

# LEITFADEN

## Korrosion metallischer Werkstoffe in Biogasanlagen

---

### WERKSTOFFAUSWAHL BIOGAS

Optimierte Werkstoffauswahl für die anaerobe Vergärung nachwachsender Rohstoffe auf Basis der Kenntnis und Evaluation der Korrosionsprozesse



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Leitfaden zugrunde liegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

# IMPRESSUM

Der Leitfaden „Korrosion metallischer Werkstoffe in Biogasanlagen“ wurde im Rahmen eines FNR-Projektes neu erstellt.

## **Verbundkoordinator**

APMA Services GmbH, Förderkennzeichen (FKZ) 22034511

## **Projektpartner**

APMA Services GmbH (APMA), Wannbornstraße 4, 66125 Saarbrücken, [www.apma.de](http://www.apma.de)

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Wirtschaftsdüngermanagement und Biogastechnologie, Vöttinger Straße 36, 85354 Freising, [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de), Förderkennzeichen (FKZ) 22011812

Fachhochschule Südwestfalen - Labor für Korrosionsschutztechnik (SWF-KST), Frauenstuhweg 31, 58644 Iserlohn, [www.fh-swf.de](http://www.fh-swf.de), Förderkennzeichen (FKZ) 22011912

Amtliche Materialprüfanstalt der freien Hansestadt Bremen (MPA-IWT), Geschäftsbereich der Stiftung Institut für Werkstofftechnik, Paul-Feller-Straße 1, 28199 Bremen, [www.mpa-bremen.de](http://www.mpa-bremen.de), Förderkennzeichen (FKZ) 22012012

Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF) Nord-West, Institut für Boden und Umwelt, Jägerstrasse 23-27, 26121 Oldenburg, [www.lufa-nord-west.de](http://www.lufa-nord-west.de), Förderkennzeichen (FKZ) 22011812

## **Herausgeber**

APMA Services GmbH, Wannbornstraße 4, 66125 Saarbrücken, Tel: 06897 - 9245638 Fax: 06897 – 9650463, [service@apma.de](mailto:service@apma.de), [www.apma.de](http://www.apma.de)

## **Autoren dieser Ausgabe**

Die Autoren dieser Ausgabe finden Sie am Ende des Leitfadens.

## **Redaktion**

APMA Services GmbH, Wannbornstraße 4, 66125 Saarbrücken, [www.apma.de](http://www.apma.de)

## **Bilder**

Fachhochschule Südwestfalen - Labor für Korrosionsschutztechnik, Frauenstuhweg 31, 58644 Iserlohn, [www.fh-swf.de](http://www.fh-swf.de)

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

# INHALT

<b>1. EINFÜHRUNG</b>	<b>5</b>
1.1 Ausgangslage	5
1.2 Zielsetzung	6
<b>2. ANFORDERUNGEN AN METALLISCHE WERKSTOFFE</b>	<b>7</b>
2.1 Physikalisch-chemische Belastungen	7
2.2 Chemische Belastungen	7
2.3 Mikrobiologisch verursachte chemische Belastungen	8
<b>3. METALLISCHE WERKSTOFFE IM BIOGASPROZESS</b>	<b>9</b>
3.1 Substratlager	9
3.2 Einbringsysteme	9
3.3 Fermenterbehälter	9
3.4 Pumpen, Rührwerke	10
3.5 Gasführung	10
3.6 BHKW	10
<b>4. VORBEUGENDE INSTANDHALTUNG</b>	<b>12</b>
4.1 Normen und Regelwerke	12
4.2 Elemente der Instandhaltung	13
<b>5. FAZIT</b>	<b>14</b>
<b>6. LITERATUR</b>	<b>15</b>
<b>7. ANHANG: FALLBEISPIELE</b>	<b>17</b>
7.1 Lochkorrosion an einem Substratrohr	17
7.2 Lochkorrosion an der Tauchhülse im Anmischbehälter	18
7.3 Verschleiß am Stator einer Exzentrerschneckenpumpe	18
7.4 Korrosion an der Welle eines Rührwerks	19
7.5 Korrosion an der Fermenterwand	20



