qualitätssichernden Maßnahmen über alle Phasen der Errichtung, der Inbetriebnahme und des Betriebs durch entsprechende Prüfungen der Materialien ggf. unter Heranziehung externer Gutachter (Fremdprüfer). Die Prüfung der definierten Anforderungen an die Materialien muss während der Anlieferung und des Baus durch einen (Bau-) Ingenieur oder Fachexperten mit vergleichbarer Qualifikation erfolgen. Dieser hat die Lieferleistungen mit dem Anforderungsprofil aus der Anlagenplanung abzugleichen. Ebenso sind die Lieferleistungen nach entsprechender Verarbeitung oder Einbau zu prüfen. Fallweise werden hierbei sachverständige Fremdprüfer hinzugezogen. Dies betrifft ggf. spezielle Bauwerke, Materialien oder Einrichtungen.

Während der Inbetriebnahme sind verschiedene Prüfungen nach den Vorgaben aus der Planung vorzunehmen (Dichtheitsprüfung, Prüfung der Einstellwerte) und zu protokollieren. Diese Tätigkeit erfordert eine vom Lieferanten unabhängige, geschulte Person, vergleichbar mit der Qualifikation eines Ingenieurs.

Während des Betriebs werden eine Vielzahl von Prüfungen durchzuführen sein. Dazu gehören insbesondere die Prüfung der Alterung der Membrane und der Unterkonstruktionen, aber auch die Prüfungen der anderen Bauelemente der Membransysteme.

Empfehlungen

Aus den aufgeführten Feststellungen leiten sich verschiedene Anforderungen an Membransysteme ab, wie sie in eine TRAS Biogasanlagen aufgenommen werden könnten. Für die Einzelheiten wird auf die Kapitel 8 und 9 im Bericht verwiesen, da eine Darstellung an dieser Stelle eine Zusammenfassung sprengen würde.

Summary

Background

The Commission on Process Safety (Kommission für Anlagensicherheit – KAS) has decided to commission an expert with producing a report regarding the "Characterisation of the state-of-the-art (SAT) and the state of the art in safety technology (SOAST) regarding membrane-based gas systems on biogas plants." The starting point was to be the following current situation regarding this topic, as described by KAS:

> ► *"The reduction of emissions and the safety of biogas plants must comply with the use of SAT, as stipulated in Art. 5 and Art. 22 of the Federal Pollution Control Act (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). In establishments, safety features and safety measures must make use of SOAST, as stipulated in Art. 3 of the Major Accidents Ordinance (12. Bundes-Immissionsschutzverordnung – StörfallV), this at times leading to additional requirements than compared to facilities that "only" need a permit for operation. The required standards can only be met when all parts of the installation use the SAT or SOAST. However, operational malfunctions and audits by experts have shown that a substantial extent of plant sections that are being put on the market and used in the operation of biogas plants do not seem to comply with SAT or SOAST.*
>
> ► *In some cases the biogas plant operators and subject experts pointed out that manufacturers give assurances regarding features of parts of installations that cannot be met during the course of operation (i.e. deterioration due to aging etc.). Furthermore, accident investigations and official monitoring have shown that some operators also use self-made parts with qualities greatly differing from the SAT or SOAST. In addition, research on requirements by the technical codes and monitoring results regarding parts of installations yielded the realisation that in some cases the possibilities of preventing and reducing emissions and hazards are not fully exploited, i.e. the SAT and SOAST in this area have been refined."*

In order to remedy these grievances and facilitate a matching to the current SAT and SOAST, the following issues were to be addressed:

1. Define requirements for parts of installations that define the SAT regarding safety and the reduction of emissions as well as SOAST (arising conflicts between safety and emission reduction requirements were to be identified and solved).
2. Define inspections, inspection methods and inspection criteria used in the manufacture, building, commissioning and operation of parts of installations, with which the compliance with the above mentioned requirements could be monitored.

In each case for the purpose of including them in a technical rule on plant safety (Technische Regel für Anlagensicherheit – TRAS) or else, should this seem infeasible, as:

3. criteria regarding a procedure for a type approval or a general approval by the building supervisory authority and
4. define requirements for a type approval or a general approval by the building supervisory authority.

The legislature plans the implementation of various legal norms. It is intended to regulate general requirements on emission reduction and biogas plant safety in an ordinance to the Federal Immission Control Act. Also, a Technical Rule on Installation Safety (Technische Regel für Anlagensicherheit – TRAS) for biogas plants shall be developed, containing additional substantiating requirements.

A further goal is the identification of inspections, inspection methods and inspection criteria that need to be met before parts of the installation are put on the market, before the building and commissioning of the installation and before and during the operation of the installation. Corresponding inspections, inspection methods and inspection criteria are to be specified in the Technical Rule on Installation Safety for biogas plants.

Assignment

A total of eight individual tasks (Arbeitsschritte – AS) were to be completed:

1. **AS 1:** Determine for each individual type of installation part, which generally identical parts are being put on the market by which market actor. Also, establish an estimate on the total number of parts purchased in the years 2013 to 2015.
2. **AS 2:** Review official and private rules and regulations governing biogas plants in regard to requirements and criteria concerning installation parts significant for safety and emission reduction.
3. **AS 3:** Interview market actors, who offer relevant installation parts, in regard to the properties of their products relevant for the establishment of requirements and criteria and evaluate the answers.
4. **AS 4:** Present the intermediate results to KAS.
5. **AS 5:** Evaluate selected installation parts on a trial basis, using the harmonized requirements and criteria regarding compliance with the SAT and SOAST in regard to safety and emission reduction. Additionally, devise requirements or criteria for the selected installation parts, which define SAT or SOAST regarding safety and emission reduction and by which one can determine if the standards set by SAT or SOAST are met.
6. **AS 6:** Determine, what tests are necessary during the manufacturing, installation and operation of the selected installation parts, in order to guarantee that all properties defining SAT and SOAST are met in all stages of operation.
7. **AS 7:** Check, if the requirements and tests determined in the previous tasks can be reasonably implemented into a Technical Rule on Installation Safety (Technische Regel für Anlagensicherheit – TRAS) for biogas plants
8. **AS 8:** Expert discussion on the results of the previous tasks and revision of the results if necessary.

Technology Overview

The subject technology of biogas storage is characterized by the fact that in the agricultural sector it has become common practice to store biogas in a variable volume, realized by the use of flexible and cut membranes. Generally, there is a differentiation between internal and separate biogas storage facilities. Internal storage facilities are those installed on fermenters, secondary fermenters or fermentation residue storage facilities. Separate storage facilities are those that are installed separately from the biogas fermenter facility. Both forms of biogas storage represent commonly used technologies.

This report focuses solely on membrane-based gas systems for gas confinement (the expression includes membrane covers and membrane storages) that are placed on top of fermenters or other components of biogas plants (i.e. internal storage facilities). Different techniques are being used and offered on the market in this category. A basic structure can be taken from Advisory Leaflet DWA-M 377 („Biogas - Speichersysteme, Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen“). The leaflet distinguishes between the following types of construction (the shown gasstorage are in general also working as gas confinement):

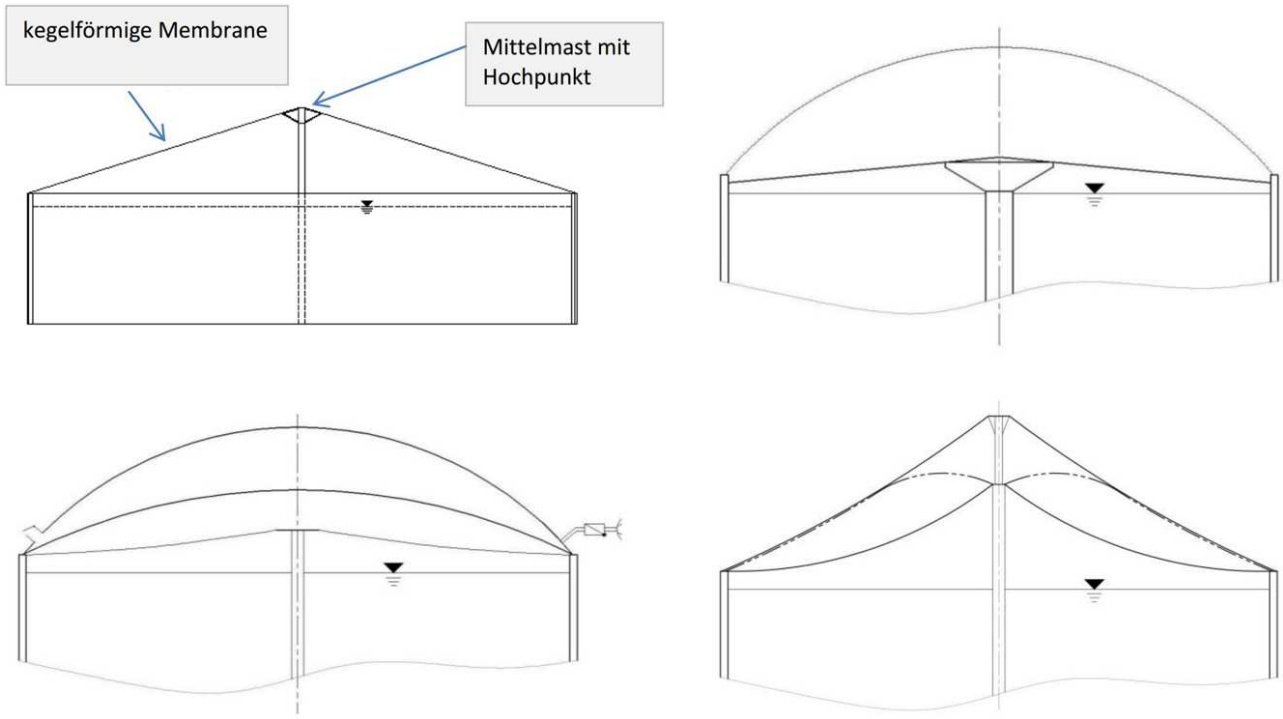
1. single-layer gas storage systems
2. double-layer gas storage systems

These two types of construction are further subdivided by the type of stabilisation used for the outer membrane:

1. mechanical pre-loading
2. pneumatically supported

The other technical elements, such as the supporting structure and bearings, including the statics system as a whole, fastening systems in wall areas, fill level indicator systems, support air blowers and overflow valves. The subsequent work, e.g. requirements on the condition of statics is based on these differentiations and characteristics. The present market is nevertheless characterised by a great variety of gas storage systems which differ more or less from the basic forms. A basic outline of these forms is shown in Figure 1.

Figure 1: Basic forms of internal gas storage systems (source: DWA-M 377) (kegelförmige Membrane: conoid membrane, Mittelmast mit Hochpunkt: center pylon with fixing point)



In single-layer gas storage systems the whole storage cover system consists of a single membrane. Typically used materials are EPDM-membranes (ethylene propylene diene monomer rubber) or PVC-coated polyester fabrics (polyvinyl chloride). These are well-tried types of construction which are widely used in the past. A relevant characteristic that is frequently mentioned, is the complete accessibility and visibility of the whole membrane system.

Single-layer gas storage systems can be divided, as previously mentioned, into mechanically pre-loaded systems and pneumatically supported systems.

Double-layer gas storage systems are named as two-layer systems. They consist of an outer membrane as cover for the system and an inner membrane that serves as biogas storage membrane (gas membrane). Inner membranes are made of PE, PP, PU and EPDM-membranes or PVC-coated polyester fabrics. As with all pre-loaded membrane systems (one or double layer systems), the membranes must never be free from tension (preservation of the ring tension) during fabric relaxation or when under mechanical exposure in order to avoid fluttering or wrinkling of the membrane, leading to a reduction of life expectancy.

In contrast to mechanically pre-loaded systems, pneumatic systems are stabilised by a constantly pressurised volume between the inner and outer membranes. The outer membrane of pneumatic systems represents like the single layer membrane a sub-group of spatially curved a pre-loaded light support structures that are designed to support tensile loads.

The pressure below the gasmembrane in a double membrane system is adjusted in accordance with the operating mode. To ensure appropriate pressure conditions below the gasmembrane in a double membrane system, the system needs to be equipped with adequately dimensioned inlet and outlet valves or, alternatively, corresponding shutdown values. There are three operating modes:

1. Empty gas storage system: the inner membrane rests on the supporting structure; the biogas pressure is equal to the support pressure.
2. Partially-filled gas storage system: the biogas pressure is elevated above the support pressure by the amount of force applied by the weight of the inner membrane and (if applicable) the pre-loading of the membrane.
3. Overfilled gas storage system: the biogas pressure may be higher than the support pressure. In this case the inner membrane might be in contact with the outer membrane. Friction between the two membranes is possible.

Also within single layer membrane systems when considering the pressure in the gasstorage the operation conditions empty, partly empty and overfilled has to be differentiated (as far as possible).

Interview of market actors

In order to gain knowledge on the installation parts put on the market, the relevant manufacturers and vendors were provided with an interview sheet containing questions on the essential information regarding the installation parts.

Of the 57 companies that were identified and queried, only 13 replied. 11 companies sent back the filled-out interview sheet. The analysis of the interview sheets brought up the following numbers: 762 membrane-based gas storage systems were sold by these companies in the year 2015, 810 in the year 2014 and 878 in the year 2013. The numbers did not show a special preference in a particular type of gas storage system. The companies that answered the interview sheet mostly appeared to be well versed in the relevant regulations.

Requirements and evaluation criteria according to existing regulations

In order to put this chapter in the proper context, a clarification of the terms “state-of-the-art” (SAT) and “state of the art in safety technology” (SOAST) is necessary. The terms have great significance for biogas plants since they are frequently referenced in the relevant regulations. An initial differentiation is made between plants that do not require a permit, plants that do require a permit and plants that require a permit as well as falling under the purview of the Major Accidents Ordinance. Nevertheless, all plants must be compliant with the SAT for reasons of hazard prevention and to present provisions against harmful impacts on the environment, other dangers and substantial nuisances. Plants falling under the purview of the Major Accidents Ordinance must additionally comply with the SOAST. The definition of the terms “state-of-the-art” and “state of the art safety technology” comes from the Federal Immission Control Act and Major Accidents ordinance. “State-of-the-art“shall mean the state of development of advanced processes […], which is deemed to indicate the practical suitability of a particular technique for restricting emission levels.”

In literature and regulations different requirements can be found for:

- membrane materials
- fastening systems
- supporting structures

- fill level indicator systems
- support air blowers and overflow valves
- requirements regarding the serviceability and load-bearing capacity of the membrane system as a whole
- tightness of gas storage membranes
- construction and commissioning
- maintenance, service and repair
- recurring assessments and inspections

These requirements can be summarized as follows (see chapter 8 and 9):

The membrane represents a part of plant for emission control and is a construction product ("Bauprodukt") that needs to meet defined criteria required for the intended use. A list of material parameters needs to be compiled for the specific application.

A stressed importance has the permeation rate of methane related to area, time and partial pressure (ml CH_4/ (m^2·d·1000 hPa). The permeation rate limits the emission, which was done in the past only with a general order for minimization. Therefore low values has to prefer higher values if there are no other important arguments. Membranes with values below 250 ml/ (m^2·d·1000 hPa) are available on the market. To what extent the actual permeation can be deduced by measuring the permeation rate, can't be completely verified at this time. The influence of the temperature is especially relevant and needs to be considered accordingly.

In regard to fastening systems, only parts that are produced directly by the vendors are being put on the market. No regulations or DIN norms exist regarding this subject. Ultimately the fastening systems represent devices that are designed by planners or vendors and consist of construction products ("Bauprodukte") themselves. It is essential in this case that the load-bearing installation parts verifiably meet the requirements regarding their load-bearing capacity. This includes determining the rated values for tensile strength, including the necessary reduction factors. An open subject is the tightness when a load is applied. The usability is currently not determined from the point of view of tightness.

Supporting structures are installation parts for which a verification of the load-bearing capacity is necessary. A relatively new issue when conducting these verifications in the case of wooden construction is the selection of the wood type in accordance with the expected loads and the resulting assumptions for the applicable strength properties.

Fill level indicator systems consist of components that are available on the market and are integrated by the users, vendors or planners into measurement methods. In so far, the individual components are covered by the regulations regarding distributors but not necessarily the integrated fill level indicator systems. Due to this, no regulations exist for these systems. A generally accepted good engineering practice thus results only from the concept of a system meeting a certain market standard. The technology used depends on the users, vendors or planners and therefore differ between each individual plant. Specifications on accuracy are normally not available.

In the case of support air blowers and overflow valves there are currently no concrete requirements specified in any regulation. Support air blowers with overflow valves are systems used for the constant supply of air pressure to double-layer gas storage systems. They consist of several components (blower, air ducts, overflow valve) for which declarations of conformity or descriptions as construction product are available. These are integrated by the users, vendors or planners into an overall system. Thus, there normally are no declarations of conformity available for the overall systems. In some cases, the necessary dimensions are determined in the planning phase. In regard to failure safety there are general requirements that the support air blower system must remain operational in case of a plant failure or power outage until the storage system can be emptied or otherwise put into a safe state.

As far as could be determined, verifications regarding usability and load-bearing capacity for biogas plants as stipulated in Advisory Leaflet DWA-M 377 are not conducted. The prerequisites are available.

In all instances the technical regulations, e.g. the DVGW rules, require a tightness on a technical level ("technisch dicht"). Experts (KAS) demand, that the plants should be permanent tight on a technical level ("auf Dauer technisch dicht") and only if the state of the art cannot allow that, at least tightness on a technical level should be reached. This applies mainly to gas leakages through convective gas flow at damaged areas or at separable connections which can become leaky e.g. by aging of the sealing material. Methods are available for tightness tests. But they have different limits of detection and application criteria. A comprehensive description can be found in Advisory Leaflet E-DWA-M 375. Especially scope and temporal intervals for recurring tightness tests are mentioned there.

During the construction and commissioning phases there are a multitude of quality assurance measures which, if not complied with, can have negative influences on the emission properties as well as the level of safety of the gas storage system. A corresponding documentation with information on the technical specifications is thus required. Especially the storage system's features must be described in a way so that it is possible to conduct corresponding verifications. For the commissioning of the gas storage system to be safe and low on emissions, commissioning protocols containing the adjusted settings must be created for the air blower system.

Activities during service, maintenance and repair can cause emissions or dangers. On the other hand service, maintenance and repair help ensuring long-term durability and a timely exchange of membranes helps preventing emissions and dangers.

In regard to durability, the manufacturers are required to make requirements regarding exchange cycles, which are to be complied with by the operators. When no requirements are available from the distributor exchange cycles of three years are required in some instances.

Quality assurance measures through material testing (if necessary by external auditors ("Fremdprüfer")) play an essential part in all phases of manufacturing, construction, commissioning and operation of the plant. A civil engineer or equally skilled person ("Sachkundiger") must inspect and verify the defined requirements on the materials during delivery and construction of the plant. The delivered materials must be compared to the requirements set forth in the planning stage. Additional inspections are necessary after processing and installation of the materials. From case to case expert external auditors are required, e.g. for special structures, materials or features.

During the commissioning, several inspections must be performed and logged to the standards set forth during the planning phase (tightness test, verifications of the settings). This requires an independent, trained and knowledgeable expert, e.g. an engineer.

During the operation a multitude of inspections will be necessary. This especially includes the inspection of the membranes and the supporting structure's aging processes as well as the inspection of all other parts of the biogas storage system. These inspections can only be performed by expert auditors.

Recommendation

The previously mentioned conclusions result in different requirements for membrane-based biogas storage systems that could be used in a in a technical regulation on plant safety (Technische Regel für Anlagensicherheit – TRAS). The specifics are covered in the chapters 8 and 9 of this report. A description here would overload the summary.

1 Veranlassung

Die Kommission für Anlagensicherheit (KAS) hat sich entschlossen, ein Gutachten: „Beschreibung des Standes der Technik und der Sicherheitstechnik für Membransysteme von Biogasanlagen“ zu beauftragen. Ausgangspunkt ist der aktuelle Situationsstand zu diesem Thema. In Ihrer Angebotsanfrage schreibt die KAS hierzu:

> *„Die Minderung von Emissionen und die Sicherheit von Biogasanlagen müssen nach § 5 und § 22 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) dem Stand der Technik entsprechen. Bei Betriebsbereichen müssen die Sicherheitsvorkehrungen und -maßnahmen nach § 3 der Störfall-Verordnung (12. Bundes-Immissionsschutzverordnung – StörfallV) dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen, woraus sich weitergehende Anforderungen als für „nur“ genehmigungsbedürftige Anlagen ergeben können. Ein entsprechender Stand kann nur eingehalten werden, wenn auch die einzelnen Anlagenteile dem Stand der Technik bzw. der Sicherheitstechnik entsprechen. Tatsächlich ist aufgrund von Betriebsstörungen und Sachverständigenprüfungen festzustellen, dass bei Biogasanlagen in erheblichem Umfang Anlagenteile in Verkehr gebracht und verwendet werden, die weder dem Stand der Technik noch der Sicherheitstechnik zu entsprechen scheinen.*
>
> *In einigen Fällen wiesen die Betreiber von Biogasanlagen und Sachverständige darauf hin, dass Hersteller Eigenschaften von Anlagenteilen zusichern, die im Laufe des vorgesehenen Betriebs jedoch nicht eingehalten werden (d.h. Verschlechterung durch Alterung etc.). Weiter ergab sich nach Schadensfällen und bei der behördlichen Überwachung, dass von Betreibern auch selbst hergestellte Anlagenteile genutzt werden, deren Eigenschaften deutlich vom Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik abweichen. Schließlich ergaben Recherchen über Anforderungen der Regelwerke und Ergebnisse der Überwachung, dass bei einigen Anlagenteilen die Möglichkeiten zur Vermeidung und Minderung von Emissionen und Gefahren nicht ausgeschöpft werden, d.h. sich der Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik weiter entwickelt hat.“*

Um diese Missstände abzustellen und eine Anpassung an den weiterentwickelten Stand der Technik und Sicherheitstechnik zu befördern, sollten nach Vorgabe der KAS zu folgenden Punkten Formulierungen aufgestellt werden:

1. Anforderungen an Arten von Anlagenteilen, die den Stand der Technik bei Emissionsminderung und Sicherheit bzw. Sicherheitstechnik definieren (da Konflikte zwischen Sicherheits- und Emissionsminderungsanforderungen eintreten könnten, sollten diese identifiziert und gelöst werden).
2. Prüfungen, Prüfverfahren und Prüfkriterien bei Herstellung, Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb, mit denen die Einhaltung dieser Anforderungen überwacht werden könnten,

jeweils zur Aufnahme in eine Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) und soweit dies nicht möglich erschien, stattdessen als

3. Kriterien für ein Bauartzulassungsverfahren bzw. eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung und
4. Auflagen für eine Bauartzulassung oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Der Gesetzgeber plant verschiedene Rechtsnormen. So ist beabsichtigt, grundlegende Anforderungen an die Emissionsminderung und die Sicherheit von Biogasanlagen in einer Verordnung zum BImSchG zu regeln. Darüber hinaus soll für weitere, konkretisierende Anforderungen eine Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) „Biogasanlagen“ ausgearbeitet werden.

Bei den hier relevanten Arten von Anlagenteilen liegt weder eine harmonisierte europäische noch nationale Normung vor. In die TRAS „Biogasanlagen“ sollen daher auch Anforderungen an die Beschaffenheit und Eigenschaften einzelner Arten von Anlagenteilen aufgenommen werden, die den Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik bezogen auf diese Anlagenteile beschreiben.

Weiter soll ermittelt werden, welche Prüfungen, Prüfverfahren und Prüfkriterien zur Gewährleistung dieser Eigenschaften sowohl vor dem Inverkehrbringen, vor der Errichtung, vor der Inbetriebnahme als auch während der gesamten, vorgesehenen Betriebsphase erforderlich sind. Entsprechende erforderliche Prüfungen, Prüfverfahren und Prüfkriterien sollen in der TRAS „Biogasanlagen“ festgelegt werden.

Soweit die Festlegung von Anforderungen in einer TRAS nicht möglich ist, sollen entsprechende Kriterien für Bauartzulassungen oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen sowie ggf. Auflagen in diesen Zulassungen vorgeschlagen werden. Sollte für die relevanten Arten von Anlagenteilen eine Pflicht von Bauartzulassungen oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen eingeführt werden, so soll hierauf zurückgegriffen werden.

Vor diesem Hintergrund wurde die Ingenieurgruppe RUK GmbH von der GFI Umwelt - Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH beauftragt, für den Themenbereich „Membransysteme von Biogasanlagen“ die genannten Punkte gutachterlich zu bearbeiten.

Dabei fallen unter den Begriff „Membransysteme“ nach der Definition gemäß TRAS „einzelne oder mehrere Kunststoffmembranen (Anmerkung: in der Praxis in ein- und zweischaligen Ausführungen als Membranabdeckungen und Membrangasspeicherabdeckungen vorkommend), die dem Einschluss von Biogas dienen, einschließlich aller Anlagenteile zur Erfüllung dieser Funktionen….. „Hierzu gehören die technischen Elemente wie Befestigungen am Behälter (Klemmschlauchsystem mit Druckversorgung, Klemmschiene etc.), Unterkonstruktion (wie Holzkonstruktionen, Gurte), Netze über und unter den Membranen, Durchführungen sowie Systeme zur Füllstandmessung und die Stützluftversorgung (im Fall von zweischaligen Ausführungen).“

Das Arbeitsprogramm sah die Bearbeitung mehrerer Arbeitsschritte (insgesamt acht) sowie die Erstellung eines Zwischenberichts und eines Endberichts vor. Der Endbericht wird hiermit vorgelegt.

2 Aufgabenstellung

Für die Bearbeitung waren gemäß Aufgabenstellung folgende Arbeitsschritte (insgesamt acht) zu bearbeiten:

1. **AS 1:** Es war für die jeweilige Art von Anlagenteilen zu ermitteln, welche einzelnen, grundsätzlich baugleichen Anlagenteile in Deutschland von welchen Marktteilnehmern in Verkehr gebracht werden. Es war abzuschätzen, wie hoch die von 2013 bis 2015 jeweils erworbene Stückzahl in Deutschland war. Mit „Arten von Anlagenteilen“ wird jeweils eine Gruppe von Anlagenteilen mit gleicher Funktion aber ggf. verschiedener Bauart bezeichnet; mit „Anlagenteil“ wird ein von einem Hersteller angebotener Typ von baugleichen Anlagenteilen bezeichnet.
2. **AS 2:** Es waren staatliche und private Regeln zu Biogasanlagen hinsichtlich Anforderungen bzw. Kriterien an die betrachtete Art von Anlagenteilen mit Bedeutung für die Emissionsminderung und Sicherheit auszuwerten. Soweit hierbei Lücken oder Defizite festzustellen waren, waren Ergänzungen vorzuschlagen. Auf dieser Basis wurden Anforderungen bzw. Kriterien formuliert, anhand derer beurteilt werden kann, ob ein Anlagenteil dem Stand der Technik hinsichtlich Emissionsminderung und Sicherheit im Sinne des BImSchG bzw. Stand der Sicherheitstechnik im Sinne der StörfallV entspricht. Bei Einhaltung dieser Anforderung und Kriterien muss eine Einhaltung der Anforderungen von BImSchG und StörfallV anzunehmen sein.
3. **AS 3:** In diesem Arbeitsschritt wurden Marktteilnehmer, die relevante Anlagenteile anbieten, nach für die Anforderungen und Bewertungskriterien relevanten Eigenschaften ihrer Produkte befragt und die Antworten ausgewertet.
4. **AS 4:** Die Arbeitsschritte AS 1 bis AS 3 waren in einem Zwischenbericht zusammenzufassen, im Rahmen einer Sitzung des Arbeitskreises Biogasanlagen (AK-BGA) der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) vorzustellen und zusammen mit den im Arbeitsschritt AS 2 aufgestellten Anforderungen und Bewertungskriterien mit dieser abzustimmen. Darüber hinaus war mit dem AK-BGA abzustimmen, ob bestimmte Anlagenteile einzelner Marktteilnehmer von weiteren Betrachtungen ausgenommen oder zusätzlich aufgenommen werden sollten.
5. **AS 5:** Im Arbeitsschritt AS 5 war eine probeweise Bewertung der in Abstimmung mit dem AK-BGA ausgewählten Anlagenteile auf Basis der abgestimmten Anforderungen und Kriterien hinsichtlich des Vorliegens eines Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik in Bezug auf Emissionsminderung und Sicherheit vorzunehmen. Zudem sollte überprüft werden, ob sich hierbei Defizite oder Zielkonflikte ergeben und falls dies der Fall sein sollte, Möglichkeiten zur Optimierung des Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik hinsichtlich des Erreichens der verschiedenen Ziele aufzuzeigen.
   Abschließend waren für die betrachteten Arten von Anlagenteilen Anforderungen oder Kriterien zu formulieren, anhand derer sich der Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik hinsichtlich Emissionsminderung und Sicherheit ergibt und sein Vorliegen überprüft werden kann.
6. **AS 6:** Für die betrachteten Arten von Anlagenteilen war im Arbeitsschritt AS 6 zu prüfen, welche Prüfungen bei Herstellung, Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb erforderlich sind, damit die den Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik bestimmenden Eigenschaften in allen Betriebsphasen tatsächlich gegeben sind. Hierfür geeignete bereits definierte Prüfverfahren und -kriterien waren anzugeben oder – soweit keine derartigen Verfahren existieren – ergänzend neue Prüfverfahren vorzuschlagen.
7. **AS 7:** Im Arbeitsschritt AS 7 war zunächst zu prüfen, ob und inwieweit die in AS 5 ermittelten Anforderungen und in AS 6 ermittelten Prüfungen in einer TRAS Biogasanlagen sinnvollerweise abschließend formuliert werden können. In diesem Fall war ein Entwurf für einen Anhang zur TRAS auszuarbeiten.

Für den Fall, dass eine Ausformulierung von Anforderungen in einer TRAS nicht oder nicht ausreichend möglich sein würde, war für die jeweils betrachtete Art von Anlagenteilen zu prüfen, ob und inwieweit dies im Rahmen von Zulassungskriterien und –auflagen möglich sein könnte. Dabei waren erforderliche Zulassungskriterien und –auflagen für die bearbeiteten Arten von Anlagenteilen auszuformulieren und die Gründe für die Erforderlichkeit entsprechender Zulassungskriterien und –auflagen darzustellen.

8. **AS 8:** Zum Abschluss der Bearbeitung sollten alle Ergebnisse der vorgenannten Arbeitsschritte in einem Fachgespräch vorgestellt und diskutiert sowie die Ergebnisse des Gesprächs entsprechend protokolliert werden. Auf Basis der Anregungen aus dem Fachgespräch waren die erarbeiteten Ergebnisse nochmals zu überarbeiten.

Die Arbeitsschritte AS 1 – AS 7 werden in den Kapiteln 4 bis 9 bearbeitet. Für ein besseres Verständnis wird in Kapitel 3 eine Übersicht der Membransystemtechnologie gegeben.

3 Technologieübersicht

3.1 Grundformen der Membrangasspeicher und Membranabdeckungen

Unter Membransystemen werden Systeme aus einzelnen oder mehreren Kunststoffmembranen verstanden, die dem Einschluss von Biogas dienen, einschließlich aller Anlagenteile zur Erfüllung dieser Funktionen. Der Begriff Membransystem umfasst somit sowohl Membranspeicher als auch Membranabdeckungen.

Die Speicherung von Gasen setzt variable Größen bei Volumen, Druck, Temperatur, gelöster oder adsorbierter Masse voraus. Bei Biogaserzeugungsanlagen im landwirtschaftlichen Bereich hat sich überwiegend durchgesetzt, die Gasspeicherung über ein variables Volumen, welches durch flexible Membranen oder elastische bzw. entsprechend konfektionierte Gasmembranen ermöglicht wird, zu realisieren. Dabei werden als interne Gasspeicher jene bezeichnet, die fest auf Fermenter, Nachgärer oder Gärproduktlager installiert sind, während die getrennt aber als Teil der Biogaserzeugungsanlage aufgestellten Gasspeicher als externe oder separate Gasspeicher bezeichnet werden. Bei letzterer Speicherstrategie könnten somit die Behälter der Biogaserzeugung mit festen Beton- oder Stahldächern ausgestattet werden. Dadurch können z.B. zentrale Rührwerke eingebaut, Substratzuführungen über das Dach vorgenommen sowie die Dächer wärmeisoliert werden. Bei vielen Anlagen finden sich dann allerdings interne Gasspeicher in den nachgelagerten Stufen (Nachfermenter, Gärrestelager). Auch bei der Vergärung von festen Abfällen werden häufig Technologien eingesetzt, die mit festen Dächern ausgestattet sind (Perkolations-, Durchflussverfahren), so dass sich bei diesen Anlagen häufig separate Gasspeicher finden. Beide Formen der Gasspeicherung sind also in der Biogastechnik eine gängige Technologie.

Membranabdeckungen sind von der Bauform her den Membrangasspeichern vergleichbar, haben aber ein nur geringes bzw. kein nennenswertes Gasspeichervolumen. Sie werden z.B. bei den Gärrestbehältern eingesetzt, da dort die Gasentwicklung nur noch gering sein kann, gleichwohl aber ein Emissionsschutz erforderlich ist.

Dieses Gutachten bezieht sich nach der Aufgabenstellung ausschließlich auf Membransysteme als interne Membrangasspeicher und Membranabdeckungen. Hierbei werden unterschiedliche Techniken eingesetzt und am Markt angeboten. Um diese Technologien beschreiben und den Stand der Technik in geeigneter Weise darstellen zu können, soll hier aus Gründen der besseren Darstellung, die Technik systematisch strukturiert und in ihre einzelnen technischen Elemente aufgegliedert werden. Nach Bewertung der Verfasser eignet sich hierzu als Vorlage das Merkblatt DWA-M 377 (Biogas - Speichersysteme, Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen), welches zum November 2016 erschienen ist, am besten. Hierin wird zunächst nach den folgenden Bauformen unterschieden:

1. einschaliges Gasspeichersystem (Membranabdeckung)
2. zweischaliges Gasspeichersystem (Membranabdeckung)

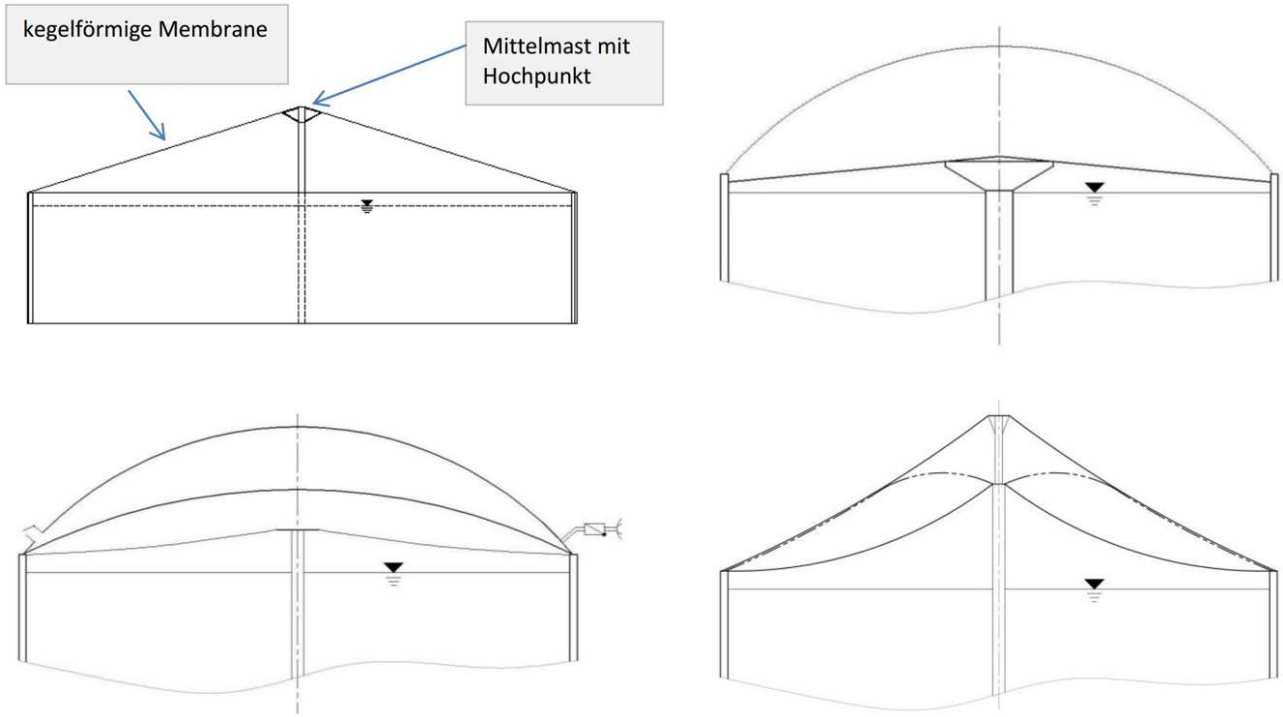
Diese beiden grundsätzlich zu unterscheidenden Bauformen werden weiterhin untergliedert nach der Art der Stabilisierung der Außenmembran.

