

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).

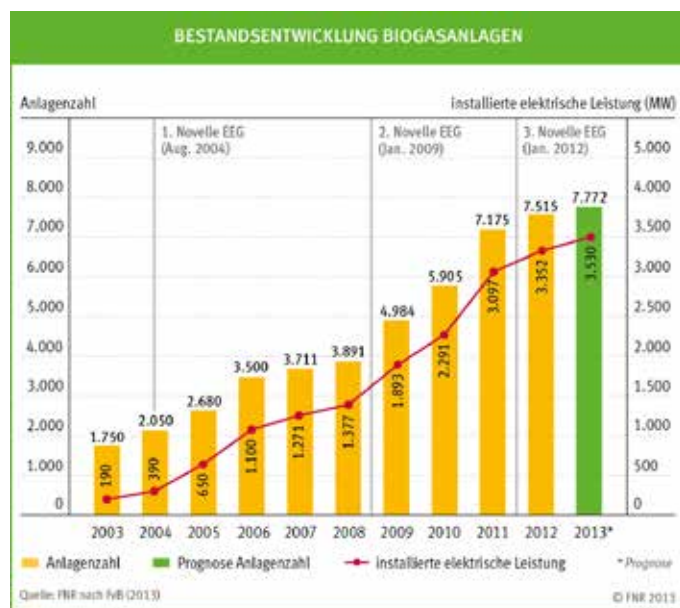


Abb. 1: Bestandsentwicklung der Biogasanlagen in Deutschland von 2003 bis 2013



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

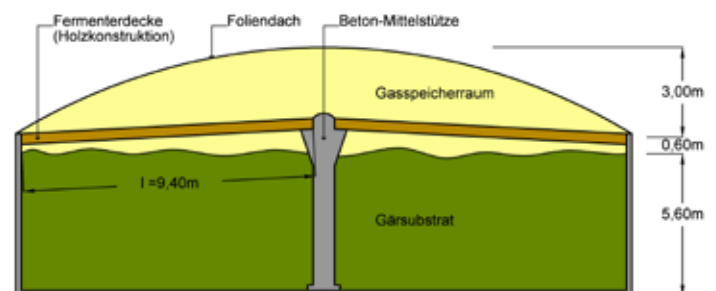


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Fermenters mit behältergebundenem Gasspeicher



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 Gasmisch, welches als Hauptkomponenten Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) sowie weitere Nebenbestandteile enthält. Ein problematischer, weil aggressiver Nebenbestandteil von Biogas ist Schwefelwasserstoff (H_2S). 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].

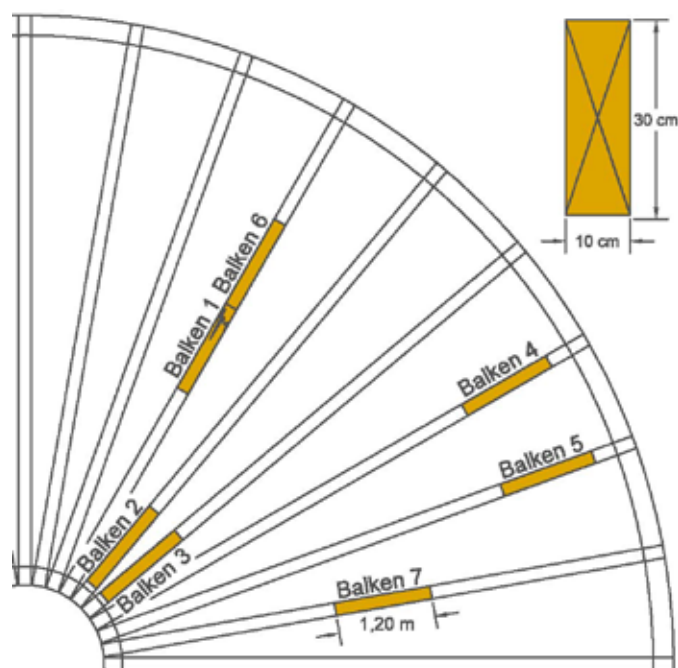


Abb. 7: Fiktive Lage der Balkenabschnitte in der Deckenkonstruktion



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.

