

permeation

Wie gasdurchlässig ist mein Foliendach?

Neue Prüfverfahren für Biogasspeichermembranen

Dr. Andreas Konrad und Jörg Johann

Allein in Deutschland gibt es inzwischen mehr als 4000 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von fast 5000 MW – Tendenz weiterhin steigend. Lebensdauer, Effizienz der Anlagen sowie sicherer und geruchsarmer Betrieb sind trotz der inzwischen mehr als 20 Jahre Erfahrung mit Biogasanlagen wichtige Themen für die immer professioneller werdenden Betreiber. Entwicklungspotenzial gibt es im Bereich der Foliendächer und der Gasaufbereitung. Die Einspeisung von Methan erfordert eine Abtrennung von Kohlendioxid, Schwefelwasser-

stoff und weiteren Komponenten. Die Gasdurchlässigkeit – auch Permeation genannt – der Foliendächer muss langfristig und unter allen Betriebsbedingungen gering sein, um einen sicheren Anlagenbetrieb und geringe Emissionen zu gewährleisten.

Aus dem Kapitel 4 der „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen (TI 4)“ ergeben sich Vorgaben für Biogasspeichermembranen hinsichtlich der Gasdurchlässigkeit für Methan und der Reißfestigkeit. So ist für diese Folien eine maximale Methandurchlässigkeit von $1.000 \text{ cm}^3/\text{m}^2\text{d}$ festgeschrieben. Bei der Reißfestigkeit liegt der Grenzwert bei mindestens $500 \text{ N}/5 \text{ cm}$. Für beide Vorgaben sind keine Normen als Grundlagen zur Ermittlung der entsprechenden Zielgröße

genannt. Bei der sicherheitstechnischen Überprüfung nach 29a BImSchG sind entsprechende Prüfprotokolle der Membranen dem Sachverständigen vorzulegen. Das DLG Testzentrum hat in Kooperation mit der Mecadi GmbH Prüfmethode entwickelt, um die verschiedenen Folientypen auf die beiden Vorgaben aus der TI 4 zu überprüfen. Die Prüfungen erfolgten sowohl im DLG Testzentrum in Groß-Umstadt als auch bei der Mecadi GmbH in Bexbach/Saar.

Momentan finden bei Biogasanlagen vorwiegend zwei Materialien als Biogasspeicher im Kopfbereich der Gärbehälter Verwendung: Foliendächer aus EPDM-Folien und Foliendächer aus mit Kunststoff beschichteten Gewebefolien. Als weiteres Material wäre noch Polyurethan zu nennen, die Verbreitung dieses Materials ist jedoch noch sehr begrenzt.

Gewebefolien werden hauptsächlich bei Tragluftdächern verwendet. Der Aufbau dieser Tragluftdächer ist zweischichtig, eine Folie dient als Gasspeicher (Gasmem-




Abb. 1 Gewebefolie im Einsatz

bran) und eine weitere Folie dient als Wetterschutz (Schutzmembran). In den Zwischenraum wird mithilfe eines Gebläses Luft eingeblasen. Dadurch wird ein Druck erzeugt: Die Schutzmembran ist auch bei niedrigem Biogasdruck gespannt, um die Bildung von Pfützen durch Regenwasser oder die Bildung einer Schneedecke zu verhindern. Für die Gasdurchlässigkeit ist in diesem Anwendungsfall nur die Gasmembran relevant. Gewebefolien benötigen insbesondere bei größeren Behälterdurchmessern die Installation einer Unterkonstruktion (z. B. eine Holzbalkendecke) mit Mittelstütze. Dies ist aus statischen Gründen bei Gewebefolien und EPDM-Folien erforderlich. Zur Befestigung der Foliendächer aus Gewebefolien an den Behälterwänden kommen je nach Behälter- und Folientyp unterschiedliche Techniken zum Einsatz, z. B. ein so genannter Seeger-Verschluss oder verschiedene Klemmleistsysteme. Für die verschiedenen Befestigungsmöglichkeiten sind immer unterschiedliche Vorbereitungen an der Behälterkrone notwendig. Hierauf ist bei Nachrüstungen unbedingt zu achten, da nachträgliche Anpassungen der Behälterkrone an ein neues Befestigungssystem sehr kostspielig sein können. Das Foliendach aus Gewebefolien wird in der Regel komplett vernäht und verschweißt an die Anlage geliefert, bei einem Behälter mit einem Durchmesser von 25 m hat ein zweischichtiges Foliendach aus zwei übereinander angeordneten Gewebefolien ein Gewicht von ca. 1,2t ohne Berücksichtigung der Kugelform.

