

Der Bau- sachverständige

Zeitschrift für Bauschäden, Grundstückswert und gutachterliche Tätigkeit



VHV 
VERSICHERUNGEN

Sonderdruck

- Claudia von Laar: Schadensfall Holzbalkendecke – Materialzerstörung in einem Biogasfermenter (Heft 6/2013)
- Detlef Krause: Schäden an Holzdachtragwerken von Biogasbehältern – Ausnahme oder Regel (Heft 1/2014)



Bundesanzeiger
Verlag

www.bundesanzeiger-verlag.de

Fraunhofer IRB Verlag

www.baufachinformation.de

Schadensfall Holzbalkendecke – Materialzerstörung in einem Biogasfermenter



Die Autorin
Prof. Dr. rer. nat.
Claudia von Laar
Wismar

1 Einleitung

Energie aus Biogasanlagen zählt neben Windenergie und Wasserkraft, Photovoltaik und Geothermie zu den erneuerbaren Energien. In der Vergärung von Biomasse liegen bedeutende Potenziale für die Erzeugung von Gas, Strom und Wärme. Hierzu zählen Wald- und Resthölzer, Abfälle aus Landwirtschaft wie Gülle oder Mist, aber auch nachwachsende Rohstoffe wie Mais und Raps [1]. Die Erzeugung von Biomasse und damit von Biogas ist eng mit der landwirtschaftlichen Produktion verbunden. Mittlerweile hat sich die Biogaserzeugung aus Biomasse zu einem eigenständigen Betriebszweig entwickelt [2].

Mit dem im Jahr 2000 eingeführten Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) begann ein regelrechter Bioenergie-Boom und die Anzahl an neu errichteten Biogasanlagen nahm stetig zu. Zwischen 2003 und 2013 vervierfachte sich der Bestand und liegt aktuell knapp unter 8000 Anlagen (Abb. 1).



Abb. 2: Landwirtschaftliche Biogasanlage mit zwei Fermentern und Blockheizkraftwerk; das Problematerial stammt aus dem linken Fermenter

Aufbau einer Biogasanlage

Biogasanlagen unterscheiden sich in vielfältiger Weise in ihrer Technologie und weisen in der Anlagentechnik ein breites Spektrum auf. Im Folgenden werden nur Aufbau und Prozesse von Biogasanlagen erläutert, die für den untersuchten Schadensfall relevant sind.

In einer Biogasanlage wird die Biomasse durch Bakterien auf natürliche Weise anaerob zersetzt (Fermentation). Hierbei

entsteht als Endprodukt Biogas, dessen Hauptkomponente Methan den eigentlichen Energieträger darstellt. Das Biogas kann im Blockheizkraftwerk zur Stromgewinnung genutzt oder direkt in das Erdgasnetz eingespeist werden (Abb. 2).

Ein Fermenter ist das Kernstück einer Biogasanlage und besteht aus einem Behälter mit Heizsystem, Aggregaten für die Durchmischung des vergärenden Substrates sowie Ein- und Austragssystemen. Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen finden meist alle Prozessphasen der Vergärung in einem Behälter statt und sind nicht räumlich getrennt, können aber auch mehrstufig geführt werden.

Bei der Mehrheit der Biogasanlagen kommt die Nassfermentation zum Einsatz. Die Anzahl der Fermenter ist von Größe

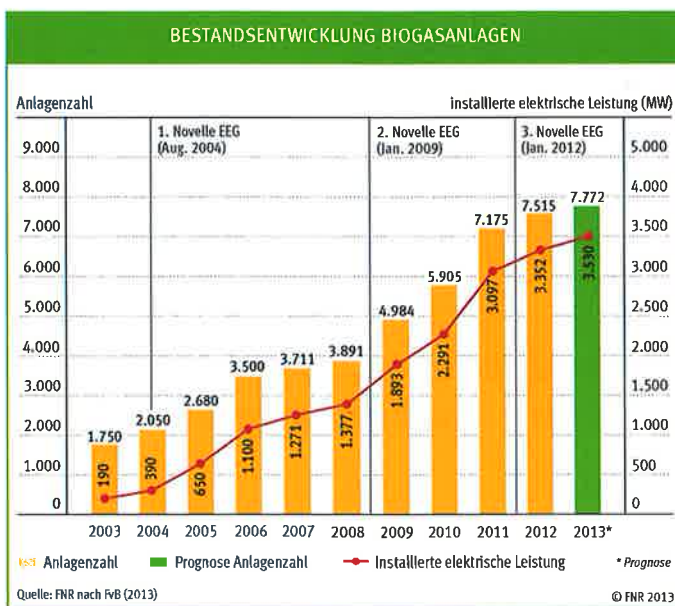


Abb. 1: Bestandsentwicklung der Biogasanlagen in Deutschland von 2003 bis 2013

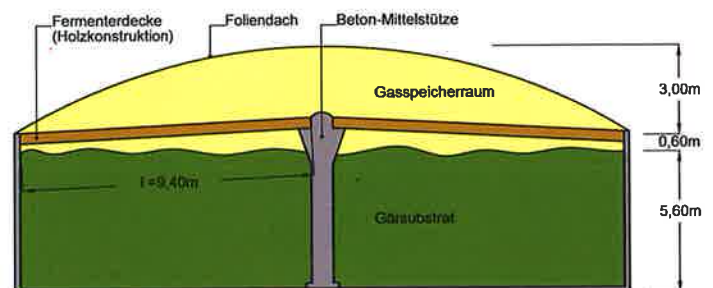


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Fermenters mit behältergebundenem Gasspeicher



Abb. 4: Schwefelablagerungen auf der Unterseite einer Holzdecke



Abb. 5: Holzdecke Innenansicht auf Balken und Schalungsbretter eines baugleichen Fermenters

und Prozessführung der jeweiligen Biogasanlage abhängig [3]. Stehende Fermenter mit rundem Querschnitt sind eine häufige Bauform. Neben einem Betonboden sind die Wände entweder aus Stahl, Edelstahl oder aus Stahlbeton gefertigt [4].

Als Behälterabdeckung werden u. a. Foliendächer angewendet. Dient der Fermenter auch der Gasspeicherung, fungiert das Foliendach gleichzeitig als Gasfolie (Folienhaube). Das Foliendach wird durch den entstehenden Gasdruck während des Betriebs in Form gehalten. Im Inneren des Fermenters liegt das Foliendach bei leerem Gasspeicher einem Traggestell auf, hierbei handelt es sich häufig um eine Holzdecke (Abb. 3) [4].

Erläuterung Biogaserzeugung

An dem biologischen Prozess der Fermentation von Biomasse sind verschiedene Bakterien beteiligt, die spezifische Milieubedingungen benötigen: Feuchtigkeit, Temperaturen zwischen 32 und 42 °C sowie eine sauerstofffreie Atmosphäre [4].

Um das Biogas nach den gesetzlichen Vorgaben in das Erdgasnetz einspeisen zu können, ist eine Aufbereitung und Reinigung des Gases notwendig. Biogas ist ein Gasgemisch, welches als Hauptkomponenten Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) sowie weitere Nebenbestandteile enthält. Ein problematischer, weil aggressiver Nebenbestandteil von Biogas ist Schwefelwasserstoff (H₂S). Schwefelwasserstoff wirkt stark korrodierend auf Anlagen und ist für den Menschen giftig. Es muss daher weitgehend aus dem Biogas entfernt werden. Ein verbreitetes Verfahren ist die »Interne Entschwefelung« des Biogases im Fermenter durch Schwefelbakterien [4].

Schwefelbakterien (Thiobazillen) sind bereits im Gärsubstrat vorhanden und

siedeln sich auf allen Oberflächen im Gasraum an [5]. Die Holzdecke hat damit eine wichtige Funktion als Aufwuchsfläche für die Schwefelbakterien [4]. Hierbei gilt, je größer die von Schwefelbakterien besiedelte Fläche ist, desto effektiver ist die Entschwefelungsleistung im Fermenter.

Schwefelbakterien verbrauchen Schwefelwasserstoff im Biogas als Energiequelle und produzieren während dieser mikrobiologischen Oxidation elementaren Schwefel und Sulfat [4, 5, 6]. Es erfolgt auch eine teilweise Umwandlung zu Schwefelsäure [6]. Sie benötigen für diese Umsetzung Luftsauerstoff, welcher oberhalb des Gärsubstrates in den Fermenter eingeblasen wird.