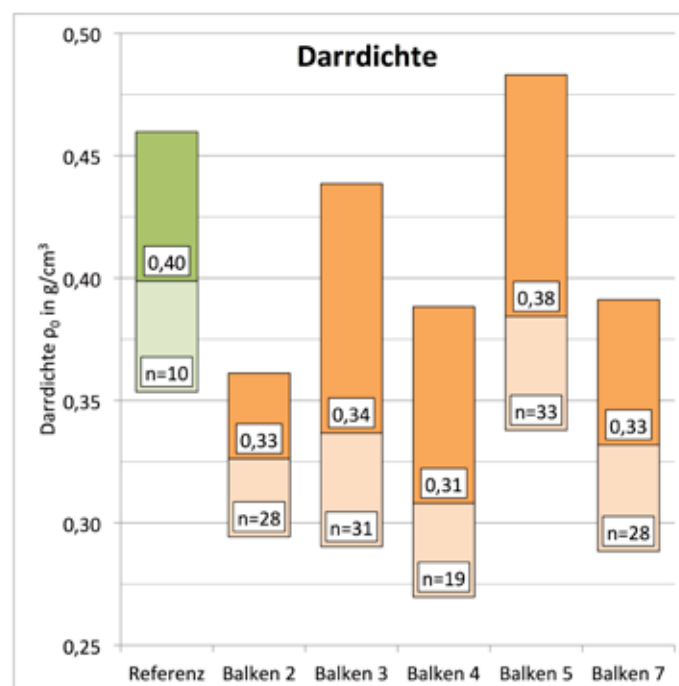


Abb. 9: Vergleichende Darstellung der ermittelten Darrdichten für Balken einer Biogasanlage und intaktes Fichtenholz

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 waldfischem 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

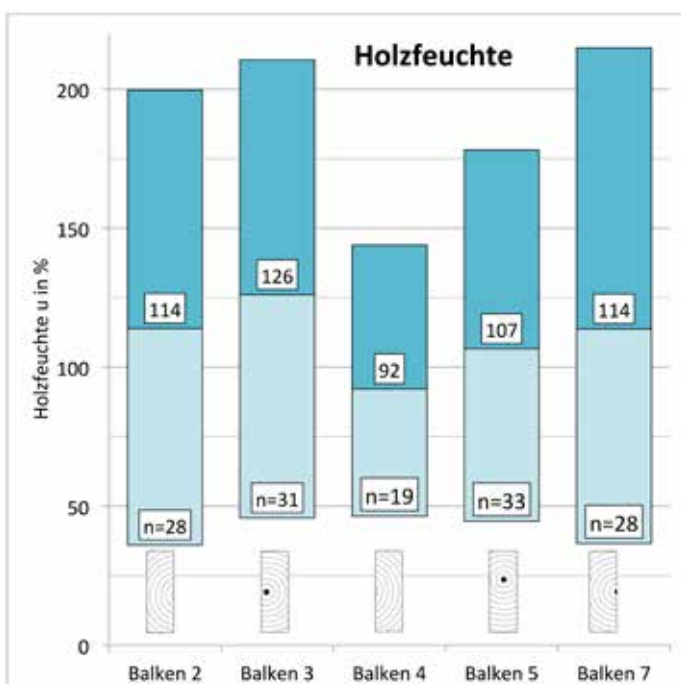


Abb. 10: Schwankungsbreite der Holzfeuchtegehalte für einzelne Balken

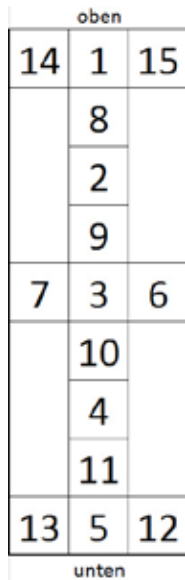


Abb. 11.1 (li.): Probenaufteilung für chemische Untersuchungen

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 Feuchtetransport: 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 Fermentermilieu 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.