1. mechanisch vorgespannt
2. pneumatisch gestützt

Eine solche Stabilisierung ist erforderlich, und darauf zielt auch die statische Berechnung der Membranen ab, um die Faltenbildung und das Flattern der Membranfläche, die zur Verkürzung der Lebensdauer der Membrane führen können zu vermeiden. Die Membranen werden also unter Zug/Spannung gesetzt. Damit muss die Membrane Zugkräfte aufnehmen, die als Ergebnis der statischen Berechnung ermittelt werden und der Höchstzugkraft, die die Membrane übernehmen kann, gegenübergestellt

werden. Auf diesen Grundmerkmalen basieren dann die weiteren technischen Elemente wie Tragkonstruktion und Auflager einschließlich des statischen Systems, Befestigungssysteme im Wandbereich, Füllstandmessverfahren sowie Stützluftgebläse mit Rückschlagklappe und Tragluftauslass. Nach diesen Unterscheidungen und Merkmalen wird die weitere Bearbeitung vorgenommen, z.B. die Anforderungen an die Statik. Tatsächlich ist der Markt durch eine Vielzahl von Varianten an Membransystemen geprägt, die von den Grundformen mehr oder weniger abweichen. Eine Übersicht nach der vorgenommenen Marktrecherche ist im Anhang 2 (Kapitel 13.2) enthalten. Eine prinzipielle Darstellung nach DWA-M 377 der Grundformen kann Abbildung 2 entnommen werden.

Abbildung 2: Grundformen von internen Membransystemen (Quelle: DWA-M 377)



Entnommen aus dem Merkblatt DWA-M 377. Die Abbildung zeigt im Uhrzeigersinn, beginnend oben links, Prinzipskizzen eines einschaligen, mechanisch vorgespannten Speichers/einer Abdeckung, eines einschaligen pneumatisch vorgespannten Speichers/einer Abdeckung, eines zweischaligen, mechanisch vorgespannten Speichers/einer Abdeckung und eines zweischaligen, pneumatisch vorgespannten Speichers/einer Abdeckung.

Bei einschaligen Membransystemen besteht das gesamte Membransystem aus einer einzigen Folie bzw. Membran. Hier kommen typischerweise Materialien wie EPDM-Folien (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) oder PVC-beschichtete Polyestergewebe (Polyvinylchlorid) zum Einsatz. Es handelt sich dabei um Bauformen, die in der Praxis eine breite Anwendung gefunden haben, bei der als eine relevante Eigenschaft die komplette Einsehbarkeit genannt wird. Ebenso sind sie im Vergleich zu den anderen Bauformen konkurrenzlos preisgünstig.

Die einschaligen Membransysteme untergliedern sich, wie bereits erwähnt, in mechanisch vorgespannte und pneumatisch gestützte Systeme.

Bei der mechanisch vorgespannten Bauform befindet sich in der Mitte der Gärbehälter ein Mast, über den die Gasmembran mechanisch gegen die Behälterwand vorgespannt wird. Als Material wird überwiegend PVC-beschichtetes Polyestergewebe verwendet, das durch Polyestergurte verstärkt werden kann, auf denen die Membran lose aufliegt.

Zusätzlich zu den statischen Nachweisen (vgl. Kapitel 5.4.7) sind nach DWA M 377 für eine einschalige Membranabdeckung, die mit einem radialen Gurt verstärkt ist, speziell für die Gurtsysteme rechnerische Nachweise notwendig (DWA-M 377 (2015)). Diese sind:

- Einwirkungen auf das Gurtsystem
- Einwirkungen auf die Membran zwischen den Gurten
- Einwirkungen auf die Membran zwischen Mast und Beckenrand
- Nachweise der Tragfähigkeit der Membran
- Nachweis der Tragfähigkeit der Gurte

(Anmerkung: die Relevanz des Mittelmastes im Rahmen des Blitzschutzes muss im Einzelfall abgeklärt werden, da der Mittelmast wie eine „Fangstange“ wirkt.)

Die gasdruckgestützten einschaligen Membransysteme bestehen nur aus einer durch den Biogasdruck gestützten elastischen Membrane.

Diese besteht in der Regel aus EPDM, mit einer im Vergleich zur oben dargestellten Bauform höheren Membrandicke von insgesamt 1,5 bis 2,0 mm. Je nach Auslegung wird ein Netz zur Absicherung gegen mechanische Schäden und Überdehnung über die Membran gespannt. In der unteren Position kann sich die Membran auf einer Tragkonstruktion mit Mittelmast ablegen. Zur Vermeidung unzulässiger Druckzustände sind ausreichend dimensionierte Nach- oder Abströmmöglichkeiten für die Gase vorzusehen.

Dadurch, dass die Membranen immer unter einer bestimmten, vom Statiker vorgegebenen Spannung bleiben müssen, ist das variable Speichervolumen relativ gering. Es muss somit festgestellt werden, dass einschalige Membransysteme, wenn diese statikgerecht betrieben werden, eigentlich nur als Abdeckung, nicht aber als Speicher eine sinnvolle Funktion besitzen können.

Zweischalige Membransysteme werden oft auch als Doppelmembransysteme bezeichnet. Sie bestehen aus einer äußeren Membran als Behälterabdeckung (Außenmembran) und einer inneren Membran als Biogasspeichermembran (Gasmembran/Innenmembran). Dabei muss die Außenmembran vor allem gegen UV- und Witterungseinflüssen beständig sein (z.B. durch die Anwendung von mit Lacken beschichtetem Polyestergewebe), während die Innenmembran u.a. unter dem Aspekt der technischen Dichtheit Anforderungen hinsichtlich der Permeation erfüllen muss (was z.B. durch die Anwendung von bestimmten PE-, PP-, PU- und EPDM -Membranen oder PVC-beschichteten Polyestergeweben erreicht wird). Bei mechanisch vorgespannten Systemen wird durch einen inneren Mast und entsprechender Vorspannung die Formstabilität der Gasmembran gewährleistet. Wenn ein gelenkig gelagerter Mast zum Einsatz kommt, ist dieser durch zusätzliche Gurte oder Seile gegen Versagen der Membrane auf dem Behälterboden zu sichern. (Anmerkung: Bezüglich der Problematik des Blitzschutzes bei der Anwendung von Masten sei auf obige Ausführungen verwiesen.) Wie bei allen vorgespannten Membransystemen dürfen, damit Faltenbildung und Flattern der Membranfläche, die zur Verkürzung der Lebensdauer der Membran führen können, vermieden werden, nach Relaxationsvorgängen im Gewebe und bei Belastung keine spannungslosen Zustände in der Membran auftreten (Erhaltung der Ringspannung). Der Grad der mechanischen (oder aber der pneumatischen) Vorspannung ist entsprechend zu wählen.

Unter dem Mittelmast ist auf der Bodenplatte des Behälters ein Fundament vorzusehen, welches insbesondere die Schneelast der gesamten Membranfläche und die gesamten Vertikalkomponenten aus der Vorspannung sicher und ohne relevante Setzungen in den Baugrund übertragen kann, wobei relevante Teillastzustände zu beachten sind (z.B. einseitige Lasten). (Anmerkung: Da eine Membrane keine Momente sondern nur Zugkräfte übertragen kann, gehen praktisch sämtliche vertikale Kräfte aus Gewicht, Wind und Auflast wie Schnee und Eis in die Mittelstütze. Die Außenwände übernehmen nur vertikal nach oben gerichtete sowie horizontale Kräfte, solange die Membranen über der Oberkante der Behälterwand positioniert sind.)

Durch die Form der Speicher sowie die Situation, dass sich die Gasmembrane gegen die Außenmembrane anlehnt, ist das zur Verfügung gestellt Speichervolumen begrenzt.

Da der Zwischenraum zwischen Außenmembrane und Innenmembrane nicht kontrolliert ist, dies aber zur Dichtheitsmessung zukünftig unerlässlich sein wird (vgl. Entwurf Merkblatt E-DWA-M375), muss der Zwischenraum zukünftig mit einem ausreichenden Luftstrom, der dann auf Methan überwacht wird, durchspült werden.

Im Gegensatz zu den mechanisch vorgespannten Membransystemen, werden pneumatische Membransysteme durch einen ständig unter Druck stehenden Luftraum zwischen Außenmembrane und Innenmembrane stabilisiert. Sie stellen eine Gruppe von zugbeanspruchten, räumlich gekrümmten und vorgespannten Leichttragwerken dar, die in der Praxis als $^1/_8$ –, ¼- oder ½- Kugel, seit kurzem auch mit einer zylindrischen Verlängerung, gebaut werden. Damit kann mit ihnen ein vergleichsweises großes Speichervolumen zur Verfügung gestellt werden.

Unterhalb der Außenmembran liegt ein höherer Absolutdruck, als in der umgebenden Luft vor. Dadurch wird die Außenmembran gespannt. Das Volumen unterhalb der Innenmembran passt sich an die Gasbildung an. In der unteren Position kann sie sich auf einer Tragkonstruktion mit Mittelmast ablegen. Dadurch ergibt sich ein variabler Gasspeicher. Der Druck unterhalb der Gasmembrane richtet sich nach den Betriebszuständen. Zur Aufrechterhaltung ausreichender Druckzustände unterhalb der Gasmembrane sind ausreichend dimensionierte Nachström- oder Abströmmöglichkeiten für die Gase bzw. Abschaltwerte vorzusehen. Auf diesen Punkt wird in diesem Gutachten nicht näher eingegangen.

Bei der statischen Auslegung, d.h. es wird davon ausgegangen, dass das Gas nicht strömt, wobei ein Teil des Druckes als dynamischer Druck auftreten würde, sind drei Betriebszustände zu unterscheiden:

1. Leerer Gasspeicher: Die Gasmembrane liegt auf der Unterkonstruktion auf, der Gasdruck ist geringer oder gleich dem Stützluftdruck.
2. Teilgefüllter Gasspeicher: Der Gasdruck ist um das Eigengewicht der Gasmembran und gegebenenfalls der Vorspannung einer elastischen Folie höher als der Stützluftdruck.
3. Überfüllter Gasspeicher: Gasdruck kann auch höher als der Stützluftdruck sein. In diesem Fall könnte die innere Membrane an der äußeren anliegen und an dieser reiben. (Anmerkung: ob sich hierdurch eine elektrostatische Aufladung einstellen kann, sofern die Membranen elektrostatisch nicht leitfähig sind, bedarf bei den geringen Reibgeschwindigkeiten eines experimentellen Nachweises unter Berücksichtigung der Temperatur und der relativen Feuchte.)

Für pneumatisch vorgespannte Membransysteme ist eine permanente Überdruck-Ventilation mit dem erforderlichen Stützluftdruck notwendig. Ein Einbringen und Abführen der Stützluft erfolgt über ausreichend dimensionierte Luftein- und -auslässe, die mit einer Vorrichtung zur Druckkonstanthaltung entweder auf der Zu- oder Abluftseite ausgestattet sind. Ein Vergleich zu Vor- und Nachteilen der eingesetzten Speichersysteme ist in nachstehender Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich über Vor- und Nachteile der einzelnen Speichersysteme

Art des Speichersystems	Vorteile	Nachteile
einschalig (vgl. Abb.2 oben)	kostengünstig betrieblich einfach, da keine Stützluft erforderlich EPDM Folien haben gute Materialeigenschaften hinsichtlich Temperatur, UV-Strahlung, Ozon	nur geringes Speichervolumen nicht prüffähig hinsichtlich Dichtheit, sofern nur geringer Gasdruck betrieblich sensibel und nicht an problematische Zustände anpassungsfähig (z.B. Gewitter, Auflast), sturmempfindlich temperaturempfindlich nur begrenzte Durchmesser möglich (mit EPDM) überdehnungsempfindlich hohe Belastung Mittelmast mit Fundament bei Kegelform Wassersäcke nicht auszuschließen
zweischalig (vgl. Abb.2 unten)	großes Speichervolumen, sofern druckluftgestützt (vgl. Abb.2 unten links) an unterschiedliche Betriebszustände anpassungsfähig Dichtheit prüffähig bei mechanischer Stützung keine Luftversorgung notwendig (vgl. Abb. 2 unten rechts)	Stützluftversorgung erforderlich, bei pneumatisch gestützten Systemen (vgl. Abb. 2 unten links) teuerste Variante technisch aufwendig betrieblich aufwendig wartungstechnisch aufwendig große Gasspeicherkapazität, aber abhängig von Art der Vorspannung und des Betriebs

3.2 Bestandteile von Membransystemen

3.2.1 Membranen

Zentrales Element der Membransysteme ist die Membrane. Sie besteht entweder aus Folien oder beschichteten Geweben. Hier wird die Definition aus DWA-M 377 übernommen, nach der Folien und beschichtete Gewebe „Membranen“ genannt werden. (Anmerkung: Diese Definition ist durchaus nicht einheitlich. So werden Folien im Dichtungsbau ab einer bestimmten Dicke Dichtungsbahn genannt.) Bei der Herstellung und Nutzung eines Membransystems wird:

- Die Membrane vom Membranhersteller aus den Grundmaterialien, die dieser nach Anforderung mit genauer Festlegung der Eigenschaften zugeliefert bekommt, (Gewebe, Kautschuk oder Kunststoff, Beschichtungsstoffe) hergestellt, ggf. beschichtet und zu Bahnen aufgerollt,
- Die Membranbahn vom Konfektionär nach Schnittmustern aufbereitet (geschnitten) und entsprechend den vorgegebenen Behältermaßen und statischen Anforderungen zusammengefügt und verschweißt, sowie ggf. mit Befestigungshilfen versehen,
- Die konfektionierte Membrane von der Lieferfirma oder einem Transporteur zur Baustelle verbracht,
- Die konfektionierte und transportierte Membrane von der Baufirma an der Baustelle auf den vorbereiteten Behälter gehoben und montiert (befestigt),

- Der Behälter mit dem montierten Membransystem von dem Inbetriebnehmer mit Luft oder Gas befüllt,
- Das Membransystem von einem Prüfenden auf Dichtheit kontrolliert,
- Das Membransystem bauvertraglich abgenommen,
- Das Membransystem sicherheitstechnisch im Rahmen der Prüfungen nach Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und ggf. nach § 29a Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geprüft und
- schließlich durch den Bauherrn und Betreiber in Betrieb genommen.

Im Rahmen dieses dargestellten Ablaufs ist also insbesondere sicherzustellen, dass

- die Anforderungen an das Membransystem, die bauvertraglich aufgrund entsprechender Planungsprozesse und Vorgaben festgelegt wurden, erfüllt werden,
- die Bestimmungen des Genehmigungsbescheids erfüllt werden und
- das Membransystem die gesetzlichen Anforderungen (Sicherheitstechnik, Emissionsschutz, Stand der Technik) erfüllt.

Sodann ist zu gewährleisten, dass die Eigenschaften des Membransystems über die Betriebsdauer erhalten bleiben. Dies kann entweder durch eine entsprechende Materialwahl und Konstruktion oder durch Instandhaltung (schließt Kontrolle, Wartung, Instandsetzung und Prüfung mit ein) erreicht werden. Zentrale Anforderung an das Membransystem ist also die Gewährleitung einer definierten Qualität der Membrane spätestens ab dem Zeitpunkt der Befüllung des Biogasbehälters mit Luft oder Gas.

Eine wesentliche Eigenschaft der Membrane stellt die Zugfestigkeit dar. Die erforderliche Zugfestigkeit ergibt sich letztendlich aus der Gegenüberstellung dieser Zugfestigkeit mit der rechnerisch ermittelten Spannung unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsfaktoren- und Abminderungsfaktoren.

3.2.2 Befestigungssysteme

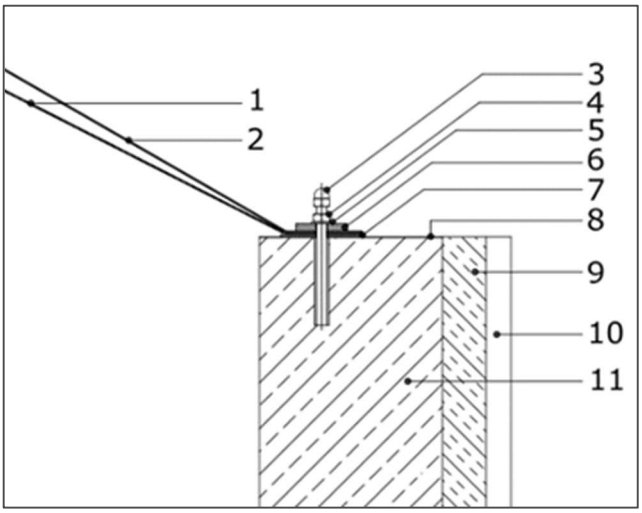
Es sind unterschiedliche Befestigungsarten auf dem Markt. Nach DWA-M 377 lassen sich diese untergliedern nach:

- Klemmschlauchverbindungen (mit Keder)
    1. in den Beton eingelassenes C-Profil,
    2. auf der Behälterkrone nach oben befestigtes C-Profil,
    3. an der Behälteraußenseite horizontal ausgerichtetes C-Profil,
    4. weitere Befestigungspositionen;
- Klemmverbindungen (mit/ohne Keder)
    1. auf der Behälterkrone,
    2. an der Behälteraußenseite
    3. weitere Befestigungspositionen,
- Klemmschienensystem,
- Rundrohr im Hohlsaum,
- weitere.

(Anmerkung: Ein Keder ist, im vorliegenden Fall, eine Randverstärkung der Membrane. Der Keder hat einen runden Querschnitt und zum Zwecke der Befestigung eine Kederfahne, die Verbindung von Membrane und Keder (zitiert nach Wikipedia). Nach der Definition im DWA-M 377 dienen Keder zur Befestigung der Membranen entlang der Ränder, z.B. in Klemmschienen oder an anderen Bauteilen. Ein Keder besteht aus einem Schlauch, einer Schnur, einem Seil oder einem Stab aus Kunststoff und verläuft am Membranrand in einer Tasche. Keder werden entweder in speziell geformten Metallprofilen geführt und gehalten oder sind hinter Klemmplatten angeordnet.)

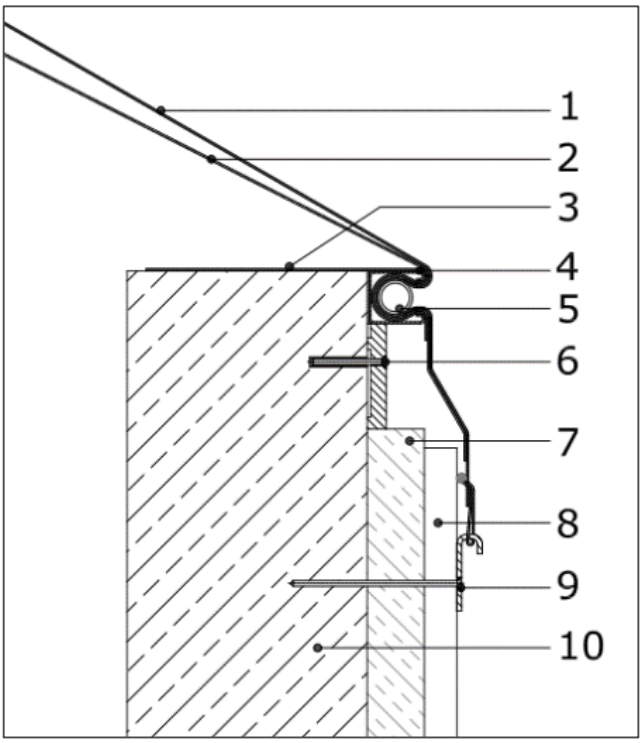
Hauptsächlich werden geschraubte Klemmverbindungen (Abbildung 3) oder Klemmschlauchverbindungen (ohne Verschraubungen) (Abbildung 4) eingesetzt. Bei den dargestellten Befestigungen handelt es sich lediglich um Beispiele. Die einzelnen Inverkehrbringer von Biogasanlagen bzw. Lieferanten von Membransystemen bieten hierzu eigene Umsetzungen an (siehe unten), die von den hier dargestellten deutlich im Detail abweichen (Aufbau, Position, Art der Dübel, Material etc.).

Abbildung 3: Folienbefestigung mit Klemmschiene



1: Innenmembran; 2: Außenmembran; 3: Klebeanker; 4: Schraube; 5: Scheibe; 6: Klemmschiene; 7: Dichtmaterial; 8: Oberflächenversiegelung / Folie auf Behälterkrone; 9: Isolierung; 10: Verkleidung; 11: Fermenterwand
(© Inreetec GmbH in DWA-Merkblatt E-DWA-M 375)

Abbildung 4: Folienbefestigung mit Klemmschlauch



1: Außenmembran; 2: Innenmembran; 3: Oberflächenversiegelung / Folie auf Behälterkrone; 4: Klemmschiene („C“-Profil); 5: Klemmschlauch; 6: Befestigung der Klemmschiene; 7: Isolierung; 8: Verkleidung; 9: Befestigung der Überlappung; 10: Fermenterwand
(© Inreetec GmbH in DWA-Merkblatt E-DWA-M 375)

Während bei der Klemmschiene die Dichtheit durch das Dichtmaterial und den Anpressdruck der Klemmschiene erzielt wird, erfolgt dies bei der Klemmschlauchbefestigung durch den Klemmschlauch und dessen Innendruck. Hierzu muss dauerhaft die Bereitstellung einer Luftdruckversorgung gewährleistet sein.

Die tatsächliche Dichtheit entzieht sich bei beiden Systemen einem rechnerischen Nachweis und kann nur empirisch belegt bzw. durch eine Dichtheitsprüfung nachgewiesen werden. Weiterhin können unterschiedlich hohe (Zug-) Kräfte von den Befestigungssystemen aufgenommen werden. In jedem Fall sind für die maßgebenden Lastfälle die erforderlichen Nachweise zu erbringen. Sollte kein rechnerischer Nachweis möglich sein, kann der Nachweis durch Zugversuche erbracht werden. Bei baugleichen Membransystemen kann dies auch als Typenprüfung erfolgen.

Relevant für den Betrieb ist die Montagefreundlichkeit, wenn die Membransysteme wiederholt geöffnet werden müssen. Nach einer Montage muss stets eine Dichtheitsprüfung wie bei einer Erstinbetriebnahme erfolgen.

Beide Befestigungstechniken wurden in der Praxis in großer Zahl angewandt. Derzeit lässt sich ein Trend empirisch weg von der Klemmschlauchbefestigung beobachten. Gründe hierfür sind wohl darin zu sehen, dass in der Praxis von Problemen mit einem Ausreißen der Membrane aus dem C-Profil (siehe Abb. 4) unter erhöhten Windlasten berichtet wird und derzeit die statischen Berechnungen (z.B. nach DWA-M 377) nicht bereitgestellt werden können (s.u.).

3.2.3 Unterkonstruktionen

Bei fast allen Membransystemen kommen Unterkonstruktionen zur Anwendung. Sie bestehen aus einem Mittelmast, der je nach Hersteller aus Edelstahl, Stahl oder Stahlbeton gefertigt ist, sowie teilweise aus einem Holzbalken- oder Spanngurtsystem zwischen Mast und Behälterrand (vgl. Abbildung 2). Der Mittelmast dient je nach Membransystem sowohl zur Vorspannung und Abstützung der Membrane als auch zur Ablage der Membrane in der unteren Lageposition (vgl. auch Abbildung 2). Die Holzbalken oder Spanngurte fungieren überwiegend als Auflager für die Membran in der unteren Lageposition und teilweise zur Stabilisierung des Mittelmastes. Die Unterkonstruktion ist ein Teil des statischen Systems und muss daher komplett (z.B. auch das Auflager) für alle Lastfälle (z.B. auch Anhaftungen von Schwefel oder Auflasten durch Begehung sowie weitere Lasten z.B. für Dämmschichten) ausreichend dimensioniert sein. Auf dem Markt werden allerdings mittlerweile auch freitragende Systeme angeboten.

3.2.4 Systeme zur Füllstandmessung

Zur Füllstandsmessung des gespeicherten Volumens an Biogas in Membrangasspeichern kommen hauptsächlich Druck-, Ultraschall- oder Seillängenmessungen teilweise an mehreren Positionen zum Einsatz. Es wird dabei die Membranauslenkung der gasspeichernden Innenmembran gemessen und hiervon der Füllstand nach den geometrischen Veränderungen abgeleitet. Da sich die Membrane ungleichmäßig verformt, sind zumindest bei größeren Membransystemen mehrere Positionen abzugreifen.

Bei der Seillängenmessung wird ein Seil von der gasspeichernden Membran nach außen geführt. Über ein in einem Rohr geführtes Gewicht kann der Füllstand direkt visuell kontrolliert und elektronisch abgegriffen werden. Dies wird z.B. über eine Ultraschallmessung, die den Abstand bis zu dem Gewicht misst, durchgeführt.

Alternativen sind Ultraschallmessungen, die überwiegend bei zweischaligen Membransystemen eingesetzt werden, bei denen eine Ultraschallsonde hierbei die Höhenveränderung der gasspeichernden Innenmembran misst, woraus der Füllstand abgeleitet werden kann. Ein Problem stellt auch die Tatsache dar, dass sich die Oberfläche der Innenmembran in ihrer Ausrichtung verändert (Abweichung von der horizontalen Ausrichtung), wodurch sich das reflektierte Signal verändert.

Ein weiteres Messprinzip beruht auf der Höhenerfassung der gasspeichernden Membrane mittels hydraulischer Kraftübertragung. Dabei wird an einem mit Flüssigkeit gefüllten Schlauchende ein Druckmessumformer angebracht, der den entstehenden Druck bei einem Höhenunterschied zum anderen Ende des Messschlauches erfasst und daraus ein zur Höhe proportionales elektrisches Signal erzeugt. Der Druckmessumformer ist dabei in der Regel an der tiefsten Stelle außerhalb des Membransystems, das freie Messschlauchende am oberen Bereich des zu messenden Objektes angebracht.

Da die tatsächliche Form der gasspeichernden Innenmembrane in Folge der zufälligen Faltenbildung nicht der Idealform z.B. eines Kugelabschnitts entspricht, ist der Zusammenhang zwischen Höhenlage eines Punktes auf der Oberfläche der Membrane und dem Volumen nicht eindeutig aus der geometrischen Form ableitbar und unterliegt einem gewissen Fehler. Daher lässt sich das Volumen (V) als Funktion der Höhe (h) nur über eine empirisch aufgenommen Höhenganglinie V = f(h) bestimmen. Hieraus lassen sich dann möglicherweise auch Angaben zur Genauigkeit machen. In der Regel wird die Höhenbestimmung und Kalibrierung der Füllstandsmessung nur in der untersten Position und in der obersten durchgeführt.

3.2.5 Stützluftgebläse

Stützluftgebläse dienen bei pneumatisch vorgespannten zweischaligen Membransystemen ohne mechanische Vorspannung der Aufrechterhaltung der Form und Stabilität der Außenmembran. Überwiegend kommen hierzu Radialgebläse zur Anwendung, die über ein zumeist aus festen und flexiblen Elementen bestehendes Rohrleitungssystem Luft in den Zwischenraum zwischen Innen und Außenmembran fördern. Da Radialgebläse eine Druckkennlinie in Abhängigkeit des geförderten Volumenstroms haben, muss das Gesamtsystem mit einer Druckkonstanthaltung ausgestattet sein. Hierzu werden Überströmeinrichtungen in das Rohrleitungssystem entweder auf der luftzuführenden oder der luftabführenden Seite als Tragluftauslass des Systems eingefügt. Bei Stillstand des Antriebs des Gebläses käme es infolge des vorhandenen Stützluftdruckes zu einem Rückwärtslaufen des Gebläses, so dass für diesen Fall eine Rückschlagklappe verhindern muss, dass die Außenmembrane zusammenfällt. Da in mittlerweile erarbeiteten Regelwerken gefordert wird, die abgeführte Luft zur Kontrolle der Dichtheit der inneren Membran (als einzige Möglichkeit) zu nutzen, wird der Tragluftauslass zukünftig nur noch auf der abführenden Seite installiert werden können. Überwiegend werden die Gebläse für Zone 1 geeignet, also mindestens gemäß Gerätekategorie 2, ausgeführt.

Eine wesentliche Aufgabe dieses Gutachtens wird es nunmehr sein, die Bauformen, der oben dargestellten Technologien, die am Markt eingesetzt werden, festzustellen, um hieraus einen Stand der Technik ableiten zu können.

4 Herstellerrecherche zu relevanten, angebotenen Anlagenteilen (AS 1)

4.1 Vorgehensweise bei der Recherche

Für die Herstellerrecherche und anschließende Befragung bezüglich der relevanten Anlagenteile, wurde zum einen auf die Datenbank des Fachverbands Biogas und zum anderen auf Marktinformationen (z.B. Internetrecherche Ausstellerverzeichnis IFAT 2016) zurückgegriffen.

Folgende in Tabelle 2 genannte Firmen wurden dabei ermittelt:

Tabelle 2: Auflistung der nach der Recherche ermittelten Marktteilnehmer

Marktteilnehmer		
AAT Abwasser- und Abfalltechnik GmbH	EnviTec Biogas AG	Ökobit GmbH
AEV Energy GmbH	ffe solutions GmbH	OSMO-Anlagenbau GmbH & Co. KG
Agraferm Technolgies AG	FK Käppner	PlanET Biogastechnik GmbH
agriKomp GmbH	Flexxolutions	Relais Textilien
AGROTEL GmbH	Fritz GmbH	Rückert NatUrgas GmbH
Archea Anlagenbau GmbH	GEVO-PLAN GmbH	Sattler Ceno TOP-TEX GmbH
Arnegger GmbH	Gilles Planen	SBBiogas GmbH
ASFE Biogas GmbH	Green Energy Max Zintl GmbH	Schaumann Biotic Systems GmbH & Co. KG
Baur Folien GmbH	greentec-service GmbH	Schmack Biogas GmbH
Bebra Biogas GmbH	Gross - Planen, Markisen, Zelte GmbH	Schwarting Biosystem GmbH
Bilgeri EnvironTec GmbH	H. Seybold GmbH & Co. KG	Seitz Electric GmbH
Binowa GmbH	Henze Harvestore GmbH	SM-Energy GmbH
BioConstruct	IF-Membrandesign	Tecon
Consentis Anlagenbau GmbH	Klärgastechnik Deutschland GmbH	W. Bergmann Säcke und Planenfabrik
Deutsche Biogas Dach-Systeme GmbH	Lipp GmbH	Walter Krause GmbH
DURAPROOF technologies GmbH	n-bio GmbH	wdk Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V.
Eisenbau Heilbronn GmbH	Nesemeier GmbH	WELTEC Biopower GmbH
Ennox Biogas Technology GmbH	Novatech GmbH	Wiefferink
ENSPAR Biogas GmbH	NQ-Anlagentechnik GmbH	Zorg Biogas AG

Zur Recherche der durch diese Firmen in Verkehr gebrachten Anlagenteile wurde diesen jeweils ein Fragebogen übersandt. Hierüber wurden Informationen zu den wesentlichen Bauteilen abgefragt. Der Fragebogen ist in der Anlage beigefügt (Kapitel 13.1).

Von den ermittelten und angefragten 57 Firmen haben sich bis zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Abschlussberichtes nur 13 zurückgemeldet. Eine der Firmen führt keine der genannten Arbeiten selbst aus, sondern beauftragt generell Nachunternehmer mit Planung und Bau der Membransysteme. Eine Firma war nicht bereit, den Fragebogen auszufüllen. Die folgenden in Tabelle 3 aufgelisteten 11 Firmen haben den Fragebogen ausgefüllt zurückgeschickt:

Tabelle 3: Auflistung der Firmenrückmeldungen aus der Marktteilnehmerbefragung

Unternehmen mit Rückmeldung		
AAT Abwasser- und Abfalltechnik GmbH	W. Bergmann Säcke und Planenfabrik	LIPP GmbH
AEV Energy GmbH	dbds - Deutsche Biogas Dachsysteme GmbH	NQ-Anlagentechnik GmbH
AGROTEL GmbH	Eisenbau Heilbronn GmbH	Sattler Ceno TOP-TEX GmbH
Baur Folien GmbH	FK Käppner	

4.2 Auswertung – Grundsätzliches

Für die Recherche wurde zunächst Grundsätzliches abgefragt, z.B. welche Tätigkeit das Unternehmen ausübt und welche Art von Membransystem angeboten wird.

Hierbei wurde in Tabelle 4 unterschieden nach Tätigkeit des Unternehmens:

Tabelle 4: Auflistung der Tätigkeiten der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung

Tätigkeit des Unternehmens	Anzahl der Unternehmen
Hersteller/ Lieferant für Membranen/ Abdeckungen (keine Rohmaterialien, z.B. Granulat, Vlies, Profile, Beschichtungen)	5
Hersteller/Lieferant für Gasspeicher einschließlich Montage	9
Generalunternehmer/Schlüsselfertiges Bauen	2
Planungsbüro	1
Sonstiges	2

(Mehrfachnennungen waren möglich.)

In Tabelle 5 wurde nach der Art des angebotenen Membransystems unterschieden.

Tabelle 5: Auflistung der Art der angebotenen Membransysteme der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung

Art des angebotenen Membransystems		Anzahl der Unternehmen
Einschalig	mechanisch vorgespannt	6
	pneumatisch vorgespannt	3
Zweischalig	mechanisch vorgespannt	4
	pneumatisch vorgespannt	7

(Mehrfachnennungen waren möglich.)

Weiterhin wurden die ermittelten Marktteilnehmer danach befragt, ob die Montage des Membransystems selbst erfolgt oder von Fremdfirmen durchgeführt wird. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Auflistung der Art der Montage der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung

Eingesetzte Bauelemente	Anzahl der Unternehmen		
	Selbst montiert	Fremdfirma	nicht relevant
Montage	8	4	0

(Mehrfachnennungen waren möglich.)

4.3 Auswertung nach Bauelementen

Nach Abfrage der grundlegenden Daten wurde abgefragt, welche wesentlichen Bauelemente die Firmen liefern. Diese sind in den beiden folgenden Tabellen (Tabelle 7 und Tabelle 8) dargestellt. Hierbei war zu klären, welche Bauteile zum Einsatz kommen und welche davon selbst hergestellt oder über Fremdfirmen bezogen werden.

Tabelle 7: Auflistung der zum Einsatz kommenden wesentlichen Bauelemente der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung

Eingesetzte Bauelemente		Anzahl der Unternehmen
Mittelstütze	Metall	8
	Holz	1
	Stahlbeton	3
Unterkonstruktion Balken	Holz	1
	Metall	1
Unterkonstruktion Gurtsystem		7
Klemmschlauch		2
Klemmschiene		5
Füllstandsmessung		7
Tragluftgebläse		7

(Mehrfachnennungen waren möglich.)

Tabelle 8: Auflistung nach Art der Herstellung der wesentlichen Bauelemente der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung

Eingesetzte Bauelemente	Anzahl der Unternehmen		
	Selbst hergestellt	Fremdfirma	nicht relevant
Membrane	5	4	1
Gasmembrane/ Außenmembrane (Konfektionierung/ Verschweißen)	5	4	0
Mittelstütze	3	4	2
Balkensystem	1	1	6
Gurtsystem	4	4	1

Eingesetzte Bauelemente	Anzahl der Unternehmen		
	Selbst hergestellt	Fremdfirma	nicht relevant
Randbefestigung	5	5	1
Füllstandsmessung	2	7	1
Stützluftgebläse (ATEX)	1	6	2

(Mehrfachnennungen waren möglich.)

4.3.1 Referenzlisten 2013 – 2015

Zusätzlich zu den verwendeten Bauteilen, wurden die Firmen danach befragt, wie viele Membransysteme sie in den Jahren 2013 bis 2015 verkauft haben. Die Ergebnisse der Befragung sind in dargestellt.

Tabelle 9: Auflistung der verkauften Membransysteme der recherchierten Firmen der Marktteilnehmerbefragung

Anbieter	2013	2014	2015	Gesamt
AAT GmbH	6	3	1	10
AEV GmbH	4	6	5	15
AGROTEL GmbH	100	70	50	220
Baur Folien GmbH	300	250	200	750
Bergmann	32	27	69	128
dbds GmbH	204	211	225	640
Eisenbau Heilbronn	0	0	0	0
FK Käppner	17	14	16	47
LIPP	23	14	8	45
NQ-Anlagentechnik	15	15	15	45
Sattler	183	203	174	560
Gesamtanzahl	**878**	**810**	**762**	**2.450**

Anhand der Firmenangaben zu deren Tätigkeitsfeldern konnten die genannten Zahlen außerdem noch jeweils diesen Feldern zugeordnet werden (vgl. Tabelle 10). Allerdings ist zu beachten, dass hierbei mehr verkaufte Membransysteme dargestellt sind, da die Unternehmen oft nicht nur eine Tätigkeit angegeben haben, sondern meist mehrere. Eine weitere Differenzierung ist daher nicht möglich.

Tabelle 10: Differenzierung der verkauften Membransysteme nach Tätigkeit des Unternehmens

Tätigkeit des Unternehmens	Verkaufte Referenzanlagen für die Jahre	
Hersteller/ Lieferant für Planen/ Abdeckungen	2013	600
	2014	537
	2015	440
Hersteller/ Lieferant für Membransysteme	2013	665
	2014	587

Tätigkeit des Unternehmens	Verkaufte Referenzanlagen für die Jahre	
	2015	523
Generalunternehmer/ Schlüsselfertiges Bauen	2013	23
	2014	21
	2015	21
Planungsbüro	2013	14
	2014	9
	2015	7

5 Anforderungen und Bewertungskriterien bestehender Regelwerke (AS 2)

5.1 Vorgehensweise bei der Recherche

Zur Bearbeitung des Arbeitsschrittes wurde eine Übersicht über die verfügbaren Unterlagen erstellt. In einer zweiten Phase wurde anschließend die Sekundärliteratur gesichtet.