Die Reaktionsprodukte der internen Entschwefelung lagern sich als unregelmäßig dicke Beläge auf den Holzbalken ab (Abb. 4).



Abb. 6: Probematerial Balken 1-7 mit krustigen Belägen

2 Schadensfall Holzdecke in einem Biogasfermenter

In einer 2006 in Mecklenburg-Vorpommern errichteten Biogas-Anlage mit zwei Fermentern kam es 2012 ohne Fremdeinwirkung zum Bruch von tragenden Dachsparren in einem der Fermenter. Kurz danach zeigten sich auch Schäden an der Holzdecke des zweiten Fermenters. Beide Fermenter waren baugleich und zeitgleich errichtet worden [7].

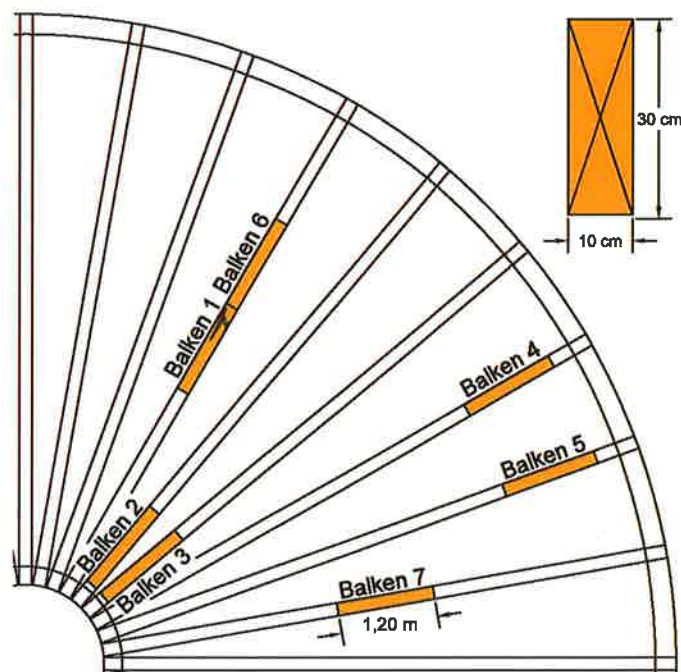


Abb. 7: Fiktive Lage der Balkenabschnitte in der Deckenkonstruktion



Abb. 8: Bruchstelle eines Balkens mit kurzfaserigem Bruchbild

Die Holzdecke bestand aus 40 Holzbalken aus Fichtenholz mit einer Länge von 9,5m, 0,30m Höhe und 0,10m Breite. Die Balken lagen hochkant sternförmig auf Edelstahlkonsolen am inneren Rand des Betonrings und einer Beton-Mittelsäule auf. Schalungsbretter sind mit Luftspalt auf die Balken genagelt und auf der Oberseite mit einer Baumwollvliesmatte versehen (Abb. 5).

Biogasanlagen mit Nassfermentation verfügen im Mittel über zwei Fermenter [3]. Wie viele Fermenter eine Bauweise mit Holzdecke aufweisen, ist nicht bekannt. Obwohl Recherchen gezeigt haben, dass der vorliegende Schadensfall mit gebrochenen Holzbalken der Deckenkonstruktion eines Biogasfermenters kein Einzelfall ist, gibt es kaum Informationen zu diesem Thema. Wie häufig derartige Schäden sind, lässt sich derzeit nur schwer abschätzen. Eine Schadensstatistik fehlt. Publikationen mit Untersuchungsergebnissen sind spärlich [8, 9].

2.1 Probematerial, Feststellungen

Als Untersuchungsmaterial standen sechs Sparrenabschnitte aus Fichtenvollholz mit einer Länge von ca. 100 bis 120cm, 30cm Höhe und 10cm Breite zur Verfügung (im Folgenden als Balken 1 bis 6 bezeichnet) (Abb. 7). Die Lage der einzelnen Sparrenabschnitte im Fermenterdach konnte nicht genau ermittelt werden. Rekonstruierbar war jedoch, dass die Abschnitte 4 und 5 zum Auflager an der Betonwand, die Abschnitte 2 und 3 nach innen hin zur Betonstütze und die Abschnitte 1, 6 und 7 eher mittig gelegen waren (Abb. 7). Balken 1+6 sind Teilstücke eines mittig gebrochenen Sparrens. Auffällig war ein sehr kurzfasriges Bruchbild, welches untypisch für Fichtenholz ist (Abb. 8) und auf eine Verände-

rung der Holzstruktur schließen lässt.

Alle Sparren wiesen feuchte Beläge mit krustenartigem, festen Charakter auf. (Abb. 4 und 6). Die bisherigen Untersuchungen [8] haben gezeigt, dass es sich bei den hellen Krustenanteilen um Schwefel handelt. Außerdem wurden erhebliche Anteile an Sulfat- und Ammonium-Ionen sowie anderen wasserlöslichen Salzen festgestellt, die nicht alle als Reaktionsprodukte aus der internen Entschwefelung herrühren können. Hierbei ist es anzunehmen, dass Gärsubstrat an die Holzdecke gelangt ist und einen zusätzlichen Stoffeintrag der Beläge verursacht hat. Unter den Belägen waren die oberflächennahen Holzschichten dunkel verfärbt und zeigten kurzfasrig aufgelöste Holzsubstanz, was dem Schadensbild einer Holzkorrosion entspricht.

Eine detaillierte Überprüfung der zugrunde liegenden Statik [7, 10] zeigte

auf, dass die Bemessung der tatsächlich verbauten Querschnitte gemäß DIN 1052 [11] zulässig war. Zusätzlich erfolgten verschiedene Modifizierungen der statischen Berechnungen u. a. unter Einbeziehung der Belastung aus der tatsächlich vorhandenen Holzfeuchte (Kap. 3.3). Demnach kann als Schadensursache eine fehlerhafte statische Bemessung der Holzdecke ausgeschlossen werden.

Die Biegefestigkeit der Balkenabschnitte aus dem Fermenter war im Vergleich zu intaktem Fichtenholz verringert. Die Untersuchungsergebnisse werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

3 Untersuchungen an Holzproben aus dem Biogasfermenter

3.1 Mikroskopische Untersuchungen

Um auszuschließen, dass die gebrochenen Sparren auf einen Befall durch holzerstörende Pilze zurückzuführen sind, wurden lichtmikroskopische Untersuchungen [12] von jeweils einer Scheibe von Balken 1 und Balken 4 durchgeführt. Insgesamt 20 markierte Bereiche bei verschiedenen Untersuchungstiefen erbrachten folgende Ergebnisse:

1. Ein Befall mit holzabbauenden Fäulepilzen (Weißfäule, Moderfäule, Braunfäule) konnte nicht nachgewiesen werden.
2. Bei den Holzverfärbenden Pilzen waren Schimmelpilze in allen Proben, ebenso einige Bläuepilze in den Proben von Balken 4.

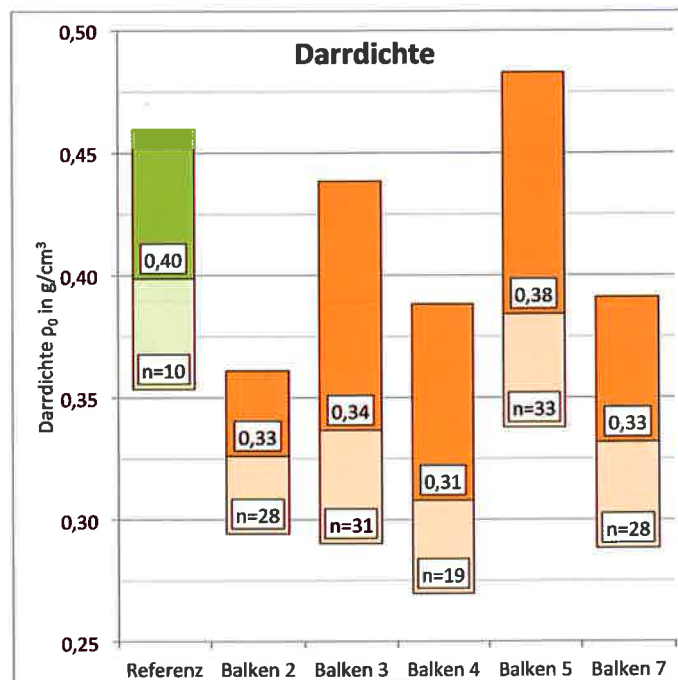


Abb. 9: Vergleichende Darstellung der ermittelten Darrdichten für Balken einer Biogasanlage und intaktes Fichtenholz

3. Lichtmikroskopisch war ein Bakterien-Befall nicht erkennbar, eine eindeutige Identifizierung mittels Transmissions-Elektronenmikroskopie ist noch in Bearbeitung.