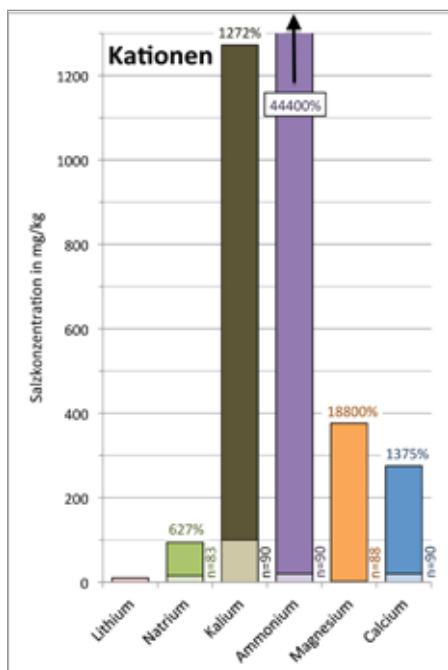


Abb. 12: Übersicht der ermittelten Kationengehalte

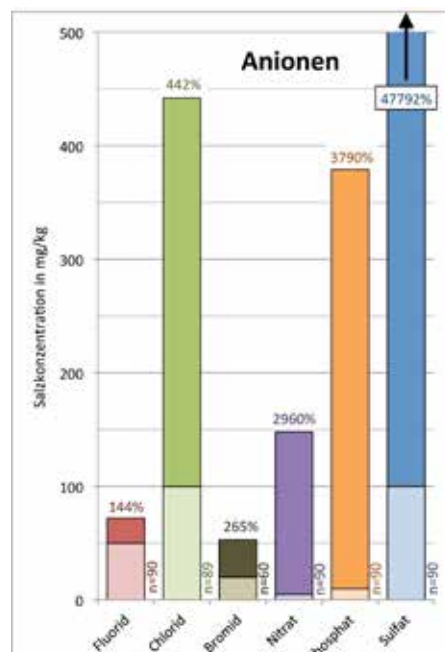


Abb. 13: Übersicht der ermittelten Anionengehalte

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 Holzinere 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 Holzbalcken ausgeschlossen werden können.

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

Im Holz konnten erhebliche Mengen

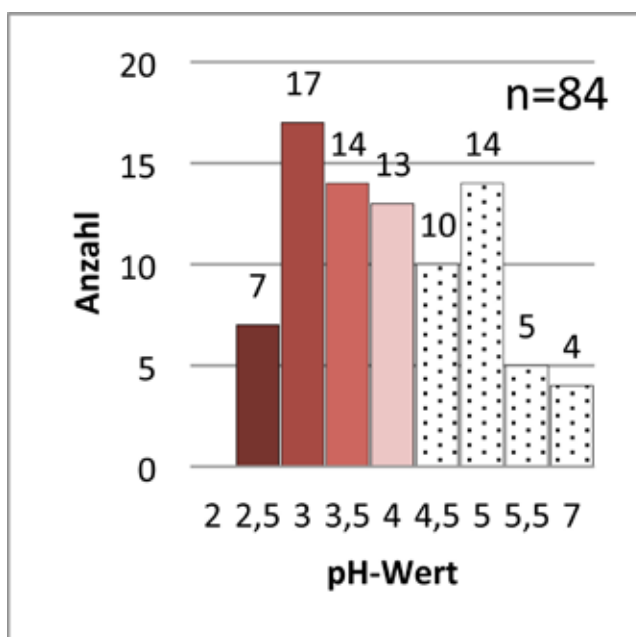


Abb. 15: Ergebnisse der pH-Wert Bestimmungen

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 Umgebungsfeuchte. 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
Philipp-Müller-Straße 14
23966 Wismar
claudia.von_Laar@hs-wismar.de