5.2 Verzeichnis der relevanten staatlichen und privaten Regelwerke mit Relevanz für Membransysteme

5.2.1 Rechtsnormen

- 9. ProdSV und Maschinenrichtlinie (bisher 98/37/EG) 2006/42/EU (seit 29.12.2009 gültig)
- 11. ProdSV und Richtlinie über Geräte und Schutzsysteme für explosionsgefährdete Bereiche 94/9/EU
- 14. ProdSV und Druckgeräterichtlinie 97/23/EU
- BImSchG, StörfallV
- ChemG, GefahrstoffV
- ArbSchG, BetrSichV

5.2.2 Technische Regeln

- TRGS 529 Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas
- TRBS 1112-1 Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten - Beurteilung und Schutzmaßnahmen
- TRBS 1201 Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen
- TRBS 2152 Teile 1, 2, 4 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre
- TRGS 720 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines
- TRGS 721 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Beurteilung der Explosionsgefährdung
- TRGS 722 Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- TRGS 725 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen
- TRGS 727 Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- TRAS 320 Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind sowie Schnee- und Eislasten

5.2.3 DIN-Normen

- DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teile 1, 2, 7
- DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- DIN EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
- DIN EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
- DIN 53359, Prüfung von Kunstleder und ähnlichen Flächengebilden - Dauer-Knickversuch
- DIN 53363, Prüfung von Kunststoff-Folien - Weiterreißversuch an trapezförmigen Proben mit Einschnitt
- DIN 53380, Prüfung von Kunststoffen - Bestimmung der Gasdurchlässigkeit
- DIN 53504, Prüfung von Kautschuk und Elastomeren - Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch
- DIN EN 1779, Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung - Kriterien zur Auswahl von Prüfmethoden und -verfahren
- DIN EN 12280, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien

- DIN EN 1876, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Prüfungen bei niedrigen Temperaturen
- DIN EN ISO 1421, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung
- DIN EN ISO 2411, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen
- DIN EN ISO 13934, Textilien - Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden
- DIN EN 12195-2, Zurrgurte aus Chemiefasern
- DIN EN 14291, Schaumbildende Lösungen zur Lecksuche an Gasinstallationen
- VDI 4285 Blatt 1, Messtechnische Bestimmung der Emissionen diffuser Quellen, Grundlagen, Juni 2005

5.2.4 Berufsgenossenschaftliche Regeln

- Technische Information 4 - Sicherheitsregeln für Biogasanlagen (Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau)
- DGUV-Regel 113-001, Explosionsschutz-Regeln
- einschlägige Unfallverhütungsvorschriften

5.2.5 Technisch-wissenschaftliches Regelwerk

- DVGW Arbeitsblatt G 436-1 Biogasspeichersysteme - Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Standfestigkeit (inhaltsgleich mit DWA-M 377)
- DVGW Arbeitsblatt G 436-2 Technische Dichtheit von Membranspeichersystemen (inhaltsgleich mit E-DWA-M 375)
- DVGW Arbeitsblatt G 469 Druckprüfverfahren Gastransport/ Gasverteilung
- DVGW Arbeitsblatt G 600 Technische Regeln für Gas-Installationen
- DVGW Arbeitsblatt G 465-4, Gasspür- und Gaskonzentrationsmessgeräte für die Überprüfung von Gasanlagen
- DWA-M 212, Technische Ausrüstung von Faulgasanlagen auf Kläranlagen
- DWA-M 217, Explosionsschutz für abwassertechnische Anlagen
- DWA-M 363, Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen
- DWA-M 376, Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membrandichtung
- DWA-M 377, Biogas-Speichersysteme - Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen (inhaltsgleich mit DVGW Arbeitsblatt G 436-1)
- E-DWA-M 375 (Entwurf-Gelbdruck), Technische Dichtheit von Membranspeichersystemen (inhaltsgleich mit DVGW Arbeitsblatt G 436-2)
- VdS 3470 Biogasanlagen
- VDI 3475 Blatt 4, Emissionsminderung, Biogasanlagen in der Landwirtschaft, Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger
- VDI/VDE 2180, Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik
- VDE 0165-1, Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen
- VDE 0170/0171, Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche

5.2.6 Sonstiges

- Biogashandbuch Bayern - Materialienband (Bayerisches Landesamt für Umwelt)
- Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen (Österreichisches Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft)
- KTBL und FNR: Faustzahlen Biogas

5.3 Auswertung – Zum Begriff „Stand der Technik/ Sicherheitstechnik“

5.3.1 Zum Begriff „Stand der Technik“

In den überwiegenden Fällen werden Biogasanlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigt. Wird in der Biogasanlage die Mengenschwelle für entzündbare Gase nach der Störfall-Verordnung (12.BImSchG) überschritten, so ist die Störfall-Verordnung einzuhalten. Teilweise wurden oder werden Biogasanlagen nach Baurecht genehmigt. Auch diese so genehmigten Anlagen unterliegen als „nicht genehmigungsbedürftige Anlagen“ dem BImSchG. Hieraus erwachsen dem Betreiber bestimmte Pflichten, bei deren Erfüllung Anforderungen nach dem Stand der Technik oder dem Stand der Sicherheitstechnik eine wesentliche Rolle spielen. Hierbei ergibt sich folgender Sachverhalt:

- Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen: Solche Anlagen sind nach § 22(1) BImSchG so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem **Stand der Technik** vermeidbar sind und nach dem Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Diese Vorgaben entsprechen dem Prinzip der Gefahrenabwehr.
- Genehmigungsbedürftige Anlagen sind nach § 5(1) BImSchG so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können (dies entspricht dem Prinzip der Gefahrenabwehr) und Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem **Stand der Technik** entsprechenden Maßnahmen (was dem Vorsorgeprinzip entspricht).
- Anlagen, die zusätzlich zum BImSchG oder Baurecht auch der StörfallV unterliegen: Es ergibt sich aus den allgemeinen Betreiberpflichten nach § 3 (1) StörfallV: Der Betreiber hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern; Verpflichtungen nach anderen als immissionsschutzrechtlichen Vorschriften bleiben unberührt. (3) Über (1) hinaus sind vorbeugend Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten. (4) Die Beschaffenheit und der Betrieb der Anlagen des Betriebsbereichs müssen dem **Stand der Sicherheitstechnik** entsprechen.

(Anmerkung: Entsprechend hat auch der Arbeitsgeber nach § 4 Betriebssicherheits-Verordnung (BetrSichV) bei Arbeitsmitteln und nach § 7 Gefahrstoff-Verordnung (GefahrstoffV) bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen dem Stand der Technik entsprechende Schutzmaßnahmen zu treffen.)

Damit bekommen die Begriffe „Stand der Technik“ bzw. „Stand der Sicherheitstechnik“ für die Bereiche, wo es um schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren und erhebliche Nachteile geht sowie erhebliche Belästigungen (bei genehmigungsbedürftigen Anlagen) im Rahmen der Errichtung und des Betriebes eine wesentliche Bedeutung. Unter schädlichen Umwelteinwirkungen werden dabei im Sinne des BImSchG Immissionen verstanden, die nach Art, Ausmaß und Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Im Mittelpunkt stehen somit die Immissionen, denen Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen vorausgehen. Der „Stand der Technik“ soll daher wegen seiner zentralen Bedeutung näher betrachtet werden.

Der Begriff „Stand der Technik“ grenzt sich zum Begriff „allgemein anerkannte Regel der Technik“ ab[1]. Dies führt nach Einschätzung der Autoren in Fachdiskussionen häufig zu Missverständnissen, z.B. werden in den VDI-Richtlinien die dortigen Ausführungen als Stand der Technik bezeichnet, was sie aber a priori nicht sind, sondern grundsätzlich „allgemein anerkannte Regeln der Technik“, die allenfalls im Einzelfall dem Stand der Technik entsprechen können. So sind z.B. nach Biogashandbuch Bayern:

> *[…] Gasversorgungsanlagen als Energieanlagen […] so zu errichten und zu betreiben, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten. Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn bei Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und Abgabe von Gas die technischen Regeln der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) eingehalten worden sind.*

Bei der Realisierung von Membransystemen in der Praxis hat nach den Anforderungen des DVWG der Lieferant seine Lieferleistung insgesamt bzw. einzelne Elemente davon, dem Bauherrn frei von Sachmängeln, was aber noch nicht automatisch die Einhaltung eines Standes der Technik oder eines Standes der Sicherheitstechnik bedeutet, zu verschaffen. Dies ist in der Regel Gegenstand der Vereinbarungen z.B. auch nach VOB und entspricht der deutschen Rechtssetzung und -sprechung bei Werkverträgen. Dabei richtet sich die Qualität der Lieferleistungen, damit sie bei der Abnahme frei von Sachmängeln ist, nach der vereinbarten Beschaffenheit und den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Sofern eine Beschaffenheit, auch im Detail, nicht vereinbart ist, ist die Abnahme dann frei von Sachmängeln, wenn sie sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte, sonst für die gewährleistete Verwendung, eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Beschaffenheit üblich ist und die der Auftraggeber nach der Art der Leistung erwarten kann. (Anmerkung: Da es zwischenzeitlich eine Vielzahl von Membransystemen gibt, die teilweise auch weitgehend baugleich sind, dürfte diesen Anlagen der Status „realisiert nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik“ nicht abzusprechen sein.)

Infolgedessen hat der Betreiber die Leistungen detailliert zu beschreiben, wenn er eine konkrete Ausführung anstrebt, insbesondere dann, wenn ein „Stand der Technik“ verwirklicht werden soll. Eine solche detaillierte Beschreibung der Lieferleistung z.B. in einem Leistungsverzeichnis wird bei Biogasanlagen somit notwendig sein, sollen nicht nur die allgemein anerkannten Regeln der Technik realisiert werden. (Anmerkung: Werden die Anlagen nach Baurecht genehmigt, so ist nicht nur nach Vertragsrecht sondern auch nach Baurecht lediglich die Einhaltung der „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ gefordert.)

Die Umsetzung eines Standes der Technik wird in der Regel auch durch die immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsbescheide so vorgegeben. In der Praxis nach den Erfahrungen des Autors als Sachverständiger nach §29a/b BImSchG jedoch nur mit einem geringen Detaillierungsgrad. Daher muss bei einer konkreten Ausführung der Stand der Technik für den Einzelfall vorgegeben werden. Die Fragen sind also: Was ist in dem beschriebenen Zusammenhang „Stand der Technik“ und wie wird er abgeleitet? Dazu zunächst die Definition aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Der Begriff „Stand der Technik“ ist dort wie folgt definiert:

> *Stand der Technik im Sinne dieses Gesetzes ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst*

---

1 Vgl. BVerfG: Beschluss vom 8. August 1978 Az. 2 BvL 8/77 (Schneller Brüter, Kalkar I) RdNr. 114 ff. (https://openjur.de/u/166332.html)

> *zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere die in der Anlage [dieses Gesetzes] aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen.*
>
> *- § 3 Abs. 6 BImSchG*

Die Anlage zu § 3 Abs. 6 BImSchG nennt folgende Kriterien zur Bestimmung des aktuellen Standes der Technik:

> *Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen sowie des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung, jeweils bezogen auf Anlagen einer bestimmten Art, insbesondere folgende Kriterien zu berücksichtigen:*

1. *Einsatz abfallarmer Technologie,*
2. *Einsatz weniger gefährlicher Stoffe,*
3. *Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle,*
4. *vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im Betrieb erprobt wurden,*
5. *Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen,*
6. *Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen,*
7. *Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen,*
8. *für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit,*
9. *Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz,*
10. ***Notwendigkeit,** die Gesamtwirkung der Emissionen und **die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern,***
11. ***Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für den Menschen und die Umwelt zu verringern,***
12. *Informationen, die von internationalen Organisationen veröffentlicht werden,*
13. *Informationen, die in BVT-Merkblättern enthalten sind.*

> *- Anlage (zu § 3 Abs. 6 BImSchG)*

Erläuterungen zur Ermittlung des Standes der Technik im Sinne der GefahrstoffV gibt TRGS 460 (2014).

5.3.2 Zum Begriff „Stand der Sicherheitstechnik“

Vergleichbares wie zum „Stand der Technik“ ausgeführt, gilt zum „Stand der Sicherheitstechnik“. Auch hier ist der Begriff zu den „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ abzugrenzen. Somit müssen auch nur die Anlagen den „Stand der Sicherheitstechnik“ erfüllen, von denen dies ausdrücklich gesetzlich verlangt wird, also die Anlagen, die unter die Störfallverordnung fallen.

Der Begriff „Stand der Sicherheitstechnik“ ist dort, also in der 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung - 12. BImSchV) definiert:

> *[Der] Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung ihrer Auswirkungen gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind.*
>
> *- § 2 Nr. 5 12. BImSchV*

Vorgaben zur Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik finden sich in: Leitfaden der Störfall-Kommission: Schritte zur Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik (SFK-GS-33, Bonn 2002).

Für den konkreten hier vorliegen Fall der Membransysteme geht es also somit darum, ausgehend von Biogasanlagen, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen, also Anlagen, die entweder nach anerkannten technischen Regeln (z.B. DVGW-Richtlinien) errichtet oder zumindest mehrfach nahezu baugleich realisiert wurden, Anlagen- bzw. Bauteile zu identifizieren, die hinsichtlich bestimmten Anforderungsprofilen (Emissionsverminderung bzw. Erhöhung der Anlagensicherheit) dem Stand der Technik / Sicherheitstechnik entsprechen, also eine Verbesserung bedeuten, technisch realisierbar und wirtschaftlich zumutbar sind sowie großtechnisch in der konkreten Anwendung eine Einsetzbarkeit unter Betriebsbedingungen erwarten lassen.

Daher soll dies im Folgenden zunächst nach der obigen Systematik im Kapitel 3.2 „Bestandteile von Membransystemen“ aufgrund der Markt- und Regelwerksrecherche bearbeitet werden.

5.4 Auswertung – nach Bestandteilen von Membransystemen incl. statischen Nachweisen sowie Planung, Qualitätssicherung bei Produktion, Errichtung, Betrieb und Instandhaltung

5.4.1 Vorbemerkung

Die Realisierung von Membransystemen als Teil einer Biogasanlage basiert auf einem Planungsprozess in verschiedenen von den Wünschen des Bauherrn abhängigen Phasen, in dessen Verlauf auch die Antragsunterlagen zum Erhalt einer Genehmigung erstellt werden. Aus diesen Unterlagen muss hervorgehen, wie die gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden. Hierzu gehören Maßnahmen hinsichtlich des Schutzes vor schädlichen Umwelteinwirkungen (z.B. durch Emissionsminderung) und dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren (z.B. Sicherheit). Dies ist in den Genehmigungsunterlagen zu beschreiben. In Verbindung mit den Auflagen aus dem Genehmigungsbescheid werden diese Maßnahmen, soweit sie technisch umzusetzen sind, in Verbindung mit der Beschaffung der Gesamtanlage ggf. ausgeschrieben und beschafft. Im Falle von Membransystemen betrifft dies in der Praxis folgende technischen Merkmale/Anforderungen, die in (bau)vertraglichen Schriftstücken festgeschrieben werden:

- Technologie des zu liefernden Membransystems
- Volumen des zu liefernden Membransystems
- minimale/maximale zulässige Betriebsdrücke
- Speicherabmessungen
- Volumenströme bei Biogasbeschickung und -entnahme
- Lastannahmen
- Erforderliche zu führende Nachweise zur Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit
- Anforderungen an die Membranbeschaffenheit
- Qualität der Unterkonstruktion
- Qualitätsanforderungen
- zu liefernde Dichtheitsnachweise
- Anforderungen an die zu liefernden Dokumentation

Diese Festlegungen werden insbesondere im Hinblick auf Vorgaben aus behördlichen Genehmigungsbescheiden sowie aus den einschlägigen Regelwerken getroffen.

Die zu bearbeitende Fragestellung war,

1. zu ermitteln, wo in den einschlägigen Regelwerken allgemeine und wo spezifische Anforderungen gestellt werden,
2. festzustellen, welche davon den Stand der Technik/Sicherheitstechnik konkretisieren, und diese Anforderungen – soweit erforderlich- zu ergänzen,
3. die Kriterien anhand von Beispielen zu erproben und
4. auf der Basis der Kriterien und der Erkenntnisse aus der Recherche nach real angebotenen Membransystemen Zulassungsanforderungen oder Anforderungen für die geplante TRAS Biogasanlagen vorzuschlagen.

Nachfolgend die Ergebnisse aus Nr. 1 und 2.

5.4.2 Anforderungen an das Membran- und Folienmaterial

Für in Membransystemen eingesetzte Membranen und Folien existiert eine Reihe von Vorgaben. Es lassen sich in der Literatur folgende grundlegenden Anforderungen an die Eigenschaften finden: Insbesondere in DWA-M 376 und VdS 3470 werden allgemeine Anforderungen an die Methandichtheit (Permeabilität), Druckfestigkeit, statische Aufladung, Entflammbarkeit, Medien-, UV-, Temperatur- und Witterungsbeständigkeit aufgestellt. Es werden Mindestanforderungen hinsichtlich Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Gasdurchlässigkeit bezogen auf Methan (auch als Methan-Permeationsrate bezeichnet) sowie Temperaturbeständigkeit genannt (Werte siehe unten).

Der Stofftransport durch Membranen ist ein komplexer Vorgang. Eine ausführliche Darstellung würde die vorliegende Arbeit sprengen. Wesentlich ist zu unterscheiden, dass Diffusion und Sorption den Stofftransport durch dichte Membranen bewirken, während konvektive Prozesse den Transport in porösen Membranen dominieren. Die hier besprochenen Membranen lassen sich durch Diffusions- und Sorptionsprozesse gut beschreiben. Dies bedeutet, dass davon ausgegangen wird, dass durch die Membranen infolge der extrem kleinen Poren ein konvektiver Transport auch bei größeren manometrischen Druckunterschieden nicht auftritt. Letztendlich lässt sich der durch eine Membrane hindurchtransportierte (diffundierende) Gasvolumenstrom mathematisch wie folgt beschreiben:

$$Q_v = P \cdot A_{MF} \cdot (P_1 - P_2)/s$$

mit:

Q_v : Gasvolumenstrom in m^3/s

P : Permeationszahl in $m^2/(s \cdot * \text{ bar})$

A_{MF} : Oberfläche der Membrane, Permeationsfläche in m^2

P_1, P_2 : Partialdrücke in bar

s : Membrandicke in m

(Anmerkung: die Diffusion, die dieser mathematischen Formulierung zugrunde liegt, hängt maßgeblich vom Konzentrationsgradienten ab; daher geht in die Gleichung der Partialdruck ein. Es handelt sich also bei der Druckangabe um die Angabe des Partialdruckes auf der Seite des zuströmenden Gases und des Partialdruckes auf der Seite des abströmenden Gases. Die Angabe einer Partialdruckdifferenz von 1000 hPa bedeutet für den hier besprochenen Fall, dass die Methankonzentration auf der zuströmenden Seite 100 % beträgt und auf der abströmenden Seite 0 %)).

Die Gasdurchlässigkeit bei Membranen wird in der Praxis überwiegend nach DIN 53380-2 gemessen. Hierbei handelt es sich um eine definierte Versuchsanordnung, bei der für die Membrane ein Wert auf der Basis des oben genannten Diffusionsgesetzes ermittelt wird, der aber als Gasdurchlässigkeit bzw. als Methanpermeationsrate mit den Einheiten $ml/(m^2 \cdot d \cdot 1000 \text{ hPa})$ angegeben wird. Die Angabe von

1000 hPa bezieht sich somit auf den Partialdruck und gibt an, dass der Wert auf einen Gradienten von reinem Methan gegen Null Prozent Methan bezogen ist. (Dabei tritt kein konvektiver Transport auf!). Insoweit lässt sich aus diesem Wert nicht unmittelbar der Gasvolumenstrom nach obiger Gleichung berechnen. Im Grundsatz ist aber die Gasdurchlässigkeit bzw. die Methanpermeationsrate ein durch eine bestimmte (daher ist die Angabe dickenunabhängig) Membrane flächennormierter (d.h. pro Quadratmeter) diffundierender reiner Methanvolumenstrom. Die Angabe einer Gasdurchlässigkeit ist daher zunächst als ein Materialkennwert für eine bestimmte Membrane zu betrachten. Auch mittels der Permeationsrate lässt sich die Gesamtemission über die Membrane ermitteln. Soll also aus der Methanpermeationsrate auf die Emission über eine Membrane geschlossen werden, müsste der Wert für die Methanpermeationsrate mit der Fläche und dem tatsächlichen Partialdruckgefälle von Zustrom zu Abstrom multipliziert werden (siehe Abschnitt 5.4.8.2).

Da die Diffusion von der Dicke der Membrane abhängig ist, kann die Permeation auf eine bestimmte Dicke (z.B. 1 mm) normiert werden. Werden also z.B. bestimmte Werte für eine einzuhaltende Permeationsrate vorgegeben, so können diese möglicherweise auch über eine Erhöhung der Dicke erreicht werden. Die dickenbezogene Angabe der Gasdurchlässigkeit wird auch als Permeationskoeffizient bezeichnet.

In der Literatur werden für Anforderungen an die Methan-Permeationsraten nach DIN 53380-2 von Membranen unterschiedliche Werte genannt. Werte über 500 ml/(m^2·d·1000 hPa) sind für Neuanlagen nicht mehr allgemein anerkannte Regel der Technik. PVC-beschichtete Polyestergewebe können Werte unter 250 ml/(m^2·d·1000 hPa) erreichen. Allerdings ist das Prüfverfahren derzeit umstritten (Mitteilung Autor). Da die Messkammer auf der Kontrollseite evakuiert wird, lassen sich die Ergebnisse möglicherweise nicht in die reale Situation übertragen. Es wird vermutet, dass das tatsächlich permeierende Methanvolumen deutlich geringer ist. In jedem Fall ist der permeïerende Volumenstrom wesentlich geringer als jener, der bei einer Leckage durch konvektive Transporte (durch Druckdifferenzen) bedingt auftritt. Zudem verhalten sich die verschiedenen Membrantypen unter den Untersuchungsbedingungen unterschiedlich. Derzeit gibt es zu dem Prüfverfahren (siehe unten) keine Alternative, jedoch sollten für die einzelnen Membrantypen Versuchsreihen mit unterschiedlichen Randbedingungen gefahren werden, um die Versuchsanordnung ggf. an die speziellen Anforderungen anpassen zu können.

Zum Nachweis der Tragfähigkeit wird die einachsige Zugfestigkeit der Membrane benötigt. Ausgangsgröße der Bestimmung des Bemessungswertes der Zugfestigkeit ist die mittlere Zugfestigkeit eines einachsigen Zugversuchs mit mindestens 5 Versuchen in Kette- und Schussrichtung bei Geweben und MD- und TD-Richtung (MD= machine direction, TD=transverse direction) bei Folien. Die Ermittlung der Werte unterteilt sich noch zusätzlich in den Grundwerkstoff, die Nähte und die Befestigungen. Für die Werte müssen noch Abminderungsfaktoren angegeben werden, um Umwelteinflüsse, Langzeitverhalten, Konfektionierung zu berücksichtigen (zitiert nach DWA-M 377). Die Ermittlung der Abminderungsfaktoren trifft somit auch auf die Nähte und Befestigungen zu.

Nach BMWFW (2013) wird hinsichtlich der UV-Beständigkeit gefordert, dass entsprechende Eignungsdauern durch die Hersteller anzugeben sind.

Zur Temperaturbeständigkeit existieren unterschiedliche Vorgaben. Nach DWA-M 376 (2006), VdS 3470 (2016)) beträgt der einzuhaltende Mindestbereich -30°C bis +50°C, nach BMWFW (2013) -30°C bis +70°C und in SVLFG (2015) wird lediglich die „Temperaturbeständigkeit für den Anwendungsfall „mesophiler, thermophiler Vergärungsprozess“ gefordert.

Eine wichtige Eigenschaft von Kunststoffen ist, ob sie für elektrische Ladungen leitfähig, ableitfähig oder isolierend sind. Mit zunehmendem Oberflächenwiderstand nimmt die Eigenschaft leitfähig zu sein ab. Unterhalb von 10^4 Ω ist ein Material in den meisten Fällen leitfähig und oberhalb von 10^9 Ω in den meisten Fällen isolierend (vgl. TRGS 727 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer

Aufladungen“ vom 29.7.2016). Leitfähig nach TRGS 727 ist ein Medium oder Material mit einem spezifischen Widerstand $\leq 10^4\ \Omega$. Nach TRGS 727 kann weiter ausgeführt werden:

> *„Aufladbar sind isolierende Medien sowie Gegenstände und Einrichtungen aus isolierenden Materialien. Aufladbar sind auch nicht mit Erde verbundene leitfähige oder ableitfähige Gegenstände und Einrichtungen. Ableitfähige Medien oder Gegenstände und Einrichtungen aus ableitfähigen Materialien speichern dagegen keine gefährliche elektrische Ladung, wenn sie mit Erde in Kontakt stehen.“*

Unter DWA-M 376 (2006), BMWFW (2013) wird gefordert, dass zur Verhinderung von elektrostatischen Aufladungen ein Ableitwiderstand von $\leq 10^6\ \Omega$ und ein Oberflächenwiderstand $\leq 10^9\ \Omega$ sicherzustellen ist. Um dies zu gewährleisten, ist der Nachweis über den ordnungsgemäßen Einbau der Membranen nach den Vorgaben des Membranherstellers erforderlich. Um die Ableitung der elektrischen Ladungen im Falle einer Aufladung zu gewährleisten, muss die Ladung aus der Fläche, also auch über die Nähte, ggf. über die Befestigungselemente und die Behälterwand zur Erdungselektrode (dient zur Ableitung von elektrischen Strömen ins Erdreich) abgeleitet werden.

Dieselben Werte werden z.B. auch in der DGUV Regel 114-005 Deponien für Gasleitungen in explosionsgefährdeten Bereichen zum Ausschluss von Zündgefahren durch elektrostatische Aufladung vorgegeben.

Die TRGS 727 verlangt zur Erdung im elektrostatischen Sinne einen Ableitwiderstand von $\leq 10^6\ \Omega$. Nach der TRGS ist ableitfähig:

- Ein Medium oder ein Material mit einem spezifischen Widerstand von mehr als $10^4\ \Omega$ und weniger als $10^9\ \Omega$

  oder

- Ein Gegenstand oder eine Einrichtung

  a) mit einem Oberflächenwiderstand zwischen $10^4\ \Omega$ und $10^9\ \Omega$, gemessen bei 23°C und 50 % relativer Luftfeuchte

  oder

  b) mit einem Oberflächenwiderstand zwischen $10^4\ \Omega$ und $10^{11}\ \Omega$, gemessen bei 23°C und 30 % relativer Luftfeuchte (mit sinkender Luftfeuchte nimmt der Oberflächenwiderstand in der Regel beträchtlich zu.

Insgesamt kommt es mit abnehmender Feuchtigkeit leichter zu einer Aufladung und damit zu einer höheren Aufladung verbunden mit einem höheren Zündrisiko. Allerdings ist die Ableitfähigkeit bei abnehmender Feuchtigkeit von 30 % auch bei $10^{11}\ \Omega$ noch ausreichend. Wichtig ist, dass die Membrane die Nachweise bei den entsprechenden Bedingungen erbringt. Letztendlich ist davon auszugehen, dass die oben genannten Bedingungen identisch sind, d.h. die Oberflächenwiderstände bei der entsprechenden Luftfeuchte bei derselben Membrane bei den genannten Luftfeuchten die genannten Oberflächenwiderstände annehmen. Daher wird in Abschnitt 9 nur ein Zielwert von $10^9\ \Omega$ vorgeschlagen.

Zur Reißfestigkeit im Belastungszustand werden in der Literatur unterschiedliche Werte vorgegeben:

- nach BMWFW (2013) Reißfestigkeit mindestens 3.000 N / 5 cm bzw.
- nach SVLFG (2015), (LfU o.J.) Reißfestigkeit mindestens 500 N / 5 cm oder Zugfestigkeit mindestens 250 N / 5 cm

Herstellerbescheinigungen benennen überwiegend die Art des Werkstoffes, Gasdurchlässigkeit für Methan, Reißfestigkeit, Weiterreißkraft und Zugfestigkeit, Temperaturbeständigkeit, zulässiger Betriebsdruck, Flächengewicht, Brennverhalten gemäß DIN 75200 sowie die Oberflächenqualität (selbst-

reinigend). Die Firma Sattler nennt z.B. die in Tabelle 11 angegebenen Werte für ihr Produkt 964 Polyplan Biogas Type III FR. Andere Hersteller liefern ähnliche Produkte. Dabei ist anzumerken, dass die genannten Werte typenabhängig sind, also nicht verallgemeinert werden können. Insbesondere wird die erforderliche Zugkraft stets von der statischen Berechnung vorgegeben und entsprechend angepasst. Nach Angaben eines Generalunternehmers ist der in der Tabelle angegebene Wert für die Höchstzugkraft der höchste für eine am Markt verfügbare Membrane. Wie aus der Liste zu entnehmen ist, wird ein Wert für den Oberflächenwiderstand bezüglich der Anforderung an die elektrostatische Leitfähigkeit nicht angegeben.

Tabelle 11: Angaben der Firma Sattler für ihre Gewebemembrane 964 Polyplan Biogas Type III FR (Mitteilung an den Autor)

(allgemeine Angaben: Polyestergewebe, beidseitig PVC beschichtet und lackiert, Oberseite hochglanzgeprägt, fungizid und erhöht UV-beständig ausgerüstet, schwer entflammbar, cadmiumfrei)

Größe	Normungsbezug	Webrichtung	Wert
Gewebe	DIN 60001	Kette/Schuss	PES/PES
Bindung	DIN ISO 9354		Panama
Fadenfeinheit	EN ISO 2060	Kette/Schuss	1670 dtex/1670 dtex
Flächengewicht	DIN EN ISO 2286-2		1150 g/m²
Höchstzugkraft	DIN EN ISO 1421	Kette/Schuss	5600 N/5 cm / 5400 N/ 5 cm
Weiterreißkraft	DIN 53363	Kette/Schuss	1000 N / 900 N
Haftung	DIN EN ISO 2411	Kette/Schuss	150 N/5 cm / 150/5 cm
Kältebeständigkeit	DIN EN 1876-1		-30 °C
Wärmebeständigkeit	IVK/Pkt.5		+70 °C
Lichtechtheit	DIN EN ISO 105-B02		Min 7
Brennverhalten**	DIN 4102 /EN 13501-1		B1
Knickfestigkeit	DIN 53359 A		Keine Rissbildung nach 100.000 Knickungen
Biogasbeständigkeit			*
Einsatzzweck			Schwerbrennbare Innen- und Außenmembran von Biogas- und Kläranlagen Typ III

*Zusammensetzung wie in Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen Pkt. 1.3. angeführt beständig (bei zu hohem Anteil an Schwefelwasserstoff kann es zu Verfärbungen kommen. Anmerkung Verfasser: dort ist genannt σ(H_2S) 0,01-0,4 %, Spuren von NH_3, H_2, N_2, CO)

**Zeile durch Verfasser modifiziert

Der Hersteller gibt noch folgende Hinweise:

> *„Die angegebenen Werte sind Nennwerte mit einer Toleranz von 5%. Die Werte sollen ohne Rechtsverbindlichkeit informieren. Die angegebenen Werte sind Erfahrungswerte aus laufenden Produktionen und stellen keine Beschaffenheitsvereinbarungen dar. Sie beziehen sich auf die gelieferte Ware im Ursprungszustand ohne Ver- und Bearbeitung durch den Kunden. Die Zurverfügungstellung der Daten erfolgt nur zu Informationszwecken und*

> *dient lediglich als Anhaltspunkt. Es befreit den Kunden nicht davon, vor Ver- und Bearbeitung des Produkts eine selbstständige Prüfung auf Eignung für den vom Kunden vorgesehenen Einsatzzweck und der daraus folgenden Haftung vorzunehmen."*

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass solche Untersuchungen nach den Informationen aus den unten dargestellten Befragungen ausschließlich im Einwirkungsbereich der Konfektionäre durchgeführt werden.

Dehnbare Gasmembranen, die die Eigenschaft „Reißfestigkeit" nicht erfüllen, müssen nach BMWFW (2013) mit einer Sekundärkonstruktion (z.B. Netz ...) gesichert werden. Für die Kombination Sekundärkonstruktion und Membran muss der Nachweis erbracht werden, dass die gleiche Sicherheit erreicht wird, wie bei alleiniger Anwendung einer Membrane mit den [in der technischen Grundlage] ausgewiesenen Eigenschaften.

Ebenso ist nach BMWFW (2013)

> *„die Lebensdauer der Membran grundsätzlich in Form einer Werksbescheinigung anzugeben. Die Membran ist vor Ablauf der angegebenen Frist auszutauschen. Wird keine Lebensdauer angegeben, ist eine Lebensdauer von 3 Jahren anzunehmen. Bei über die genannten Lebensdauerfristen hinausgehender Verwendung ist die weitere Eignung durch das Gutachten einer akkreditierten Prüfstelle nachzuweisen und es ist die Restlebensdauer bzw. die Frist bis zur nächsten Überprüfung im Gutachten anzugeben".*

(Anmerkung: Diese Forderung steht in einem gewissen Widerspruch zur unten angegebenen Forderung nach einer wiederkehrenden Dichtheitsprüfung alle 10 Jahre dar.)

Anmerkung: Zur Minimierung von Emissionen werden in der Literatur insbesondere zahlreiche Hinweise zum und (Anfahr-)Betrieb, Umgang mit Betriebsstörungen und zur Instandhaltung gegeben.

5.4.3 Befestigungssysteme

Nach dem DVGW Regelwerk müssen Verbindungen im Gasbereich technisch dicht ausgeführt sein und dies auf Dauer bleiben. Dies trifft auch auf gasbeaufschlagte, lösbare Verbindungen zu. Der Nachweis der technischen Dichtheit gilt als geführt, wenn bei einer Dichtheitsprüfung mit einem Leckageerkennungsschaum kein Befund festgestellt wird. Wie oben ausgeführt, entspricht diese Forderung den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Tatsächlich kann bei den an Biogasanlagen eingesetzten Befestigungstechniken, wie diese oben dargestellt werden, diese Befundfreiheit erreicht werden. Insoweit würde eine Weiterentwicklung der Befestigungstechnik zur Erreichung eines Standes der Technik (zur Weiterentwicklung der allgemein anerkannten Regeln der Technik) hinsichtlich der Dichtheit keinen nennenswerten Fortschritt bringen, da die Restdurchlässigkeiten nach der negativen Schaumprüfung bereits minimal sind.

In der Literatur bzw. im Regelwerk werden Befestigungstechniken für Membranen an der Behälterwand nur sehr generell beschrieben. Nach SVLFG (2015) kann, wie oben beschrieben, zum Beispiel die Membran am Substratbehälter mittels Klemmschiene und in die Membran eingearbeitetem Keder (Beschreibung siehe auch oben: Randverstärkung der Membran z.B. eingearbeitetes Seil.) befestigt werden. Ebenso kann die Membrane am Behälter mittels Klemmschlauchverbindung (ohne Verschraubung) befestigt werden DWA-M 376 (2006). Der Druck in den Klemmschläuchen muss über einen ausreichend langen Zeitraum auch bei Stromausfall oder Ausfall der Druckbereitstellung aufrecht erhalten bleiben. Die Überbrückung eines Zeitraums von 6 Stunden stellt kein Problem dar.

Die in der Praxis eingesetzten Befestigungen sind ausschließlich von den Lieferanten bereitgestellte Techniken nach eigener individueller Konzeption. Dies bedeutet, dass sämtliche Abmessungen, die Materialwahl und der Ort der Befestigung am Behälter nach dem Firmen- oder Planerkonzept vorgenommen werden.

Wesentlich ist nun, dass für alle tragenden Bauteile die Gebrauchstauglichkeit und die Tragfähigkeit im Grenzzustand nachgewiesen werden muss. Zu den tragenden Bauteilen gehören auch die Befestigungen. Daher müssen für sämtliche Befestigungen die Nachweise geführt werden. Je nach Ausführung des Befestigungssystems (inklusive Verankerungstechnik) und der Materialeigenschaften der Innen und Außenmembrane (Reibungskoeffizient, Zugfestigkeit etc.) können unterschiedlich hohe Kräfte aufgenommen werden. Die erforderlichen Nachweise können rechnerisch erfolgen. Sollte jedoch kein rechnerischer Nachweis möglich sein, kann der Nachweis durch Zugversuche erbracht werden. Für mechanisch vorgespannte Membranen ist auch das Befestigungssystem am Mastkopf nach E-DWA-M 375 (2016) nachzuweisen. Wesentlich ist dabei, dass diese Nachweise für alle relevanten Lastfälle, diese können auch betrieblich bedingt sein, für die konkrete Situation geführt werden. Jedoch konnte der Literatur kein Zusammenhang zwischen Tragfähigkeit und Dichtheit entnommen werden. Ob also die Gebrauchstauglichkeit, hier Dichtheit, unter Grenzbelastung erhalten bleibt, ist bislang nicht belegt und nur durch Erfahrung bestätigt.