EPDM ist ein Elastomer und kommt als einschichtiges System zum Einsatz. Die Folie als Fermenterdach dient dabei sowohl als Wetterschutz als auch zur Gasspeicherung. Auch beim Einsatz dieser Folien ist eine Unterkonstruktion aus statischen Gründen notwendig. Die EPDM-Folien werden in Bahnen an die Biogasanlage geliefert und von einer Fachfirma vor Ort zusammengeschweißt. Hierbei dient die Unterkonstruktion gleichzeitig als Arbeitsbühne zur Herstellung des Foliendachs. In der Regel werden die EPDM-Foliendächer mit einem so genannten Seeger-Verschluss an der Behälterkrone befestigt. Dabei ist in der Behälterkrone eine U-Schiene eingegossen und die Folie mit einem mit Luft oder Wasser gefüllten Schlauch eingepresst. Hierzu ist während des Betriebes der Biogasanlage ein Kom-



Abb. 2 EPDM-Folie im Einsatz

pressor notwendig, der den entsprechenden Druck im Schlauch gewährleistet. Das Gewicht einer EPDM-Folie beträgt bei einem Behälter mit 25 m Durchmesser ohne Berücksichtigung der Kugelform ca. 1t.

Bei großen Behälterdurchmessern wird die Angriffsfläche für Windlasten sehr hoch. Die Reißfestigkeit der Folien spielt bei der statischen Betrachtung des Fermenterdaches eine wichtige Rolle. Bei Sturmereignissen können instabile Folien reißen und somit große Schäden an der Biogasanlage verursachen. Zur Überprüfung der Reißfestigkeit im Labor werden je nach Folientyp Prüfkörper vorbereitet, die in eine eigens hierfür konzipierte Maschine eingespannt und bis zum Zerreißen gedehnt werden. Für die verwendeten Folientypen – mit Kunststoff beschichtete Gewebefolien und EPDM-Folien – sind dabei unterschiedliche DIN-Normen anzuwenden, da die Normung von jeweils anderen Anwendungsmöglichkeiten ausgeht. So gilt für die EPDM-Folie die DIN 53504 „Bestimmung der Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerte im Zugversuch“ und für die kunststoffbeschichteten Gewebefolien die DIN 1421 „Bestimmung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung“. Der Unterschied besteht dabei hauptsächlich in der Herstellung der Prüfkörper. Während den entsprechenden DIN-Normen gemäß beschichtete Gewebefolien jeweils in Kette- und Schussrichtung geprüft werden, wird hierauf bei EPDM-Folien verzichtet. Bei der Auswertung gemäß den unterschiedlichen DIN-Normen werden für die Reißfestigkeit auch unterschiedliche Bezugseinheiten angegeben. Während bei den Gewebefolien die Foliend-

dicke eine untergeordnete Rolle spielt, wird bei EPDM-Folien die Reißfestigkeit auf die Querschnittsfläche bezogen. Bei EPDM-Folien erfolgt die Angabe des Messwertes in N/mm^2 und bei Gewebefolien wird der Messwert in $N/5\text{ cm}$ angegeben (wobei 5 cm die Breite des Prüfkörpers sind). Um die Ergebnisse vergleichen zu können, wird bei DLG-Prüfungen die Foliendicke auch bei EPDM-Folien nicht berücksichtigt, aber trotzdem ist die Dicke als Bezugsgröße anzugeben. (Beispielhafte Prüfergebnisse siehe Abb. 3.)

Es fällt auf, dass die Gewebefolien eine wesentlich höhere Reißfestigkeit besitzen als die EPDM-Folien. Dies ist bei den letztgenannten auf die Gewebeverstärkung zurückzuführen. Die geprüften EPDM-Folien sind nicht gewebeverstärkt. Die Schwankungen bei den verschiedenen Gewebefolien erklären sich dabei aus der Qualität der verwendeten Gewebe.

Die Vorgaben aus den „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ mit $500\text{ N}/5\text{ cm}$ sind jedoch in diesem gezeigten Beispiel sowohl bei den EPDM-Folien als auch bei den Gewebefolien deutlich eingehalten. Die Messwerte für die EPDM-Folien liegen zwischen 700 und $1.000\text{ N}/5\text{ cm}$.