# 1. EINFÜHRUNG

## 1.1 Ausgangslage

Korrosion in Biogasanlagen zählt zu den wichtigsten Ursachen für die Wertminderung der bauseitigen Anlagen, indem sie entscheidend die Kosten für Instandhaltung beeinflussen. Sie ist darüber hinaus oftmals Verursacher von Betriebsausfällen und sogar Betriebsunfällen. Zwar gaben bei der Betreiberbefragung des DBFZ 2010 nur 4,6 % Korrosion als Störungsursache an, (Mauky 2012), folgt man aber den Berichten der Versicherungsgesellschaften, so liegen die primären Ursachen vieler Havarieereignisse wie beispielsweise von BHKWs in Korrosionsvorgängen an maschinentechnischen Bauteilen (Härig 2012; e+s rück 2013, Wentzke 2015).

Der wirtschaftliche Schaden durch fehlerhafte Bauteile ist bedeutend. Die durch die hohe chemische und physikalische Belastung hervorgerufenen Schäden werden erst nach längerer Betriebsdauer der Biogasanlagen offensichtlich und zwingen zur Budgetierung höherer Servicekosten, als es den ursprünglichen Annahmen bei Baubeginn entspricht. Diese oft erhebliche wirtschaftliche Mehrbelastung bringt zunehmend Biogasanlagen in Bedrängnis, die wirtschaftlich knapp kalkuliert sind.

In seiner Schadensstatistik von 2010 berichtet der GDV (Gesamtverband der deutschen Versicherer), dass 23 % jener 4.373

Biogasanlagen, die über eigene Sachversicherungen verfügen, Schadensmeldungen erstatteten, wobei Gesamtbetriebsversicherungen nicht mitgerechnet sind (Stachowitz und Mattern 2013). Als häufige Ursachen werden Korrosion saurer Silagen an Eintragsystemen und Schäden an Pumpen und Wärmetauscher aufgrund von durch unterschiedliche Viskositäten hervorgerufenen Druckverlusten genannt. Eine Auswertung der VGH-Versicherungen nennt als häufigste Schadensursachen das BHKW mit 65 % und steigender Tendenz, die Gasgewinnung bestehend aus Eintrag, Fermenter, Behälter, Rührwerkstechnik mit 20 %, sowie die elektrotechnischen Installationen zur Steuerung und Netzanbindung mit 15 % (Michaels 2014).

Gemmeke et al. (2009) zeigten im bundesweiten Biogas-Messprogramm II auf, dass ein Großteil der betrieblichen Arbeitsaufwendung in Reparaturtätigkeiten einfließt, allen voran beim BHKW, gefolgt vom Feststoffeintrag, den Rührwerken und den Pumpen. Das Biogas-Messprogramm II weist eine Auslastung von unter 60 % für knapp 10 % der untersuchten Anlagen aus, im Mittel lag der Auslastungsgrad bei 85 %. Für diese niedrige Auslastung werden hauptsächlich anlagentechnische Störungen benannt. Der Arbeitszeitaufwand für die Behebung der Störungen liegt im Durchschnitt bei 2,8 h pro

Woche. Davon werden ca. 40 % den Störungen am BHKW zugerechnet, gefolgt vom Feststoffeintrag (20 %), Rührwerke (14 %) und Pumpen (8 %). Störungen an den letztgenannten Bauteilen werden häufig durch faserreiche Substratmaterialien verursacht, die hohen Verschleiß hervorrufen. Aber auch zu geringe Dimensionierungen (Planungsfehler) bei Pumpen und Rohrleitungen werden genannt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass in der Biogaspraxis oft keine lückenlose Schadensdokumentation erfolgt und die tatsächlichen Schäden vermutlich noch höher liegen. Insgesamt dokumentieren 61 % der Anlagen keine oder nur geringe Störungen. Weitere 19 % verwenden mindestens 4 h pro Woche zur Schadensbehebung. Das Ausmaß von Korrosion und Materialverschleiß als Schadensursache ist jedoch in den

Ergebnissen zum Biogas-Messprogramm II nicht publiziert.