Nach den Erfahrungen des Autors werden solche rechnerischen Nachweise aktuell bei Prüfungen nicht vorgelegt. Offensichtlich enthält die Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit der Befestigung ein hohes Maß an Empirie. Dadurch sind ggf. nicht alle Lastfälle ausreichend berücksichtigt.

5.4.4 Unterkonstruktionen

Hierunter werden Tragkonstruktionen (Holz, Metall) als Membranauflager, Seile, Netzkonstruktionen sowie Mittelstützen und deren Mastkronen und Unterkonstruktionen zur Instandhaltung oder Entschwefelung verstanden. Insoweit können Unterkonstruktionen unterschiedliche Aufgaben besitzen.

In der Literatur bzw. im Regelwerk finden sich hierzu überwiegend nur allgemeine Angaben. Hinsichtlich der Bautechnik werden entsprechende Nachweise verlangt. Die Nachweise der Standsicherheit sind unter Beachtung der einschlägigen DIN-EN Normen (z.B. DIN-EN 1990, DIN-EN 1991, DIN-EN 1993), der zugehörigen nationalen Anhänge der technischen Bestimmungen und der TRAS 320 zu erbringen.

Das Merkblatt DWA-M 377 (2016) weist darauf hin, dass durch eventuelle Setzungen unter dem Mittelmast gegebenenfalls notwendige Vorspannungen in der Membrane abgebaut werden. Das Fundament muss deshalb standsicher ausgeführt sein und die Belastungen aufnehmen können.

Holzkonstruktionen in Biogasanlagen sind nach VdS 3470 (2016) gemäß den statischen Anforderungen zu planen und zu errichten. Dabei sind die besonderen Betriebsbedingungen, z.B. Temperatur, Feuchtigkeit, Ablagerungen und Druck zu berücksichtigen. Zur Vermeidung von Schäden durch biochemische Reaktionen an Holzkonstruktionen, z.B. Mazeration, sind für diese Bedingungen geeignete Holzklassen auszuwählen, d.h. es muss für die erwarteten Milieubedingungen im Membrangasbehälter eine entsprechende Holzklasse ausgewählt werden. Da es sich um ein komplexes System handelt, kann die Auswahl nur von einem entsprechenden Experten (z.B. Statiker für Holzkonstruktionen) vorgenommen werden. Zur Kontrolle der Holzkonstruktion wird empfohlen Schaugläser und eine Beleuchtung vorzusehen. Berichte, ob dies ausreichend ist, konnten nicht gefunden werden. Die Auflagerkonstruktion muss so ausgebildet werden, dass bei Verformung der Balken deren Herausrutschen verhindert wird (BMWFW 2013).

Ebenso sind Holzkonstruktionen im Fermenter, in Nachgärern und deren Auflager regelmäßig auf ausreichende Tragfähigkeit zu prüfen. Durch regelmäßige Sichtprüfungen sollen ungewöhnliche Verformungen der Balken erkannt werden, die auf eine Überlastung der Konstruktion hindeuten. Erfahrungen, ob sich Sichtprüfungen bei Biogasanlagen als ausreichend erwiesen haben, konnten der Literatur nicht entnommen werden. Eine Überlastsituation kann sich u.a. durch die Ablagerungen von Schwefel (auch Substrat), eine hohe Holzfeuchte oder durch chemische Vorgänge („saurer Angriff“) im Holz ergeben (BMWFW 2013).

Die Notwendigkeit von Holzunterkonstruktionen zur Membranmontage oder zur Entschwefelung wird von Inverkehrbringern überwiegend nicht gesehen. Einen Hinweis darauf, dass Holzunterkonstruktionen zur Wärmedämmung von Fermentern erforderlich sind, konnte nicht gefunden werden.

5.4.5 Systeme zur Füllstandmessung

Zu den Systemen zur Füllstandsmessung in Membransystemen für Gase werden in der Literatur keine weitergehenden Vorgaben gemacht. Die österreichische Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen gibt lediglich vor, dass der Füllstand des Gasspeichers zu messen ist und der Füllstand des Gasspeichers unabhängig von dieser Messung visuell kontrollierbar sein muss (z.B. Schauglas, Seilzuganzeige) oder die Daten aufgezeichnet bzw. zur Steuerung/ Regelung herangezogen werden (SVLFG 2015). Zur Technik der Füllstandsmessung bei Biogasen, Genauigkeit bzw. Reproduzierbarkeit finden sich keine Angaben. Insbesondere bezogen auf das Gesamtsystem der Füllstandsmessung handelt es sich ausschließlich um Firmen-Know-how. Zwar wird in der VDI/VDE Richtlinie 3519 die Füllstandsmesstechnik ausführlich beschrieben, allerdings nur für Flüssigkeiten und Feststoffe (Schüttgütern), die Problematik der Messung bei Membransystemen für Gase findet hier aber keine Berücksichtigung. Hier erfolgen nur Erläuterungen zur Bewertung der einzelnen Messverfahren wie z.B. von Schall- und Ultraschallverfahren zur Höhenbestimmung.

5.4.6 Stützluftgebläse

Hinsichtlich der Stützluftgebläse finden sich unter E-DWA-M 375 (2016)) folgende Vorgaben:

- Die Funktionsfähigkeit der pneumatisch vorgespannten Konstruktion muss bei Betriebsstörungen mindestens so lange aufrechterhalten werden, bis die Anlage in einen sicheren Betriebszustand überführt wurde (z.B. USV, dicht schließende Zu-/ Abluftventile des Stützgebläses, Notstromkonzept, Reduktion des Gasverbrauchs).
- Ausreichende Stützkraft der Tragluft-Membran auch bei maximal anzunehmender Windlast (siehe hierzu auch 5.4.7).
- Querdurchströmung des Zwischenraums empfehlenswert, um Aufkonzentrieren von Methan und damit die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu vermeiden.
- Druckmessung im Behälter und im Membranzwischenraum empfehlenswert.

Weitere Anforderungen ergeben sich aus der Nutzung des Stützluftstroms zur Lecküberwachung. Daher muss der Stützluftstrom eine Querströmung bewirken, da sich die Messstelle auf der gegenüberliegenden Seite zum Stützlufteintrag befinden muss. Der Stützluftdruck und der Stützluftstrom sind für alle Lastfälle nachzuweisen, insbesondere auch bei Temperaturänderungen.

Weitergehende Anforderungen an Stützluftgebläse sind nicht vorgegeben. Weitere Anforderungen stellen sich nur noch aus den einschlägigen Vorschriften zum Explosionsschutz

5.4.7 Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit des gesamten Membransystems

Die Nachweise der Standsicherheit sind unter Beachtung der einschlägigen DIN-EN-Normen (z.B. DIN EN 1990-NA, DIN EN 1991-1 bis 5, DIN EN 1993), der zugehörigen nationalen Anhänge, der technischen Baubestimmungen und der TRAS 320 zu erbringen. Für den Bereich der Membransysteme existieren zu den anzunehmenden äußeren Lasten bisher keine speziellen Normen oder Richtlinien. Für die Bemessung der Werkstoffe fehlt zwar bislang eine entsprechende Norm für die Abminderungsfaktoren für den Membranwerkstoff, jedoch können diese durch Versuche, anhand von Erfahrungswerten und/oder anhand von Anhaltswerten ermittelt werden (DWA-M 377).

Nach DWA-M 377 (2016) „ist ein einschaliges Membransystem ohne Gasdruck, da es damit keine Ringvorspannung gibt, eine nicht dauerhaft standsichere und gebrauchstaugliche Konstruktion“ und kann daher nicht empfohlen werden.

Im DWA-Merkblatt DWA-M 377 sind umfangreiche Anforderungen an die Statik der verschiedenen Membransysteme, wie sie oben dargestellt sind, gefordert. Dabei sind generell Nachweise für alle Lastfälle und relevanten Bauteile unter Berücksichtigung bestimmter Abminderungsfaktoren für die Zugfestigkeiten der eingesetzten Membranen einschließlich der Schweißnähte zu führen. Im Einzelnen sind nach DWA-M 377 dabei folgende Detailpunkte zu beachten:

- Notwendige zusätzliche rechnerischen Nachweise für eine einlagige Membran, die mit radialen Gurten verstärkt ist:
  1. Einwirkungen auf die Membran zwischen den Gurten
     Lastabtragung in Umfangs- oder Ringrichtung, Eigenlast Membran, Winddruck, Windsog (wenn Gurt mit Membrane verschweißt), Schneelast, Unterdruck im Becken
  2. Einwirkungen auf die Membran zwischen Mast und Beckenrand
     Lastabtragung in radialer Richtung, Winddruck/-sog (wenn Gurt mit Membrane verschweißt), Überdruck im Becken, Ausmittigkeit des Masten um 1/300 des Beckendurchmessers, Schiefstellung Mast mit 1/200 der Mastlänge, Lastabtragung in Umfangs- oder Ringrichtung, Winddruck/-sog, Überdruck im Becken
  3. Nachweise der Tragfähigkeit der Membran
     in Umfangsrichtung: Gewebe und Naht bei 23 °C und 70 °C mit der ungünstigen Lastkombination als Eigenlast, Winddruck/-sog, Schnee und Unterdruck; bzw. in radialer Richtung, Gewebe und Verankerung an Hoch- und Tiefpunkt bei 23 °C und 70 °C aus Winddruck/-sog und Überdruck sowie anteilig der Steifigkeit Gurt/Membran infolge Winddruck/-sog, Schnee und Unterdruck
- Die mit den Teilsicherheitsfaktoren erhöhten Belastungen führen zu rechnerisch ermittelten Spannungen. Diese Bemessungswerte der Spannungen sind den Bemessungswerten der Zugfestigkeit für die unterschiedlichen, beschichteten Gewebe und Folien gegenüberzustellen.
- Die Bemessungswerte der Zugfestigkeit werden ausgehend von der einachsigen Zugfestigkeit der beschichteten Gewebe und der Folien bestimmt. Die einachsige Zugfestigkeit wird aufgrund von Umwelteinflüssen, Langzeitverhalten, Konfektionierung usw. abgemindert, was entsprechen zu berücksichtigen ist.
- Die Materialqualität verfügt über eine vom Hersteller des Materials angegebene Beanspruchbarkeit (Zugfestigkeit/ einachsige Reißfestigkeit, s.o.).
- Mit Hilfe sogenannter Abminderungsfaktoren müssen die zu erwartenden Abnahmen der technischen Materialeigenschaften in den statischen Berechnungen berücksichtigt werden. Durch sie werden die Dauerbelastung, Umgebungseinflüsse und erhöhte Temperaturen sowie die zweiachsige Zugfestigkeit (biaxiales Verhalten) berücksichtigt. Sie beziehen sich auf das Grundmaterial, die Schweißnähte und die Befestigung. Sie sind durch Versuche, anhand von Erfahrungswerten und/ oder anhand von Anhaltswerten zu ermitteln.
  Die Abminderungsfaktoren für die Werkstofffestigkeit und Medienbeständigkeit sind von den am Herstellungsprozess maßgeblich Beteiligten (Konfektionär, Ingenieur, Materialhersteller, Inverkehrbringer) zu liefern oder von den planenden Ingenieuren in Analogie zur textilen Architektur anzunehmen. Die Abminderungsfaktoren sind im Speziellen:
  1. Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Langzeitbelastung
     Dauerbelastungen durch Vorspannung und Betriebsdruck mindern mit der Zeit die Anfangsfestigkeit des Materials ab.
  2. Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Umgebungseinflüssen
     Witterungseinflüsse, Alterung durch UV-Strahlung, Feuchtigkeit, Sauerstoff etc. und chemische Angriffe (z. B. H_2S, NH_3, SO_x) mindern langfristig die Anfangsfestigkeit des Materials ab;
  3. Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung erhöhter Materialtemperatur
     unter direkter Sonneneinstrahlung können sich je nach Farbe und Material Temperaturen bis 70 °C und höher an der Membran ergeben.

  Damit berücksichtigen die Abminderungsfaktoren auch die Alterung der Membranen.

- Zusätzlich zu berücksichtigende Lastfälle:
  1. Gasinnendruck (bei einschaligen und zweischaligen Systemen)
     Richtwerte: Unterdruck – 1 hPa (- 1 hPa Auslöseschwelle ÜD/UD-Sicherung); Überdruck standort- und systembedingt festzulegen
     Teilsicherheitsfaktor für Innendruck ist bezogen auf den Grenzwert der Tragfähigkeit für den Membranwerkstoff nach DIN EN 1990 ungünstig wirkend mit mindestens $\gamma P = 1{,}35$ und günstig wirkend mit $\gamma P = 1{,}0$ anzusetzen
  2. Stützluftdruck (zusätzlich bei zweischaligen Systemen)
     Für die Außenmembrane ist der Stützluftdruck den äußeren Einwirkungen aus Schnee und Wind zu überlagern. Für Innenmembrane, die sich nicht an die Außenmembrane anlegen können, ist der Stützluftdruck mit dem Gasdruck zu überlagern.
- Die am Herstellungsprozess maßgeblich beteiligten Personen (Konfektionär, Ingenieur, Materialhersteller, Inverkehrbringer) müssen hierzu Planern und Statikern die für die Berechnung erforderlichen Ausgangsdaten zur Verfügung stellen. Dabei sind neben Werten zu einachsigen Zugversuchen auch die entsprechenden Abminderungsfaktoren, auch für die Schweißnähte, bereitzustellen.
- Einachsige Zugversuche für die Grundwerkstoffe und der Schweißnähte sollten bei 70 °C, bei dunklen Materialien gegebenenfalls bei 80 °C durchgeführt werden (Erfahrungswert von gebauten Speicherabdeckungen aus dem Textilen Bauen (Ergebnis bedarf vom Planer einer Interpretation).
- Bei Radialzuschnitten treten bei pneumatisch vorgespannten Membransystemen in der Polkappe bei erhöhtem Innendruck und/oder erhöhter Windbelastung hohe Spannungen auf, die speziell zu betrachten sind. Durch entsprechende Ausformung der Polkappe und Wahl der einzusetzenden Materialqualität kann hier entgegengewirkt werden.
- Werden für die Zuschnitte regelmäßige Geometrien (Kegel, Kugelkalotte) angesetzt, können die Abdeckungen aus den geometrisch abgewickelten Zuschnitten gefertigt werden, wenn
  1. elastische Dehnungen in Folge Vorspannung keine ungünstigen Einflüsse aufweisen, wie ungünstige Spannungsumlagerungen oder eine zu geringe Vorspannung, weil der Spannweg größer ist als angenommen,
  2. für das statische System zur Berechnung der Spannungen die elastischen Dehnungen berücksichtigt werden, die sich beim Vorspannen ergeben,
  3. für das Aufbringen der Vorspannung und den Berechnungen unter äußeren Einwirkungen unterschiedliche Werkstoffkennwerte (Elastizitäts-Modul (E-Modul), Querdehnung und Schubmodul) berücksichtigt sind.
- Wird für die Zuschnitte eine Kompensation durchgeführt, können Vorspannung und äußere Einwirkungen in einem statischen System berechnet werden. Bei einer Kompensation werden die Dehnungen zum Aufbringen der Vorspannung als Verkürzungen der Zuschnitte vorweggenommen. Die Werte für die Verkürzung der Zuschnittbahnen in Kette und Schussrichtung ermitteln sich aus den Spannungen unter Vorspannung, äußerer Belastung, und den E-Moduln. Für die Bestimmung der Kompensationswerte sind biaxiale Zugversuche erforderlich.
- Kegelförmige Zuschnitte sind in der Regel nur eindimensional spannbar (Ringspannung durch Zuschnitt schwierig aufzubringen); das Relaxations- und Kriechverhalten, bzw. die Kompensation von bleibenden Dehnungen nach den ersten Belastungen muss gesondert berücksichtigt werden.
- Windlast
  1. Staudruck und Sog (Böendruck als statische und dynamische Lasten) sind nach DIN EN 1991-1-4 NA als für Membransysteme anwendbare Regeln standortabhängig (Windlastzonen, Höhe über NN) und abhängig vom Geländeprofil (Rauhigkeitsklassen) anzunehmen. Das Ansetzen der aerodynamischen Beiwerte ist jedoch durch die gekrümmte Form der Membransysteme ein sehr komplexes Thema. Exakte Angaben zur Höhe der Windeinwirkung können nur durch Versuche im Windkanal generiert werden.

2. Stehen Windkanaldaten nicht zur Verfügung, sind für überschlägige Lastannahmen und Kuppeln die Werte aus der DIN EN 1991-1-4: Bild 7.12 zu entnehmen und ortsbezogen anzupassen.
3. Für kegelförmige Abdeckungen können die aerodynamischen Beiwerte nach der einschlägigen Literatur angesetzt werden.
4. Die charakteristische Windlast berechnet sich aus dem Produkt von Staudruck und Sog sowie dem aerodynamischem Beiwert. Der Nachweis für Staudruck und Sog ist mit einem Böenfaktor zu führen.
5. Zusätzliche Vorgaben der TRAS 320 sind für Betriebsbereiche verbindlich und werden für andere Anlagen empfohlen.

- <u>Schneelast</u>
  1. Der anzusetzende Wert hängt vom Standort der Anlage und damit von der Schneelastzone, von der Lage über dem Meeresspiegel sowie der Geometrie des Gasspeichersystems ab.
  2. Aus den Angaben zur Schneelastzone und zur Höhenlage lässt sich die charakteristische Schneelast errechnen (im norddeutschen Tiefland wurden in seltenen Fällen Schneelasten bis zum Mehrfachen der rechnerischen Werte gemessen. Die zuständige Behörde kann in den betroffenen Regionen die Rechenwerte festlegen, die dann zusätzlich nach DIN EN 1990 als außergewöhnliche Einwirkungen zu berücksichtigen sind. Eine weitergehende, entsprechende Anforderung enthält die TRAS 320).
  3. Die tatsächliche Schneelast muss entweder vom Membransystem oder der Unterkonstruktion aufgenommen werden können (systemabhängig). Zur Berücksichtigung der Kegel- bzw. Kugelgeometrie der Speichersysteme wird der berechnete Wert mit einem Formbeiwert für die Speicherneigung multipliziert. Den in der Praxis auftretenden einseitigen Schneelasten infolge von Verwehungs- und Abtaueinflüssen muss durch unterschiedliche Formbeiwerte Rechnung getragen werden.
  4. Der Gebrauchstauglichkeit bei einseitigen Schneelasten (Schneesackbildung) ist Rechnung zu tragen, insbesondere bei einschaligen mechanisch gespannten Systemen. Sollte in einem Membransystem die Innentemperatur, die an der Außenmembran anliegt, in ausreichender Höhe (≥ 12 °C) und – im Falle der pneumatisch vorgespannten Systeme – ein konstanter Innendruck aufrechterhalten werden können, ist eine Reduzierung der anzunehmenden Schneelast möglich.
  5. Dabei muss jedoch Vorsorge getragen werden, dass im Falle eines Absinkens der Temperatur oder des Innendrucks unter die in den rechnerischen Nachweisen angesetzten Werten der Schnee und entstehende Wassersäcke unverzüglich entfernt werden müssen. Dies ist vom Inverkehrbringer in der Bedienungsanleitung entsprechend zu beschreiben.
  6. Zusätzliche Vorgaben der TRAS 320 sind für Betriebsbereiche verbindlich und werden für andere Anlagen empfohlen.

Für einlagige Membranen, die mit radialen Gurten verstärkt sind, nennt das Merkblatt DWA-M 377 weitere Anforderungen DWA-M 377 (2015)). Danach sind für die Gurte folgende rechnerische Nachweise zu erbringen:

- *Einwirkungen auf das Gurtsystem*
- *Eigenlast Membran und Gurt,*
- *Winddruck, Windsog (wenn Gurt mit Membrane verschweißt)*
- *volle und halbseitige Schneelast*
- *Unterdruck im Becken bis zum Ansprechen der Unterdrucksicherung,*

- *Außermittigkeit des Mastes um 1/300 des Beckendurchmessers,*
- *Schiefstellung Mast mit 1/200 der Mastlänge.*
- *Nachweise der Tragfähigkeit der Gurte*
- *bei ungünstigen Lastkombination aus Eigenlast, Winddruck, Windsog (wenn Gurt mit Membrane verschweißt), Schnee und Unterdruck.*
- *Mechanische Vorspannung einschaliger, abgestützter Systeme*
- *Richtwert: Vorspannung am Behälterrand von ca. 1 kN/m bis 2 kN/m*
- *Erfahrungswert: die Höchstvorspannung sollte am Hochpunkt 10 % der einachsigen Zugfestigkeit des Gewebes nicht überschreiten.*

5.4.8 Dichtheit von Membransystemen

5.4.8.1 Allgemeines

Hinsichtlich der Dichtigkeit von Membransystemen ist zu unterscheiden zwischen

1. bestimmungsgemäßen Emissionen durch Konzentrationsdifferenz getriebene Permeation, insbesondere durch die intakte Gasmembran (siehe 5.4.2),
2. Leckagen durch Druckdifferenz getriebene Konvektion
   a) durch Undichtigkeiten an lösbaren Verbindungen oder
   b) durch Defekte insbesondere der Gasmembran.

In den Technischen Regeln wird unter „Leckagerate“ allerdings auch die Emission durch Permeation erfasst. Verfahren für die „Dichtigkeitsprüfung“ erfassen z.T. tatsächlich nur die Leckagen.

In der BetrSichV wird hinsichtlich der Anforderungen an die Dichtigkeit unterschieden zwischen „technisch dicht“ und „auf Dauer technisch dicht“. In der TRBS 2152 Teil 2 / TRGS 722 (2012) wird erläutert:

> *Bei Anlagenteilen, die auf Dauer technisch dicht sind, sind keine Freisetzungen zu erwarten. Anlagenteile gelten als auf Dauer technisch dicht, wenn*
>
> *a) sie so ausgeführt sind, dass sie auf Grund ihrer Konstruktion technisch dicht bleiben oder*
>
> *b) ihre technische Dichtheit durch Wartung und Überwachung ständig gewährleistet wird;*
>
> *Bei Anlagenteilen, die technisch dicht sind, sind seltene Freisetzungen zu erwarten. Anlagenteile gelten als technisch dicht, wenn bei einer für den Anwendungsfall geeigneten Dichtheitsprüfung oder Dichtheitsüberwachung bzw. -kontrolle, z. B.*
>
> *a) für Gase und Dämpfe mit schaumbildenden Mitteln oder mit Lecksuchgeräten,*
>
> *b) für Stäube durch regelmäßige Kontrolle auf Staubaustritte und -ablagerungen sowie auf sichtbare Defekte oder Beschädigungen*
>
> *eine Undichtheit nicht erkennbar ist.*

Dies bedeutet, dass:

„auf Dauer technisch dicht“ (ständig dicht) bedingt:

a) Erfüllung der Anforderungen an eine bestimmte technische Ausführung

b) Eine Überwachung, die die Dichtheit ständig gewährleistet (nach StörfallV eine ständige Überwachung)

„technisch dicht bedingt“:

a) Anforderungen an die Technik

b) Überwachung, Kontrolle oder Prüfung (nicht ständig)

Dabei wird unter „technisch dicht“ verstanden, dass bei einer Prüfung mit schaumbildenden Mitteln kein Hinweis auf einen Gasaustritt gefunden wird. Dies gilt auch bei der Anforderung „auf Dauer technisch dicht“. Der Unterschied zwischen beiden oben genannten Anforderungsprofilen besteht darin, dass die Anforderungsprofile unterschiedlich sind, z.B. das Ziel „auf Dauer“, im ersten Fall durch ständige Überwachung zu realisieren ist und die technischen Ausführungen verschieden sind. So gelten z.B. Flansche mit Schweißlippendichtungen als „auf Dauer technisch dicht“. Im Endeffekt ist in beiden Fällen zunächst der Zustand, dass mit schaumbildenden Mitteln kein Gasaustritt festgestellt wird, gleich.

Wichtig ist, dass in dem Fall, dass der Stand „auf Dauer technisch dicht“ erreicht wird, keine Zone nach den Explosionsschutz-Regeln (DGUV Regel 113-001) festgelegt werden muss. Ansonsten, sofern dieser Nachweis der technischen Dichtheit auf Dauer nicht geführt werden kann, wäre eine Zone auszuweisen. Allerdings besteht bereits für den Zustand, dass eine Anlage technisch dicht ist, also mit schaumbildenden Mitteln kein Hinweis auf eine Undichtheit gegeben ist, in der umgebenden Atmosphäre keine Brand-, Explosions- oder Gesundheitsgefahr (DGUV Regel 114-004). Da aber seltene Freisetzungen nicht ausgeschlossen werden können, sind Zonen gemäß DGUV Regel 113-001 auszuweisen. In der genannten Regel „Deponien“ wird gefordert, dass Gasleitungen und gasbeaufschlagte Anlagenteile sowie ihre Ausrüstungsteile einschließlich aller Rohrleitungsverbindungen so ausgeführt sind, dass sie bei den zu erwartenden mechanischen, chemischen und thermischen Beanspruchungen technisch dicht sind. Im DVGW Regelwerk wird für Installationen im Gasbereich ebenfalls generell als Mindestanforderung das Anforderungsprofil „technisch dicht“ verlangt. Damit kann „technisch dicht“ als eine Mindestanforderung und somit als allgemein anerkannte Regeln der Technik bewertet werden.

Dieses Anforderungsprofil muss sich durch Bau und Prüfung gewährleisten lassen. Im Entwurf zum Merkblatt E-DWA-M 375 wird auf die technische Dichtheit ebenfalls ausführlich eingegangen E-DWA-M 375 (2016).

5.4.8.2 Berechnung der Leckagerate

Im Entwurf zum Merkblatt E-DWA-M 375 wird hinsichtlich der Leckagen unterschieden zwischen der Emission durch Permeation als diffusionsgetriebener Transport durch die intakte Membran bzw. der Emission durch druckdifferenzgetriebene Konvektion durch die defekte Membran bzw. durch Undichtigkeiten an lösbaren Verbindungen. Es wird hier also nicht unterschieden zwischen Leckagen (z.B. infolge einer Beschädigung) und Undichtigkeit (z.B. infolge eines durch Langzeiteffekte zerstörten Flansches). Beide letztere Undichtigkeiten werden als Leckage bezeichnet (E-DWA-M 375)

Nach den Literaturangaben (z.B. E-DWA-M 375) unterscheiden sich die Größenordnungen der Gasfreisetzungsraten beider Gastransportprozesse beträchtlich, so dass sie bei praktischen Messungen allein durch die Größenordnung des festgestellten Volumenstromes unterschieden werden können.

Die Permeationsrate durch die Gasmembran lässt sich nach folgender Formel berechnen (E-DWA-M 375 (2016)):

$$\dot{V_T} = PR \cdot A_{MF} \cdot P_p$$

mit:

$\dot{V_T}$ permeierender Methanvolumenstrom in ml Methan pro Zeiteinheit (in d) in Abhängigkeit von der Temperatur

PR Permeabilität der eingesetzten Membran in ml/(m^2·d·1000 hPa)

A_{MF} Oberfläche der Membran (in m^2), berechnet z.B. nach Formel für Kugelabschnitte

P_p Partialdruck (in hPa), abhängig von der Methankonzentration im Biogas

Der bislang als maximal zulässig erachtete Wert für die Permeation lag nach den einschlägigen Regelwerken und Fachhinweisen (BMWFW (2013), SVLFG(2015) und LfU o.J.) bei einem Wert von

$$1.000 \frac{ml}{m^2 \cdot d \cdot 1.000\ hPa}$$

Im Entwurf des Merkblattes E-DWA-M 375 ist nun allerdings vorgesehen, diesen Wert herabzusetzen:

> *„Maximale Methan-Permeation für Membranen von Membrangasspeichersysteme auf Biogasanlagen (…):*
>
> $$500 \frac{ml}{m^2 \cdot d \cdot 1.000\ hPa}$$
>
> *gemessen bei 23°C*
>
> *Der Nachweis dieses Wertes muss vom Hersteller bzw. Inverkehrbringer der Membran mit einer Bestimmung nach DIN 53 380-2 bei 23°C mit einem Prüfprotokoll eines unabhängigen Prüfinstitutes/Labor beigebracht werden. Zur Einschätzung realer Einsatzbedingungen ist zusätzlich auch die Permeationsrate bei 55°C anzugeben (E-DWA-M 375 (2016)).“*

Die Permeation durch die Membran kann unter Betriebsbedingungen bestimmt werden. Hierzu wird die Haubenmethode angewandt, die eine entsprechend niedrige Nachweisgrenze aufweist. Allerdings sind die Werte aus dem Labor bzw. von einer konkreten Anlage nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen. So wird u.a. von den Prüflaboren die Permeationsrate auf die Membrandicke normiert, d.h. die Dicke geht unmittelbar in die Permeationsrate mit ein. Weiter findet die Messung unter Vakuumbedingungen auf der Abstromseite statt. Es ist derzeit nicht geklärt, wie dieser Sachverhalt in das Permeationsgesetz eingeht, ebenso die Temperatur. Hier ist noch weiterer Untersuchungsbedarf gegeben. Dabei wären Messreihen durchzuführen, bei denen die genannten Einflüsse (unterschiedliche Drücke auf der abströmenden Seite der Untersuchungseinrichtung, unterschiedliche Temperaturen) bei den unterschiedlichen Membranen systematisch untersucht werden sollten. Insbesondere sollten Untersuchungen auch bei den Bedingungen, wie sie an realen Membransystemen auftreten, durchgeführt werden, um die Messwerte hinsichtlich tatsächlich auftretender Emissionen bewerten zu können. Weiter sollten Untersuchungen an realen Membransystemen mittels Haubenmethode durchgeführt werden und die Ergebnisse mit Untersuchungen aus Labortests verglichen werden.

Der konvektive Gasaustritt lässt sich durch das Bunsensche Ausströmgesetz gemäß:

$$w_L = \sqrt[2]{\frac{2 * \Delta p}{\rho}}$$

mit:

w_L Ausströmgeschwindigkeit des Biogases am Leck [m/s]

Δp Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenseite an der Leckstelle

ρ Dichte des Biogases [kg/m^3]

berechnen.

5.4.8.3 Vorgaben zu Dichtheitsprüfungen

Grundsätzliche Vorgaben zu Dichtheitsprüfungen sind in Kapitel 5.8.1 „Dichtheitsüberprüfungen“ der TRGS 529 enthalten.

Detailliertere Anforderungen enthält die TI 4. Nach der TI 4 (SVLFG 2015) müssen zur Prüfung der technischen Dichtheit der Fermenter, gasbeaufschlagte Behälter und Gasspeicher unter einen ausreichenden Prüfdruck gesetzt werden, so dass ein Gasaustritt durch eine Leckstelle hervorgerufen wird (SVLFG 2015). Grundsätzlich ist die Prüfung bei dem 1,5 fachen des maximal zulässigen Betriebsdrucks durchzuführen. Ist dies systembedingt nicht möglich (z. B. bei frei liegenden Elastomer-Einfachfolienhauben-Gasspeichersystemen) ist die Prüfung bei maximal zulässigem Betriebsdruck durchzuführen. Nach DWA-M 376 ist hierzu bei Niederdruck-Biogasbehältern ein Prüfdruck von mindestens 20 hPa ausreichend, bei drucklosen Biogasbehältern oder Biogasbehältern mit Luftgegendruck muss der Prüfdruck so hoch wie möglich sein, jedoch mindestens 5 hPa über die gesamte Prüfzeit betragen (DWA-M 376 (2006)).

Dichtheitsprüfungen sind nach mehreren Methoden möglich:

- Dichtheitsprüfungen mit schaumbildenden Mitteln
  1. Voraussetzung: Gasmembran steht unter Prüfdruck
  2. Benetzung aller lösbaren Verbindungen mit schaumbildenden Mitteln
  3. alle zu prüfenden Stellen müssen ausreichend benetzt, zugänglich und einsehbar sein
  4. die Prüfung ist auch mit Luft und anderen inerten Gasen möglich (keine Ex-Gefahr)
- Dichtheitsprüfungen über Gasmessgeräte
  1. Konzentrationsmessung unmittelbar an der zu prüfenden Stelle mit geeignetem Gasmessgerät nach DVGW G 465-4
  2. Achtung: Nachweisgrenzen, Auflösungsvermögen der verschiedenen Messprinzipien, Querempfindlichkeiten der Messgeräte, Beeinflussung durch Wind, Gefährdung durch explosionsfähige Atmosphäre möglich
- Dichtheitsprüfungen mittels Nebel
  1. Einbringung von künstlichem Nebel in das leere und trockene Behälterinnere (vor Gasbeaufschlagung) und Beaufschlagung mit ausreichend hohem Luftdruck
  2. nur als Prüfung im Rahmen der Montage geeignet. Nach Biogasbeaufschlagung ist zusätzliche Prüfung der Dichtheit notwendig
- Berührungslose Dichtheitsprüfungen – Lasermessung (aktives Verfahren)
  1. Messung der Abschwächung eines Laserstrahls durch die Absorption von Infrarotstrahlung durch austretendes Methan
  2. Achtung: Es kann nicht unterschieden werden, ob es sich um ein lokal begrenztes, starkes Leck oder viele kleine Leckagen (große Wolke niedriger Konzentration) entlang des Laserstrahls handelt
  3. gezielte Prüfung von einzelnen Komponenten ist in der Regel nicht möglich
- Berührungslose Dichtheitsprüfungen – Gaskameras (passives Verfahren)
  1. Darstellung der vorhandenen Umgebungsstrahlung über ein Infrarot-Bildsystem mit Begrenzung auf die für das zu detektierende Gas (hier Methan) charakteristische Wellenlänge.

- Gemäß dem Entwurf des Merkblatts E-DWA-M 375 kann die Permeationsrate durch Messung der Gaskonzentration in der Stützluft nachgewiesen werden, wobei hierzu eine Durchströmung des Tragluftraumes nach E-DWA-M 375 (2016) gewährleistet sein muss.
- Bei einschaligen Membransystemen kann nach dem Entwurf des Merkblatts E-DWA-M 375 die Permeationsmessung mittels des Einsatzes einer Messhaube durchgeführt werden, welche auf die Membran aufgesetzt wird (siehe auch VDI 4285 Blatt 1 und E-DWA-M 375 (2016)). Dieses Messverfahren kann auch zur Ermittlung der Permeation an Membransäcken oder Gaskissen verwendet werden. Durch eine Mehrfachwiederholung an verschiedene Stellen der Membran werden mögliche Inhomogenitäten der Permeation durch die Membran berücksichtigt. Es ist darauf zu achten, dass mit der Messhaube sowohl die Membran, als auch die Foliennähte in einem für die Membran charakteristischem Verhältnis abgedeckt werden.

Für die Prüfung der gesamten Gasmembrane kann ein Verfahren allein nicht ausreichend sein.

Nach TI 4 (SVLFG 2015) ist bei der *unmittelbaren Dichtheitsprüfung* als Beleg für die technische Dichtheit der Nachweis zu erbringen, dass keine erheblichen Leckstellen vorhanden sind (SVLFG 2015). Sie ist insbesondere für Biogasanlagensysteme mit Betriebsdrücken von max. 5 mbar (Folienhauben, Folienspeichersäcke) zuverlässig und praxistauglich einsetzbar. Nach DWA-M 376 kann die unmittelbare Dichtheitsprüfung als Sichtprüfung mit einem schaumbildenden Mittel (DVGW Arbeitsblatt G 469, 3.1) oder als Prüfung mit einem Gasspürgerät durchgeführt werden (DWA-M 376 (2006)). Voraussetzung zur unmittelbaren Dichtheitsprüfung ist, dass die zu prüfenden Oberflächen unter Prüfdruck zugänglich sind. Da die uneingeschränkte Zugänglichkeit nur in Ausnahmefällen gegeben ist und die zu prüfende Oberfläche sehr groß ist, eignet sich die unmittelbare Dichtheitsprüfung im Allgemeinen nur als Vorprüfung zur mittelbaren Dichtheitsprüfung und nur in besonderen Fällen zum Nachweis der technischen Dichtheit.

Nach TI 4 (SVLFG 2015) ist bei der *mittelbaren Dichtheitsprüfung* als Beleg für die technische Dichtheit der Nachweis zu erbringen, dass die Leckagerate einen bestimmten Wert nicht übersteigt. Sie liefert bei starr ummantelten Biogasanlagensystemen, die mit höheren Betriebsdrücken als 5 mbar betrieben werden und nur sehr geringe Gastemperaturschwankungen im Gasraum aufweisen, zuverlässige Ergebnisse (SVLFG 2015).

Die nach TI 4 (SVLFG 2015) einzuhaltende Leckagerate schließt die Verluste infolge der Durchlässigkeit z. B. von Membranen und deren Befestigung sowie aller am Biogasbehälter angebrachten Dichtungen ein. Die einhaltbaren Leckageraten nach TI 4 (SVLFG 2015) sind in der Tabelle 12 dargestellt. Bei Einhaltung dieser Werte werden vergleichbare Nachweisgrenzen, wie sie bei der Anwendung von Leckagesprays möglich sind, erreicht.