Unterschiedliche Materialien weisen auch deutliche Unterschiede bei der Bruchdehnung auf (Abb. 4). Die Bruchdehnung ist die maximale Dehnung der Folie zum Zeitpunkt des Zerreißens.

Es zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Während die Bruchdehnung bei EPDM-Folien in diesem Beispiel zwischen 240% und 360% liegt, wurden bei Gewebefolien deutlich niedrigere Prüfergebnisse erzielt.

permeation

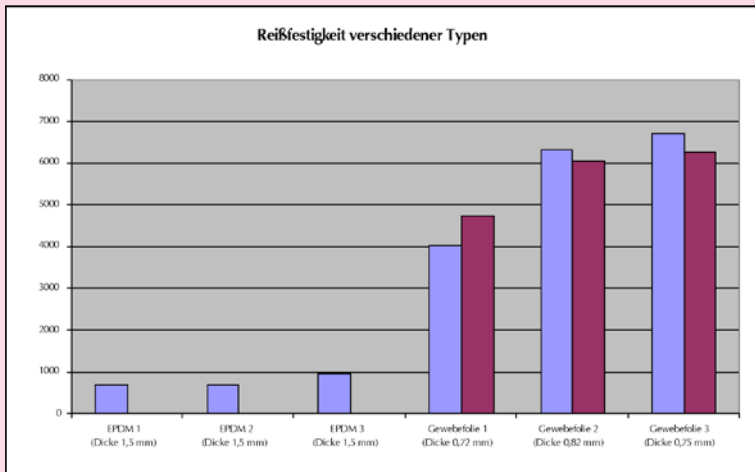


Abb. 3 Vergleich der Reißfestigkeit der geprüften Folientypen (Gewebe) in Kette- (blau) und Schussrichtung (rot) geprüft

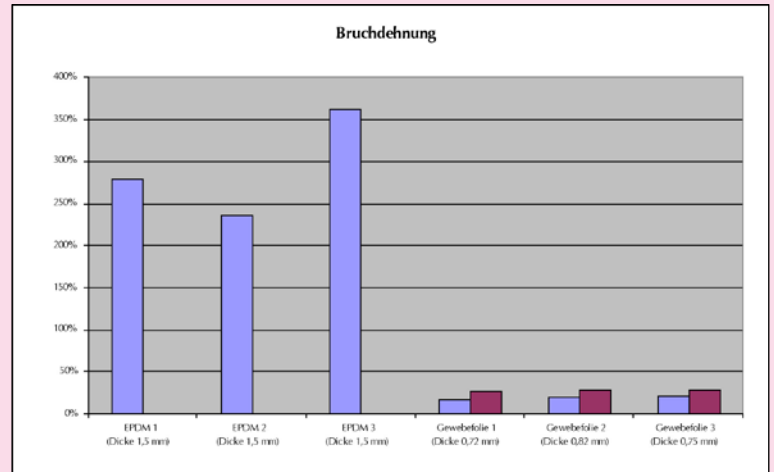


Abb. 4 Bruchdehnung der geprüften Folien im Vergleich in % der Prüflingslänge

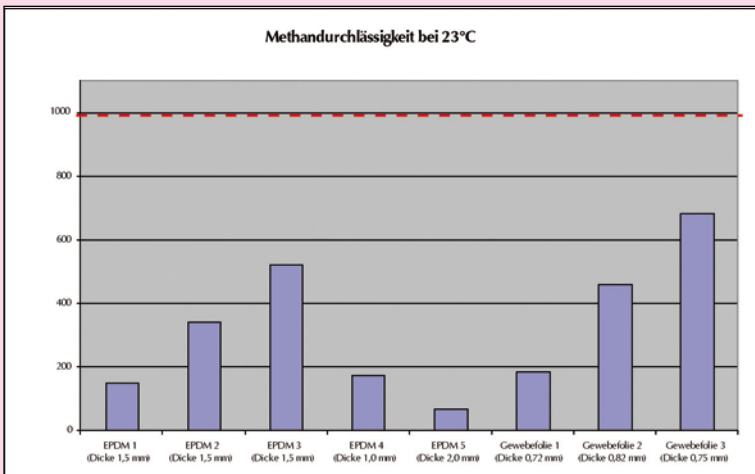


Abb. 5 Methandurchlässigkeit der geprüften Folien bei einer Prüftemperatur von 23°C (die gestrichelte Linie entspricht der Vorgabe aus der TI 4)