### 1.2 Zielsetzung

Die Zielsetzung des Leitfadens ist es, den Betreibern von Biogasanlagen die Thematik der metallischen Korrosion in Einbauten von Biogasanlagen und in weiterer Folge die Bedeutung einer darauf abgestimmten, sorgfältigen Werkstoffauswahl näher zu bringen. Die Ursachen und Mechanismen der Entstehung von Korrosion werden genau so beleuchtet wie ihr Auftreten in den verschiedenen Stufen des Biogasprozesses.

# 2. ANFORDERUNGEN AN METALLISCHE WERKSTOFFE

## 2.1 Physikalisch-chemische Belastungen

Metallische Werkstoffe sind in Biogasanlagen gleich mehreren Belastungen ausgesetzt. Mechanische Beanspruchung erfolgt durch Abrieb, der durch harte Bestandteile im Gärgut verursacht wird. Zwar finden sich in landwirtschaftlichen Substraten geringere Mengen an harten Partikeln als etwa in kommunalen Anlagen, die Biomüll aus der Haushaltssammlung oder gar Restmüll verarbeiten, dennoch befindet sich Sand im Erntegut von Pflanzenmaterial und metallische Teile in Speiseresten, die durch ihre ständige Bewegung in Rohrleitungen und Fermentern Abrieb verursachen. Betroffen sind vor allem Eintragsschnecken, Pumpen und Rührwerke, die im ständigen Kontakt mit bewegtem Gärgut stehen. Durch die Massebelastung des Gärgutes werden auf die Blattspitzen von Propellerrührwerken und in Pumpen Schubkräfte und Zugkräfte ausgeübt, die zu Kavitation und Kavitationskorrosion sowie in weiterer Folge zu Degradation der metallischen Werkstoffe führen.

Zu starke Torsionsspannungen an Wellen, wie sie durch hoch viskose Gärmedien, etwa in der güllelosen Fermentation oder in der Vergärung erheblicher Anteile Grassilage, erhöhen die Risiken von Achsbrüchen oder Lagerschäden.

Weitere Gefährdungen ergeben sich durch Vibrationen an motorisch betriebenen Bauteilen von Pumpen und Rührwerken, die nicht nur die Dichtigkeit von Rohrleitungssystemen betreffen, sondern bei falscher Montage insgesamt den Verschleiß der betroffenen Teile beschleunigen. Ähnliches gilt für Temperaturschwankungen im Fermenterbereich und die damit verbundene Wärmeausdehnung.

Durch mechanische Belastungen hervorgerufene Schadensfälle werden in diesem Leitfaden nur in Verbindung mit chemisch oder mikrobiologisch induzierter Korrosion behandelt.

## 2.2 Chemische Belastungen

Das Gärsystem stellt ein komplexes Gemisch chemisch aktiver Substanzen dar, die während des biologischen Abbaus von Substraten gebildet werden und teilweise eine signifikante Reaktivität gegenüber metallischen Werkstoffen aufweisen. Zusätzlich zur chemischen Zusammensetzung des Milieus wird die hohe Fermentationstemperatur für Abbauvorgänge verantwortlich gemacht (Zemke et al. 2010). Während der Hydrolyse und Säurebildung werden bereits Schwefelwasserstoff, Ammoniak und niedere organische Säuren gebildet. Unmittelbar korrosiv auf metallische Werkstoffe wirken davon vor allem die organischen Säuren, die bei pH-Werten  $< 5$  zu

einer Depassivierung von Eisen- und Stahlelementen führen und das Material direkt angreifen. Bei gleichzeitigem Vorliegen von höheren Konzentrationen an Chloriden, wie sie etwa in der Kofermentation von Abfällen aus der Lebensmittelbranche oder bei Zugabe von Eisenchlorid als Entschwefelungsmaßnahme auftreten, kann sich Salzsäure bilden, die bereits in geringen Konzentrationen eine Schädigung der Werkstoffe hervorruft.

Wenngleich die Aggressivität von Schwefelwasserstoff und Sulfiden geringer ist, besitzen sie dennoch Potenzial zur Schädigung metallischer Werkstoffe. Thömen (2012) untersuchte die elektrochemische Korrosion an Edelstahl-Schweißverbindungen und stellte dort die Ausbildung von Eisensulfid-Schichten fest.