Tabelle 12: Einzuhaltende Leckageraten nach TI 4 (SVLFG 2015)

Nenninhalt	Maximal einzuhaltende Leckagerate bei 20 hPa Prüfdruck
bis 50 m³ Nenninhalt	0,4 m³ / 24h,
bis 100 m³ Nenninhalt	0,6 m³ / 24h,
bis 200 m³ Nenninhalt	0,8 m³ / 24h,
bis 500 m³ Nenninhalt	1,0 m³ / 24h,
über 500 m³ Nenninhalt	2 ‰ vom Nenninhalt / 24h.

Erfolgt die Messung bei einem von 20 hPa abweichenden Prüfdruck, ist die einhaltbare Leckagerate mit dem Faktor X = Prüfdruck / 20 hPa zu multiplizieren (SVLFG 2015).

Für die Durchführung der Dichtheitsprüfung sind in der Literatur umfangreiche Vorgaben vorhanden (z.B. im Merkblatt DWA-M 376 (DWA-M 376 (2006))).

Die Dauer der Prüfzeit ist so festzulegen, dass die Verlustrate eindeutig außerhalb der Messfehlergrenzen bestimmt werden kann. Hierbei sind die Fehler der Messungen des Volumens, Prüfdruck, Atmosphärendruck und Temperatur zu beachten. Es ist empfehlenswert, die Temperatur zu einem Zeitpunkt zu messen, zu der die Temperatur des Biogasbehälters nicht durch Sonneneinstrahlung verändert wird. Am günstigsten ist eine Messung vor Beginn der Sonneneinstrahlung am Morgen. Ein Messzeitraum von 24 h ist empfehlenswert.

Das eingesetzte Messverfahren und die verwendete Messtechnik sind auf die örtlichen Gegebenheiten abzustimmen. Im Merkblatt E-DWA-M 375 werden hierzu zukünftig detaillierte Angaben vorgegeben. Die Eignung und Ergebnisse der Messverfahren hängen von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab (E-DWA-M 375 (2016)):

- vom Prüfziel (z.B. Feststellung von Permeation, Nachweis der technischen Dichtheit …),
- von der verwendeten Messtechnik,
- von den konkreten Standortbedingungen (Versuchsanordnung vor Ort),
- von den Witterungsbedingungen,
- von der Erfahrung und Qualifikation der Person, die die Messung durchführt.

Als Ergebnis der Diskussionen um die Frage nach der geeigneten Dichtheitsprüfung lässt sich feststellen, dass die Dichtheit von Biogasanlagen in allen Phasen der Inbetriebnahme bzw. des Betriebs nicht mit einer Technik allein erfolgen kann. Die Prüfung lösbarer Verbindungen vor der Inbetriebnahme bzw. Wiederinbetriebnahme kann z.B. nur mit schaumbildenden Mitteln bzw. einem unmittelbar am Ort einer möglichen Leckage die Gasprobe entnehmenden Gasanalysator mit entsprechender Nachweisgrenze durchgeführt werden, die innere Membran bei zweischaligen Membrangasbehältern z.B. nur mit der Analyse der Stützluft, d.h. nach Inbetriebnahme und Biogasbildung.

5.4.9 Hinweise zu Errichtung und Inbetriebnahme

In der Phase der Errichtung und der Inbetriebnahme erfolgen eine Reihe von Maßnahmen und Entscheidungen, die letztendlich Auswirkungen auf mögliche Emissionen von Biogasen und das Sicherheitsniveau haben. Hierzu gehören vor allem qualitätssichernde und technikniveausichernde Maßnahmen.

Das Biogashandbuch Bayern schlägt folgende Maßnahmen vor Inbetriebnahme vor (LfU o.J.):

- Prüfung der Dokumentation
- Dichtheitsprüfung (vgl. auch Entwurf des E-DWA-M 375 (2016))
- Feststellung der vollständigen Lieferung und Montage
- Probebetrieb inkl. Simulation/ Auslösung von Betriebsstörungen

Der ordnungsgemäße Betrieb von Membransystemen erfordert eine vollständige Dokumentation vor der Inbetriebnahme. Das Merkblatt DWA-M 377 nennt hierfür folgenden Mindestumfang (DWA-M 377 (2015)):

- *„Einbau- und Montageanleitungen;*
- *Datenblätter von eingesetzten Membranen, Armaturen, Schläuchen, mit Nachweis aller wichtigen und sicherheitstechnisch relevanten Angaben (z. B. Kälte- und Wärmebeständigkeit, Reißfestigkeit, Weiterreißfestigkeit, Knickverhalten, Entflammbarkeit, Gasdichtheit, UV-Stabilität, Leitfähigkeit), gegebenenfalls allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis;*
- *Konformitätserklärungen/CE-Kennzeichnung der eingesetzten Materialien und technischen Komponenten (z. B. Über-/Unterdrucksicherung, Stützluftgebläse, Stützluftklappen, Kompressor, Drucküberwachungsarmaturen);*

- *gegebenenfalls Materialproben;*
- *Nachweise der bereits erfolgten, notwendigen Abnahmeprüfungen insbesondere der Nachweis der Statik von Behälter inkl. Membransystem;*
- *Unterlagen, Nachweise und Zertifikate zum Explosionsschutz Pläne und Zeichnungen der Anlage auf dem Stand der realen Ausführung (Übersichtszeichnungen, Detailpläne, Schnittbilder, Stücklisten, Ersatzteillisten, Schaltpläne);*
- *Eindeutige Bedienungsanleitungen und Inbetriebnahme-/Wartungsvorschriften für die tatsächlich eingesetzte Technik/ das Bauteil (häufig ist eine Dokumentation für mehrere Einbauvarianten vorhanden!);*
- *Fachkundenachweis des Montagepersonals, in wieweit sich Firmen zu qualifizieren haben, wäre noch zu klären*
- *Einbauerklärung etc. (gemäß Erfordernissen aus Montageanleitung)*
- *Pläne und Zeichnungen der Anlage auf dem Stand der realen Ausführung (Übersichtszeichnungen, Detailpläne, Explosionsschutzdokument inkl. Zonenplan)*
- *Kennlinien der Gebläse und Armaturen (Abluftklappen, Rückschlagklappen, Überdrucksicherungen etc.)*
- *Unterlagen, Nachweise und Zertifikate zum Explosionsschutz*
- *Kennzeichnung der Membran mit Angabe zu Hersteller, eindeutiger Membranbezeichnung – Typ, Herstelldatum und zulässiger Betriebsdruck“*

Das Vorliegen dieser Dokumente ist notwendig, um eine Gesamtprüfung auf den sicheren Zustand des Membransystems vornehmen zu können.

Gemäß Merkblatt DWA-M 377 müssen für die Inbetriebnahme außerdem zur Sicherstellung des Anforderungsprofils „technisch dicht“ sowie zur Gewährleistung eines sicheren Zustandes der Anlage folgende Nachweise vorliegen (DWA-M 377 (2015)):

- Nachweise bei Druckbeaufschlagung der Außenmembran bei Tragluftsystemen;
- Inbetriebsetzungsprotokoll für das Tragluftsystem;
- Nachweise bei Inbetriebnahme des Membransystems (Gasdichtheitsnachweis, Inbetriebnahmeprotokoll mit Einstellwerten von Ansprechdrücken von Füllstandsmessung, Gasüber-/ -unterdrucksicherung, Gasfackel etc.)

5.4.10 Alterung

Selbstverständlich unterliegen Membranen einer Veränderung über die Zeit, zeigen also ein Alterungsverhalten, wodurch sich ihre Eigenschaften verändern. Durch geeignete zeitraffende Tests können Vorhersagen über das Ausmaß der Veränderungen getroffen werden.

Alterung von Kunststoffprodukten wird durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren hervorgerufen. Hierzu gehören (SKZ 2017):

- Temperatur (dadurch beschleunigte chemische Veränderung)
- mechanische Belastung (Kriechen, Relaxation, Verschleiß, Beschädigung)
- chemische Belastung (Oxidation, Reaktionen mit bestimmten Agenzien, Aufquellen)
- biologische Belastung (Biofilme, Verpilzung, höhere Organismen)
- atmosphärische Belastung (UV-Strahlung, Staub, Luftfeuchtigkeit)
- Strahlung (energiereiche Strahlung)

Die Membranen verändern tatsächlich in der Praxis, darüber berichten Betreiber, Inverkehrbringer und Wartungsfirmen, ihre Eigenschaften. Typisch ist ein Verspröden, eine Veränderung der Färbung, ein bestimmtes Bild mit Feinrissen, eine Veränderung der Elastizität. Damit verändern sich auch die messbaren Eigenschaften der Membranen. Berichtet wird über eine Zunahme der Permeabilität über die Zeit. Damit muss davon ausgegangen werden, dass die Membranen die erforderlichen Eigenschaften zur Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit, der Sicherheit und der Begrenzung der Emissionen nicht mehr besitzen. Sie müssen entweder repariert oder ausgetauscht werden. Die Frage der Haltbarkeit wird weiter unten diskutiert. Von besonderem Interesse ist dabei, ob an Hand bestimmter Merkmale im laufenden Betrieb eine „Resthaltbarkeit“ ausreichend genau abgeschätzt werden kann.

Die meisten Hersteller nennen Haltbarkeitszeiträume von 10 Jahren, verweisen aber darauf, dass es Membranen gäbe, die bedeutend länger in betriebenen Anlagen eingesetzt waren. Andererseits sind die Garantiefristen, die gegeben werden, in der Regel nur 3 Jahre. Genauere Angaben über das Langzeitverhalten, insbesondere in Abhängigkeit bestimmter Parameter, können derzeit der Literatur nicht entnommen werden.

Im Zusammenhang mit der Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit des Membransystems wird die Alterung durch die geeignete Wahl der Abminderungsfaktoren berücksichtigt.

5.4.11 Instandhaltung einschließlich Kontrollen, Prüfungen, Wartung und Instandsetzung

In der Phase des Betriebs sind eine Reihe von Maßnahmen durchzuführen, die Auswirkungen auf mögliche Emissionen von Biogasen und das Sicherheitsniveau haben. Hierzu gehören vor allem Kontrollen, Wartung und vorauslaufende Instandsetzung.

Zur zweckmäßigen Betrachtung der verschiedenen Tätigkeiten der Instandhaltung sei auf die Definitionen von Weyer GmbH (2016) verwiesen. Danach ist:

- Instandhaltung: Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustands oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann (nach DIN 31051)
- Instandsetzung: Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen ausgangszustand (nach DIN 31051)
- Kontrolle: Ermittlung des Istzustandes, der Vergleich des Istzustandes mit dem Sollzustand sowie die Bewertung der Abweichung des Istzustandes vom Sollzustand im Rahmen der Eigenüberwachung des Betreibers, die keine Prüfung aufgrund von Regelungen oder eines Regelwerks ist. (Anmerkung: mit dieser Definition wird eine Verwechslung mit dem Begriff der Inspektion vermieden.)
- Prüfung: Prüfung ist die Ermittlung des Istzustandes, der Vergleich des Istzustandes mit dem Sollzustand sowie die Bewertung der Abweichung des Istzustandes vom Sollzustand einschließlich der Bestimmung der Ursachen und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung durch eine Person mit besonderen Qualifikationsanforderungen, wie zur Prüfung befähigte Personen, zugelassene Überwachungsstellen, Sachkunde oder Sachverständige, die von Regelungen oder vom Regelwerk gefordert wird und keine Kontrolle im Rahmen der Eigenüberwachung des Betreibers ist.
- Wartung: Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats (nach DIN 31051).
- Verbesserung: Kombination aller technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Steigerung der Zuverlässigkeit und/oder Instandhaltung und/oder Sicherheit eines Anlagenteils, ohne eine wesentliche Änderung herbeizuführen (nach DIN 31051).

Damit ist Instandhaltung der Oberbegriff für Kontrolle, Prüfung, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung. In Folgenden werden diese Definitionen berücksichtigt.

Nach VdS 3470 „Biogasanlagen“ sind alle technischen Anlagen und Einrichtungen entsprechend der Regelwartungspläne der Hersteller bzw. Lieferanten bzw. nach den Festlegungen in der Gefährdungsbeurteilung zu kontrollieren, zu warten und instand zu halten. Reparaturen sind aufgrund der Komplexität der Arbeiten nur durch vom Hersteller autorisiertes bzw. durch entsprechend geschultes Personal auszuführen (VdS 3470 (2016)).

Nach dem Merkblatt DWA-M 377 (2016) sind bei der Wartung, Instandhaltung und Reparaturen von Membransystemen folgende Punkte zu beachten:

- *„Jede Tätigkeit darf nur entsprechend einer Arbeitsanweisung, die nach einer Gefährdungsbeurteilung erstellt wurde, von einem geschulten und eingewiesenen Personal durchgeführt werden.*
- *Vor der Arbeitsaufnahme muss geprüft werden, ob eine Arbeitsfreigabe erfolgen muss, was z.B. bei einem erforderlichen Begehen einer Unterkonstruktion erst nach einer Überprüfung der Standsicherheit erfolgen kann (z.B. Belastungsprobe bei Holzkonstruktionen).*
- *Die Wartung des Membransystems sollte gemäß den Angaben des Herstellers/Inverkehrbringers erfolgen, insbesondere:*
    1. *regelmäßige Überprüfung der Membranen auf Beschädigungen, Verschleiß,*
    2. *Kontrolle der Außenmembranbeschichtung auf Versprödung,*
    3. *Kontrolle des Befestigungssystems (Korrosion etc.),*
    4. *regelmäßige Kontrolle der Sicherheitseinrichtungen,*
    5. *Kontrolle der Unterkonstruktion, z. B. Zustand der Holzunterkonstruktion,*
    6. *Kontrolle der Befestigung/des Sicherheitsnetzes,*
    7. *zur Wartung der Membransysteme sind die erforderlichen Begehungseinrichtungen vorzusehen.*
- *Für das Verhalten bei erwartbaren Störungen innerhalb des Membransystems sind individuelle Regelungen zu treffen, welche in Arbeitsanweisungen nach einer Gefährdungsbeurteilung, festgelegt sein müssen.“*

5.4.12 Wiederkehrende Kontrollen und Prüfungen

Nur durch wiederkehrende Kontrollen und Prüfungen im Betrieb kann sichergestellt werden, dass die zur Emissionsminderung sowie zur Erreichung eines Sicherheitsniveaus ergriffenen Maßnahmen auch wie beabsichtigt wirksam sind. Gemäß Merkblatt DWA-M 376 sind neben den oben genannten Prüfungen zusätzlich nachfolgende Kontrollen und Prüfungen durchzuführen, soweit sie auf die Bauart des Membransystems zutreffen und anwendbar sind (Zitat nach DWA-M 376):

wöchentlich

- *Sichtkontrolle des Zustands der Schutzzone*
- *Kontrolle der Schutzzone auf Gasgeruch*

- *Sichtkontrolle des Behältergehäuses und dessen Fundament auf Beschädigungen und Veränderungen*
- *Sichtkontrolle der außerhalb des Behälters angebrachten Sicherheitseinrichtungen auf Beschädigungen und Veränderungen*
- *Sichtkontrolle der Füllstände von Flüssigkeitsvorlagen*
- *Sichtkontrolle der Armaturen und sonstiger Installationen in den Gasanschlussleitungen*
- *Sichtkontrolle der Entwässerungseinrichtungen*
- *Kontrolle auf außergewöhnliche Geräuschentwicklung*

monatlich

- *Betätigung und Funktionsprüfung aller Armaturen*
- *Funktionskontrolle der Füllstandsmessung*

1-jährlich

- *Funktionsprüfung des Biogasbehälters durch eine vollständige Füllbewegung*
- *Funktionsprüfung der Inhaltsmesseinrichtung*
- *Funktionsprüfung der Sicherheitseinrichtungen*
- *Sichtprüfung der Belastungseinrichtung und deren Führung*
- *Sichtprüfung der Membrane im Biogasbehälterluftraum*
- *Sichtprüfung sonstiger Einrichtungen im Biogasbehälterluftraum*
- *Funktionsprüfung der Entwässerungseinrichtungen*
- *Sichtprüfung des Korrosionsschutzes im Biogasbehälterluftraum und der Behälter-außenflächen*
- *Messung des Erdungswiderstands*

2-jährlich

- *Sichtprüfung des Korrosionsschutzes im Gasraum*
- *Sichtprüfung der Membrane im Gasraum*
- *Sichtprüfung der im Gasraum befindlichen Teile der Führung der Belastungseinrichtung*
- *Prüfung der Dichtheit mit schaumbildenden Mitteln (Sichtverfahren nach DVGW Arbeitsblatt G 469 3.1), stichprobenartig*
- *in Abhängigkeit des Prüfergebnisses kann das Prüfintervall für die innere Prüfung auf maximal vier Jahre verlängert werden*

10-jährlich

- *Wiederholung der Prüfung der technischen Dichtheit, sofern die Membrane nicht zuvor ausgetauscht wurde*

Der aktuelle Gelbdruck des DWA-Merkblattes E-DWA-M 375 (Stand 18.08.2016) sieht darüber hinaus für Membransysteme die in der Tabelle 13 genannten wiederkehrenden Kontrollen und Prüfungen vor.

Tabelle 13: Wiederkehrende Kontrollen und Prüfungen nach DWA-Merkblatt E-DWA-M 375

Arbeitsumfang	empfohlenes Intervall
Begehung der Anlage mit Geruchs- und visueller Kontrolle	arbeitstäglich
CH_4-Messung an den Seilzugdurchführungen (Anmerkung: regelmäßiges Abschmieren notwendig, insbesondere nach jeder Betätigung, Seilzüge sollen nicht durch die Membrane geführt werden)	nach Betätigung, spätestens monatlich
CH_4-Messung im Tragluftstrom	monatlich bis quartalsweise
Sichtprüfung des Korrosionsschutzes, der Einspannstellen/Befestigung	quartalsweise bis halbjährlich
Prüfung der Dichtheit des gesamten Gasspeichersystems	jährlich bis max. dreijährlich
Prüfung der Permeabilität von einschaligen Systemen mit Haubenmethode	dreijährlich, mit zunehmendem Alter auch kürzer

Entnommen aus Gelbdruck E-DWA-M 375 (2016)

E-DWA-M 375 ist derzeit im Einspruchsverfahren, so dass der Vorschlag aus Tabelle 13 als vorläufig zu betrachten ist. DWA M 376 liegt bereits sehr längerer Zeit vor und soll nach Abschluss der aktuell in Bearbeitung befindlichen Merkblätter überarbeitet werden. Insoweit können die Angaben der beiden Listen nur als Vorschlag betrachtet werden. Sie stellen noch keinen Stand der Technik dar.

6 Recherche bei den Herstellern hinsichtlich der für Anforderungen und Bewertungskriterien relevanten Eigenschaften ihrer in den Verkehr gebrachten Produkte (AS 3)

6.1 Vorgehensweise bei der Recherche

In dem an die Hersteller versandten Fragebogen wurde abgefragt, welche Anforderungs- und Bewertungskriterien ihre Produkte bezüglich der Einstufung als „allgemein anerkannte Regel der Technik“ bzw. „Stand der Technik“ erfüllen. In der Umfrage wurden zunächst die allgemein bekannten Kriterien abgefragt. Es hat sich aber gezeigt, dass diese Befragung noch weiter detailliert werden muss, was nur in einem persönlichen Interview erfolgen kann. Leider war die Resonanz bei den Firmen sehr gering. Bezüglich des Fragebogens wird auf den Anhang verwiesen. Die Auswertung der Rückmeldungen ist in der Tabelle 14 wiedergegeben.

Tabelle 14: Auswertung des Fragebogens zur Einhaltung bestehender Regelwerke

Regelwerk	Anzahl der Unternehmen
Allgemein	
BetrSichV, Betriebssicherheitsverordnung	9
Technische Information 4 – Sicherheitsregeln für Biogasanlagen	9
VdS 3470 Biogasanlagen	3
TRGS 529 – Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas	6
TRBS 1201 – Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen	7
Bautechnik	
DIN 4102 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teile 1, 2, 7	7
DIN EN 13501 – Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten	6
Bauaufsichtliche Zulassung durch das DIBt	
komplettes Produkt	2
einzelne Teile	2
Zulassungen anerkannter Prüfstellen (z.B. BAM)	
komplettes Produkt	0
einzelne Teile	0
Anlagentechnik / Prozessleittechnik / EMSR	
Richtlinie 2006/42/EG – Maschinenrichtlinie	7
VDI/VDE 2180 – Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik	1
Gas-Installation und Messtechnik	
DVGW G 600 Technische Regeln für Gas-Installationen	2
DVGW G 465-4, Gasspür- und Gaskonzentrationsmessgeräte für die Überprüfung von Gasanlagen	3
VDI 4285 Blatt 1, Messtechnische Bestimmung der Emissionen diffuser Quellen, Grundlagen, Juni 2005	0

Regelwerk	Anzahl der Unternehmen
DWA-Regelwerk	
DWA M 212, Technische Ausrüstung von Faulgasanlagen auf Kläranlagen	2
DWA M 217, Explosionsschutz für abwassertechnische Anlagen	2
DWA M 363, Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen	3
E-DWA M 375, Technische Dichtheit von Membranspeichersystemen	4
DWA M 376, Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membrandichtung	8
DWA M 377, Biogas-Speichersysteme - Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen	5
Explosions- und Blitzschutz	
Richtlinie 2014/34/EU, ATEX-Produktrichtlinie	7
EN 60079-0, Explosionsfähige Atmosphäre - Teil 0: Geräte - Allgemeine Anforderungen	6
TRBS 1112-1 - Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten -Beurteilung und Schutzmaßnahmen	6
TRBS 2152 Teile 1, 2, 4 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre	4
TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen	3
VDE 0165-1, Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen	3
VDE 0170/0171, Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche	4
VDE 0185-305 / DIN EN 62 305, Blitzschutz	3
Tragwerke	
DIN EN 1990 – Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung	7
DIN EN 1991 – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke	6
DIN EN 1993 – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten	6
Gurtmaterial	
DIN EN 12195-2 – Zurrgurte aus Chemiefasern	6
Membranen	
DIN 53359 – Prüfung von Kunstleder und ähnlichen Flächengebilden – Dauerknickversuch	5
DIN 53363 – Prüfung von Kunststofffolien – Weiterreißversuch an trapezförmigen Proben mit Einschnitt	8
DIN 53380 – Prüfung von Kunststoffen – Bestimmung der Gasdurchlässigkeit	8
DIN 53504 – Prüfung von Kautschuk und Elastomeren – Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch	3
DIN EN 1779 – Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Kriterien zur Auswahl von Prüfmethoden und –verfahren	3
DIN EN 12280 – Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien	3
DIN EN 1876 - Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Prüfungen bei niedrigen Temperaturen	4

Regelwerk	Anzahl der Unternehmen
DIN EN ISO 1421, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien -Bestimmung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung	8
DIN EN ISO 2411, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien -Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen	6
DIN EN ISO 13934, Textilien - Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden	5
DVS 2225-1, Fügen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau; Schweißen, Kleben, Vulkanisieren	4
DVS 2226, Prüfen von Fügeverbindungen an Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen	4

6.2 Weitere Herstellerbefragung und Interviews

Ergänzend zu der Befragung mit dem Fragebogen wurden noch ausführliche persönliche oder telefonische Gespräche mit 11 Membransystemherstellern (MSH)/Inverkehrbringer (IB) hinsichtlich der Kriterien und Anforderungen an die Produkte zusätzlich zu den Literaturauswertungen geführt. Insbesondere sollte herausgefunden werden, welche fortschrittlichen Systeme angeboten und vertrieben werden. Mit folgenden Unternehmen wurden Interviews geführt:

Deutsche Biogas Dach-Systeme GmbH, Sattler Ceno Biogas GmbH, Eisenbau Heilbronn GmbH, Ökobit GmbH, Agraferm Technologies AG, Schmack Biogas GmbH, Weltec Biopower GmbH, Baur Folien GmbH, NQ Anlagentechnik GmbH, PlanET Biogastechnik GmbH, Klärgas Deutschland GmbH

Dabei muss auf folgendes hingewiesen werden. Biogasanlagen werden in den meisten Fällen von Generalunternehmern geliefert, die aber ganz/überwiegend oder teilweise auf Zulieferer von Membransystemherstellern zurückgreifen. Teilweise liefern sie aber eigene Teile bzw. montieren zugelieferte Teile bzw. ergänzen diese. Außerdem ist das Membransystem nur ein Teil des gesamten Behälters, für den in praktisch allen Fällen der IB verantwortlich ist. Daher ist der MSH in der Regel Unterlieferant des IB bzw. Generalunternehmers. In der Umfrage wurden nun sowohl Generalunternehmer als auch Zulieferer von kompletten oder teilkompletten Membransystemen befragt. Besonders Behälterbauer lassen sich die Membransysteme komplett mit Befestigung und Füllstandsmessung zuliefern. Die Befragten werden daher wie folgt unterschieden: Membransystemherstellern (MSH), Inverkehrbringer der Biogasanlage und damit des Behälters als Generalunternehmer (IB). Nur in wenigen Fällen werden Biogasanlagen durch Planer ausgeschrieben und gewerkemäßig vergeben. Solche kamen in der Umfrage nicht vor. Insgesamt wurden in den Interviews, die ca. 2-3 Stunden dauerten, folgende Themenbereiche angesprochen:

a) **Merkblatt DWA-M 377**: Ist diese bekannt und können alle Anforderungen(z. B. Umfang der Nachweise, Teilsicherheitsfaktoren, Abminderungsfaktoren, Prüfungen, Dokumentation) umgesetzt werden? Gibt es Systemuntersuchungen von Materialuntersuchungsanstalten (z.B. Ausreissicherheit)? Gibt es bevorzugte Systemelemente oder werden sowohl einschalige als auch mehrschalige Membransysteme geliefert und z.B. verschiedene Befestigungssysteme angeboten? Ist Ihnen der Begriff Stand der Technik bzw. Stand der Sicherheitstechnik geläufig? Sind Ihnen bei der Angebotserstellung die Anforderungen aus dem Genehmigungsbescheid bekannt?

   Auswertung:

   Bis auf zwei Hersteller ist das Merkblatt allen Herstellern nicht nur bekannt, sondern es wird ausdrücklich festgestellt, dass die inhaltlichen Anforderungen umgesetzt werden können.

Bis auf einen Hersteller empfehlen alle Hersteller das Klemmschienensystem. Der Hersteller, der den Klemmschlauch empfiehlt, begründet dies ausschließlich mit dem Versagensverhalten z.B. bei Überlastung durch Orkaneinwirkung, d.h. ein Klemmschienenversagen führe zu einer Zerstörung der Membrane, während dies beim Klemmschlauch nicht der Fall sei. Ob neben zweischaligen Systemen auch einschalige angeboten werden, ist ausschließlich Markt getrieben. Die meisten Inverkehrbringer weisen aber darauf hin, dass mit korrekt gebauten und betriebenen einschaligen Systemen kein nennenswertes Speichervolumen bereitgestellt werden kann, so dass sie diese Systeme als Speicher nicht empfehlen, allenfalls als Abdeckung.

Alle Befragten verbinden mit dem Begriff „ Stand der Technik“ bzw. „Stand der Sicherheitstechnik“ keine konkreten Anforderungsprofile, insbesondere auch nicht in der gegenseitigen Abgrenzung. Konkrete Anforderungen aus dem Genehmigungsbescheid sind keinem IB bekannt gemacht worden.

Weiter wurde erwähnt, dass als Mindestanforderungen, auch die im Merkblatt DWA-M 376 geforderten Standards, für alle Anlagen beachtet werden.

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- Klemmschlauch sei bei Stromausfall zu empfindlich. Zeltdächer haben ein zu geringes verfügbares Speichervolumen, sind aber kostengünstiger als stützluftbetriebene Dächer.
- Einschalige Systeme werden nur noch für kleine Anlagen empfohlen (<30kW) (IB).
- Gute Erfahrungen mit PE-Membranen, die deutlich langsamer altern (20 Jahre) als PVC beschichtete Membranen (10 Jahre)(IB).
- Durch UV Strahlung würde Membrane über die Zeit schrumpfen, so dass eine Wiederinstallation problematisch sei. (Anmerkung Verfasser: durch korrekte Statik sollte dies auch nicht erforderlich werden, schrumpfen sollte bei der Statik durch Abminderungsfaktoren berücksichtigt werden.)
- Bei großen Dächern hätte Klemmschlauch in der Praxis Probleme gezeigt.
- Aufgrund DWA-M 377 müssen einige Produkte angepasst werden.
- Von einzelnen IB wird darauf hingewiesen, dass „TÜV“ Prüfungen mit entsprechenden Dokumenten für bestimmte Typen von Behältern vorliegen würden.
- Das Biogashandbuch Bayern wird als SdT gesehen.
- Ein IB empfiehlt bei den Anforderungen nach Anlagengrößen zu differenzieren.

b) Membranen: Fragen zur Lieferkette: Gibt es einen oder mehrere Verantwortliche, wer legt die Anforderungen an die Materialeigenschaften fest und wer kontrolliert? Wer macht die Schlussabnahme? Wird ein Inbetriebnahmeprotokoll gefertigt und wenn ja, wer macht dieses? Wer macht die Inbetriebnahme des Membransystems? Gibt es außer der Eigenkontrolle auch eine Fremdkontrolle? Gibt es Qualitätskontrollen bei der Herstellung (z. B. der Schweißnähte, des Materials, des Schnitts), der Montage, der Inbetriebnahme. Welche Werte für die Materialeigenschaften der Membranen können Sie liefern? Welche Ausstattung können Sie anbieten (UV-Beständigkeit, Reflexion, elektrostatische Leitfähigkeit). Welche Methan-Permeabilität können Sie mindestens erreichen?

Auswertung:

Die Materialeigenschaften werden in allen Fällen wie folgt festgelegt:

- Alle IB vertrauen auf die Zulieferung durch die MSH, stimmen die Anforderungen ab und machen dann keine Eigenüberwachung mehr, d.h. das Anforderungsprofil wird mit den MSH abgestimmt. Eine Kontrolle findet damit praktisch bei allen nur noch bei der Abnahme durch eine

Dichtheitsmessung statt. Ein IB erwähnt, dass auf der Ebene der Konfektionäre eine Eigenkontrolle pro Membranrolle durchgeführt wird. Diese Werte seien verfügbar, werden aber nicht eingesehen.

- Die Zugfestigkeit wird durch den beteiligten Statiker, entweder auf Seiten des Dachzulieferers bzw. des IB festgelegt. Hier werden die Anforderungen der Statiker grundsätzlich erreicht. Als maximaler Wert bei der Höchstzugkraft für eine am Markt verfügbare Membrane wurde übereinstimmend 5600 N/5 cm genannt.
- In einem Fall gehen Nachweise zu den Verschweißungen vom MSH an den IB.
- Es wurde mehrfach der Hinweis gemacht, dass man auf zusätzliche Prüfungen verzichten würde, da die Hersteller bzw. Konfektionäre zertifiziert seien (z.B. Qualitätsmanagement, Schweißzeugnis).
- Weitere Anforderungen ergeben sich aus den Standortbedingungen (Wind, UV-Beständigkeit), die an den MSH weitergegeben werden. Hinsichtlich der UV Beständigkeit gibt es in keinen Fällen Spezifikationen.
- Die Reflexion wird in keinen Fällen quantitativ festgelegt. Alle IB und MSH empfehlen eine graue Einfärbung, um eine möglichst hohe Reflexion zu erreichen.
- Die meisten IB orientieren sich bei der Methanpermeabilität an den Vorgaben aus den Regelwerken (1000 ml/m^2·d·1000 hPa)- 500 (ml/m^2·d·1000 hPa). Mehrere MSH geben Werte unter 250(ml/m^2·d·bar). Ein MSH gibt Werte unter 10 (ml/(m^2·d·bar) als erreichbar an. (Anmerkung: Wie oben erläutert, stellt die Druckangabe den Partialdruck dar, wobei sich der Wert auf einen Partialdruck von 1000 hPa bezieht.)
- Im Klärgasbereich sei der Oberflächenwiderstand ein regelmäßiges Thema.
- Hinweise, dass ein UV-Schutz die Verschweißbarkeit beeinflusse, wurden nicht gegeben.
- Die elektrostatische Leitfähigkeit (Oberflächenwiderstand $\leq 10^9$ Ω und Ableitwiderstand $\leq 10^6$ Ω (bei 23 °C und 50 % Luftfeuchte)) wird von allen als erreichbar angesehen, jedoch ergeben sich folgende Differenzierungen:
    - PVC beschichtetes Gewebe: bislang ist am Markt keine Membran mit elektrostatischer Leitfähigkeit < 10^9 Ohm installiert worden. Eine Erreichung dieses Wertes mit diesen Membranen wird als problematisch angesehen, da die Modifikation der Membrane Auswirkungen auf die Verschweißung haben. Derzeit wird es übereinstimmend als problematisch gesehen, mit diesem Membrantyp die Anforderungen zu erfüllen.
    - LD-PE Membran: Ein MSH liefert als gasabdeckende Membran diesen Membrantyp, der die Anforderungen nach Auskunft des MSH unproblematisch erfüllt. Eine Auswirkung auf die Verschweißung sei nicht gegeben.
    - PP-Membran: Ein MSH liefert als gasabdeckende Membran diesen Membrantyp, der die Anforderungen nach Auskunft des MSH unproblematisch erfüllt. Eine Auswirkung auf die Verschweißung sei nicht gegeben.
- Medienbeständigkeit: Den MSH wird in allen Fällen eine Gasanalyse übergeben, für die der MSH eine Garantieerklärung gibt. Was die Materialeigenschaften der Membranen anbelangt, wird ausschließlich auf die lieferbaren Membrantypen der MSH zurückgegriffen. Hierfür sind die einzelnen Materialdaten in Datenblättern publiziert. Garantien für eine Beständigkeit der Membrane werden für Laufzeiten zwischen 2 und 5 Jahren gegeben, teilweise nur in Verbindung mit einem Wartungsvertrag. Längere Laufzeiten in der Größenordnung von 8 bis 10 Jahren werden zwar genannt, nicht aber verbindlich bestätigt. In einem Fall wurde eine Laufzeiten von über 20 Jahren genannt. Im Klärgasbereich gibt es Fälle, bei denen Membranen repariert

werden. Es werden aber von keinem Befragten Vorgaben für ein Betriebsverhalten, eine bestimmte Wartung oder Materialuntersuchungen gemacht, um die erwartete Standzeit zu verlängern bzw. bewerten zu können. Hinsichtlich der Haltbarkeit der Innenmembran werden teilweise Vorgaben zur maximalen H_2S-Konzentration im Biogas (0,4 %) gegeben.

- Von keinem MSH bzw. IB wird ein Gerät benannt, das eine zerstörungsfreie Prüfung der Membran ermöglicht, d.h. eine Prüfung im laufenden Betrieb wird nicht durchgeführt. Damit können Langzeituntersuchungen zum Materialverhalten am eingebauten Material nicht erfolgen. Der Einbau von Prüfmaterialien, die während des Betriebs entnommen und dann getestet werden können, erfolgt in keinem Fall.
- In keinem Fall wurde in den einzelnen Stufen der Lieferkette (Membranhersteller, Konfektionierung, Verschweißung, Transport/Lieferung, Montage, Inbetriebnahme, Abnahme) oder über die gesamte Lieferkette eine Prüfung durchgeführt. Fremdprüfung ist komplett unbekannt. In zwei Fällen werden Prüfungen durch Bauleiter genannt. Schweißnähte werden nicht geprüft. Die einzige Qualitätssicherung bei allen IB ist die Dichtheitsmessung zur Abnahme am Schluss der Übergabe der Anlage. Dies erfolgte in fast allen Fällen durch den Behälterlieferant (MSH), nur in Ausnahmefällen im Beisein des IB und nur in zwei Fällen durch die Planer. Ein Inbetriebnahmeprotokoll wird ausnahmslos in allen Fällen vom MSH in Zusammenarbeit mit dem IB erstellt. Die Inbetriebnahme wird durch den IB vorgenommen und zwar in Zusammenarbeit mit dem MSH. Fremdkontrollen gab es in keinem Fall. Qualitätskontrollen bei der Herstellung der Membranen macht ausschließlich der MSH, hier werden chargenweise Untersuchungen durchgeführt und auch dokumentiert. Die Daten werden aber in keinem Fall extern abgefragt und kontrolliert. Eine Abfrage wäre möglich, kostet aber Geld.
- Durchführungen durch die Membrane werden grundsätzlich von allen Befragten abgelehnt, es sei denn, sie würden wie eine Klemmverbindung ausgeführt.
- Der Oberflächenwiderstand sei bislang kein Thema gewesen.