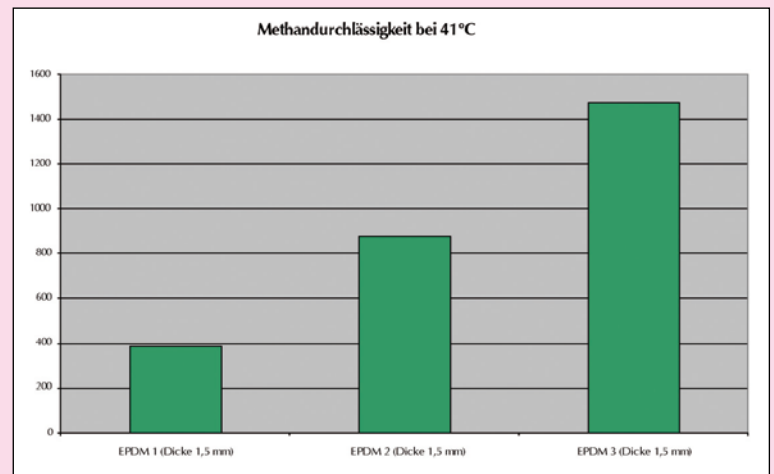


Abb. 6 Methandurchlässigkeit der bei 41°C geprüften Folien im Vergleich

Der Grund hierfür liegt wiederum im verwendeten Gewebe, das die Dehnung im Vergleich zu den reinen Elastomeren beschränkt. Bei hoher Dehnung der Folien nimmt die Materialermüdung zu, dennoch spielt die Bruchdehnung aufgrund des niedrigen Biogasdruckes eine untergeordnete Rolle. Bei hohen Windlasten muss dieser Punkt jedoch berücksichtigt werden.

Die Überprüfung der Methandurchlässigkeit für Membranen zur Speicherung von Biogas im Gärbehälter erfolgt meist in Anlehnung an die DIN 53380 Teil 1 und 2 („Prüfung von Kunststoffen - Bestimmung der Gasdurchlässigkeit“) unter Laborbedingungen. Diese DIN-Normen werden den Anforderungen an Biogasspeichermembranen nur teilweise gerecht. So ist insbesondere die DIN 53380 Teil 2 nicht darauf ausgerichtet, die praktische Anwendung einer solchen Folie als Biogasspeichermembran darzustellen. Die Überprüfung der Gasdurchlässigkeit erfolgt gemäß dieser Norm mit trockenem Gas im Temperaturbereich zwischen 10°C und 40°C. Bei Biogasspeichermembranen als Behälterabdeckung ist jedoch mit einer relativen Feuchte des Biogases von

nahezu 100% auszugehen. Die Temperatur des Biogases schwankt zwischen Sommer und Winter sehr stark und kann im Sommer bei hoher Sonneneinstrahlung über 70°C liegen. Für die DIN 53380 Teil 1 ist anzumerken, dass die Anwendung dieser Norm für an den Kunststoffen kondensierende Gase ausgeschlossen wird. Gerade in kalten Monaten kondensiert sehr viel im Biogas enthaltene Feuchtigkeit bereits an den Membranen. Beide Normen sind für die Überprüfung von Kunststoffverpackungen konzipiert. Bei unterschiedlichen Temperaturen ergeben sich jeweilig gemessene Methandurchlässigkeiten (Abb. 5). Die Gasdurchlässigkeit wird als Gasvolumen (in cm³) pro Fläche Folie (in m²), pro Zeiteinheit (d = Tag) und pro Partialdruck Methan (in bar) angegeben.

Für 23°C werden die Vorgaben aus der TI 4 für alle geprüften Folien eingehalten. Jedoch sind Qualitätsunterschiede durchaus erkennbar. Dabei entspricht die Prüftemperatur von 23°C gemäß der DIN 53380 nur selten den praktischen Bedingungen. Zudem wurden die in Abb. 5 ermittelten Messwerte bei einer relativen Feuchte des Prüfgases von 0% durchgeführt. Um den Praxisbezug

zu erhöhen, wurde bei drei der Folien die Methandurchlässigkeit bei 41°C geprüft. Die Ergebnisse dieser Messung sind in Abb. 6 zu sehen.