Schimmelpilze waren durch die nährstoffreiche Atmosphäre im Fermenter zu erwarten. Bläuepilze konnten sich in der Lagerungszeit bis zum Untersuchungsbeginn bei gleichzeitiger hoher Holzfeuchte im Holz etablieren (Pkt. 2). Jedoch sind weder Bläue- noch Schimmelpilze als ursächlich für die Festigkeitsminderung anzusehen, die zum Bruch der Sparren geführt haben. Die bisherigen Befunde (Pkt. 1) schließen einen Abbau der Zellwände durch holzerstörende Pilze aus und decken sich mit anderen Untersuchungsergebnissen [7].

3.2 Bestimmung der Darrdichte

Die Rohdichte beschreibt das Verhältnis des Holzgewichtes bezogen auf das Volumen des Holzkörpers mit Poren. Unter Darrdichte (ρ_0) wird die Rohdichte des Holzes bei 0 % Feuchtegehalt verstanden.

Die Bestimmung der Darrdichte erfolgte gemäß DIN 52182 [13] an 149 Proben von fünf verschiedenen Sparrenabschnitten. Die ermittelte Darrdichte von intaktem Fichtenholz betrug im Mittel $0,40 \text{ g/cm}^3$ und war damit etwas niedriger als der in der Literatur beschriebene Vergleichsmittelwert von $0,43 \text{ g/cm}^3$. Die obere und untere Schwankungsbreite für die Darrdichte wird mit $0,30$ bis $0,64 \text{ g/cm}^3$ angegeben [14].

Die Mittelwerte für die Darrdichten der Balken 2, 3, 4 und 7 mit $0,33 \text{ g/cm}^3$, $0,34$

g/cm^3 , $0,31 \text{ g/cm}^3$, $0,33 \text{ g/cm}^3$ lagen demnach an der unteren Grenze für intaktes Fichtenholz (Abb. 9). Die Ergebnisse der Darrdichtebestimmungen für Balken 5 befanden sich im Normalbereich.

Bei 5 % der Proben von den Balken 2, 3, 4 und 7 sind die Minimalwerte für die Darrdichten mit $0,27$ und $0,29 \text{ g/cm}^3$ noch geringer. Bestätigt werden diese Ergebnisse durch einen weiteren Schadensfall, bei dem für zwei Balken der Holzdecke eines Fermenters ebenfalls Darrdichten von $0,32$ bis $0,37 \text{ g/cm}^3$ ermittelt worden sind [15].

Die Rohdichte beeinflusst die physikalischen Eigenschaften des Holzes wesentlich, im Allgemeinen nehmen mit zunehmender Dichte auch die elastischen Eigenschaften und die Festigkeiten zu. Entsprechend sind für Nadelholz aus Vollholz in der EN 338 [16] Festigkeitsklassen von C14 bis C50 mit jeweils charakteristischen Festigkeitskennwerten definiert.

Im vorliegenden Schadensfall wurde Nadelholz der Schnittklasse S10 in den statischen Berechnungen zugrunde gelegt, welche nach DIN EN 1912 [17] der Festigkeitsklasse C24 zuzuordnen ist. Für die Festigkeitsklasse C24 wird eine mittlere Rohdichte von $\rho_{12} = 0,42 \text{ g/cm}^3$ ($\rho_0 \approx 0,38 \text{ g/cm}^3$) und ein charakteristischer Rohdichtewert von $\rho_{12} \approx 0,35 \text{ g/cm}^3$ ($\rho_0 \approx 0,31 \text{ g/cm}^3$) angegeben.

Damit weichen die ermittelten Darrdichten der Sparren von den Literaturwerten und den Vorgaben nach C24 nicht gravierend ab. Denkbar wäre es, dass nicht alle eingebauten Sparren der

Schnittklasse S10 entsprochen haben, sondern auch Holz schlechterer Qualität verbaut worden ist.

Die teilweise sehr niedrigen Darrdichten einiger Balken in Verbindung mit dem ungewöhnlich kurzfasrigen Bruchbild können auch als Hinweis auf eine Veränderung der Holz Zellwand durch einen Abbau oder Umbau von Holzbestandteilen gewertet werden.

3.3 Bestimmung der Holzfeuchte

Die Holzfeuchte von fünf Sparrenabschnitten mit insgesamt 139 Proben ist nach DIN 13183-1 [18] über das Darrverfahren ermittelt worden. Die untersuchten Balkenabschnitte wiesen, bedingt durch verschiedene Einschnittarten, unterschiedliche große Splint- und Kernholzanteile auf (Abb.10). Charakteristische Holzfeuchten für den Kern von waldfrischem Fichtenholz liegen bei 30 bis 50 % und ca. 130 bis 160 % für den Splint [14].

Im Fermenter herrscht im Gasraum durch das feuchte Biogas eine wasserdampfgesättigte Atmosphäre [4], so dass für den hygroskopischen Baustoff Holz zunächst eine Holzfeuchte im Bereich der Fasersättigung ($u = 30$ bis 34%) zu erwarten war. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse erbrachten jedoch eine mittlere Holzfeuchte von $u = 111 \%$ für alle Proben. Die untere Grenze der Holzfeuchtwerte lag im Bereich der Literaturwerte für das Kernholz der Fichte. Wie auf Abb. 10 zu sehen, erreichten die Maximalwerte der Balken 3 und 7 Feuchtegehalte von über 200 % und liegen damit über den Literaturangaben für Splintholz. Diese Ergebnisse werden durch andere Untersuchungen mit Holzfeuchten von 111 bis 151 % ($n=6$) gestützt [15].

Berechnet man die maximale Holzfeuchte u_{max} [19], bei der Zellwände und Zellhohlräume mit der höchstmöglichen Menge an Wasser gefüllt sind, sozusagen »wassergesättigt«, ergibt sich nach:

$$u_{max} = u_F + \frac{\gamma - \rho_0}{\gamma \cdot \rho_0} \cdot 100 \%$$

$u_F = 32 \%$

Durchschnittswert für die Fasersättigungsfeuchte von Nadelhölzern ohne ausgeprägten Farbkern (z. B. Fichte)

$\gamma = 1,53 \text{ g/cm}^3$

Reindichte des Holzes

$\rho_0 = 0,43 \text{ g/cm}^3$

Darrdichte Fichte

ein Höchstgehalt für Fichte von $u_{max} = 199 \%$. Dieser Wert wird von Holz nur