Naturgemäß ist die Konzentration an organischen Säuren in Silagelagern, Silage-Einbringssystemen und Vorgruben bzw. Hydrolysestufen am höchsten. Dort sind am ehesten Korrosionsschäden zu erwarten, die selbst vor einfach legierten Stählen während mehrjähriger Belastung nicht Halt machen.

In Gegenwart von Sauerstoff, wie das etwa der Fall beim Einblasen von Luft zur Entschwefelung in den Fermenterraum der Fall ist, wird Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel und weiter zu Schwefelsäure oxidiert. Während sich elementarer Schwefel unter Luftabschluss völlig inert verhält, bewirkt ein Überschuss an Sauerstoff die Weiteroxidation zur Schwefelsäure, die hoch korrosiv gegenüber Werkstoffen aus Metall und Beton wirkt. Die Geschwindigkeit der chemischen Reaktion ist zwar ohne Vorliegen eines Katalysators sehr gering und kaum von Bedeutung für den Lebenszyklus einer Biogasanlage, in Gegenwart von spezifischen Mikroorganismen jedoch erhöht sie sich um ein Vielfaches, sodass bereits innerhalb von Sekunden merkbare Mengen an Schwefelsäure entstehen. Dieser Fall wird im Kapitel 2.3 näher erörtert.

### 2.3 Mikrobiologisch verursachte chemische Belastungen

Die Bildung von Schwefelsäure aus der biologischen Oxidation von Schwefelwasserstoff ist mit einer kathodischen Depolarisation von unedlen Metallen, besonders eisenhaltigen Metallen verbunden

Die kathodische Depolarisation durch hydrogenotrophe Methanogene verstärkt sich bei niedrigem pH-Wert infolge der verstärkten Bereitstellung von Protonen. Dies trifft auch für die kathodische Depolarisation durch Sulfat-reduzierende Bakterien (SRB) zu, deren Substrat Sulfat (u.a.) durch die biologische Schwefeloxidation von Schwefel-oxidierenden Bakterien (SOB) bereitgestellt wird. Ein Schema des Korrosionsmechanismus ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

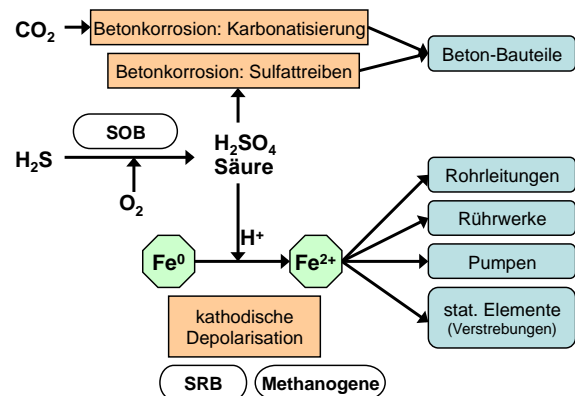


Abbildung 1: Allgemeines Schema der Biokorrosion an eisenhaltigen Bauteilen der Biogasanlage

Da Schwefel-oxidierende Bakterien zur Oxidation von Schwefelwasserstoff bzw. elementarem Schwefel Sauerstoff benötigen, findet die biogene Korrosion vornehmlich an den Phasengrenzflächen Gas/Flüssigkeit bzw. am Schwefelbelag der Bauteile im Gasraum des Fermenters statt, aber auch in den Gasleitungen (Fiedler 2014). Durch die Entschwefelung mit Luft, die bei über 80 % der landwirtschaftlichen Biogasanlagen praktiziert wird, kann diese biogene Korrosion noch verstärkt (Bräsel 2013) werden. Abhilfe kann eine nachgeschaltete Entschwefelungsanlage schaffen.



# 3. METALLISCHE WERKSTOFFE IM BIOGASPROZESS

## 3.1 Substratlager

Substratlager wie Substratsilos werden üblicherweise in Betonbauweise ausgefertigt und werden daher hier nicht näher erörtert, da keine metallischen Bauteile davon betroffen sind.

## 3.2 Einbringssysteme

Einbringssysteme sind Vorruben für Flüssigsubstrate und Einbringförderanlagen für Festsubstrate wie Abschiebeböden, Feststoffdosierer, Einbringschnecken und diverse Vorlagebehälter.