Es fällt auf, dass die Methandurchlässigkeit bei zunehmender Temperatur stark ansteigt. So liegt die Methandurchlässigkeit für die hier geprüften EPDM-Folien bei einer Prüfgastemperatur von 41°C im Mittel um 165 % über den bei 23°C ermittelten Werten. Demnach hat die Temperatur des Biogases einen entscheidenden Einfluss auf die Gasdurchlässigkeit. Die Temperaturabhängigkeit der Methandurchlässigkeit ist von Material zu Material unterschiedlich, aber typischerweise verdoppelt sich die Gasdurchlässigkeit alle 10 bis 20K Temperaturerhöhung. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Gasdurchlässigkeit ist sicher die Materialermüdung infolge der Einflüsse von Wind, Wetter und Biogas. Auch hier ist über die Dauer des Einsatzes mit einer Erhöhung der Gasdurchlässigkeit und einer Absenkung der Reißfestigkeit zu rechnen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei allen hier gezeigten Beispielen die Vorgaben der TI 4 eingehalten werden. Um den Praxisbezug der Prüfung zu erhöhen, sollte die Prüftemperatur entsprechend angepasst werden. Zudem muss die Feuchte des Biogases bei der Prüfung berücksichtigt werden. Deshalb wurde hierzu in Anlehnung an bewährte Normen für die Bestimmung der Gasdurchlässigkeit von Materialien ein Prüfverfahren entwickelt, mit dem die Prüftemperatur z.B. auf 40°C oder höher und das Prüfgas angefeuchtet werden kann. Damit stehen geeignete Prüfverfahren zur Verfügung, die eine praxisnahe Bewertung von Folien zur Herstellung von Fermenterdächern als Biogasspeicher ermöglichen. Zukünftig ist sicher auch die Veränderung der Materialien über die Gebrauchsdauer zu bewerten. Dies kann unter anderem durch Messungen der Gasdurchlässigkeit und der mechanischen Eigenschaften von in Betrieb oder künstlich gealterten Folien geschehen.

→ andreas.konrad@mecadi.com

→ j.johann@dlg.org



Jörg Johann, Jahrgang 1975, studierte an der Fachhochschule Bingen und ist Dipl.-Ingenieur Technischer Umweltschutz. Er arbeitet seit dem 01. Oktober 2008 bei der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. (DLG e. V.) im DLG Testzentrum Technik und Betriebsmittel als Prüfindenieur für Biogastechnik und Abluftreinigung. Neben technischen Prüfungen ganzer Anlagen führt er auch Material- und Komponentenprüfungen innerhalb der Biogastechnik und der Abluftreinigung durch.



Andreas Konrad, Jahrgang 1968, studierte Chemie an den Universitäten Aachen und Kaiserslautern. Er promovierte 2001 an der Universität Heidelberg über Transportmechanismen in Membranen zur selektiven Entfernung von CO₂. Der praktische Teil der Arbeit erfolgte in Kooperation mit dem Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Dr. Konrad ist seit 2001 als geschäftsführender Gesellschafter der Firma Mecadi GmbH tätig. Seine Schwerpunkte liegen im Bereich Stofftransport, Membrantrennung und Polymere.

Info!

Mecadi bietet als Dienstleistung Permeationsmessungen an. Dabei können Kunden Materialien auf ihre Durchlässigkeit hin überprüfen lassen, was in der Applikationsentwicklung und Qualitätssicherung eine immer größere Rolle spielt. Für verschiedenste Prüfkörper wie Folien, Membranen, Schläuche und Rohre kann von Einzelstoffen oder Stoffgemischen die jeweilige Permeationsrate bestimmt werden. Neben den Dienstleistungen wird für die ständige produktionsnahe Qualitätssicherung auch professionelles Equipment zum Durchführen der Permeationsmessungen angeboten. Aus Lösungen und Reaktivsystemen stellt Mecadi für Kunden auch Folienmuster und Prototypen für die Messungen selbst her.

Das DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel ist Maßstab für geprüfte Agrartechnik und Betriebsmittel. Mit über 1.000 Prüfungen jährlich ist es der führende neutrale Prüf- und Zertifizierungsdienstleister für unabhängige Agrartechniktests. Mit modernster Messtechnik sowie wissenschaftlich anerkannten und praxisnahen Prüfmethode stellen die DLG-Prüfingenieure ihre Produktentwicklungen und Innovationen auf den Prüfstand.

Praktikern liefert die DLG mit ihren anerkannten Prüfungen und den veröffentlichten Prüfberichten wichtige Informationen und Entscheidungshilfen bei der Investitionsplanung für Agrartechnik und Betriebsmittel.