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- Die Methanpermeabilität wird nach Kundenwunsch (Wirtschaftlichkeit, behördliche Vorgabe) festgelegt. Die Kostenunterschiede seien aber nicht bedeutsam.
- Derzeit würden mit Aluminium beschichtete Membranen getestet, die nochmals deutlich geringere Permeabilitäten hätten.
- Die Standzeit sei im Mittel 6-8 Jahre (IB); die Standzeit sei 3-4 Jahre, wenn hohe Belastungen auftreten (IB).
- Die Anforderungen durch die Witterungsbedingungen seien enorm und würden die äußere Membrane stark verändert (IB).
- Vereinzelt wurden Zugversuche durchgeführt (IB).
- Erfahrungen mit Farbe waren so, dass bei Grau 75 °C auftraten, bei Grün 95 °C, eine Differenz von 20 °C sei typisch. Ein IB nennt Temperaturunterschiede von ca. 15 °C zwischen Schwarz und Grau.
- Rote Einfärbung sei nicht mehr üblich.
- Der aufgebrachte Lack zur UV-Beständigkeit kann die Schweißbarkeit beeinflussen und wird bei Dehnung spröde.
- Grüne Farbe würde wegen Wiedererkennung gewählt.

c) **Befestigungssysteme:** Welche Systeme liefern Sie? Wer plant diese, wer legt die Details fest (Schraubenabstand, Klemmschienenbreite, Aufbau der Lagen etc. wer dimensioniert, wer macht die statischen Nachweise? Ist das eine Einzelanfertigung oder werden die Systeme komplett zugekauft? Gibt es Untersuchungen einer Prüfanstalt? Sind Probleme mit dem Klemmschlauchsystem bekannt?

Auswertung:

Hier ist zu unterscheiden zwischen der Vergangenheit und der Gegenwart. Aktuell liefert von den Interviewten nur noch ein IB ein Klemmschlauchsystem; ein bisheriger IB sagte, dass er mit dem Klemmschlauch das DWA M 377 nicht erfüllen kann. Sämtliche gelieferte Systeme sind Eigenkonstruktionen der IB in Zusammenarbeit mit den MSH; teilweise liefert komplett der MSH zu. Dabei werden in Zusammenarbeit mit den beteiligten **Behälter-Statikern,** (nicht Membranstatikern!) die Details der statischen Konstruktion (Art der Dübel, Dübelabmessungen, Schrauben, Schraubenabstände, Klemmschienenbreite etc.) festgelegt und mit den MSH abgestimmt. Der IB liefert dann die Materialwahl und den Schichtenaufbau. Die Herstellung erfolgt dann durch die IB in Eigenfertigung und Montage. Nur in zwei Fällen kam die Befestigung vom MSH. Dies bedeutet, dass es sich in allen Fällen um anlagenspezifische Einzelanfertigungen mit eigenem Know-how des IB handelt. Untersuchungen von Befestigungssystemen sind in Einzelfällen durchgeführt worden, allerdings nicht systematisch und somit nicht für eine Statik verwendbar. Probleme mit dem Klemmschlauch sind aus der Vergangenheit bekannt. Die derzeit verwendeten Systeme mit Glykolvorlage funktionieren jedoch nach Angaben von 2 IB einwandfrei. Nagetierverbiss ist nur bei einem IB in einem Fall bekannt geworden.

Da Membransysteme bei allen Befragten komplett durch die IB an den Kunden übergeben werden, gibt es für technische Details keine detaillierten Angaben.

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- Bei Klemmschlauch sei Zone 2 auszuweisen (IB)
- Bei Klemmschlauch könne keine technische Dichtheit gewährleistet werden.
- Die Ausreißsicherheit sei ausschließlich über die Keder gewährleistet.

d) Unterkonstruktionen: gibt es bevorzugte Systeme oder werden sowohl Gurte als auch Holzkonstruktionen eingesetzt? Wer entwirft das System, wer legt es fest, wer macht die statische Berechnung? Wer legt die Details fest (Art der Befestigung, Art der Dübel etc.)? Gibt es bevorzugtes Material?

Auswertung:

Von fast allen Interviewten werden Gurtsysteme gewählt bzw. empfohlen. Holzkonstruktionen werden von allen Befragten nicht empfohlen und nur bei kleinen Anlagen und allenfalls auf Kundenwunsch hin verbaut. Ein IB hat eine Unterkonstruktion aus Betonbalken. Der Systemaufbau wird vom Statiker und MSH konstruiert und im Detail festgelegt (Zahl der Gurte, Gurtbefestigung). Alle Systeme werden vom Statiker dimensioniert, in der Regel der Behälter-Statiker des IB. Der IB sorgt überwiegend dafür, dass die Statik der Behälter mit der des Membransystems abgestimmt wird. Die Mittelstützen sind überwiegend aus Stahl, beschichtet oder aus Edelstahl, selten aus Beton. Die Montage erfolgt dann durch den IB.

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- Holz sei nicht mehr Stand der Technik (IB)
- Holzbalkenkonstruktionen hätten Probleme bei den Versicherungen und mit der Logistik (Transport) im Vergleich zu den Gurten
- Gurte lassen sich leichter als Holzkonstruktionen rechnen

e) Füllstandsmessung: Benutzen Sie ein eigenes System oder kaufen Sie ein fremdes System zu? Wer wählt dieses aus? Wird das System über die gesamte Höhe kalibriert, gibt es eine Kurve V=f(h)? Wer montiert das System, wer nimmt in Betrieb und wer kalibriert. An wieviel Punkten soll die

Membranhöhe abgegriffen werden? Gibt es Angaben zur Genauigkeit an bestimmten Punkten/über die gesamte Füllhöhe?

Auswertung:

In nahezu allen Fällen wurde ein System des IB eingesetzt, dass dieser sich aus Einzelkomponenten, teilweise auch vom MSH, zusammenstellt und in fast allen Fällen, bis auf zwei Ausnahmen, selbst montiert und in Betrieb nimmt. In einem Fall wurde das System komplett vom MSH geliefert, montiert und in Betrieb genommen. Teilweise werden komplette Messsystem am Markt angeboten und eingesetzt, die aber nur die Höhenmessung durchführen, nicht aber den Füllstand angeben, d.h. diese Systeme haben nichts mit dem Verhalten der Membrane zu tun. Die Umrechnung Füllhöhe in Füllvolumen ist in diesem Fall nicht Sache des Lieferanten des Messsystems.

Die eingesetzten Systeme sind sehr unterschiedlich. Es kommen praktisch alle am Markt üblichen Systeme vor (Seillängenbestimmung, hydrostatische Messung, Ultraschallmessung). Die Bewertung der Systeme ist insgesamt so, dass von allen die Genauigkeit als gering eingeschätzt wird. Daher wird von allen empfohlen, wenn keine Vergleichmäßigung der Verformung der Gasmembran gegeben ist, wenigstens 2 besser 3 in Ausnahmefällen 4 Messpunkte abzugreifen. Bei Vergleichmäßigung der Verformung der Innenmembran reiche ein Punkt aus. Ein IB schlägt ein zweites Messsystem vor. Aber auch hier wird insgesamt die Genauigkeit als nicht sehr hoch bewertet.

Ein MSH hat ein neues System entwickelt, dass eine Vergleichmäßigung des Verformungsverhaltens der Gasmembrane zum Ziel hat und gibt damit einen sicheren unteren Messpunkt zur Abschaltung bei 5 % des Maximalwertes an. Alle MSH bzw. IB kalibrieren das System nur bei 0% und 100 %, Zwischenwerte wurden in einem einzigen Fall kalibriert, in einem Fall wurde eine Kalibrierkurve aufgenommen. Insgesamt gibt es in keinem Fall Angaben zur Genauigkeit. Die meisten Befragten fanden die Frage interessant. Das Messsystem wird fast ausschließlich vom IB, also dem Behältererersteller montiert und auch in Betrieb genommen. Außer der allgemeinen Abnahme der Biogasanlage findet damit an keiner Anlage eine zusätzliche Prüfung (außer durch die Montagefirma) des Füllstandmesssystems statt. In einem Fall wurde der Luftzwischenraum drucküberwacht.

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- Die Abschaltung erfolgt bei 20 % Füllhöhe, ein IB nennt dafür 30 % und ordnet einem Füllstand unter 20 % keine nennenswerte Genauigkeit mehr zu.
- Ein IB stellt ein CE Zeichen für die Gesamtanlage und damit auch für die Füllstandsmessung aus, montiert aber Komponenten und integriert diese in die SPS.
- Neuere, bessere Entwicklungen werden vorbereitet. Diese beziehen sich ausschließlich darauf, die Verformung der Innenmembrane zu vergleichmäßigen. (Anmerkung: Bei Membransystemen, die mit höheren Drücken betrieben werden (bis zu 40 mbar), wird eine Vergleichmäßigung durch Auflast mit einer Betonplatte erreicht, was gut funktioniert.) Infolge der zumeist niedrigen Drücke wird derzeit angestrebt, durch eine ausreichend große Zahl an Spannsystemen die Verformung zu beeinflussen.

f) **Stützluftgebläse, Überströmeinrichtung und Tragluftauslass:** Wer dimensioniert das System, die Gebläse, die Leitungen, die Überströmeinrichtungen etc.? Werden gemäß M-377 alle Lastzustände definiert und berücksichtigt? Ist Redundanz erforderlich, was passiert bei Gebläse, Stromausfall? Werden die Ventilatoren gesteuert bzw. geregelt? Wer plant, baut, das System, wer macht die Detailplanung, gibt es Komplettsysteme? Ist das System geeignet zur Durchspülung des Behälterzwischenraums, ist es geeignet zur Überströmung auf der der Zuluft abgewandten Behälterseite?

Auswertung:

Die Gebläse/Ventilatoren werden von allen IB in Zusammenarbeit mit den MSH ausgelegt und zwar sowohl hinsichtlich erforderlichem Volumenstrom $\dot{v}$ als auch zu lieferndem Druck p. Dabei würden

auch alle Lastzustände nach M-377 berücksichtigt. In zwei Fällen erfolgte die Auslegung und Montage ausschließlich durch den MSH. Damit werden dann Ventilatoren, Rohrleitungen, Überströmeinrichtungen, Tragluftauslässe, Rückschlagklappen und Querströmungen überwiegend durch IB dimensioniert und geplant. Darüber gibt es ein entsprechendes Planungsdokument. Es handelt sich also um eine spezifische Auslegung.

Die Montage erfolgt ebenso überwiegend durch die IB. Komplettsysteme wurden von keinem Befragten genannt. Alle Befragten nannten übereinstimmend einen Zeitraum zwischen 10 bis 30 min, ein Befragter nannte 1-2 Stunden, den eine äußere Membrane ohne Stützluftversorgung sein könnte/sollte. Damit empfehlen, nicht fordern, **alle** Befragten eine redundante Ausführung, wobei sich einige auch mit dem Bereithalten eines Ersatzventilators begnügen könnten, und keine USV aber eine allgemeine Ersatzstromversorgung für die Stützluftversorgung. Die Ventilatoren werden in einigen Fällen bereits geregelt. Andere sehen das als nicht erforderlich an, da mit einem Maximalvolumenstrom gearbeitet wird. (Anmerkung: die zukünftig zu erwartende flexible Betriebsweise mit deutlich größeren Behältern und größeren Gesamtvolumina wird nur mit einem geregelten Ventilatorbetrieb machbar sein).

Alle Befragten halten ihr System für geeignet bzw. umrüstbar, um eine Bespülung des Luftzwischenraums zu ermöglichen und eine Kontrolle des der Zuluftseite gegenüberliegenden Tragluftauslasses hinsichtlich des Auftretens von Methan durchführen zu können. Ein Befragter erwähnt, dass seiner Meinung nach derzeit kein Stützluftüberwachungssystem (Konzentration, Volumenstrom) am Markt verfügbar sei. Es werden teilweise zwei/mehrere Tragluftauslässe für erforderlich gehalten, da z.B. bei Übergang Schatten/Sonne Druckänderungen von 1,2 mbar auf 3,0 mbar in 10 Sekunden aufgetreten seien, so dass hohe Volumenströme bei den Tragluftauslässen erforderlich seien. Ähnliches sei bei Regen gegeben (IB). Der Einbau von Rückschlagklappen in die Zuluftrohrleitung wurde nicht dezidiert genannt. (Anmerkung: der Einbau einer Rückschlagklappe ist bei der Anwendung von Radialventilatoren unerlässlich, da infolge des Überdrucks zwischen Innen- und Außenmembrane die Stützluft durch ein Rückwärtslaufen des Ventilators rasch entweichen würde).

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- In den meisten Fällen würden die Membranen aufeinander liegen, so dass kein bespülbarer Zwischenraum gegeben sei (IB)
- Eine Regelung des Stützluftvolumenstroms sei für die meisten Betriebe zu kompliziert und daher unwirtschaftlich (IB).
- Bereits nach 2-3 Minuten Gebläseausfall kann sich eine Verformung der Außenmembrane zeigen (IB).

g) **Tragwerksplanung, Statik (Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit der Membransysteme):** wer ist für die Statik verantwortlich und wer führt sie durch, wer macht die Berechnungen? Für welche Bauteile und Betriebszustände wird die Statik ausgeführt? Gibt es verpflichtend zu erfüllende Punkte bei Prüfung, Wartung, Kontrolle und Instandhaltung bzw. max. Standzeit als Voraussetzung zur Gültigkeit der Statik?

Auswertung:

Jeder MSH und IB arbeitet mit einem Statikbüro zusammen, das die Statik für die Membransysteme bzw. die Behälter (Fermenter, Gärbehälter, Gärrestlager) anfertigt. Generell kommen die Statiken für die Membranen von den MSH. Dabei gehen alle davon aus, dass die Statik zukünftig nach DWA M-377 ausgeführt wird, also mit Abminderungsfaktoren für alle Bauteile unter Belastung etc. Von

keinem IB werden Anforderungen an den Betreiber aus dem Betrieb gestellt, um die Randbedingungen der Statik erfüllen zu können (Anmerkung: z.B. Stützluftmanagement, Drucküberwachung, Temperaturbegrenzung).

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- Es gibt am Markt nur wenige Statikbüros die Membransysteme berechnen (können)(IB).
- Von einigen Befragten wurde die Meinung vertreten, dass in der Vergangenheit für Mittelmast und Unterkonstruktionen keine ausreichenden statischen Nachweise erarbeitet worden seien.
- Ein IB erwähnt, dass eine prüffähige Statik für ein Membransystem (z.B. geprüft von einem weiteren Statiker) teurer sei.

h) Dichtheit: Erste und wiederkehrende Dichtheitsprüfung. Ist das Anforderungsprofil „technisch dicht“ bzw. auf Dauer technisch dicht“ bekannt und welche Anforderungen bedeutet dies konkret? Wie wird die Dichtheit geprüft, durch wen, wann und während des Betriebs?

Auswertung:

Die Begriffe „technisch dicht“ bzw. auf „Dauer technisch dicht“ sind nahezu allen Befragten bekannt (haben alle Befragten bereits schon gehört). Allerdings verbinden das nicht alle mit der Anwendung von Leckageprüfschaum oder Vergleichbarem. Der Nachweis der Dichtheit an der Befestigung mit Schaum sowie der Überwachung der Stützluft ist allen bekannt und wird auch durchgeführt. Die IB lassen die erste Dichtheitsuntersuchung nach Betriebsbeginn, d.h. ab dem Zeitpunkt, bei dem eine Gasentwicklung gegeben ist, ausschließlich vom MSH durchführen. Eine Fremdkontrolle ist von keinem IB vorgesehen. Allenfalls, dass ein Bauleiter die Messungen begleitet bzw. mit einer „Gaskamera“ zusätzlich geprüft wird.

Ein Umlaufsteg wird nur auf Kundenwunsch erstellt. Wird aber mehrheitlich für nicht erforderlich gehalten, von einigen aber gebaut.

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- Ein IB will eine auf Dauer technisch dichte Randeinbindung durch ¼ jährliche Prüfung mit Leckageprüfschaum gewährleisten.

i) Errichtung und Inbetriebnahme, Instandhaltung incl. Kontrollen, Prüfungen, Wartung und Instandsetzung: gibt es Anforderungsprofile an den Betreiber, gibt es eine Eigen- oder Fremdkontrolle, gibt es konkrete Vorgaben?

Auswertung:

Inbetriebnahmen werden teilweise von den MSH durchgeführt, teilweise aber auch von den IB oder von den Planungsbüros. Dementsprechend unterschiedlich sind die Verfasser der Inbetriebnahmeprotokolle. Einige MSH empfehlen eine Vollwartung mit Entleerung des Behälters alle 5 Jahre, andere IB geben keinerlei Vorgaben für Wartungsintervalle bzw. eine Generalüberholung. Es gibt allgemeine Hinweise zum Betrieb und zur Wartung. Hinsichtlich des Membransystems werden allerdings von keinem MSH oder IB spezielle Anforderungen genannt. Vorgesehen sind ausschließlich Eigenkontrollen. Fremdkontrollen, z.B. Zustandsbegutachtung der Membrane werden von keinem Befragten gefordert bzw. benannt. Allerdings werden Wartungsverträge für die Speicher angeboten. Inbetriebnahmeprotokolle werden in allen Fällen gemacht. In einem Fall erfolgte das durch den Planer, ansonsten durch den IB.

Folgende Einzelaussagen wurden gemacht:

- In einigen Fällen werden Wartungsverträge mit Firmen, zumeist dem MSH, abgeschlossen.
- Für die Betreiber machen Wartungsverträge oft keinen Sinn, wenn die Garantiezeiten z.B. nur 2 Jahre sind.

j) Erfahrungen: Welche Erfahrungsberichte aus der Vergangenheit bzw. der Gegenwart scheinen für die Membransysteme besonders wichtig für die technologische Entwicklung in der Vergangenheit und die Weiterentwicklung?

Auswertung:

Bis auf kleinere Hinweise sind die Befragten mit dem aktuellen technischen Stand der Behälter zufrieden. Sie sehen die zahlreichen Detailprobleme der Vergangenheit (Schweißnähte, UV-Beständigkeit da ungenügende Beschichtung, Frost, Betriebsweise der Stützluftversorgung, Membranmaterial) als gelöst an.

Zusammenfassend können aus den Befragungen und Interviews folgende Feststellungen gemacht werden:

- Die übergeordneten Rechtsnormen und Regelwerke finden bei den Herstellern überwiegend Berücksichtigung, insbesondere werden sämtliche Anforderungen nach Merkblatt DWA-M 377 von allen bestätigt und als erfüllbar bewertet.
- Bauaufsichtliche Zulassungen wurden vereinzelt erteilt.
- Das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen wird überwiegend berücksichtigt. Bei den Befragten wird von allen die Brandschutzklasse B1 bestätigt.
- Die meisten Befragten favorisieren das Klemmschienensystem und diejenigen, die Klemmschläuche bevorzugen, halten diese unter den Anforderungen der M 377 als nicht realisierbar, da die Nachweise derzeit nicht geführt werden könnten.
- Einschalige Systeme können allenfalls noch zur Abdeckung, nicht aber als Speicher empfohlen werden, da sie aufgrund der geringen akzeptierbaren Verformung nur wenig Speichervolumen bieten.
- Die Begriffe Stand der Technik bzw. Stand der Sicherheitstechnik sind zwar allen bekannt, inhaltlich sind sie aber allen unbestimmt.
- Bei der Zugfestigkeit einen erreichbaren, maximalen Wert als Stand der Technik festzulegen macht keinen Sinn, da die erforderliche Größe dieses Wertes von den Tragwerksplanern (Statiker) auf der Basis der jeweiligen statischen Auslegung festgelegt wird.
- Anforderungen an die UV Beständigkeit sind als quantitativer Wert nicht spezifiziert, es handelt sich um eine Anforderung, die letztendlich über die Garantie erfüllt wird.
- Der Grad der Reflexion ist nicht quantitativ gegeben. Alle Befragten empfehlen aber eine helle Farbe (wenigstens Grau).
- Als Methanpermeabilität lässt sich gesichert ein Wert unter 250 ($ml/m^2 \cdot d \cdot bar$) erreichen. Eine Entwicklung geht zu noch kleineren Werten.
- Die Ableitwiderstand $\leq 10^6$ Ohm und der Oberflächenwiderstand $\leq 10^9$ Ohm bei 23 °C und 50% Luftfeuchte wird unabhängig von den oben zitierten Angaben aus der TRGS 727 von allen als erreichbar gesehen, jedoch sind bei den gewebegestützten beschichteten Membranen Probleme mit den Schweißnähten nicht auszuschließen. Entsprechende Erfahrungen mit diesen Membranen liegen belegbar nicht vor.
- Eine Medienbeständigkeit für Biogas wird von allen Befragten bestätigt, jedoch werden Garantien höchstens über 5 Jahre gegeben. Es gibt derzeit keine Nachweisverfahren für längere Laufzeiten. Eine Kontrolle der Medienbeständigkeit im laufenden Betrieb wird außer der optischen Kontrolle nicht genannt. Teilweise wird eine Vollwartung mit Entleerung des Behälters nach 5 Jahren für erforderlich gehalten.

- Materialprüfungen über die gesamte Lieferkette zur Bestätigung der Angaben der Datenblätter erfolgen generell nicht. Ggf. werden Daten beim Konfektionär erhoben. Fremdprüfung ist unbekannt. Inbetriebnahmeprotokolle werden generell erstellt. Für die Inhalte gibt es keinen klaren Umfang. (Anmerkung: dieser ist in DWA-M 377 genannt.)
- Durchführungen durch die gasabdeckende Membrane werden generell abgelehnt.
- Die Befestigungssysteme sind in allen Fällen Konzepte der IB und sind mit den Tragwerksplanern/Statikern abgestimmt.
- Klemmschlauchverbindungen werden bis auf einen Befragten nicht bevorzugt, ein Befragter sieht sie statisch als nicht nachweisbar an.
- Holzkonstruktionen werden generell nicht empfohlen. Generell werden Gurtsysteme eingesetzt. Generell stammt die Detailplanung vom IB und ist mit dem Statiker abgestimmt.
- Bei den Füllstandsmessverfahren kommen alle am Markt üblichen Systeme vor. Es handelt sich generell um Konzepte der IB, zusammengesetzt und montiert aus Einzelkomponenten. Kalibrierkurven wurden von keinem IB erstellt. Üblich ist eine Kalibrierung der untersten und obersten Position (0%, 100%). Angaben zur Genauigkeit gibt es generell nicht. Generell werden mehrere Messpunkte abgegriffen, nie über 3 Punkte.
- Generell werden Stützluftgebläse vom IB ausgelegt, geplant und montiert. Alle Lastzustände gemäß DWA-M 377 würden berücksichtigt. Es handelt sich also generell um spezifische Planungen. Als unproblematische Zeit für den Ausfall einer Stützluftversorgung wurde von allen maximal 10-30 Minuten benannt. Eine Redundanz der Stützluftversorgung wird von allen empfohlen. Generell sind die Ventilatoren explosionsgeschützt ausgeführt. Eine allgemeine Ersatzstromversorgung wird von allen empfohlen. Nur in wenigen Fällen werden Ventilatoren geregelt. Alle Befragten halten ihr System für eine Stützluftkontrolle gemäß E-DWA-M 375 geeignet.
- Die Anforderungen an die Statik nach DWA-M 377 können alle Befragten erfüllen.
- Die Anforderungen an die Dichtheitsprüfung mit Überwachung der Stützluft sowie Prüfung der lösbaren Verbindungen mit Leckageprüfschaum oder Analysegerät mit vergleichbarer Genauigkeit kann von allen erfüllt werden. Fremdprüfungen werden nirgends durchgeführt.
- Spezielle Anforderungen an die Wartung der Membransysteme z.B. mit dem Ziel einer Kontrolle des Zustandes der Membrane werden nicht gestellt. In wenigen Fällen wird eine Vollwartung mit Entleerung des Behälters alle 5 Jahre empfohlen.
- Die Befragten halten den aktuellen Stand der Entwicklung der Membransysteme für ausgereift.

7 Anforderungen und Kriterien zur Ableitung eines Standes der Technik hinsichtlich Emissionsminderung und Sicherheit bzw. Ableitung von relevanten Produkteigenschaften – Ermittlung des Standes der Technik (AS 5)

7.1 Grundsätzliches

Als grundsätzlich baugleiche Anlagenteile konnten folgende Bauteilgruppen identifiziert werden:

- Membranen (Folien und Gewebe)
- Befestigungssysteme
    1. Klemmschienensysteme
    2. Klemmschlauchsysteme
- Unterkonstruktionen
- Systeme zur Füllstandsmessung
    1. Ultraschall-Messgeräte
    2. Seillängengeber
    3. Hydrostatische Messsysteme
- Stützluftgebläse mit Überströmeinrichtung/Tragluftauslass

Für diese Bauteile wäre nachfolgend nunmehr, ausgehend von den obigen Ausführungen zu klären, welche technischen Merkmale und ggf. Betriebsweisen als „Stand der Technik“ einzustufen wären. Dies soll auf der Grundlage der Kriterien nach BImSchG sowie den vorgefundenen tatsächlichen Marktgegebenheiten, möglicherweise in Abgrenzung zu den „allgemein anerkannten Regeln der Technik“, erfolgen.

Zusätzlich zu den technischen Ausführungen der Bauteile müssen auch deren Anwendung sowie Betriebsweisen auf die Kriterien des „Standes der Technik“ beschrieben werden. Hierzu gehören:

- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit, Emissionsminderung und Sicherheit des gesamten Membransystems
- Dichtheit
- Abwicklung von Bau und Inbetriebnahme
- Durchführung von Wartung, Instandhaltung und Reparaturen
- Durchführung von wiederkehrenden Kontrollen und Prüfungen

Die Ermittlung des Standes der Technik erfolgt für die genannten Bauteile, deren Anwendung und Betriebsweisen auf der Grundlage der 13 Kriterien nach Anlage zu § 3 Abs. 6 BImSchG und den tatsächlichen Marktgegebenheiten, wie oben dargestellt.

Nochmals sei angemerkt, dass ein Lieferant, der das Membransystem frei von Sachmängeln zu verschaffen hat, dieses bei den üblichen bauvertraglichen Regelungen nach den „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ zu liefern hat. Dies kann auch bedeuten, dass das gelieferte Werk (Membransystem) die bei gleichen Werken übliche Beschaffenheit aufzuweisen hat. Da Biogasanlagen häufig nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigt werden, muss der danach erforderliche Stand der Technik ggf. gesondert vereinbart werden.

Die nachfolgend dargelegten Schlussfolgerungen lassen sich nach obigen Ausführungen machen.

7.2 Abzuleitende konkrete Anforderungen und Bewertungskriterien

7.2.1 Membranen

Bei der Membran handelt es sich um ein Bauprodukt, das über definierte und für den Anwendungszweck erforderliche Eigenschaften verfügen muss. Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit ist hier die einachsige Zugfestigkeit der beschichteten Membran zu erbringen. Dazu sind die entsprechenden Abminderungsfaktoren, u.a. um das Langzeitverhalten zu berücksichtigen, anzugeben. Die Werte sind mit Mehrfachuntersuchungen in zwei Richtungen zu ermitteln. Diese Vorgehensweise ist bei textilem Bauen üblich und kann auf den vorliegenden Anwendungsfall übertragen werden. Sie kann damit als Stand der Technik betrachtet werden.

Hinsichtlich der Anforderungen an die Materialien wird in der Literatur ein einheitliches Anforderungsprofil beschrieben. In den Regelwerken findet sich allerdings hierzu keine abschließende Liste. Außerdem ist der Bezug zu den Prüfverfahren nicht immer eindeutig. Eine solche Liste kann aber einfach zusammengestellt werden und stellt somit eine allgemein anerkannte Regel der Technik dar. Hierzu gehört z.B. auch die Angabe des Flächengewichts, die zur Ermittlung der Lasten wichtig ist. Die meisten einzufordernden Werte ergeben sich aus anderen Bereichen, z.B. Brandschutz, und werden von dieser Seite her festzulegen sein.

Eine Ausnahme stellt die Permeationsrate dar. Sie begrenzt die Emission, die bislang nur über ein allgemeines Minimierungsgebot geregelt ist. Insoweit sind geringere Werte, wenn es keine anderen Ausschlussgründe gibt, höheren vorzuziehen. So werden am Markt Membranen mit Werten < 500 ml/(m^2·d·1000 hPa) angeboten, was als allgemein anerkannte Regel der Technik anzusehen ist. Membranen mit Werten < 250 ml/(m^2·d·1000 hPa) sind am Markt verfügbar und stellen damit den Stand der Technik dar. Weiter muss gesehen werden, dass die Permeationsrate dickenabhängig ist (teilweise werden daher die Permeationsraten auf die Schichtdicke normiert), also an erhöhte Anforderungen angepasst werden kann. Allerdings wird derzeit in vielen Fachkreisen (z.B. Biogasfachverband) eine Notwendigkeit zur Anwendung solcher Membranen mit niedrigeren Permeationsraten nicht gesehen, da die Emission durch Permeation im Vergleich zur Gesamtemission verschwindend gering sei.

In wieweit aus der gemessenen Permeationsrate auf die reale Permeation geschlossen werden kann, ist derzeit noch nicht eindeutig zu belegen. Insbesondere ist der Einfluss der Temperatur relevant und somit zu berücksichtigen. Es ergibt sich somit hinsichtlich der Permeationsrate kein neuer Stand der Technik.

7.2.2 Befestigungssysteme

Bei den Befestigungssystemen werden ausschließlich Eigenprodukte der Lieferanten in den Verkehr gebracht. Es existiert hierzu kein Regelwerk oder eine DIN Vorschrift. Letztendlich stellen die Befestigungssysteme vom Planer bzw. Lieferanten konzipierte Einrichtungen dar, die ihrerseits aus Bauprodukten (Schrauben, Profile, Unterlegscheiben, Dichtungsmaterialien) bestehen. Wesentlich ist, dass für diese tragenden Bauteile die erforderlichen Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit erbracht werden müssen. Dazu gehört auch, dass hierfür die Bemessungswerte für die Zugfestigkeit mit Abminderungsfaktoren ermittelt werden müssen. Dies ist offensichtlich bislang nicht üblich, kann aber nach Ausführungen z.B. in DWA-M 377 durchgeführt werden, ggf. sind hierzu Zugversuche erforderlich. Dies entspricht somit dem Stand der Technik.

Ein offener Punkt ist die Frage nach der Dichtheit unter Belastung. Die Gebrauchstauglichkeit wird derzeit nicht unter dem Aspekt Dichtigkeit untersucht. Ein Nachweis erfolgt derzeit ausschließlich durch Dichtheitsuntersuchungen, die aber selten unter den maximalen Belastungszuständen erfolgen. Dieser Punkt ist derzeit nicht untersucht und wird, soweit erkennbar auch in nächster Zeit nicht untersucht werden. Es hat sich aber derzeit kein Anhaltspunkt für eine relevante Emissionsursache erge-

ben. Die Ermittlung der Höhe der Emission in Abhängigkeit der Belastung der Membrane ist daher weder allgemein anerkannte Regel der Technik noch Stand der Technik. Diese Frage ist derzeit schlichtweg nicht im Fokus der Planung einer Biogasanlage. Gleichwohl könnten in einem Untersuchungsprogramm Erfahrungen zur Frage der CH_4 Emission pro spezifische Länge der Befestigung, Tag und Partialdruck in Abhängigkeit der Zugbelastung gesammelt werden. Ansonsten wäre die Dichtheitsmessung an der Befestigung unter annähernd maximaler Zugkraft auf der Membrane zu bestimmen.

7.2.3 Unterkonstruktionen

Unterkonstruktionen sind tragende Bauteile, für die ein Tragfähigkeitsnachweis erbracht werden muss. Dies entspricht den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Wesentlich ist, dass für diese tragenden Bauteile auch die erforderlichen Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit nach DWA-M 377erbracht werden müssen. Dazu gehört auch, dass hierfür die Bemessungswerte mit Abminderungsfaktoren ermittelt werden müssen. Dies entspricht dem Stand der Technik.

Neu bei der Nachweisführung sind bei Holzkonstruktionen die Auswahl der Holzklasse bei entsprechenden Beanspruchungen und die damit verbundenen Annahmen für die anzusetzenden Festigkeitswerte. Nach der Literatur lässt sich bei geeigneter Auswahl der Hölzer eine verlässliche Annahme festlegen. Dies erfordert eine entsprechende Expertise. Da derzeit aber umfassende Erfahrungswerte über das Verhalten der Holzkonstruktionen über die Zeit unter den unterschiedlichen Beanspruchungen im Behälter noch nicht systematisch untersucht wurden, wird derzeit eine optische Kontrolle gefordert. In welchem Umfang diese erfolgen muss, ob sie in diesem Umfang überhaupt möglich ist und ob eine optische Kontrolle ausreichend aussagekräftig ist, ist derzeit nicht geklärt. Daher ist eine umfassende optische Kontrolle derzeit aber noch nicht üblich; ein entsprechender Stand der Technik hat sich hierzu noch nicht herausgebildet. Sofern also ein Stand der Technik bei Unterkonstruktionen gefordert werden muss, können solche aus Holz derzeit nicht eingesetzt werden.

7.2.4 Systeme zur Füllstandsmessung

Zur Ausführung von Füllstandsmesssystemen konnten keine konkreten Vorgaben ermittelt werden. Ein Einbau von redundanten Systemen wird zwar von einigen Herstellern praktiziert, ist jedoch nach derzeitigem Stand der Recherchen nicht üblich. Sofern erforderlich entsprechen somit redundante Systeme dem Stand der Technik.

Füllstandsmesssysteme bestehen aus am Markt erhältlichen Komponenten, die vom Anwender/Lieferanten/Planer zu Messverfahren integriert werden. Insoweit sind die Einzelkomponenten von den Vorschriften für Inverkehrbringer umfasst, nicht jedoch zwangsläufig die integrierten Systeme zur Füllstandsmessung. Für diese integrierten Systeme existieren daher auch keine Regelwerke sondern nur für die einzelnen Komponenten, z.B. die MSR Technik. Eine allgemein anerkannte Regel der Technik für die kompletten Systeme ergibt sich praktisch nur durch das Kriterium der Marküblichkeit. Die Art der eingesetzten Technik ist vom Anwender/ Lieferanten/ Planer abhängig und unterscheiden sich von Anlage zu Anlage entsprechend. In der Regel liegen Angaben zur Genauigkeit nicht vor.

Wenn diese Messsysteme eine Funktion, die über eine bloße Anzeige hinausgeht, haben, z.B. Abschaltpunkte zur Verhinderung eines Abblasevorgangs sind oder eine sicherheitsrelevante Abschaltung auslösen etc., muss z.B. das Gesamtsystem als sicherheitsrelevante MSR gemäß VDI 2180 konzipiert sein oder redundant, mit einer Konformitätserklärung versehen ausgestattet sein. Soweit erkennbar, ist dies derzeit nicht der Fall. Dem Stand der Technik würde es in diesem Fall entsprechen, wenn das Füllstandsmesssystem die genannten Kriterien erfüllt und die Füllstandsspeicherfunktion kalibriert ist.

7.2.5 Stützluftgebläse mit Rückschlagklappe, Überströmeinrichtung und Tragluftauslass

Bei den Einrichtungen zur Stützluftversorgung existieren aktuell zur Ausführung in Regelwerken keine genauen Vorgaben. Stützluftgebläse mit Rückschlagklappe, Überströmeinrichtung und Tragluft-

auslass sind Systeme zur druckkonstanten Stützluftversorgung bei bestimmten zweischaligen Membransystemen. Sie bestehen aus mehreren Komponenten (Gebläse, Rohrleitungen, Rückschlagklappe, Überströmeinrichtung und einem oder mehreren Tragluftauslässen) für die Konformitätserklärungen gemäß Maschinenverordnung oder Beschreibungen als Bauprodukt vorliegen. Sie werden vom Anwender/ Lieferanten /Planer zu einem Gesamtsystem integriert. Daher liegen für die Systeme auch keine Konformitätserklärungen gemäß Maschinenverordnung vor. Eine Funktionssicherheit des Gesamtsystems ist damit nicht gegeben. Sie wird ggf. im Rahmen einer Prüfung durch einen Sachverständigen nach §29a BImSchG geprüft. Vereinzelt wird die Stützluftversorgung planerisch dargestellt und dimensioniert. Solche Systeme entsprechen dann dem Stand der Technik.

Hinsichtlich der Ausfallsicherheit gibt es allgemeine Vorgaben, dass bei Versagen der Anlagentechnik bzw. Stromausfall das Stützluftgebläse so lange betriebsfähig bleiben muss, bis der Speicher leer gefahren bzw. anderweitig in einen sicheren Zustand überführt werden konnte. Dies entspricht damit den allgemein anerkannten Regeln der Technik.

Eine Staubabscheidung auf der Zuluftseite zur Vermeidung von Staubablagerungen zwischen Innen- und Außenmembrane sowie zur Vermeidung von elektrischen Aufladungen von Kunststoffbauteilen kann sinnvoll sein.

7.2.6 Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit des gesamten Membransystems

Soweit erkennbar werden derzeit Nachweise der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit für Biogasanlagen entsprechend den Vorgaben nach Merkblatt DWA -M 377 nicht durchgeführt. Die Voraussetzungen hierzu sind aber gegeben da sie z.B. im Bereich des textilen Bauens angewandt werden. Damit kann auch davon ausgegangen werden, dass sich die Nachweise für Biogasanlagen führen lassen, obwohl sich nicht alle Bereiche eindeutig bestimmen lassen, z.B. Abminderungsfaktoren, sich aber begründete Annahmen treffen lassen. Dementsprechend kann der Nachweis als Stand der Technik eingestuft werden.

7.2.7 Dichtheit

Durchgängig wird im technischen Regelwerk, z.B. des DVWG, eine technische Dichtheit gefordert, die auf Dauer zu gewährleisten ist. Dies betrifft überwiegend mögliche Gasaustritte infolge konvektiver Gasausströmungen an Schadstellen sowie an lösbaren Verbindungen, die z.B. infolge Alterung des Dichtungsmaterials undicht werden können. Dies kann als allgemein anerkannte Regel der Technik bewertet werden.