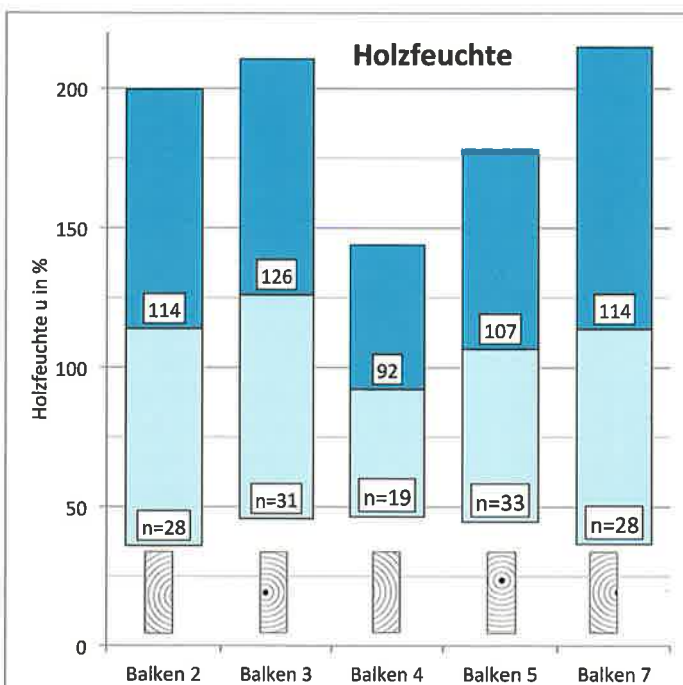


Abb. 10: Schwankungsbreite der Holzfeuchtegehalte für einzelne Balken

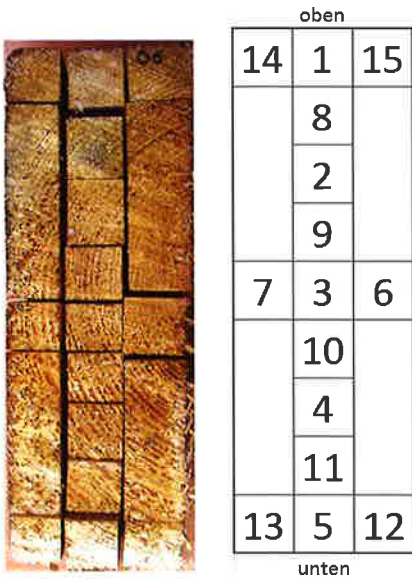


Abb. 11.1 (li.): Probenaufteilung für chemische Untersuchungen

Abb. 11.2 (re): Probenschema der Holzscheiben

nach monate- oder jahrelanger Nasslagerung erreicht. Im lebenden Baum allenfalls im Splint [19]. Im Fermenter ist neben dem wasserdampfgesättigten Biogas ein zusätzlicher Wassereintrag aus anderen Quellen möglich. Im Folgenden werden vier Mechanismen diskutiert:

1. Flüssiges Wasser aus der internen Entschwefelung: Hierbei entsteht als Reaktionsprodukt neben Schwefel auch Wasser, welches auf der Oberfläche der Sparren und Bretter der Balkendecke in flüssiger Form anfällt. Der Wasseranteil, der hierbei entsteht, dürfte angesichts der Stärke der Beläge auf den Sparren erheblich sein.

2. Kondensationseffekte und Feuchttransport: Das mit Wasser gesättigte Biogas kondensiert an der Oberfläche der Gasbehälter, z.B. der Folie, und tropft auf die Holzkonstruktion ab. Die den Sparren aufliegenden Bretter und das darauf befestigte Flies sind durch das aufsteigende Gas und Kondensat durchnässt und leiten das Wasser auf die darunter befindlichen Sparren weiter.
3. Bildung wasserhaltiger Salz-Hydrate: alle Holzteile sind mit nassen, krustigen Salzablagerungen (Sulfat und Schwefel) überzogen, welche eine Feuchteabgabe des Holzes behindern. Ein Teil der Salze wird durch Diffusionseffekte in das Holz eingetragen. Dort bilden sich wasserhaltige Hydrate, die zusätzlich Wasser im Holz binden. Dieser Mechanismus ist zumindest für die Randschichten des Holzes zu erwarten und stellt eine mögliche Erklärung für die Holzfeuchtwerte >199 % dar.
4. Einbau von saftfrischem Fichtenholz: Einige Biogashersteller tragen dem Fermenter milieu Rechnung und verbauen saftfrisches Holz für die Holzdecke.

So betrachtet, befindet sich die tragende Holzdecke im Fermenter durch die ständige Einwirkung von Wasser in einem Milieu, das einer Nasslagerung nahekommt.

Die Festigkeitswerte von Holz sind abhängig von der Holzfeuchte. Unterhalb des Fasersättigungsbereiches sinken Festigkeit und Steifigkeit mit zunehmender Holzfeuchte, oberhalb der Fasersättigung ist der Einfluss der Holzfeuchte gering. Um die klimatischen Verhältnisse von Holzbau-

werken zu berücksichtigen, erfolgt in der derzeit gültigen Norm DIN EN 1995-1-1:2010 [20] eine Einteilung in drei Nutzungsklassen. Den Nutzungsklassen sind Modifikationsbeiwerte der Festigkeiten und Verformungsbeiwerte zugeordnet. Nutzungsklasse 3 legt eine Gleichgewichtsfeuchte von 12 bis 24% fest, hierbei sind auch Bauwerke eingeschlossen, in denen sich eine höhere Gleichgewichtsfeuchte einstellt. Die Holzdecke im Fermenter ist demnach in die Nutzungsklasse 3 einzuordnen. DIN EN 1995 schreibt für Vollholz unter Pkt. 4 vor, welches mit einer Feuchte gleich oder nahe dem Fasersättigungspunkt eingebaut wird und voraussichtlich unter Belastung austrocknet, eine Erhöhung des Verformungsbeiwertes k_{def} um 1,0 vorzunehmen.

Die Sparren der untersuchten Holzdecke weisen weit höhere Holzfeuchtwerte auf als in der Norm berücksichtigt werden, und sie können nicht abtrocknen.

3.4 Salzanalysen

Um zu klären, ob von den anhaftenden salzhaltigen Krusten wasserlösliche Bestandteile in das Holz gelangt sind, erfolgte eine quantitative Analyse wasserlöslicher Salze in Holzproben. Die Balkenabschnitte sind in 2,5 – 3 cm breite Scheiben über den gesamten Balkenquerschnitt gesägt und in weitere würfelförmige Probekörper geteilt worden (Abb.11.1+11.2).

Das wässrige Eluat der Probekörper wurde mittels Ionen-Austauschchromatographie auf die Kationen Lithium, Natrium, Kalium, Ammonium, Magnesium und Calcium hin untersucht. An Anionen konnten Fluorid, Chlorid, Bromid, Nitrat, Phosphat und Sulfat detektiert werden. Für konkrete Vergleichswerte wurde das gesamte Verfahren auch für unbehandeltes Fichtenholz durchgeführt und als Referenzholz bezeichnet. Insgesamt sind pro Ion 83–90 Bestimmungen an Holzproben (insgesamt sechs Scheiben der Balken 1/6, 4 und 5) vorgenommen worden.

Die höchsten Gehalte bei den Kationen sind für Ammonium ermittelt worden. Aus Abbildung 12 sind sowohl die Höhe der Gehalte in mg/kg als auch die prozentuale Erhöhung der Gehalte in Bezug auf die Referenzwerte (hell) dargestellt. Erhöhte Gehalte ließen sich auch für Magnesium, Calcium und Kalium feststellen.

Bei den Anionen (Abb. 13) waren Gehalte an Sulfat [mg/kg] und wesentlich geringere Gehalte an Phosphat, Nitrat und Chlorid nachweisbar.

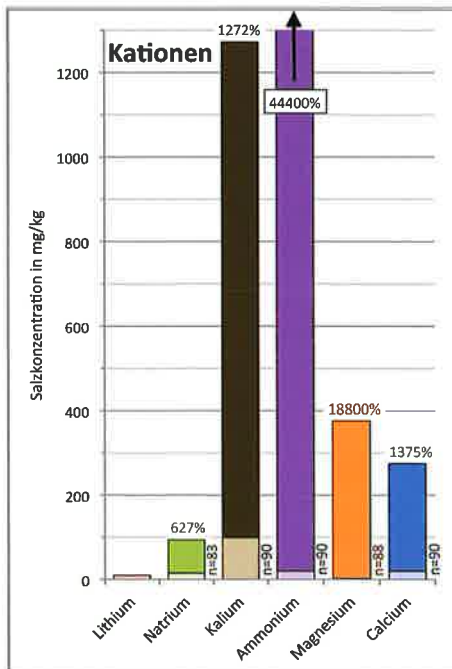


Abb. 12: Übersicht der ermittelten Kationengehalte

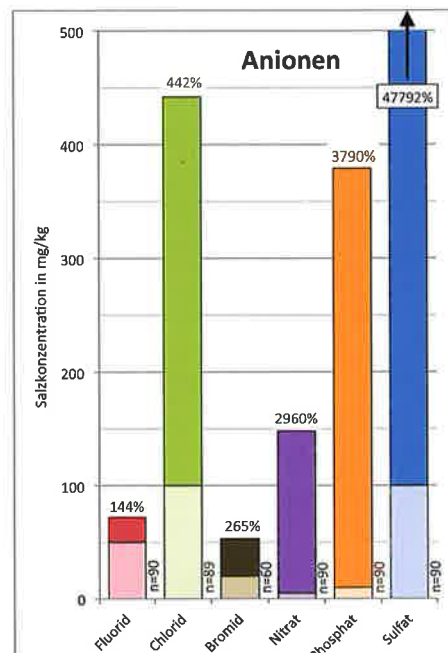


Abb. 13: Übersicht der ermittelten Anionengehalte

14531	22119	11200	39533	8728	39647	12908	20700	30772
	2806			8460			6111	
	5433			1378			1843	
	2027			6032			1699	
21169	6887	18512	9634	2207	22439	8662	3704	33680
	3789			5692			3991	
	8253			6295			3247	
	11408			13795			14219	
25200	31102	25869	34288	18519	32055	45920	35970	47792

