

Schäden an Holzdachtragwerken von Biogasbehältern – Ausnahme oder Regel?



Der Autor

Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause, Groß Belitz
öbuv SV für Holz- und Bautenschutz

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 Gärrestlager (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 Gärrestlager 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 ge-

baut 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 u. 7: kurzfasrige Bruchstellen, links während des Rückbaus entstandener frischer Bruch, rechts alter Bruch (substratgeschwärzt)



- eine aufgefaserter 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., 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	Nordseite, Nr. 1, 10 cm ab innen	0,37	150,89

hohe Holzfeuchtigkeit ist das Resultat mehrerer Ursachen:

- eine nahezu mit Wasserdampf gesättigte Raumluft 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 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

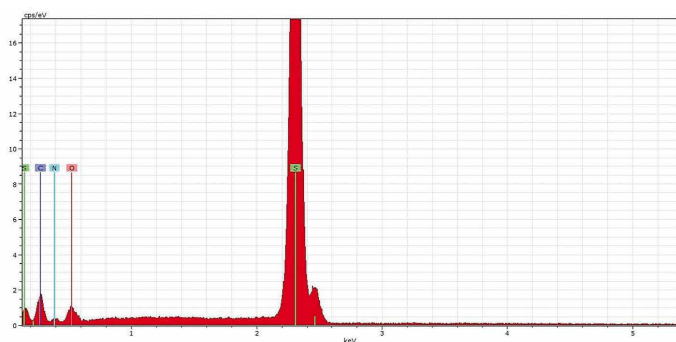


Abb 8: Spektrum der REM/EDX-Analyse mit eindeutiger Dominanz des Elementes Schwefel

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 Aussagen: »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 20 m 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 zusätzliche 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



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

Abnahme der Rohdichte auf Grund der hohen Holzfeuchten auf die Festigkeit des Holzes und damit dessen physikalischen 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 wurden.
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 wieviele 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 wieviele da-

von ein Holzdach haben. Welche Bauweisen gibt es dabei (bei einem neuesten Schadensfall war sogar die Mittelstütze aus Holz)? Wieviele 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, dass das nach meiner Ansicht ursächliche 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 die 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: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren, Deutsche Fassung
- [3] GESTIS-Stoffdatenbank: Gefahrstoffinformationssystem der deutschen gesetz-

lichen Unfallversicherung

- [4] GD Holz/von Thünen-Institut, Merkblattreihe Holzarten, Blatt 57, Fichte
- [5] Wagenführ, Rudi: Holzatlas, Fachbuchverlag Leipzig
- [6] von Laar, Claudia/Krause, Detlef: Holzschäden an tragenden Bauteilen einer Biogasanlage durch aggressive Chemikalien – Eine Ausnahme? in: Tagungsband der 24. Hanseatischen Sanierungstage, Beuth Verlag Berlin, Forum Altbausanierung 8
- [7] Krause, Detlef: Gutachten über Holzschäden an einer Biogasanlage v. 04.09.2013
- [8] Krause, Detlef: Schäden an tragenden Holzbauteilen in Biogasanlagen in: Schützen & Erhalten, Fachzeitschrift des DHBV e.V., Nr. 2/2013, S. 9-10
- [9] von Laar, Claudia: Schadensfall Holzbalkendecke – Materialzerstörung in einem Biogasfermenter, in: Der Bausachverständige, Ausgabe 6/2013, Fraunhofer IRB Verlag / Bundesanzeiger Verlag
- [10] DIN 1052:2008-12, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [11] DIN EN 1995-1-1 (Eurocode 5) Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: 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.
- [15] Fachverband Biogas e.V. <http://www.biogas.org>
- [16] Krause, Detlef: Holzschäden an tragenden Bauteilen durch aggressive Chemikalien - ein Praxisbericht, Weiterbildungstag Deutscher Holzschutzfachverband Landesverband Berlin-Brandenburg e.V. 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