Für die Dichtheitsprüfung stehen bewährte Verfahren, wie sie in den einzelnen Regelwerken beschrieben werden, z.B. TI 4 (SVLFG 2015), zur Verfügung. Die Durchführung wird von der TRGS 529 in Kapitel 5.8.1 „Dichtheitsüberprüfungen“ gefordert. . Dichtheitsprüfungen stellen somit allgemein anerkannte Regeln der Technik dar. Allerdings ist die Anwendung der verschiedenen Prüfungsverfahren für die einzelnen Bereiche einer Biogasanlage (z.B. die innere Membran eines zweischaligen Membransystems) zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. Inbetriebnahme, Betrieb) bislang nicht eindeutig festgelegt. So wird z.B. die innere Membrane praktisch nicht überwacht. Durch das E-DWA Merkblatt M-375, welches derzeit noch im Entwurf vorliegt, ist dies nunmehr umfassend geregelt. Infolge des Diskussionsstandes zur Erarbeitung des Merkblattes kann von einer Umsetzbarkeit ausgegangen werden, so dass die Dichtheitsprüfung nach diesem Merkblatt als Stand der Technik bewertet werden kann.

7.2.8 Errichtung und Inbetriebnahme

Während des Baus und der Inbetriebnahme erfolgt eine Vielzahl von qualitätssichernden Maßnahmen, die sich bei Nichterfüllung sowohl negativ auf das Emissionsverhalten als auch auf das Sicherheitsniveau des Behälters auswirken können. Eine entsprechende Dokumentation mit Angaben zu den tech-

nischen Spezifikationen ist daher zur Verfügung zu haben. Dies ist sicherlich eine allgemein anerkannte Regel der Technik, jedoch wird das in den technischen Regeln aufgeführte Niveau in der Praxis nicht erreicht. Einige Punkte, z.B. maximal zulässige Gasbefüllrate oder maximal zulässige Entnahmerate etc. wird aktuell den Betreibern nicht zur Verfügung gestellt. Ein solch umfassendes technisches Dokument ist daher derzeit als Stand der Technik einzustufen. Insbesondere müssen dabei die Beschreibungen der Merkmale des Membransystems so beschrieben werden, dass entsprechende Nachweise geführt werden können.

Damit die Inbetriebnahme des Membransystems emissionsarm und sicher erfolgen kann, müssen über die Inbetriebnahme entsprechende Inbetriebsetzungsprotokolle für das Stützluftsystem und Inbetriebnahmeprotokolle mit den vorgenommenen Einstellungen/Einstellwerten erstellt werden.

7.2.9 Instandhaltung incl. Kontrollen, Prüfungen, Wartung, Instandsetzung

Durch Arbeiten im Rahmen der Instandhaltung kann es zu Emissionen kommen bzw. können Gefahren entstehen. Ebenso helfen Wartung und Instandhaltung zur Sicherung der Langzeitbeständigkeit und der rechtzeitige Austausch der Membranen dazu, Emissionen zu verhindern bzw. Gefahren zu vermeiden.

Hinsichtlich der UV-Beständigkeit sind Vorgaben durch die Hersteller in Bezug auf Austauschzyklen zu machen und von den Betreibern einzuhalten (VdS 3470 (2016), BMWFW (2013)). Derzeit machen nicht alle Hersteller Vorgaben zu Austauschzyklen (Die TI 4 (SVLFG 2015) sieht dann einen Austausch nach drei Jahren vor (SVLFG 2015)!). Nach Rücksprache mit Membransystemherstellern werden vorgegebene Austauschzyklen vor allem im Biogasbereich oft nicht eingehalten. Der Umgang mit Austauschzyklen ist im Biogasbereich weitgehend unüblich und wird nur teilweise vom Lieferanten benannt bzw. vom Betreiber beachtet. Die Festlegung von Austauschzyklen entspricht damit dem Stand der Technik.

Dagegen sind die verschiedenen Tätigkeiten im Rahmen der Instandhaltung durch Arbeitsanweisungen zu beschreiben, was durch einschlägige Rechtsnormen vorgegeben ist. Dies kann als allgemein anerkannte Regel der Technik bewertet werden.

Maßnahmen zur Instandhaltung dienen auch dazu, Veränderungen der Anlagentechnik durch Alterungsvorgänge zu kompensieren bzw. rückgängig zu machen. Andererseits können Alterungsvorgänge durch vorausschauende Maßnahmen unterdrückt bzw. verlangsamt werden. Hierzu gehört bei Membransystemen insbesondere die UV-Beständigkeit der Außenmembrane aber generell die Medienbeständigkeit also die Beständigkeit gegen chemische (Beschaffenheit der inneren und äußeren Atmosphäre), biologische sowie mechanische Angriffe. Die Berücksichtigung solcher Beanspruchungen ist üblich und wird generell durchgeführt, sie ist somit allgemein anerkannte Regel der Technik. Im Bereich der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit wird die Alterung durch Abminderungsfaktoren berücksichtigt, was durch den Weißdruck der Merkblatts DWA-M 377 nunmehr als Stand der Technik betrachtet werden kann.

In der Regel wird dem IB die Liste der Beanspruchungen genannt, so dass dieser die Membrane entsprechend auswählen kann. Durch die vielfältige Beanspruchung jedoch lässt sich die Alterung nicht vollständig vorhersagen bzw. durch Abminderungsfaktoren kompensieren. IB müssen daher für ihre Produkte angeben, zu welchem Zeitpunkt eine Auswechselung erforderlich ist bzw. ggf. Instandsetzungen durchzuführen sind. Zusätzlich sind regelmäßige Kontrollen ggf. in Verbindung mit Wartungstätigkeiten sowie Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich. Entsprechend den Ergebnissen der Kontrollen kann es erforderlich sein, bestimmte Systeme auszutauschen.

7.2.10 Wiederkehrende Dichtheitsprüfungen

Die wiederkehrenden Dichtheitsprüfungen, sowohl was den Umfang als auch was die Häufigkeit anbelangt, wurde oben ausführlich dargestellt. Diese Dichtheitsprüfungen werden derzeit so nicht durchgeführt. Sie sind aber nunmehr im Regelwerk gefordert (TRGS 529) und beschrieben (E-DWA-M_375). Sie stellen somit den Stand der Technik dar.

8 Erforderliche Kontrollen und Prüfungen während Herstellung, Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb (AS6)[2]

Bei den hier angesprochenen Kontrollen und Prüfungen handelt es sich um qualitätssichernde Maßnahmen über alle Phasen der Herstellung, der Errichtung, der Inbetriebnahme und des Betriebs durch entsprechende Kontrollen und Prüfungen der Materialien ggf. unter Heranziehung externer Gutachter/Sachverständigen (Fremdprüfer). Damit wird erreicht, dass die Emissionen der Anlage nach dem Stand der Technik begrenzt sind und bleiben sowie die Anlage dem Stand der Sicherheitstechnik entspricht und diesen beibehält.

Die Prüfung der definierten Anforderungen an die Materialien muss während der Anlieferung und des Baus durch einen Bauingenieur oder einem Sachkundigen auf vergleichbarem Niveau erfolgen. Dieser hat die Lieferleistungen mit dem Anforderungsprofil aus der Anlagenplanung abzugleichen. Ebenso sind die Lieferleistungen nach entsprechender Verarbeitung oder Einbau zu prüfen. Fallweise werden hierbei sachverständige Fremdprüfer hinzugezogen. Dies betrifft ggf. spezielle Bauwerke, Materialien oder Einrichtungen.

Während die übliche bautechnische Betreuung eines solchen Bauwerks als allgemein anerkannte Regel der Technik anzusehen ist, ist der Einsatz von Fremdprüfern bei Membransystemen Stand der Technik.

Während der Inbetriebnahme sind verschiedene Prüfungen nach den Vorgaben aus der Planung vorzunehmen (Dichtheitsprüfung, Prüfung der Einstellwerte) und zu protokollieren. Diese Tätigkeit erfordert eine vom Lieferanten unabhängige, geschulte, sachkundige Person auf dem Niveau eines Ingenieurs. Teilweise werden solche Prüfungen bereits durchgeführt. Sie sind somit als Stand der Technik zu bewerten.

Während des Betriebs werden eine Vielzahl von Prüfungen durchzuführen sein, die aus Regelwerken bzw. Rechtsnormen zu entnehmen sind. Es handelt sich somit um allgemein anerkannte Regeln der Technik. Jedoch ist insbesondere auch das Bauwerk hinsichtlich seiner Langzeitbeständigkeit wiederholt zu prüfen, um die bauliche Integrität sicherzustellen. Dazu gehören insbesondere die Prüfung der Alterung der Membrane und der Unterkonstruktionen aber auch die Prüfungen der anderen Bauelemente der Membransysteme. Eine solche Prüfung ist zwar in den Regelwerken vorgesehen, sie ist aber derzeit nicht üblich. Sie kann nur von sachkundigem Personal durchgeführt werden. Sie stellt damit insgesamt einen Stand der Technik dar.

In den einzelnen zeitlichen Phasen einer Biogasanlage können die Kontrollen und Prüfungen wie folgt näher beschrieben werden (ergänzend sei auf die obigen Ausführungen verwiesen, u.a. DWA-M 377)

a) Auslegung, Dimensionierung:

Ein Antrag auf Genehmigung nach Bundes-Immissionsschutzgesetz setzt nach § 10 BImSchG einen schriftlichen Antrag voraus, dem zur Prüfung erforderliche Zeichnungen, Erläuterungen und sonstige Unterlagen beizufügen sind. Gemäß 9.BImSchV müssen in den Antragsunterlagen auch Angaben zu Emissionen und der Sicherheit gemacht werden. Da der Ersteller des Antrags über entsprechende Sachkenntnisse verfügen muss, ist damit davon auszugehen, dass die Erarbeitung mit den erforderlichen Anforderungen erfolgt ist, so dass eine zusätzliche Prüfung zu der der Genehmigungsbehörde und der von ihr beteiligten Behörden nicht erforderlich ist.

---

2 Die Erforderlichkeit von Prüfungen von Biogasanlagen sind Gegenstand verschiedener rechtlicher Regelungen (insbesondere BetrSichV, GefahrstoffV, AwSV) und spezieller Gutachten (Weyer 2016). Daher werden hier nur für Membransysteme erforderliche Kontrollen und Prüfungen betrachtet.

b) Membranherstellung

Derzeit werden die Kontrollen der Membraneigenschaften pro Bahn bzw. Charge gemäß den Anforderungen z.B. nach Tabelle 11 (Angaben der Firma Sattler für ihre Gewebemembrane 964 Polyplan Biogas Type III FR) nur als Eigenkontrollen durchgeführt und allenfalls an den Konfektionär weitergegeben. Es ist nicht üblich, diese Daten an den Bauherrn/ Betreiber weiterzugeben. Ebenso ist es nicht üblich entsprechende Prüfungen durch eine Fremdprüfung durchführen zu lassen. Es wird empfohlen, zukünftig die Daten pro gekennzeichnete Membranbahn (vgl. Kapitel 9) an den Betreiber weiterzugeben. Dies wäre (bau-)vertraglich festzulegen.

c) Membrankonfektionierung

Bei der Konfektionierung werden die Membranbahnen zugeschnitten und verschweißt. Es ist derzeit nicht üblich, Daten des Zuschnitts an den Betreiber weiterzugeben sowie Untersuchungen der Schweißnähte vornehmen zu lassen. Es wird empfohlen, zukünftig die geometrischen Daten des Membransystems vom Konfektionär zu erhalten. Von einem Fremdprüfer sollten Probestücke mit Schweißnähten entnommen und gemäß dem Katalog nach Kapitel 9 untersucht werden. Dies wäre (bau-)vertraglich zu regeln. Die Daten wären dann dem Bearbeiter zur Erstellung der Unterlagen für die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit zur Verfügung zu stellen.

d) Errichtung und Montage, wesentliche Änderung

Während der Errichtung und Montage sowie wesentlichen Änderungen ist sicherzustellen, dass die bauvertraglich vereinbarten Leistungen, einschließlich Materialien und Maschinen den vereinbarten (Qualitäts-) Merkmalen entsprechen. Dies sind übliche Tätigkeiten im Rahmen einer Bauüberwachung und setzen entsprechende technische Kenntnisse voraus. Dadurch, dass hierzu auch spezielle Kontrollen und Tätigkeiten gehören wie z.B. Dichtheitsprüfungen, Kontrollen der Sicherheitstechnik sowie die Erstellung des Inbetriebnahmeprotokolls sind an das bauüberwachende Personal entsprechende Anforderungen zu stellen. Dies wäre (bau-)vertraglich zu vereinbaren.

e) Abnahme und Prüfungen

Bei der Abnahme wird festgestellt, ob die vertraglich vereinbarten Leistungen, die sich letztendlich aus dem Genehmigungsantrag oder den Auflagen aus dem Genehmigungsbescheid resultieren und vom Bauherrn so vereinbart wurden, erfüllt wurden. Damit setzt die Abnahme technisches Wissen voraus, da damit auch spezielle Kontrollen verbunden sein können. Der Bauherr/ Betreiber hat sich dazu entsprechender Fachleute zu bedienen. Wichtig ist, dass hierbei ein Protokoll erstellt wird aus dem hervorgeht, dass die Anlage gemäß Vertrag erstellt wurde.

Vor der Inbetriebnahme ist die Anlage nach Betriebssicherheitsverordnung und ggf. nach Bundes-Immissionsschutzgesetz zu prüfen. Hierbei handelt es sich um gesetzliche Anforderungen, die der Bauherr (Betreiber) zu erfüllen hat. Der Prüfrahmen wird durch die Prüfenden festgelegt und ergibt sich aus den gesetzlichen Normen bzw. Auflagen und technischen Regelwerken. Abnahme und Prüfung dürfen nicht miteinander verwechselt werden.

Als Voraussetzung zur Prüfung hat der Betreiber ein Explosionsschutzdokument basierend auf einer Gefährdungsbeurteilung zu erarbeiten und die Unterlagen für die Prüfung bereitzuhalten. Aus den Unterlagen müssen auch ein Plan für die notwendigen Kontrollen sowie das Instandhaltungskonzept hervorgehen. In einem Betriebshandbuch ist der Betrieb auf der Grundlage von Arbeitsplatzbeschreibungen (Zuständigkeiten) sowie Betriebsanweisungen genau festgelegt. Eine entsprechende Vorbereitung auf die Prüfung muss gemäß „Arbeitshilfe für sicherheitstechnische Prüfungen an Biogasanlagen, insbesondere für Prüfungen nach § 29a BImSchG“ (2013) erfolgen. Danach werden umfangreiche Prüfungen der Dokumente (Dokumentenprüfung) und der Anlage (Anlagenprüfung) durchgeführt. Somit ergeben sich die Anforderungen an Abnahme und Prüfung gemäß der allgemein anerkannten Regel der Technik sowie gesetzlicher Normen.

f) Betrieb

Die Festlegungen für den Betrieb einschließlich der Inbetriebnahme sind in den Unterlagen nach e) beschrieben. Hiernach regeln sich Betriebsablauf, Instandhaltung, bauliche Anpassung, Berichtswesen und Dokumentation. Dies betrifft auch die Außerbetriebnahme, geplante Stillstände und Störungen.

Wesentliche Kontrollen und Prüfungen während des Betriebes bezüglich des Membransystems sind:

- Prüfung des Zustandes der Membrane infolge schädigender Einflüsse, der die Membrane ausgesetzt ist, hinsichtlich der geforderten Membraneigenschaften in einem festgelegten zeitlichen Intervall. Eine Prüfung hat auch als Prüfung eines Arbeitsmittel nach §14 Abs. 2 BetrSichV zu erfolgen.
- Wiederkehrende Dichtheitsprüfungen in einem festgelegten zeitlichen Intervall.
- Prüfung des Membransystems als Arbeitsmittel nach §14 BetrSichV Abs. 3 nach außergewöhnlichen Ereignissen, wie z.B. hohe Windlasten, hohe Schneelasten, Blitzschlag oder nicht vorgesehenen Betriebszuständen:

9 Entwurf von Anforderungen in einer TRAS sowie Klärung der Erforderlichkeit von Bauartzulassungen oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (AS7)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Membransysteme umfassend aber teilweise vergleichsweise allgemein geregelt werden. Wie oben dargestellt hat sich aber in einigen Bereichen ein Stand „allgemein anerkannter Regeln der Technik“ bzw. ein „Stand der Technik“ herausgebildet, der generell gefordert werden kann. Aus der Sicht der Autoren kann dieser, aufbauend auf den obigen Ausführungen, wie folgt beschrieben werden. Entsprechende Ausführungen könnten in eine TRAS Biogasanlagen übernommen werden:

a) Anforderungen an die Membranen

Eigenschaften, die die Membranen aufweisen müssen, ergeben sich vor allem aus den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit, an die Emissionsminderung, an den Explosions- und Brandschutz sowie das betriebliche Verhalten. Hieraus resultieren festzulegende und einzuhaltende Materialkennwerte. Diese sind in der nachstehenden Tabelle 15 zusammengestellt. Die angegebenen Werte müssen am Ende der Lebensdauer des Systems eingehalten werden (vgl. hierzu auch die Funktion der Abminderungsfaktoren)

Tabelle 15: Festzulegende und einzuhaltende Anforderungen an Membranen (Hinweis: der Geltungsbereich ergibt sich aus der Spalte „Bezug“)

Größe	Bezug	Einheit/ Kriterium	Zielgröße	Prüfung
Methan-Permeation (PR)******	Material der Gasmembran	ml/m²·d·bar	< 250 bei 23 °C	DIN 53380-2* aus der eingesetzten Charge
Methan-Permeation(PR)******	komplettes - Membransystem	ml/m²·d·bar	<250 bei Betriebstemperatur	Bestimmung von σ(CH_4) und $\dot{v}$ im Stützluftab- und Zustrom
technische Dichtheit	lösbare Verbindungen der Gasmembrane	ml	< nn (nicht nachweisbar)	Prüfung mit schaumbildenden Mitteln (DIN EN 14291) oder Gasmessgeräten mit Nachweisgrenze für σ(CH4) <10ppm*
Zugkraft	Material	N/5cm	nach Bemessung erforderliche mittlere Zugfestigkeit, mindestens 4700/4500	einachsiger Zugversuch mit mindestens 5 Versuchen nach DWA-M377 in Kette- und Schussrichtung bzw. MD und TD Richtung nach DIN EN ISO 1421** aus der eingesetzten Charge

Größe	Bezug	Einheit/ Kriterium	Zielgröße	Prüfung
Zugkraft	Schweißnaht	N	nach Bemessung erforderliche mittlere Zugfestigkeit, mindestens wie Membrane	Einachsiger Zugversuch mit mindestens 5 Versuchen nach DWA-M 377 und DIN EN ISO 1421** aus der eingesetzten Charge beim Konfektionär
Weiterreißkraft	Material	N	550/500	In Kette und Schuss nach DIN 53363** aus der eingesetzten Charge
Oberflächenwiderstand	Material	Ohm (Oberflächenwiderstand)	< 10^9)*** gemessen bei 23 °C und 50 % Luftfeuchte	Prüfung an einem Probenstück aus der eingesetzten Charge**
Temperaturbeständigkeit	Material	°C	-30°C - +70°C bei dunklen Materialien +80 °C	Bereich in dem Zielwerte eingehalten werden, bis auf Methan-Permeation
Brennbarkeit	Material	Brandverhalten	B1 (schwer entflammbar)	DIN 4102/DIN 75200
Standzeit	System	a	<5 a oder nach Garantieangaben der Hersteller bzw. nach vorausschauender Instandhaltung****	
UV Beständigkeit	Bestrahltes Material	a	Garantieangabe des Inverkehrbringers	Garantieangabe zur Standzeit unter Berücksichtigung der UV Strahlung
Farbe	Außenseite der der Atmosphäre zugewandten Membrane	RAL	Graue Farbe oder heller (mindestens RAL 7035 Lichtgrau)	Prüfung durch IB
Medienbeständigkeit	mit Biogas in Kontakt kommende Membran	a	Garantieangabe des Inverkehrbringers	Garantieangabe zur Standzeit unter Bezug auf die konkrete Biogasbeschaffenheit unter Berücksichtigung der zugesetzten Stoffe im Fermenter
Abminderungsfaktoren*****	Alle Membranen, soweit statischer Nachweis durchgeführt	1/x	Keine, aber Vorgabe für Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit	
Bedeutungsbeiwert	Membransystem für Betriebsbereiche, statischer Nachweis	(Auslegung gegen 100 jährliche Ereignisse)	$K_{Fl.}$1.1	DIN 1990, TRAS 320

*bei mittelbarer Dichtheitsprüfung gilt bei einem Prüfdruck von 20hPa folgende maximale zulässige Leckagerate für den gesamten Speicher:

bei 50 m^3 Nenninhalt	0,4 m^3/24 h
bei 100 m^3 Nenninhalt	0,6 m^3/24 h
bei 200 m^3 Nenninhalt	0,8 m^3/24 h
bei 500 m^3 Nenninhalt	1,0 m^3/24 h
über 500 m^3 Nenninhalt	2‰ vom Nenninhalt24 h

Sofern der Prüfdruck abweicht, ist die einhaltbare Leckagerate mit dem Faktor X= Prüfdruck/20hPa zu multiplizieren.

**an mindestens drei für das Membransystem repräsentativen Probenstücken aus derselben Produktionscharge

***sofern sich im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung eine Erfordernis für entsprechende Schutzmaßnahmen ergibt, (Anmerkung: zur Auswahl des Wertes siehe oben)

****z.B. durch Aufbringen und wiederkehrender Kontrolle von Teststreifen

*****zur Berücksichtigung von Langzeitbelastung, Umgebungseinflüssen (Witterung, UV-Strahlung, Feuchtigkeit, chemische Angriffe), erhöhte Umgebungstemperaturen

****** Differenz des Partialdrucks von Methan

Zusätzlich zu den in der Tabelle genannten Daten sind für das Membranmaterial mindestens noch folgende Werte (Herstellerbescheinigungen) anzugeben:

- Art des Trägergewebes (falls gegeben)
- Art der Beschichtung (falls gegeben)
- Art des Membranmaterials
- Flächengewicht in g/m^3
- Membrandicke, (Angabe einer mittleren Dicke mit Toleranzangaben) in mm
- Farbe (RAL Angabe)
- Zusammensetzung des Biogases, die der Garantieaussage des Inverkehrbringers zugrunde liegt.

Die Membrane ist vom Inverkehrbringer so zu kennzeichnen, dass eine eindeutige Zuordnung zum Hersteller, sowie zur Produktion (Herstellungsdatum, Charge) und somit zur Beschaffenheit möglich ist.

Generell gilt, auch für nachstehende Elemente der Membransysteme, dass für die Einhaltung der genannten Daten der Betreiber der Anlage verantwortlich ist. (Anmerkung: Je nach Art der Baurealisierung bekommt er diese Daten entweder vom Generalunternehmer, Lieferant, Konfektionär oder Bauüberwacher/Inbetriebnehmer.)

Die Anforderungen an die Materialbeschaffenheit und zwar sowohl nach den Erfordernissen der statischen Berechnungen als auch nach den funktionalen Notwendigkeiten des Anlagenbetriebes sind umfassend unter Angabe der angewandten Prüfmethoden vom Betreiber zu dokumentieren.

b) Befestigungssysteme (für Membranen)

Eigenschaften, die Befestigungssysteme aufweisen müssen, ergeben sich einerseits aus den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit sowie andererseits aus den Anforderungen an die Emissionsminderung und den Explosionsschutz (Dichtheit). Die weiteren Anforderungen können der Tabelle 16 entnommen werden. Die angegebenen Werte müssen am Ende der Lebensdauer des Systems eingehalten werden. (Anmerkung: Die Anforderungen gelten für sämtliche Befestigungssysteme für die Membranen, also auch an Mittelmasten, sofern diese zur Anwendung kommen.)

Tabelle 16: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit, Tragfähigkeit, Emissionsminderung und Sicherheit von Membranbefestigungen

Größe	Bezug	Einheit/ Kriterium	Zielgröße	Prüfung
Zugfestigkeit	Befestigung	N	nach Bemessung erforderliche mittlere Zugfestigkeit	Einachsiger Zugversuch mit mindestens 5 Versuchen nach DWA M377* für das eingesetzte Befestigungssystem
Temperaturbeständigkeit und -bereich für Funktion	Sämtliche Elemente des Systems	°C	-30°C bzw. minimal am Standort zu erwartender Wert - +70°C	Bereich in dem Zielwerte eingehalten werden, bis auf Methan-Permeation
Technische Dichtheit	Lösbare Verbindungen an der biogasbeaufschlagten Membrane	ml	<nn	Prüfung mit schaumbildenden Mitteln (DIN EN 14291) oder Gasmessgeräten mit Nachweisgrenze < 10ppm**
Brennbarkeit	Komplettes Befestigungssystem	Brandverhalten	B1 (schwer entflammbar)	DIN 4102/DIN 75200
Witterungsbeständigkeit	Äußere Teile	a		Angabe zur Standzeit des Inverkehrbringers
Bedeutungsbeiwert	Membransystem für Betriebsbereiche, statischer Nachweis	(Auslegung gegen 100 jährliche Ereignisse)	$K_{fl.}$1.1	DIN 1990, TRAS 320

*zusätzlich ist ein rechnerischer Nachweis für das System zu erbringen

**bei mittelbarer Dichtheitsprüfung gilt bei einem Prüfdruck von 20hPa folgende maximale zulässige Leckagerate:

bei 50 m^3 Nenninhalt	0,4 m^3/24 h
bei 100 m^3 Nenninhalt	0,6 m^3/24 h
bei 200 m^3 Nenninhalt	0,8 m^3/24 h
bei 500 m^3 Nenninhalt	1,0 m^3/24 h
über 500 m^3 Nenninhalt	2‰ vom Nenninhalt24 h

Sofern der Prüfdruck abweicht, ist die einhaltbare Leckagerate mit dem Faktor X= Prüfdruck/20hPa zu multiplizieren.

Zusätzlich zu den in der Tabelle genannten Daten sind für das Befestigungssystem mindestens noch folgende Daten anzugeben:

- Aufbau des Systems mit Darstellung im Maßstab 1:5
- Art sämtlicher eingesetzter Materialien (Dübel, Schrauben, Dichtelemente, Klemmschienen etc.)
- Zusammensetzung des Biogases, die der Garantieaussage des Inverkehrbringers zugrunde liegt.

c) Unterkonstruktionen

Unterkonstruktionen (Tragkonstruktionen als Membranauflager, Seile, Netze, Mittelmast) haben unterschiedliche Funktionen. Daraus resultieren unterschiedliche Anforderungen. Soweit äußere Netze eingesetzt werden, sind diese Bestandteil der Membrankonstruktion und werden dort mit erfasst. Eine

wesentliche Anforderung ist die der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit. Dies wird weiter unten beschrieben. Weitere Anforderungen sind in der Tabelle 17 zusammengefasst:

Tabelle 17: Anforderungen außer jener an die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit an Unterkonstruktionen

Größe	Bezug	Einheit/ Kriterium	Zielgröße	Prüfung
Temperaturbeständigkeit	Unterkonstruktion	°C	Temperaturbereich im Betrieb und bei der Herstellung mit Sicherheitszuschlag	Kontinuierliche Messung und Aufzeichnung der Temperatur
Brennbarkeit	Unterkonstruktion	Brandverhalten	B1 (schwer entflammbar)	DIN 4102/DIN 75200
Medienbeständigkeit	Unterkonstruktion	σ(Stoff)	Im Betrieb und während der Montage erwartete Beschaffenheit der Gasphase (unter Beachtung der Zusatzstoffe)	Bestimmung der Zusammensetzung der Gasphase nach Inbetriebnahme sowie 1/a
Medienbeständigkeit	Unterkonstruktion aus Holz*	Holzklasse	Beständigkeitsnachweis nach Gasbeschaffenheit (unter Beachtung der Zusatzstoffe)	Festlegung der Holzklasse durch Sachverständigen
Abminderungsfaktoren für die Festigkeitswerte	Unterkonstruktion, statische Auslegung	1/x	Keine, aber Vorgabe für Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit	Festlegung durch den Statiker
Bedeutungsbeiwert	Membransystem für Betriebsbereiche, statischer Nachweis	(Auslegung gegen 100 jährliche Ereignisse)	$K_{Fl.}$1.1	DIN 1990, TRAS 320

*Holzkonstruktionen haben sich nach Angaben der IB nicht bewährt und können generell nur bei kleinen Anlagen (<30 kW) eingesetzt werden. Durch betriebliche Maßnahmen ist zu gewährleisten:

- Regelmäßige Sichtprüfungen; hierzu sind im Behälter ausreichend Sichtmöglichkeiten für den gesamten Holzdeckenbereich zu schaffen

d) Systeme zur Füllstandsmessung für Biogas

In der Regel werden Füllstandsmessungen zur Auslösung eines oberen und unteren Schaltpunktes eingesetzt. Weiterhin liefern sie dem Betreiber der Biogasanlage wichtige Informationen über den Füllgrad der Anlage zur Auslösung betrieblicher Eingriffe., z.B. werden bei Erreichen eines unteren Füllstandwertes Verbraucher abgeschaltet, um ein Ansprechen der Unterdrucksicherung zu vermeiden, was zur Folge hätte, dass Luft in das Anlageninnere eingetragen würde oder es werden bei Erreichen eines maximalen Füllstandwertes Verbraucher wie z.B. eine Fackel zugeschaltet, um ein Ansprechen der Überdrucksicherung zu vermeiden, so dass die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre unterbleibt. Somit sind Füllstandsmessungen sicherheitsbedeutsam bzw. sicherheitsrelevant. Hieraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- Die Erfassung des Füllstandes muss kontinuierlich erfolgen.
- Nachweis, dass die Anforderungen an die Sicherheitstechnik einschließlich des primären Explosionsschutzes erfüllt werden.
- Der Abgriff der Höhenlage der Membrane muss an mindestens drei Messpunkten an der Membrane erfolgen, es sei denn der IB kann für sein System mit einer Kalibrierkurve (V=f(h)) eine Genauigkeit für die einzelnen Messpunkte von +- 5% belegen.
- Für die Auslösepunkte müssen Toleranzangaben gemacht werden. Sie sind für den Behältertyp (Durchmesser, Geometrie, Membrantyp) durch Kalibrierdaten zu belegen.
- Zusätzlich zu den in der Tabelle genannten Daten sind für das Messsystem mindestens noch folgende Angaben zu machen:
    - Berechnung des Behältervolumens anhand der geometrischen Daten in Abhängigkeit der Höhenlage der Höhenpunkte
    - Art des Sensorsystems
    - Lage der abgegriffenen Punkte
    - Art der eingesetzten Materialien
    - Beschaffenheit der Umgebungsbedingungen, die der Garantieaussage des Inverkehrbringers zugrunde liegt (z.B. im Membranzwischenraum, Frostschutz etc.).
- Die generellen Anforderungen an elektrische Messsysteme im Rahmen der sicherheitstechnischen Maßnahmen gelten entsprechend.

Sofern Füllstandsmessungen nicht sicherheitsbedeutsam bzw. sicherheitsrelevant eingesetzt werden, kann von den oben genannten Anforderungen abgewichen werden.

e) Stützluftgebläse mit Rückschlagklappe, Überströmeinrichtung und Tragluftauslass

Bei pneumatisch vorgespannten Systemen wird das Verhindern einer Faltenbildung bzw. das Flattern der Membrane durch eine Vorspannung mit Hilfe einer Stützluftzuführung erreicht. Damit wird zwischen den Membranen ein Druck aufgebracht, der bei unterschiedlichen Betriebszuständen variieren kann. Daher kommt der Stützluftversorgung eine Bedeutung bei der Betrachtung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit zu. Hierbei stellt das Stützluftgebläse mit den verbindenden Rohrleitungen und den Tragluftauslassen und Überströmeinrichtungen zur Druckbegrenzung ein Gesamtsystem dar. Dafür leiten sich bestimmte Anforderungen ab:

- Die durch das Stützluftgebläse hervorzurufenden Drücke müssen bei den Untersuchungen der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit in den verschiedenen Betriebszuständen für die verschiedenen Belastungszustände (z.B. Windlast, Schneelast) unter Beachtung der Betriebsdaten (z.B. Kennlinie) betrachtet werden. Der Stützluftstrom und –druck sind für alle Lastfälle nachzuweisen, auch für den Fall der maximalen Wind- und Schneelast bzw. bei maximaler Entnahme.
- Bei Betriebsstörungen muss die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden. Dies ist entsprechend nachzuweisen.
- Stützluftventilatoren/-gebläse sind redundant auszuführen. Eine Rückströmung aus dem Membranzwischenraum bei Abschaltung oder Stillstand muss verhindert werden.
- Die Funktionsfähigkeit des Membransystems ist bei einer Stromunterbrechung länger als 20 Minuten durch eine allgemeine Ersatzstromversorgung sicherzustellen.
- Die Stützluftgebläse sind für Zone 1 im Innern geeignet zu installieren. Hinsichtlich der Umgebungsluft ist der Zonenplan zu berücksichtigen.

- Die Stützluft ist im Membranzwischenraum in Querströmung zu führen.
- Eine Stützluftüberwachung hat auf der der Lufteinführung gegenüberliegenden Seite zu erfolgen.
- Im Gasraum ist eine Druckmessung zu installieren. Der Messwert ist kontinuierlich zu protokollieren.
- Eine Druckmessung im Membranzwischenraum wird empfohlen.
- Der Abluftstrom des Zwischenraums ist auf explosionsfähige Atmosphäre zu überwachen. Die Werte sind zu dokumentieren. Die gemessenen Werte sind wöchentlich auszuwerten, sofern dies nicht automatisch erfolgt. Sofern es sich um eine Anlage handelt, die der Störfallverordnung unterliegt, hat die Überwachung kontinuierlich zu erfolgen, wobei die Werte aufzuzeichnen sind.

Es wird empfohlen, die Stützluftversorgung zu regeln und die dafür erforderlichen Messsysteme zu installieren (Druck, Durchfluss, Temperatur). Ebenso wird empfohlen auf der Zuluftseite zum Ventilator eine Abscheidung von Grobstaub zu installieren.

f) Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit des gesamten Membransystems

Grundsätzlich sind für alle tragenden Bauteile die Nachweise über die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit zu erbringen. Dies gilt für die Membranen, Mittelstützen und Befestigungen sowie die eingesetzten Unterkonstruktionen und Rohrleitungen. Die Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Membransystem ist sicherheitsbedeutsam bzw. sicherheitsrelevant, da es dem Einschluss von Biogas (extrem entzündbar, toxisch) dient. Das Membransystem ist daher auch hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit nach dem Stand der Technik auszulegen. Hierbei sind die Anforderungen nach DWA-M 377 und TRAS 320, DIN EN 1990, DIN EN 1991- 1-3 incl. nationalem Anhang und DIN EN 1991-1-4 incl. nationalem Anhang zu beachten.
- Bei den Nachweisen sind Teilsicherheits-, Abminderungsfaktoren und Bedeutungsbeiwerte zu berücksichtigen. Damit muss eine Einhaltung der Anforderungen zum Ende der Lebensdauer gewährleistet werden.
- Berücksichtigung aller relevanter Lastfälle einschließlich Gasinnendruck und Stützluft bei unterschiedlichen äußeren (z.B. Temperaturänderung) und betrieblichen (z.B. Substratentnahme, unterschiedliche, halbseitige Schneelast etc.) Bedingungen.
- Die Nachweise sind rechnerisch zu erbringen. Sofern die Nachweise nicht erbracht werden können, sind sie durch Sachverständige durch Versuche zu erbringen. Letzteres gilt für Befestigungssysteme generell.
- Die Montage muss durch einen sachkundigen Ingenieur überwacht und bestätigt werden.
- Durch entsprechende sachkundige Prüfungen nach Prüfplan ist sicherzustellen, dass die Materialien die geforderten Werte auf Dauer nicht unterschreiten.

(Anmerkung: Nach obigen Vorgaben ausgelegte einschalige Membransysteme haben nahezu kein verfügbares Speichervolumen und können damit als Speicher praktisch nicht verwendet werden. Allenfalls ist eine Funktion als Abdeckung denkbar. Dabei sind nur einachsig vorgespannte Abdeckungen nicht dauerhaft standsicher und gebrauchstauglich zu bewerten und können somit nicht Verwendung finden.)

g) Dichtheit von Membransystemen

Anforderungen an die Dichtheit ergeben sich aus den Forderungen nach Einhaltung des Standes der Technik bei der Emissionsminderung und Sicherheit (Vermeidung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre). Aus der Dichtheit folgen wiederum die Anforderungen zur Gewährleistung des Explosionsschutzes: hierfür wird unterschieden in „technisch dicht“ und „auf Dauer technisch dicht“.

Generell müssen Anlagen wenigstens „technisch dicht sein“. Eine Anlage ist „technisch dicht“ wenn bei einer Leckagemessung keine Gasfreisetzung gemessen wird und die technische Dichtheit durch Wartung und Überwachung gewährleistet bleibt. Sind Anlagenteile „technisch dicht“ so lassen technische Ausführungen und Kontrollen nicht den Schluss zu, dass sie ständig dicht sind: seltene Gasfreisetzungen sind daher zu erwarten.