Abb. 14.1-3: Verteilung der Sulfatgehalte über den Balkenquerschnitt von drei verschiedenen Scheiben des Balkens 1/6

In Abb. 14.1-3 ist die Verteilung der Sulfatgehalte [mg/kg] von drei Scheiben des Balkens 1/6 dargestellt. Die Lage der Probenscheiben ist so zu betrachten, dass die oberen Werte zur Holzbalkendecke, die unteren Werte zum Gärsubstrat hin orientiert sind. Die Gehalte für Sulfat lagen in der Scheibenmitte durchweg niedriger als in den Randbereichen und lassen auf einen Stoffeintrag von außen schließen. Eine Anreicherung von der Unterseite (zum Gärsubstrat hin) wird erkennbar. Für alle untersuchten Scheiben der Balken 1/6, 4 und 5 konnte eine Aufkonzentration über den gesamten Querschnitt festgestellt werden, d.h. die von außen anhaftenden Sulfate sind über das Kapillarsystem des Holzes tief in die Balken eingedrungen.

Für Chlorid konnte ebenfalls eine Anreicherung von der Unterseite bei den Balken 1/6 und 5 festgestellt werden. Der Stofftransport ins Innere scheint nicht ausgeprägt zu sein und bleibt auf die Ober- und Unterseiten beschränkt.

Auffällig bei der Beurteilung der Phosphatbelastung war, dass ausschließlich der Bruchbalken 1/6 erhöhte Gehalte aufwies, die Balken 4 und 5 waren unbelastet. Noch heterogener waren die Ergebnisse der Nitratbestimmung. Hier waren die Balken 6 erheblich und der Balken 5 geringer belastet, Balken 1 und 4 nur wenig bis gar nicht. Die Nitrate scheinen leicht in das Holzinnere gelangt zu sein und sind relativ gleichmäßig über den gesamten Querschnitt verteilt.

Offensichtlich ist die Mobilität der einzelnen Anionen im Holz unterschiedlich. Für Chlorid, Sulfat und Phosphat konnte eine eindeutige Anreicherung an der Unterseite der Balken (von der Substratseite her) nachgewiesen werden. Sulfat und Nitrat konnten über den gesamten Holzquerschnitt nachgewiesen werden, Chlorid nur tendenziell.

3.5 pH-Werte

Die pH-Werte in den Holzproben wurden mit einer pH-Elektrode aus den wässrigen Suspensionen der Balkenabschnitte 1/6, 4, 5 und aus den Referenzholzproben bestimmt.

Das Referenzholz wies pH-Werte zwischen 4,5 und 5,9 auf, Literaturwerte für Fichtenholz liegen bei pH 4,0 bis 5,3 [21, 22]. Als Grundlage für die Bewertung wurden die pH-Werte des Referenzholzes herangezogen. 51 von 84 Proben aus den Balkenabschnitten wiesen einen pH-Wert von < 4,5 auf, das entspricht 61 % (Abb. 15). Der niedrigste gemessene pH-Wert lag bei 2,2 der höchste bei 6,6. Es besteht demnach eine Verschiebung des pH-Wertes im Holz aus dem Biogasfermenter in Richtung zu niedrigeren pH-Werten. Der pH-Werte belegen, dass im Holz ein saures Milieu herrscht.

Nach Fengel [23] gibt der pH-Wert dann einen Hinweis auf Abbauerscheinungen im Holz, wenn er deutlich vom Normalwert abweicht. Für Fichte wird ein pH unter 4 genannt.

Die auf der Holzoberfläche nachgewiesenen festen Salze sind gut wasserlöslich und werden in der feuchten Atmosphäre durch Anlagerung von Wassermolekülen gespalten. Hierbei bilden sich je nach Anion Säuren, die über den kapillaren Feuchtetransport in das Holz eindringen und den pH-Wert herabsetzen. Bezogen auf die Höhe der nachgewiesenen Sulfatgehalte ist die Bildung von Schwefelsäure (H₂SO₄) wahrscheinlich. Demnach wäre von einem sauren Angriff auf Holzbestandteile auszugehen.

4 Beurteilung und Folgerung

Die Untersuchungsergebnisse an gebrochenen Sparren eines Biogasfermenters ergaben, dass holzerstörende Pilze für die Schädigung der tragenden Holzbalken ausgeschlossen werden können.

Die verringerte Rohdichte (Darrdichte) wie auch das ungewöhnliche Bruchbild lassen jedoch auf einen beginnenden Holzabbau schließen.

Im Holz konnten erhebliche Mengen

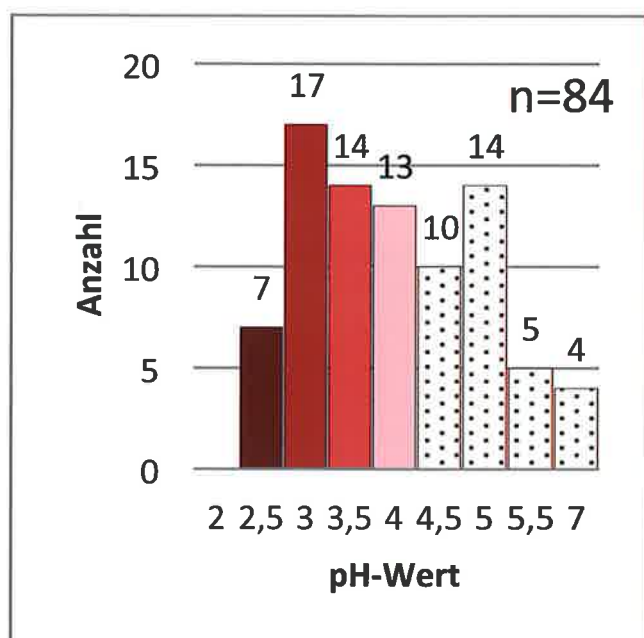


Abb. 15: Ergebnisse der pH-Wert Bestimmungen

an wasserlöslichen Salzen, zum Teil über den gesamten Querschnitt verteilt, festgestellt werden. Die Eluate aus den Holzproben zeigten eine Verschiebung zu niedrigeren pH-Werten hin und erhärten den Verdacht auf einen Angriff durch Säuren auf die Holzzellwand.

Von den klimatischen Bedingungen her ist der Biogasfermenter ein einzigartiges Einsatzgebiet für Holz und nicht vergleichbar mit Holzbauwerken im Hochbau, im wassergesättigten Erd-, Brücken und Wasserbau. Die tragende Holzkonstruktion befindet sich, bedingt durch den Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas, in einer chemisch aggressiven Atmosphäre mit einer hohen Umgebungfeuchte. Bei der internen Entschwefelung entstehen Schwefel, Sulfat und Schwefelsäure, welche direkt auf dem Holz abgeschieden werden. Das Holz hat keine Gelegenheit abzutrocknen und unterliegt einer Langzeitbelastung durch chemisch aggressive Stoffe bei gleichzeitig hoher Feuchte.

Inwieweit die Norm DIN EN 1995-1-1:2010 zur Bemessung von Holzbauten [20] diese besonderen klimatischen Bedingungen durch die Modifikationsbeiwerte angemessen berücksichtigt, bleibt zu klären.

Als möglicher Schadensmechanismus, der zu einer Minderung der Tragfähigkeit führt, ist ein säurehydrolytischer Abbau der Kohlenhydrate Cellulose und Hemicellulose wahrscheinlich. Insbesondere ein Abbau der Cellulose bedeutet eine Schwächung der Faserstruktur und könnte einen Festigkeitsverlust erklärbar machen.

Schadensfälle gebrochener Deckenbalken aus Biogasfermentern sind bisher zu wenig untersucht, die Datenlage zu gering, um zu allgemein gültigen Aussagen zu kommen. Weitere Forschungen zum Schadensmechanismus sind notwendig.