„Auf Dauer technisch dicht“ kann erreicht werden, wenn die Konstruktion entsprechend ausgeführt ist (dann bleibt sie ohne Gasfreisetzung) oder die Dichtheit **ständig** überwacht wird (TRBS 2152 Teil 2 / TRGS 722). Sind Anlagenteile „auf Dauer technisch dicht“, so sind keine Gasfreisetzungen zu erwarten, was auch dazu führt, dass keine Zonen auszuweisen sind. Sofern keine Zone ausgewiesen werden muss, entspricht dies dem Vorrang eines primären Explosionsschutzes (Vermeidung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre), der grundsätzlich anzuwenden ist.

Hieraus ergeben sich folgende Anforderungen an die Dichtheit bzw. an die Prüfmethoden zum Nachweis der technischen Dichtheit. Diese lassen sich wie folgt benennen:

- Membransysteme sind entsprechend den oben genannten Anforderungen wenigstens „technisch dicht“ herzustellen. (Nachweis von: der Art der Membrane, der Höchstzugkraft, der Art der Verschweißung, der Befestigung, der Betriebsführung (Stützluftbetrieb), der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit, der Herstellung, der Betriebsdaten durch Inbetriebnahmeprotokoll.) Sie sind vor dem Erreichen der prognostizierten Standzeit auszuwechseln. Durchdringungen für ortsveränderliche Systeme durch die gasbeaufschlagte Membrane (z.B. Seilführungen für höhenveränderliche Rührwerke) sind nicht zulässig, da sie als nicht „technisch dicht“ einzustufen sind.
- Die Montage des Membransystems muss durch einen sachkundigen Ingenieur überwacht und bestätigt werden. Dieser hat die Dichtheitsprüfung, die zur Inbetriebnahme durchzuführen ist, zu überwachen und zu bestätigen.
- Zur Durchführung der Dichtheitsprüfungen sind die erforderlichen Zugänge bereitzustellen. Dies betrifft insbesondere die Prüfungen an den lösbaren Verbindungen.
- Eine Prüfung auf das Kriterium „technisch dicht“ ist bei der Inbetriebnahme (Erstinbetriebnahme, nach wesentlichen Änderungen, Wiederinbetriebnahme), wiederkehrend und aus besonderem Anlass (vgl. § 14, 15, 16 BetrSichV, § 7 GefahrstoffV) nur mit der mittelbaren Prüfung (Hinweis: Diese ist auch bei einschaligen Systemen möglich) oder bei unmittelbarer Prüfung nur mit schaumbildenden Mitteln oder Gasmessgeräten mit einer Nachweisgrenze für die Methankonzentration < 10 ppm an den lösbaren Verbindungen bzw. in der Stützluft möglich. Durchführung und Ergebnisse sind aufzuzeichnen und bis zum Wechsel des Membransystems aufzubewahren. (Hinweis: Es müsste im Einzelfall geprüft werden, ob eine solche Prüfung bei einschaligen Systemen flächig möglich ist. Falls dies nicht möglich ist und auch eine mittelbare Prüfung nicht möglich wäre, ist ein einschaliges System, da es nicht prüffähig ist, nicht genehmigungsfähig.)
- Bei zweischaligen Systemen ist das Aufbringen eines ständigen Luftstromes mit Querströmung vorzunehmen. Der Volumenstrom der Querströmungsluft und seine Überwachung hinsichtlich einer explosionsfähigen Atmosphäre sind sicherheitsbedeutsam bzw. sicherheitsrelevant. Dies erfordert ein redundant ausgeführtes Luftgebläse mit allgemeiner Ersatzstromversorgung bei einer Stromunterbrechung von mehr als 20 Minuten. Bei Systemen, bei denen keine Querdurchströmung gewährleistet ist, muss der Hersteller eine gleichwertige Prüfmethode angeben. (Anmer-

kung: Bei pneumatisch vorgespannten Systemen kann die Stützluft überwacht werden, bei mechanisch vorgespannten Systemen ist eine zusätzliche Querlüftung zu installieren.) Bei einschaligen Systemen ist eine wiederkehrende Dichtheitsprüfung gemäß E-DWA-M 375 vorzunehmen.

- Bei zweischaligen Systemen hat eine Messung der Methankonzentration in der Querströmungsluft am Auslass bei Inbetriebnahme (Erstinbetriebnahme, nach wesentlichen Änderungen, Wiederinbetriebnahme) wiederkehrend und aus besonderem Anlass nach E-DWA-M 375 (Nachweisgrenze bezogen auf die Methankonzentration <10 ppm) zu erfolgen.
- Bei zweischaligen Systemen bei Anlagen, die der Störfallverordnung unterliegen, ist eine ständige Überwachung der Querströmungsluft am Auslass hinsichtlich der Methankonzentration (Nachweisgrenze bezogen auf die Methankonzentration < 10 ppm) durchzuführen.
- Als Alternative zur vorhergehend beschriebenen Dichtheitsüberwachung können bei einschaligen Systemen Dichtheitsprüfungen und -kontrollen gemäß E-DWA-M 375 (Anmerkung: Abschäumen der gesamten Oberfläche) durchgeführt werden.
- Sollten vorstehende Prüfungen nicht durchführbar sein, sind entsprechende Zonen gefährlicher, explosionsfähiger Atmosphäre auszuweisen.
- Wiederkehrende Dichtheitsprüfungen in einem festgelegten zeitlichen Abstand sind nach einem Prüfplan gemäß E-DWA-M 375 durchzuführen
- Bei Anlagen, die unter die Störfallverordnung fallen, und hinsichtlich der Dichtheit kontinuierlich zu überwachen sind, können einschalige Systeme nicht eingesetzt werden.

(Anmerkung: „Leckagesuchkameras“ sind kein geeignetes Dichtheitsprüfverfahren im Sinne von TRBS 2152 Teil 2/TRGS 722 Abschnitt 2.4.3.2. Ihr Einsatz ist zum Auffinden von Leckagen und zur Minderung von Emissionen hilfreich, jedoch lassen die Nachweisgrenzen und Probleme mit der Reproduzierbarkeit der Messungen keine Aussagen im Hinblick auf das Vorliegen einer bestimmten Dichtheit (Feststellung auf technisch dicht) zur Feststellung der Anforderungen des Explosionsschutzes zu. Mit den methansensitiven Kameras kann aber nach E-DWA-M 375 (Entwurf) zusammen mit oben genannten Anforderungen (Langzeitbeständigkeit, Erstmessung, Anforderungen an die Membrane) das Kriterium „technisch dicht“ nach dem in der Praxis gegebenen Stand der Technik gewährleistet werden. (Anmerkung: Die Aussagekraft von Kontrollen mit methansensitiven Kameras und ihre Nutzbarkeit für Prüfungen wird in der Fachwelt nach Einschätzung des Autors noch strittig diskutiert.))

h) Erstellung- und Inbetriebnahme

Während des Baus und der Inbetriebnahme erfolgen eine Vielzahl qualitätssichernder Maßnahmen, die teilweise auf dem Bauvertrag und teilweise auf den Vorgaben der Inverkehrbringer bzw. der Genehmigung beruhen. Hieraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- Liste der technischen Merkmale des Membransystems sowohl hinsichtlich technischer als auch betrieblicher Daten
- Liste der Qualitätsanforderungen mit erforderlichen Prüfungen
- Dokumentation der durchgeführten qualitätssichernden Prüfungen mit Ergebnissen, Abnahmen etc.
- Inbetriebsetzungsprotokoll mit vorgenommenen Grundeinstellungen

Ansonsten wird auf DWA-M 377 verwiesen.

i) Instandhaltung: Kontrolle, Wartung, Instandsetzung

Während des Betriebes sind eine Reihe von Maßnahmen durchzuführen, die mögliche Emissionen verhindern bzw. sicherheitskritische Zustände vermeiden helfen. Daher ergeben sich folgende Anforderungen:

- Alle technischen Anlagen und Einrichtungen sind entsprechend der Regelwartungspläne der Hersteller bzw. Lieferanten bzw. nach den Festlegungen in der Gefährdungsbeurteilung zu prüfen, zu warten und instand zu halten.
- Zur Durchführung entsprechender Instandhaltungsmaßnahmen sind die notwendigen Pläne zu erstellen, die insbesondere für die relevanten Bauteile die erwartete Lebensdauer berücksichtigen. Dies betrifft u.a. Austausch der Membranen, Dichtelemente, Sensoren, gasführende Bauteile, Dehnungsausgleich etc.)
- Reparaturen sind aufgrund der Komplexität der Arbeiten nur durch vom Hersteller autorisiertes bzw. durch entsprechend geschultes Personal auszuführen (VdS 3470 (2016)).
- Die Kontrollen des Membransystems sollten gemäß den Angaben des Herstellers/ Inverkehrbringers erfolgen, insbesondere sind folgende Kontrollen durchzuführen:
  - regelmäßige Kontrolle der Membranen auf Beschädigungen, Verschleiß,
  - Kontrolle der Außenmembranbeschichtung auf Versprödung,
  - Kontrolle des Befestigungssystems (Korrosion etc.),
  - regelmäßige Kontrolle der Sicherheitseinrichtungen,
  - Kontrolle der Unterkonstruktion, z. B. Zustand der Gurte,
  - Kontrolle der Befestigung/des Sicherheitsnetzes,

- zur Instandhaltung der Membransysteme sind die erforderlichen Zugänge vorzusehen.
- Eine Vollwartung alle 5 Jahre mit Entleerung des Behälters wird empfohlen.

j) Dokumentation des gesamtem Membransystems

Das gesamte Membransystem ist umfassend zu dokumentieren (vgl. auch E-DWA-M 375). Dazu gehören:

- Die Planunterlagen mit zeichnerischen Darstellungen in den geeigneten Maßstäben und Beschreibungen der einzelnen Systeme u.a. R+I Schema, Funktions- und Steuerungsbeschreibung.
- Zusammenstellung der technischen Daten (z.B. max. Gasvolumen), einschließlich der Daten der technischen Elemente (Gebläsekennlinie).
- Auslegung der Anlage (Festlegung der maximalen Entnahmeraten, Stützluftgebläse, Drücke, Rohrleitungen, Überströmeinrichtung etc.) Dabei sind die Nachweise über die funktionalen Anforderungen umfassend zu führen. Hierzu gehören u.a.:
- die Auslegung der Über- und Unterdrucksicherungen (Ansprechdrücke, Betriebsverhalten, Volumenströme etc.),
- die Stützluftversorgung,
- die Gasbefüll- und Entleerungsraten,
- Festlegung der Gasdrücke,
- Einbau- und Montaganleitungen,
- Datenblätter der eingesetzten Materialien,
- Zusammenstellung der Wartungsvorschriften sowie die Festlegung von Instandhaltungsmaßnahmen, Austauschzyklen, Prüfungen,
- Inbetriebnahmeprotokoll,
- Explosionsschutzdokument und Gefährdungsbeurteilung mit Angabe der Schutzmaßnahmen,

- Herstellerbescheinigungen und bei Anwendung in Ex-Zonen: Konformitätserklärungen/CE-Kennzeichnung gemäß ATEX-Richtlinie 2014/34/EU,
- Dokumentation des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit,
- Materialproben,
- Nachweise zu den durchgeführte Prüfungen,
- Eindeutige Bedienungsanleitungen,
- Dokumentation der E-Technik und MSR Technik.

Die obigen Vorschläge für Anforderungen an Membransysteme sind dafür gedacht, dass sie letztendlich in einer technischen Regel festgeschrieben werden, bei deren Anwendung vermutet werden darf, dass die rechtlichen Anforderungen eingehalten sind. Damit würde insbesondere auch der Stand der Technik bzw. der Stand der Sicherheitstechnik eingehalten sein. Eine solche technische Regel ließe sich z.B. als TRAS relativ zügig umsetzen, hätte aber keine unmittelbare Bindung im Sinne einer gesetzlichen Norm.

Die Frage ist, ob es hierzu andere Optionen gibt. Hierzu sollen drei Möglichkeiten dargestellt werden (Hinweis: die rechtlichen Ausführungen sind im folgenden Text teilweise verkürzt wiedergegeben):

a) Bauartzulassung nach § 33 BImschG

Danach kann durch Verordnung bestimmt werden, dass bestimmte Anlagen oder bestimmte Teile von solchen Anlagen nach einer Bauartprüfung zugelassen werden und dass mit der Bauartzulassung Auflagen zur Errichtung und zum Betrieb verbunden werden können. Es kann dann vorgeschrieben werden, dass nur solche Anlagen oder Teile solcher Anlagen in Verkehr gebracht werden dürfen, wenn diese der Bauart nach zugelassen sind.

Der Vorteil einer solchen Regelung besteht darin, dass für definierte Anlagen oder für Teile davon Klarheit über deren Übereinstimmung mit den technischen Regeln besteht und dies nicht bei jeder Anlage im Einzelfall, zwar möglicherweise nach bestimmten technischen Regeln, aber gesondert bestimmt werden müsste. Dies entweder durch die Genehmigungsbehörde oder durch einen Sachverständigen. Ein weiterer Vorzug wäre sicherlich darin zu sehen, dass die technischen Vorgaben mit Länderbeteiligung ausgearbeitet und laufend nach Bedarf angepasst werden könnten.

Voraussetzung für eine solche Bauartzulassung wäre aber eine Verordnung, für die eine entsprechende Ermächtigung mit dem § 33 BImSchG vorliegen würde, es müsste eine Einrichtung zur Durchführung gefunden werden, entweder eine staatliche Einrichtung (dies könnten z.B. die BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung) oder die PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) sein) oder eine beliehene private, und es müsste das Prozedere der Abwicklung einschließlich der Finanzierung /Gebühren festgelegt werden.

Insgesamt erscheint die Einführung eines solchen Systems aufwändig.

b) Ergänzung der WasBauPVO

Als Verordnung zum Baurecht regelt diese Verordnung als Verordnung der einzelnen Bundeländer die Zulassung von Anlagen oder Anlagenteilen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Danach besteht die Pflicht zum Einbau von zugelassenen Anlagen oder Anlagenteilen.

Der Vorteil einer solchen Vorgehensweise wäre, dass mit dem DIBT (Deutsches Institut für Bautechnik) bereits eine Institution mit der Durchführung betraut ist und dass die Länder die Zulassungskriterien bestimmen. Hierzu könnten z.B. die Kriterien aus den Technischen Regeln genutzt werden.

Der Nachteil einer Ergänzung der WasBauV wäre sicherlich, dass diese nur unter Baurecht ermächtigt wäre, die Anforderungen an die Biogasanlagen aber insbesondere aus dem Immissionsschutzrecht stammen. Weiterhin müsste die Verordnung geändert werden und ein Kriterienkatalog erarbeitet werden. Auch hier müsste noch wie oben das Prozedere geklärt werden.

Auch hier erscheint insgesamt die Einführung eines solchen Systems aufwändig.

c) Modell Deponieverordnung

Nach der Deponieverordnung dürfen bei den Abdichtungssystemen nur solche Systeme eingesetzt werden, die dem Stand der Technik entsprechen. Der Nachweis darüber kann nach Anhang 1 zu dieser Verordnung dadurch erbracht werden, dass für die Systeme eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung der Länder vorliegt.

Zwischenzeitlich wurde von den Ländern sehr erfolgreich ein sogenanntes BQS System (bundeseinheitliche Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilung) etabliert. Dabei wurden umfangreiche Qualitätsstandards erarbeitet und Systemen die Zustimmung erteilt.

Obwohl teilweise aus der Praxis Kritik an dem teilweise aufwändigen Zustimmungsverfahren geäußert wurde, hat sich das System insgesamt etabliert und stellt ein gutes Vorbild für ähnliche System dar.

Wie jedoch bei den obigen Beispielen auch, wäre hier eine Verordnung erforderlich, die derzeit nicht in Aussicht steht. Der Vorteil des Systems besteht darin, dass eine Arbeitsgruppe aus Ländervertreter relativ flexibel die gesamten Verfahren betreiben kann.

Alle drei Alternativen bieten für Betreiber und Behörden den Vorteil, dass:

- Anforderungen an die Anlage oder Teile davon nicht mehr im Einzelfall festgelegt und geprüft werden müssen,
- Betreiber davon ausgehen können, dass bei Anwendung dieser Anlagen oder Anlagenteile die Genehmigungsvoraussetzungen erfüllt sind,
- nur noch solche Anlagen oder Teile eingesetzt werden, die dem Stand der Technik entsprechen,
- die Zulassungen befristet werden können, so dass auch eine Fortentwicklung des Standes der Technik berücksichtigt werden könnte,
- einige stets vorhandene strittige Punkte in der Fachwelt und unter den Sachverständigen übergeordnet geklärt werden könnten.

Zumindest für den Emissionsschutz und die Sicherheitstechnik relevante Anlagenteile wäre eine Vorgehensweise im oben dargestellten Sinne sehr hilfreich und würde wohl auch von den Anwendern und den Inverkehrbringern geschätzt werden.

10 Weiterer Klärungsbedarf

Nach den obigen Ausführungen ist deutlich geworden, dass es noch verschiedene Punkte gibt, die noch einer weiteren Klärung bedürfen. Als wichtigste sind zu nennen:

- Alterungsverhalten und Bestimmung der Abminderungsfaktoren: Bislang können die Abminderungsfaktoren nur durch Anhaltswerte (vgl. DWA-M 377) bestimmt werden. Speziell für Biogase liegen dazu nur wenige Erfahrungen vor. Ein Alterungsverhalten, z. B. ein typisches Rissbild, um Wartungsintervalle festzulegen oder Instandsetzungen oder einen Membranwechsel bestimmen zu können, kann offenkundig derzeit nicht präzise beschrieben werden. Hierzu wären systematische Untersuchungen hilfreich, um die vorhandenen Anhaltswerte fortzuentwickeln.
- Füllstandsmessungen: die Genauigkeit der Füllstandsmessung stellt derzeit bei Membranspeichersystemen ein großes Problem dar, da infolge der großen und ungleichmäßigen Verformung der Innenmembrane keine Angaben zur Genauigkeit gemacht werden (können) und somit ein verlässlicher Wert für einen Füllstand nicht angegeben werden kann. Da der Füllstand in vielen Fällen als eine sicherheitsbedeutsame Größe genutzt wird, ist ein erhebliches Defizit gegeben. Hier eine Lösung zu finden ist dringend angezeigt. Es dürfte sich hier aber um ein technisch lösbares Problem handeln, das zusammen mit der einschlägigen Industrie gelöst werden sollte.
- Verluste durch Permeation und Lecks: Bislang wurden Angaben zu Leckageraten (insbesondere in Abhängigkeit der Leckagegröße und des Druckes) sowie zur Unterscheidung der Emissionen durch Lecks von denen durch Permeation mittels theoretischer Berechnungen auf der Basis von Gesetzen der Fluidmechanik und der Diffusion durchgeführt. Dabei kann der Einfluss der Art der Leckage nur ungenau berücksichtigt werden. Modellversuche im Prüflabor zur Bewertung verschiedener Lecks unter verschiedenen Bedingungen (einschließlich möglicher Lecks in den randlichen Befestigungssystemen bei unterschiedlichen Zugkräften) wären hierzu erforderlich. Dazu wären Berichte über typische Lecks an Membransystemen in Erfahrung zu bringen (z.B. durch Befragung bei Wartungsfirmen) und Vorstellungen über ein Leckverhalten an Membranen zu entwickeln, z.B. in welcher Zeit entwickelt sich ein solches Leck, wie wird es größer wie ändert es seine Form.
- Permeationsmessverfahren für Membranen: Prüfungen von Membranen werden derzeit hinsichtlich Permeation nach DIN 53380-2 durchgeführt. Diese DIN wurde nicht speziell für die Membranen, wie sie bei Membransystemen von Biogasanlagen zur Anwendung kommen, entwickelt. Es wäre daher erforderlich, diese Methode für Untersuchungen von Membranen und für die Prüfung von Membranen für Biogasanlagen weiterzuentwickeln. Hierzu wären insbesondere die Randbedingungen der Methode an die Erfordernisse anzupassen, z.B. Größe, Temperatur, Druckdifferenzen und Zahl der Wiederholungen zur statistischen Absicherung.
- Realisierung, Prüfung und mögliche Folgen von weiteren Anforderungen: Derzeit ist nicht klar, wie bestimmte Anforderungen an die Beschaffenheit der Membranen optimal realisiert werden können, ihre Einhaltung geprüft werden kann und negative Folgen für andere Anforderungen vermieden werden können. Dies betrifft insbesondere die Ausstattung der Membranen

  a) zur besseren UV Beständigkeit,

  b) zur Erzielung einer elektrostatischen Ableitfähigkeit,

  c) zur Erreichung eines bestimmten Reflexionsgrades.

  zu a) Hier fehlt ein geprüftes Verfahren zur Quantifizierung der Wirksamkeit der eingesetzten Beschichtungen, z.B. zur Messung der Abnahme der Zugfestigkeit oder der Beständigkeit gegen Knickbelastungen in Abhängigkeit von der Bestrahlung.

Zu b) Die Ableitfähigkeit kann durch Zusatzstoffe oder durch Beschichtungen erreicht werden. Hiergegen bestehen Bedenken hinsichtlich der Abnahme der Festigkeit von Schweißnähten, die geprüft werden müssten.

Zu c) Ein höheres Reflektionsvermögen verringert Temperaturanstiege bei Zunahme der Sonneneinstrahlung und dadurch mögliche Gasverluste. Zur Optimierung müsste der Einfluss der Infrarotstrahlung geklärt werden.

Es sind somit eine ganze Reihe materialspezifischer grundsätzlicher Fragen zu klären. Diese Fragen sollten zusammen mit den Herstellern und Inverkehrbringer der einzelnen eingesetzten Stoffe (Farbe, Beschichtungen, Füllstoffe) bearbeitet werden. Von besonderer Bedeutung, da hier am Markt eine Nachfrage entstehen kann, ist dabei die Erreichung eines bestimmten Oberflächenwiderstandes der Membrane zur Erfüllung des Kriteriums einer elektrostatischen Ableitfähigkeit.

11 Aufstellungsvermerk

Aufgestellt:

- G. Rettenberger, Prof. Dr.-Ing.
- R. Schneider, Dipl.-Chem.
- F. Kunberger, Dipl.-Ing.
- R. Laube, M. Sc.

Stuttgart, im Juni 2017

Prof. Dr.-Ing. G. Rettenberger

Sachverständiger nach §§ 29a, 29b BImSchG

Projektleiter

12 Quellenverzeichnis

Arbeitshilfe für sicherheitstechnische Prüfungen an Biogasanlagen, insbesondere für Prüfungen nach §29a BImSchG, LAI-Ausschuss Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge (AISV), 8.2.2013

BMWFW - Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (Hrsg.) (2013): Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen. Wien

DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2006): Merkblatt DWA-M 376: Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membrandichtung. Hennef

DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2008): Merkblatt DWA-M 212: Technische Ausrüstung von Faulgasanlagen auf Kläranlagen. Hennef

DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2010): Merkblatt DWA-M 363: Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen. Hennef

DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2015): Merkblatt DWA-M 377: Biogas-Speichersysteme - Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen - Entwurf. Hennef

DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2016): Merkblatt E-DWA-M 375: Technische Dichtheit von Membranspeichersystemen - Entwurf. Hennef

LfU - Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (o.J.): Biogashandbuch Bayern - Materialienband. Augsburg.

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum SKT: Alterungsverhalten-Homepage 2017

SVLFG - Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (Hrsg.) (2015): Technische Information 4 - Sicherheitsregeln für Biogasanlagen. Kassel

VdS - Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.) (2016): VdS 3470 Biogasanlagen. VdS Schadenverhütung GmbH, Köln

Weyer GmbH (2016): Prüf- und Instandhaltungspläne für Biogasanlagen; Entwurf eines Sachverständigengutachtens für das Umweltbundesamt Stand 11/2016, Düren 2016

13 Anlagen

- Anlage 1 – Frageliste zur Fortschreibung des Standes der Technik/ Sicherheitstechnik
- Anlage 2 – Membransysteme - Herstellerübersicht

13.1 Frageliste zur Fortschreibung des Standes der Technik/Sicherheitstechnik

Fragebogen:	
Tätigkeit des Unternehmens	
Hersteller/Lieferant für Planen/Abdeckungen	Ja / Nein
Hersteller/Lieferant für Gasspeicher	Ja / Nein
Generalunternehmer/Schlüsselfertiges Bauen	Ja / Nein
Planungsbüro	Ja / Nein
Sonstige, z.B.:	Ja / Nein
Hersteller/Lieferant für Gasspeicher	

Welche Art von Gasspeicher wird angeboten?
• Einschalig
  o mechanisch vorgespannt
  o gasdruckgestützt
• Zweischalig
  o mechanisch vorgespannt
  o pneumatisch vorgespannt (Stützluftgebläse)
• Sonstige, z.B.:	

Welche Komponenten kommen in welcher Form zum Einsatz? • Mittelstütze (Metall, Holz, Stahlbeton) • Balkensystem (Metall, Holz,…) • Gurtsystem • Randbefestigung (Klemmschlauch, ,…) • Tragluftgebläse (ATEX ja/nein (warum nicht)) • Füllstandsmessung • Druckmessung • Sonstige, z.B.:	

Fragebogen:	
Welche der folgenden Richtlinien/ Regelwerke werden berücksichtigt?	
Allgemein	
BetrSichV, Betriebssicherheitsverordnung	☐
Technische Information 4 - Sicherheitsregeln für Biogasanlagen	☐
VdS 3470 Biogasanlagen	☐
TRGS 529 - Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas	☐
TRBS 1201 - Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen	☐
Bautechnik	
DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teile 1, 2, 7	☐
DIN EN 13501, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten	☐
Bauaufsichtliche Zulassung durch das DIBt	
komplettes Produkt?	☐
einzelne Teile? (→ welche?)	☐
BAM-Zulassung	
komplettes Produkt?	☐
einzelne Teile? (→ welche?)	☐
Tragwerke	
DIN EN 1990, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung	☐
DIN EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke	☐
DIN EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten	☐
Gurtmaterial	
DIN EN 12195-2, Zurrgurte aus Chemiefasern	☐
Anlagentechnik/ Prozessleittechnik/ EMSR	
Richtlinie 2006/42/EG, Maschinenrichtlinie	☐
VDI/VDE 2180, Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik	☐
Membranen	
DIN 53359, Prüfung von Kunstleder und ähnlichen Flächengebilden - Dauer-Knickversuch	☐

Fragebogen:	
DIN 53363, Prüfung von Kunststoff-Folien - Weiterreißversuch an trapezförmigen Proben mit Einschnitt	☐
DIN 53380, Prüfung von Kunststoffen - Bestimmung der Gasdurchlässigkeit	☐
DIN 53504, Prüfung von Kautschuk und Elastomeren - Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch	☐
DIN EN 1779, Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung - Kriterien zur Auswahl von Prüfmethoden und -verfahren	☐
DIN EN 12280, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien	☐
DIN EN 1876, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Prüfungen bei niedrigen Temperaturen	☐
DIN EN ISO 1421, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung	☐
DIN EN ISO 2411, Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung der Haftfestigkeit von Beschichtungen	☐
DIN EN ISO 13934, Textilien - Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden	☐
DVS 2225-1, Fügen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau; Schweißen, Kleben, Vulkanisieren	☐
DVS 2226, Prüfen von Fügeverbindungen an Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen	☐
Gas-Installation und Messtechnik	
DVGW G 600 Technische Regeln für Gas-Installationen	☐
DVGW G 465-4, Gasspür- und Gaskonzentrationsmessgeräte für die Überprüfung von Gasanlagen	☐
VDI 4285 Blatt 1, Messtechnische Bestimmung der Emissionen diffuser Quellen, Grundlagen, Juni 2005	☐
DWA-Regelwerk	
DWA M 212, Technische Ausrüstung von Faulgasanlagen auf Kläranlagen	☐
DWA M 217, Explosionsschutz für abwassertechnische Anlagen	☐
DWA M 363, Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen	☐
E-DWA M 375, Technische Dichtheit von Membranspeichersystemen	☐
DWA M 376, Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membrandichtung	☐
DWA M 377, Biogas-Speichersysteme - Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Membranabdeckungen	☐

Fragebogen:	
Explosions- und Blitzschutz	
Richtlinie 2014/34/EU, ATEX-Produktrichtlinie	☐
EN 60079-0, Explosionsfähige Atmosphäre - Teil 0: Geräte - Allgemeine Anforderungen	☐
TRBS 1112-1 - Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten - Beurteilung und Schutzmaßnahmen	☐
TRBS 2152 Teile 1, 2, 4 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre	☐
TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen	☐
VDE 0165-1, Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen	☐
VDE 0170/0171, Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche	☐
VDE 0185-305 / DIN EN 62 305, Blitzschutz	☐
Weitere Richtlinien/ Vorschriften, z.B.:	

Hersteller / **Komponente**	**Selbst**	**Fremdfirma (inkl. Firmenname)**	**nicht relevant**
Plane	☐	☐	☐
Gasspeicherfolie/Wetterschutzfolie (Konfektionierung/Verschweißen)	☐	☐	☐
Mittelstütze	☐	☐	☐
Balkensystem	☐	☐	☐
Gurtsystem	☐	☐	☐
Randbefestigung	☐	☐	☐
Tragluftgebläse (ATEX ja/nein (warum nicht))	☐	☐	☐
Füllstandsmessung	☐	☐	☐
Druckmessung	☐	☐	☐
Steuerungstechnik	☐	☐	☐
Montage	☒	☐	☐
…	☐	☐	☐
…	☐	☐	☐
…	☐	☐	☐

Fragebogen:
Referenzliste 2013 – 2015 (verkaufte Gasspeicher pro Jahr)
2013
2014
2015

13.2 Membransysteme – Herstellerübersicht

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
AAT Abwasser- und Abfalltechnik GmbH	http://www.aat-biogas.at							
AEV Energy GmbH	http://www.aev-energy.de							
Agraferm Tech-nolgies AG	http://www.ag-raferm.com							
agriKomp GmbH	http://www.ag-rikomp.com	Biolene ® mit Nachweisen, EPDM-Kaut-schuk, UV-, Ozon- und Temperatur-stabil	Holzbalken mit Bohlen				direkt oder elektronisch	
AGROTEL GmbH	http://www.ag-rotel.eu	kunststoffbe-schichteter Polyester	Edelstahl-stütze mittig mit Gurten					Doppelmemb-ran
Archea Anlagen-bau GmbH	http://www.ar-chea-biogas.de							
Arnegger GmbH	http://www.ar-neggergmbh.de	PE-LD, PE-HD, EPDM-Kaut-schuk, PVC (DIN 53380)						
ASFE Biogas GmbH	http://www.asf e-online.com							

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
Baur Folien GmbH	http://www.baur-folien.de	PVC-beschich-tetes Polyes-ter-Gewebe			Verschrau-bung mit Stahlschienen, Trapez- oder U-Profil mit Klemm-schlauch			1- und 2-scha-lig
BayWa	https://http://www.baywa.de/							
BDI - Biogas	http://http://www.bdi-bio-energy.com							
Bebra Biogas GmbH	http://www.be-bra-biogas.com	Geomembran						2-schalig
Bilgeri EnvironTec GmbH	http://www.bio-gas-plant.com	PVC mit spezi-eller Beschich-tung zum Schutz gegen BG-Inhalts-stoffe				Gebläse mit Rückschlag-klappe	Ultraschall-Füllstands-messung	Doppelmemb-ran
Binowa GmbH	http://www.bi-nowa.de							
BioConstruct	http://www.bio-construct.de							
Consentis Anla-genbau GmbH	http://www.consentis.de					vorhanden		Doppelmemb-ran

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
Deutsche Biogas Dach-Systeme GmbH	http://www.dbds-gmbh.de	PVC-beschich-tetes Polyes-ter-Gewebe	Mittelstütze mit Kronring aus Edelstahl mit Gurten	prüffähige Statik	Gewindean-ker bei Beton-behälter, Schrauben bei Stahlbehälter, Klemmschie-nen in beiden Fällen	Gebläse mit Absperrschie-ber		Doppelmemb-ran, auch 1-schalig ange-boten
DURAPROOF technologies GmbH	http://www.duraproof.de	EPDM-Folie	./.	./.	./.	./.	./.	./.
Eisenbau Heil-bronn GmbH	http://www.ei-senbau-heil-bronn.de							
Ennox Biogas Technology GmbH	http://www.ennox.at			berechnet		Gebläse mit Druckhalte-ventil	Seilzugsensor oder Radar-messung	Doppelmemb-ran
ENSPAR Biogas GmbH	http://www.en-spar.de							
EnvironTec	http://biogas-plant.com/						Ultraschall-messung	Doppelmemb-ran
EnviTec Biogas AG	http://www.en-vitec-biogas.de							
ffe solutions GmbH	http://www.ffe-solutions.com	PVC-beschich-tetes Polyes-ter-Gewebe	Edelstahlmit-telstütze mit Gurten			Gebläse	Schauglas, elektronisch	Doppelmemb-ran

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
Finsterwalder Umwelttechnik	http://http://www.german-bio-gas-in-dustry.com							
FK Käppner	http://www.ka-eppner.de	EDPM-Kaut-schuk-Folie						
Flexxolutions	http://www.flexxolutions.de	PVC-beschich-tetes Polyes-ter-Gewebe		berechnet		Überstrom-einrichtung Zuluftseitig	ultrasonare Füllstands-messung	Doppelmemb-ran
Fritz GmbH	http://www.bio-gas-online.de							
GEVO-PLAN GmbH	http://www.gevo-plan.de	EDPM-Kaut-schuk-Folie, PVC-beschich-tetes PET-Ge-webe, PE-LD						
Gilles Planen	http://www.gilles-planen.de							
Green Energy Max Zintl GmbH	http://www.green-energy-zintl.de							
greentec-service GmbH	http://www.greentec-ser-vice.com				Klemmschie-nen	Gebläse	Füllstandsgurt	2-schalig
Gross - Planen, Markisen, Zelte GmbH	http://www.gross-planen.de							

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
H. Seybold GmbH & Co. KG	http://www.seybold-dueren.de/							
Henze Harvestore GmbH	http://www.harvestore.de	PVC-Folie, EDPM-Kaut-schuk-Folie	Edelstahlmit-telstütze mit Holz- oder Gurtunterkon-struktion				ja	
IF-Membrande-sign	http://www.if-membrande-sign.de							
Klärgastechnik Deutschland GmbH	http://www.kla-ergastechnik.eu							Doppelmemb-ran
Lipp GmbH	http://www.lipp-system.de	PVC-beschich-tetes Polyes-ter-Gewebe			Membran ist über einen Tragring im Behälter auf-gehängt		mechanisch und über Ra-darsystem	
n-bio GmbH	http://www.n-bio.de							
Nesemeier GmbH	http://www.ne-semeier-gmbh.de/in-dex.html							
Novatech GmbH	http://www.no-vatech-gmbh.com							

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
NQ-Anlagentech-nik GmbH	http://www.nq-anlagentech-nik.de	EPDM-Folie für 1-fach-Membran, PE- oder Gewebe-folie für Dop-pelmembran				Gebläse		Einfach- und Doppelmemb-ran
Ökobit GmbH	http://www.oe-kobit-bio-gas.com							Doppelmemb-ran
OSMO-Anlagen-bau GmbH & Co. KG	http://www.os mo-anlagen-bau.com							
PlanET Biogas-technik GmbH	http://www.pla-net-biogas.de							
Relais Textilien	http://www.re-lais-textilien.de							
Rückert NatUrgas GmbH	http://www.rue ckert-natur-gas.de							
Sattler Ceno TOP-TEX GmbH	http://www.sat-tler-global.com							
SBBiogas GmbH	http://www.sbb iogas.de							
Schaumann Biotic Systems GmbH & Co. KG	http://www.sch aumann-sys-tems.de							

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
Schmack Biogas GmbH	http://www.schmack-bio-gas.com							
Schwarting Bio-system GmbH	http://www.schwarting-biosys-tem.de							
Seitz Electric GmbH	http://www.seitz-electric.de							
SM-Energy GmbH	http://www.sm-energy.de							
Tecon	http://www.tecon.biz		Gurte am Mit-telmast			Stützgebläse mit Druckre-gelung und Rückschlag-klappe	Über Sicht-fenster und Seillängen-messung	Doppelmemb-ran
Thöni	http://http://www.german-bio-gas-in-dustry.com							
UTS Biogastechnik	http://http://www.uts-bio-gas.com/							
W. Bergmann Sä-cke und Planen-fabrik	http://www.bergmann-frei-sing.de							
Walter Krause GmbH	http://www.walterkrause.de							

Name	Homepage	Membran	Unterkon-struktion	Statisches System	Befestigung	Stützluftver-sorgung	Füllstands-messung	1-schalig/ 2-schalig
wdk Wirtschafts-verband der deut-schen Kautschuk-industrie e.V.	http://www.wdk.de							
WELTEC Biopower GmbH	http://www.weltec-biopower.de							
Wiefferink	http://www.wiefferink.nl/de/gasbuffer/							Doppelmemb-ran
Wolf Systems	http://http://www.wolfsys-tem.de/							
Zorg Biogas AG	http://www.zorg-biogas.com							