Danksagung

Mein Dank für die finanzielle Unterstützung dieser Untersuchungen geht an den BUFAS und die VHV Versicherung.

Bildnachweis

Abb. 1: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2013

Abb. 2, 4, 5, 6: D. Krause

Abb. 3, 7, 8, 9, 10, 11.1, 11.2, 12, 13, 14.1, 14.2, 14.3, 15: C. von Laar

5 Literaturhinweise

- [1] Potentialatlas Bioenergie in den Bundesländern, Teilkapitel Einleitung. URL: <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/9/potentialatlas-bioenergie-in-den-bundeslaendern.html> [Stand 5.11.2013]
- [2] Biogasrat e.V.: Studie Biogas und Landwirtschaft, 2011. URL: http://www.biogasrat.de/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=214&tmpl=component&format=raw&Itemid=117 [Stand 17.10.2013]
- [3] Deutsches BiomasseForschungszentrum (dbfz): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse; Endbericht zur EEG-Periode 2009 bis 2011, März 2012
- [4] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung. Gülzow-Prüzen, 5. Auflage, 2010
- [5] Schneider, Ralf: Biologische Entschwefelung von Biogas. Dissertation am Lehrstuhl für Energie- und Umwelttechnik der Lebensmittelindustrie der Technischen Universität München 2007
- [6] Biogasaufbereitungssysteme zur Einspeisung in das Erdgasnetz – ein Praxisvergleich; SeV-Studien, Solarenergieförderverein Bayern e.V., München, 2008
- [7] Krause, Detlef: Gutachten über Holzschäden an Biogasanlagen – Fall 1 in Mecklenburg-Vorpommern, 2012
- [8] Laar, Claudia von; Krause, Detlef: Holzschäden an tragenden Bauteilen einer Biogasanlage durch aggressive Chemikalien – Eine Ausnahme? 24. Hanseatische Sanierungstage, Messen – Planen – Ausführen, 7.–9.11.2013, Heringsdorf, 2013
- [9] Krause, Detlef: Schäden an tragenden Holzbauteilen in Biogasanlagen. Schützen und Erhalten, Fachzeitschrift des Deutschen Holz- und Bautenschutzverbandes e.V. (2013), Nr. 2, S. 9–10
- [10] Baumgart, Kristin: Holzbauteile aus einem Biogas-Fermenter – eine Schadensanalyse. Master-Thesis, Hochschule Wismar, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Bereich Bauingenieurwesen, 2013
- [11] DIN 1052-1:1988-04 Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung
- [12] Institut für Holzqualität und Holzschäden: Bericht zur lichtmikroskopischen Untersuchung an Holzproben. Hamburg, 2013
- [13] DIN 52182:1976-09 Prüfung von Holz; Bestimmung der Rohdichte
- [14] Mette, Hans J.: Holzkundliche Grundlagen der Forstnutzung. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag, 2. Aufl. 1989
- [15] Krause, Detlef: Gutachten über Holzschäden an Biogasanlagen – Fall 2 in Brandenburg, 2013
- [16] DIN EN 338:2010-02 Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen
- [17] DIN EN 1912:2013-10 Bauholz für tragende Zwecke - Festigkeitsklassen - Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten
- [18] DIN EN 13183-1:2002-07 Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren
- [19] Trübswetter, Thomas: Holz Trocknung. Verfahren zur Trocknung von Schnittholz – Planung von Trocknungsanlagen. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2006
- [20] DIN EN 1995-1-1:2010-12 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [21] Gesamtverband Deutscher Holzhandel (GD Holz); von Thünen-Institut: Merkblattreihe Holzarten, Blatt 57, Fichte
- [22] Wagenführ, Rudi: Holzatlas. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 4. Aufl. 1996
- [23] Wegener, Gerd; Fengel, Dietrich: Untersuchungen zur Beständigkeit von Holzbauteilen in aggressiven Atmosphären. Holz als Roh- und Werkstoff 44(1986), Nr. 6, S. 201–206

Kontakt/Information

Prof. Dr. rer. nat. Claudia von Laar

Seit 1998 Professorin für das Lehrgebiet Baustoffkunde und Bauchemie im Bereich Bauingenieurwesen an der Hochschule Wismar, University of Applied Sciences, Technology, Business and Design Hochschule Wismar
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Bereich Bauingenieurwesen
Phillip-Müller-Straße 14
23966 Wismar
claudia.von_Laar@hs-wismar.de

**Der Autor**

Dipl.-Ing. (FH)
Detlef Krause
ö.b.u.v. SV für Holz-
und Bautenschutz
Groß Belitz

Schäden an Holzdachtragwerken von Biogasbehältern – Ausnahme oder Regel?

1 Einleitung

In den vergangenen zwei Jahren wurden durch den Verfasser im Auftrag von Versicherungsgesellschaften Schäden an Holzdächern von Behältern (Fermenter bzw. Nachgärer) von drei Biogasanlagen nach einer Standzeit von 4 – 6 Jahren untersucht. Bis dato lagen dazu keine veröffentlichten Untersuchungen, Unterlagen, Zahlen- oder Faktenmaterial vor und teilweise bekannt gewordene Schadensfälle wurden nicht untersucht.

Die Untersuchungen am ersten Schadensfall in Mecklenburg-Vorpommern wurden wissenschaftlich begleitet von Frau Prof. Dr. rer. nat. Claudia von Laar, Wismar – siehe dazu ihren Beitrag in »Der Bausachverständige« 6/2013. [9] In dem Artikel sind die Bauweisen von Biogasanlagen mit der Spezifik des Holzdachs und eines der Hauptprobleme und Ursachen der Schäden, die Bildung von Schwefelwasserstoff (H_2S) hinreichend beschrieben, so dass hier darauf verzichtet wird. Auch auf diesen ersten Schadensfall wird hier nicht weiter eingegangen, er ist ausführlich in [6] und [8] dargestellt.

Im Juli 2013 wurde ein weiterer Schadensfall im Land Brandenburg bzw. im Dezember 2013 ein weiterer in Schleswig-Holstein untersucht. In diesem Beitrag wird insbesondere auf den Schadensfall im Land Brandenburg eingegangen, da er doch einige Besonderheiten und Unterschiede zum ersten Fall beinhaltet und die Komplexität der Schadensursachen darstellt.

2 Der Schadensfall

Die Biogasanlage bestand zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme Ende 2007 aus einem Fermenter, zwei sog. Nachgärern (alle drei baugleich als Betonringbehälter mit Holzdach und Doppelmembran Siloabdeckung) und das Gärrestelager (ein



Abb. 1: Ansicht der untersuchten Biogasanlage, vorn rechts der geschädigte Fermenter nach Rückbau des Dachs

offener Betonringbehälter). Die Dachkonstruktion bestand aus 36 Sparren (10 x 26cm) mit einer Länge von rund 9m und einer 24mm dicken Schalung. Im Mai 2013 waren im Fermenter nach Angabe des Betreibers durch das Sichtglas im beleuchteten Innenraum auf der Südseite, im Bereich des sog. Paddelgiganten (ein überdimensionales Rührwerk) ein am Behälterrand durchhängender Sparren inkl. Schalung gesehen worden. Dieser Schaden wurde im Verlaufe der nächsten Wochen als immer größer werdend beobachtet bis es zum partiellen Einbruch des Daches kam. Bis zum Juli 2013 wurde das Gärrestelager überdacht (Konstruktion mit Gurten und Doppelmembran) und als Nachgärer/Endlager umgebaut. Ebenso erfolgte der Umbau des ehem. Nachgärers 1 zum Fermenter, so dass das Dach des ehemaligen Fermenters »planmäßig« zurück

gebaut werden konnte – wobei weitere Sparren zerbrachen.

Die Untersuchungen erfolgten parallel zum Rückbau im Zeitraum 12.08. – 29.08.2013. Die Ermittlung der Rohdichte und der relativen Holzfeuchte der Holzproben erfolgte im eigenen Labor, die chemischen Analysen erfolgten durch die Fa. MICOR Labor für mikrobielle Prozesse und Materialkunde in Rostock. Die statischen Berechnungen wurden von einem Partnerbüro mit Hilfe der Statiksoftware »Frilo« vorgenommen.

3 Feststellungen im Rahmen der visuellen Untersuchungen

Auffällig bei diesem Fermenter waren:

- sehr starke gelbe Ablagerungen auf allen Holzteilen
- schwärzlich/bräunliche Verfärbungen der Holzoberfläche



Abb. 2 und 3: starke gelbe Ablagerungen unter und auf der Dachfläche und an den Sparren



Abb. 4: verfärbte, mazerierte Holzoberfläche



Abb. 5: Ansicht einer Sparrenauflage im Behälterrand



Abb. 6 und 7: kurzfasrige Bruchstellen: links während des Rückbaus entstandener frischer Bruch, rechts alter Bruch (substratgeschwärzt)



- eine aufgefaserte Holzoberfläche
- ein kurzfasriges Bruchbild der Sparren
- eine sichtbar starke Durchbiegung der Sparren
- eine kurze Auflagerung der Sparren in Aussparungen am Behälterrand, die z. T. nicht einmal über die gesamte Tiefe vorhanden war.

4 Ergebnisse der chemischen Analysen

Die Analytik der gelben Beläge ergab, dass diese zu fast 100 % aus reinem Schwefel bestanden. Andere chemische Elemente waren nur in Spuren nachweisbar.

Die Analyse von sechs verschiedenen Holzproben (aus zwei ausgebauten Sparren jeweils drei Holzscheiben über den gesamten Querschnitt an drei Abschnitten innen, mittig und außen herausgesägt) ergab pH-Werte im leicht sauren bis alkalischen Bereich (pH 4,6 bis 7,8), nur eine von sechs Proben hatte einen stark sauren pH-Wert von 2,6.

Die Messungen der Salzgehalte dieser Holzproben ergaben mit einer Dominanz

von Sulfat und Ammonium gegenüber Nitrat, Chlorid und Magnesium jedoch deutlich geringere Gehalte als im ersten untersuchten Fall. So wurden z. B. an Sulfat in einer Probe max. 3300 mg/kg ermittelt, wogegen dies im Fall 1 um rund das Zehnfache ermittelt wurde. [9]

5 Ermittelte Holzfeuchten und Rohdichten

Die mittels Darr-Methode ermittelte Holzfeuchte und die Berechnung der Rohdichte r_0 von ebenfalls sechs Holzscheiben sind in Tabelle 1 enthalten. Diese

Tab. 1: gemessene Rohdichten und Holzfeuchten

Probe-Nr.	Sparren-Nr. und Lage im Sparren	Rohdichte r_0 in g/cm ³	rel. Holzfeuchte in %
1	Nr. 1, Nordseite, 1 m ab außen	0,35	110,86
2	Nr. 1, Nordseite, mittig	0,32	129,79
3	Nr. 1, Nordseite, 1 m ab innen	0,34	148,64
4	Nr. 2, Nordseite, 10 cm ab außen	0,33	148,17
5	Nr. 2, Nordseite, mittig	0,34	121,31
6	Nr. 2, Nordseite, 10 cm ab innen	0,37	150,89

hohe Holzfeuchtigkeit ist das Resultat mehrerer Ursachen:

- eine nahezu mit Wasserdampf gesättigte Raumlufte im Behälter, d.h. eine Holzauffeuchtung bis max. zur Fasersättigung
- Wasser aus den chemischen Prozessen der Entschwefelung ($2 H_2S + O_2 = 2 S + 2 H_2O$)
- Hygroskopizität der anhaftenden Salzverbindungen
- kondensiertes abtropfendes Wasser von der Gasfolie, nähere Erläuterungen dazu in [9].

Damit können die wassergelösten chemischen Verbindungen durch Diffusion tief in das Holz gelangen und dort die Zellstruktur schädigen. Die gemessenen Rohdichten liegen im Bereich des unteren Grenzwertes für Fichte (0,3 – 0,64 g/cm³) [14] und bedeuten eine Reduzierung der Festigkeitseigenschaften des Holzes.

6 Bewertung der Analysen

Ausgehend von den visuellen Feststellungen und den Analysen sowie den bekannten chemischen Vorgängen bei der Biogaserzeugung ist anzunehmen, dass es hier zu einem sog. »sauren Angriff« auf das Holz mit der Folge der Schädigung der Holzstruktur gekommen ist, dieser jedoch geringer bzw. anders geartet ist, als es im ersten Fall war. Im Rahmen dieser Untersuchungen waren leider keine weiterführenden Analysen möglich.

Die Schadbilder der Bruchstellen lassen vermuten, dass die Säuren den Holzquer-

schnitt (noch) nicht vollständig durchdrungen hatten und/oder es sich um schwache Säuren gehandelt hat. Deshalb wird vermutlich die Holzschädigung nicht oder nur geringfügig durch Schwefelsäure wie im ersten Fall erfolgt sein, sondern eher durch die bei der sog. »schwachen Korrosion« entstehende Schwefelwasserstoffsäure. Kondensiert der im Fermenter immer mehr oder weniger vorhandene Wasserdampf an kühleren Stellen (z.B. an der

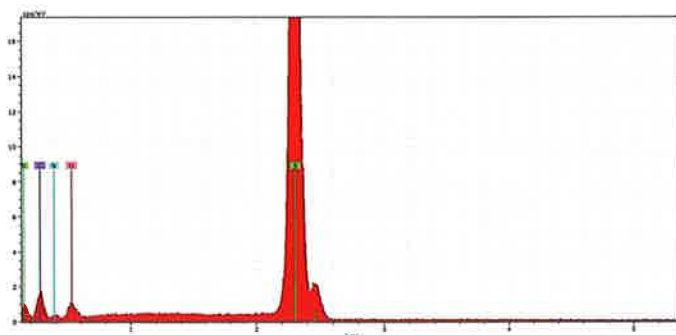


Abb 8: Spektrum der REM/EDX-Analyse mit eindeutiger Dominanz des Elementes Schwefel

Gasfolie), so löst sich darin das H_2S und bildet mit dem Wasser eine saure und korrosiv wirkende Lösung (Alkalisulfide).

Schwefelwasserstoffsäure ist eine zwar schwache, aber aggressive/korrosive Säure. Diese Säure korrodiert bekanntlich alle metallischen Bauteile oder greift den Beton an und zerstört diesen. Welche Rolle dabei die u.a. für die Schwefelbildung verantwortlichen verschiedenen Arten der Thiobakterien spielen, die sich sowohl im alkalischen als auch im sauren Bereich aufhalten können, ist derzeit nicht bekannt.

7 Statik

Bei den Untersuchungen vor Ort wurden mehrere Messwerte aufgenommen:

- Die Durchbiegung wurde an zwei ausgebauten Sparren bei einer freien Länge von 9,2 m mit 7 und 8 cm gemessen.
- Die Auflagertiefen der Sparren am Behälterrand in Aussparungen im Betonrand mit einer Tiefe von 5 cm betrug an ausgebauten Sparren teilweise nur 2 – 3 cm
- Ein ausgebauter Sparren hatte (ermittelt mit einer Präzisionsfutterwaage) ein Gewicht von rund 240 kg!

Außerdem wurde beispielhaft das Flächengewicht der nassen Schwefelbeläge auf dem Vlies bzw. der Schalung und an den Sparren ermittelt.

Nachfragen nach einer im Land Brandenburg erforderlichen prüffähigen Statik für die Dachkonstruktion ergaben:

- Es lag nur eine sog. »Vorstatische Berechnung« vor, diese beinhaltete die Aussage: »Nachweis Biegung erfüllt!«
- In der Bauakte lag ein Vermerk: »Statik wird bis Baubeginn nachgereicht.«
- Auf mehrmaliges Nachfragen wurde eine am 20.8.2013 erstellte »Typenstatik für eine Holzbalkendecke im Gärproduktenlager für 20m Behälter« übergeben, die die Aussage: »Alle Nachweise werden eingehalten!« enthielt und den zusätzlichen Hinweis: »Achtung! Die Balkendecke ist nicht begehbar«

Die Überprüfung ergab, dass beide Berechnungen in vielen Annahmen und Aussagen falsch und unzutreffend sind, weil u.a.:

- nur die Nutzungsklasse 2 nach DIN 1052 angesetzt wurde (d.h. eine max. Holzfeuchte von 20 %)
- die Auflagertiefen der Sparren am Behälterrand mit 10 bzw. 8 cm statt mit 5 cm angesetzt wurden
- die zusätzlichen Lasten der Sparren aus der Belastung mit Wasser (bei 150 % rel. Holzfeuchte rund 50 kg pro Sparren) und die nassen Schwefelbeläge auf der Schalung und an den Sparren nicht bzw. viel zu gering berücksichtigt wurden.

Durchgeführte Berechnungen unter Berücksichtigung aller realen Faktoren und für die NKL 3 führten zu den Ergebnissen:

- Biegespannung zu 80 % ausgelastet
- Durchbiegung zu 205 % »ausgelastet«
- Auflagepressung (bei 5 cm) zu 71 % ausgelastet (bei 2 cm Auflage 107 %!)

Wie unter [9] bereits erwähnt, ist zu klären, wie die statischen Berechnungen unter den extremen Einsatzbedingungen der Holzfeuchte angepasst werden müssen (Modifikationsbeiwerte) und darüber hinaus auch, welchen Einfluss die Abnahme der Rohdichte auf Grund der



Abb. 9: Sparren mit sichtbar starker Durchbiegung, darunter durch die Gasfolie verdeckt der sog. (zerstörte) Paddelgigant



Abb. 10: Auflagetaschen für die Sparren am Behälterrand



Abb. 11: ausgebauter Sparren, der schon vor dem Rückbau im Substrat lag und an dem auf Grund der Abdrücke eine Auflagetiefe von 2 cm festgestellt wurde



Abb. 12: Einblick in den ehem. Nachgärer 1, jetzt zum Fermenter umfunktioniert

hohen Holzfeuchten auf die Festigkeit des Holzes und damit dessen physikalische Eigenschaften hat. Dies würde zu einer weiteren Verschlechterung der Festigkeitseigenschaften des Holzes führen.

Eine Beispielrechnung zeigt auf, dass es mit Holzbalken minderer Rohdichte der Klasse C 16 (statt C 24) zum Überschreiten der Biegespannung (120 %) und der Durchbiegung (282 %) kommt und damit sehr schnell zum Versagen der Konstruktion.

8 Resümee

Für den Schadensfall wurde folgender Ablauf nachgestellt:

1. Auf der Südseite im Bereich des Paddelgiganten – wo eine zusätzliche Belastung der Hölzer durch hoch spritzendes Substrat angenommen werden kann – kam es zu einer extremen Durchbiegung des dort zuerst gesehenen Sparrens.
2. Aufgrund dieser Durchbiegung ist dieser Sparren aus der – vermutlich mit 2 cm viel zu geringen – Auflage gerutscht und nur noch an der Schalung hängen geblieben.
3. Die zusätzliche Belastung der benachbarten Sparren führte auf Grund der geringen Auflagertiefen zu deren Herausrutschen aus der Auflage bis dieses Segment vom Paddelgiganten erfasst wurde.
4. Dabei sind auch andere durch Säure oder Äste geschwächte Sparren gebrochen und in das Substrat gefallen.

Damit war dieser Schaden – auch ohne eine Schädigung des Holzes durch einen sauren Angriff – vorprogrammiert und es stellt sich die Frage ob bzw. eher wann die Dachkonstruktion der anderen beiden Behälter mit gleicher Berechnungs- und Bauweise zerbrechen werden.

Wie eingangs erwähnt, gab es bis dato keine dem Verfasser bekannten Untersuchungen solcher und ähnlicher Schadensfälle. Veröffentlichungen dazu waren ebenfalls nicht bekannt. Es wäre auch verfrüht, aus den bisher untersuchten drei Schadensfällen Schlussfolgerungen für andere, baugleiche Anlagen zu ziehen. Es ist nicht einmal zuverlässig bekannt, wie viele Biogasanlagen es in Deutschland gibt. Die vom Fachverband Biogas e.V. veröffentlichten Branchenzahlen benennen rund 7900 Biogasanlagen Ende 2013 [15]. Völlig unbekannt ist die Anzahl der dazu gehörenden Behälter (Fermenter, Nachgärer) und wie viele davon ein Holzdach haben. Welche Bauweisen gibt es dabei (bei einem neuesten Schadensfall war sogar die Mittelstütze

aus Holz)? Wie viele Planungs- und Herstellerfirmen gibt es?

Auch die Erforschung der Ursachen steckt quasi noch in den Anfängen.

Aus den bisher untersuchten Schadensfällen werden auf jeden Fall die Komplexität der Problematik und der Zusammenhang zwischen der eigentlichen Gasproduktion und den unerwünschten »Nebeneffekten« deutlich. Welchen Einfluss hat die Zusammensetzung des Gärsubstrats und die Fahrweise der Anlagen auf die Entstehung von Schwefelwasserstoff, das nach meiner Ansicht das ursprüngliche Problem der biochemischen Schädigung der Holzstruktur ist? Wie kausal ist der Zusammenhang zwischen der Abnahme der Rohdichte und der Holzfestigkeit a) durch die hohe Holzfeuchte und b) durch die biochemische Zersetzung, und wie kann dies bei den statischen Berechnungen erfasst werden? Nach meiner Meinung können solche Tragwerke mit keinem Statikprogramm am PC gerechnet werden.

Wir stehen deshalb vor der Frage, ob Holz überhaupt der hier einsetzbare Baustoff ist (ich denke nicht) oder ob man Holz so modifizieren kann, dass es diesen extremen Belastungen widersteht. Welche Alternativen gibt es?

Diese Fragen können sicher nicht durch einen einzigen Sachverständigen beantwortet werden, dies ist Aufgabe aller an diesem Problem Beteiligten.

Ich denke aber auch, dass es höchste Zeit ist, sich damit auseinanderzusetzen. Dazu gehört zum einen eine solide Forschung, um die detaillierten Ursachen dieser Holzschäden zu ermitteln und zum anderen, brauchbare Lösungen zu finden. Dazu sollten von den Versicherungsgesellschaften, dem Fachverband Biogas e.V. und anderen eine koordinierende Stelle eingerichtet werden, denn dies alles wird Zeit und Geld kosten.

Literaturverzeichnis

- [1] Krause, Detlef: Gutachten über Holzschäden an einer Biogasanlage v. 02.07.2012
- [2] DIN EN 13183-1:2002-07 Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren
- [3] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): GESTIS-Stoffdatenbank. Gefahrstoffinformationssystem der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung
- [4] GD Holz/von Thünen-Institut, Merkblattrei-

- [5] Wagenführ, Rudi: Holzatlas. München: Fachbuchverlag Leipzig
- [6] Laar, Claudia von/Krause, Detlef: Holzschäden an tragenden Bauteilen einer Biogasanlage durch aggressive Chemikalien – Eine Ausnahme? in: Messen, Planen, Ausführen. 24. Hanseatischen Sanierungstage vom 7.-9.11.2013 im Ostseebad Heringsdorf/Usedom. Vorträge. Forum Altbauanierung 8. Berlin: Beuth, 2013 und Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013
- [7] Krause, Detlef: Gutachten über Holzschäden an einer Biogasanlage v. 04.09.2013
- [8] Krause, Detlef: Schäden an tragenden Holzbauteilen in Biogasanlagen. Schützen & Erhalten, Fachzeitschrift des DHBV e.V., 2013, Nr. 2, S. 9–10
- [9] Laar, Claudia von: Schadensfall Holzbalckendecke – Materialzerstörung in einem Biogasermenter. Der Bausachverständige 9(2013), Nr. 6, S. 12–18
- [10] DIN 1052:2008-12 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [11] DIN EN 1995-1-1:2010-12 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [12] DIN EN 338:2010-02 Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen
- [13] DIN EN 1912:2013-10 Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen – Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten
- [14] Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V. (GD Holz), URL: <http://www.holzhandel.de>
- [15] Fachverband Biogas e.V. (Hrsg.): Branchenzahlen – Prognose 2013/2014, Stand: 11/2013. URL: <http://www.biogas.org>
- [16] Krause, Detlef: Holzschäden an tragenden Bauteilen durch aggressive Chemikalien – ein Praxisbericht. Vortrag auf dem Weiterbildungstag Deutscher Holzschutzfachverband Landesverband Berlin-Brandenburg e.V. am 30.11.2013

Bildquellen: Bild 1 bis 12: Detlef Krause

Kontakt/Information

Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Holz- und Bautenschutzgewerbe der Handwerkskammer Ostmecklenburg-Vorpommern
Dorfstr. 5
18246 Groß Belitz
post@ingkrause.de
www.ingkrause.de