Durch den Säureangriff von Silagen und vorhydrolysiertem Gärmaterial erfordern diese Systeme besonderen Korrosionsschutz, etwa durch Edelstahlausfertigung oder geeignete Beschichtungen, Verschleißteile sind gezielt zu warten. Beim Einsatz von korrosiven Additiven sollte darauf geachtet werden, dass diese mit dem Substrat eingetragen werden und der direkte Kontakt mit Anlagenbestandteilen vermieden wird.

## 3.3 Fermenterbehälter

Fermenter werden üblicherweise entweder in Beton oder in Edelstahl bzw. Email ausgeführt. Um die Abführung des produzierten Biogases zu erleichtern, befindet sich über dem

Flüssigkeitsniveau des Behälters noch ein Kopfraum zur Sammlung des Gases. Dieser ist entweder mit einer planen Deckenkonstruktion oder mit einer Gasmembran ausgestattet. Die wasserdampfgesättigte Atmosphäre und das Kohlendioxid, verbunden mit Schwefelwasserstoff oder gar Schwefelsäure aus der Luftentschwefelung, greifen Holz, Beton und Stahl im Kopfraum an. Materialien, die permanent unter dem Flüssigkeitsspiegel liegen, sind weitaus geringeren Korrosionsangriffen ausgesetzt. Das trifft auch für untenliegende Wärmetauschereinbauten zu, die einer Einhüllung durch Sinkschichten ausgesetzt sind.

Kohlendioxid verursacht durch das Eindringen in den Beton über Gasraum oder Flüssigkeit Karbonatisierung, d.h. die Bildung von Calciumcarbonat aus Calciumhydroxid und damit die einer Senkung des pH-Wertes von zunächst  $> 12,5$  auf unter 9. Dies führt zu einer Aufhebung der Passivierung der Bewehrung und konsequenterweise zum Rosten der Bewehrung. Chlorid als Bestandteil der salzhaltigen Fermenterflüssigkeit verstärkt das Rosten. Die Bewehrungskorrosion führt zu Rissen im Beton, die nicht nur ein Auslaufen der Gärflüssigkeit in die Umwelt und damit Umweltschädigungen ermöglicht, sondern auch zum Austritt von Biogas und die Bildung explosiver Gas-Luft-Gemische (KAS 2009, Destatis 2015 Unfälle an JGS-Anlagen).

Neben Schäden an metallischen Einbauten werden Gasleckagen an Gasmembranen durch

Materialermüdung oder durch schadhafte Befestigungen an der Mittelstütze oder am Rand beobachtet (Schreier 2011, Pingel 2012, Gaul 2014). Vereinzelt sind auch Holzbalkendecken in Fermentern betroffen, wo die Holzfestigkeit durch den Säureangriff nachgelassen hat (Krause 2014, von Laar 2014).

Als mögliche Ursache ernster Störfälle sind nicht ausreichender Explosionsschutz und Behälterleckagen bzw. ungenügende Vorrichtungen zum Auffangen von Fermenterflüssigkeit zu nennen.

### 3.4 Pumpen, Rührwerke

Hoher Verschleiß an Pumpen tritt auf, wenn sie für den auftretenden Pumpwiderstand und benötigten Druck nicht ausreichend dimensioniert sind. Ähnliches trifft für Rührwerke zu, wenn sie zu große Gärgutmengen zu bewegen haben oder die Viskosität zu hoch ist. Dieser Fall tritt vielfach bei Änderung der Substratzusammensetzung, etwa durch Steigerung des Anteils faserreicher Materialien wie Grassilage ein. Die Belastung führt zu Kavitation, Lagerschäden und Bruch der Flügel von Rührwerken, bei Langachsührwerken auch zum Bruch der Welle. Zu Schäden an Tauchmotorrührwerken zählen oft mechanisches Versagen in Form gebrochener Aufhängungen oder Undichtigkeiten, die zum Eindringen von Flüssigkeit und damit zum Kurzschluss der Motoren führen können.

Schäden an Rührwerken entstehen überdies bevorzugt in Vorgruben oder Endlagern, wo der schwankende Füllstand den Kontakt metallischer Bauteile mit Luft bewirkt, weil es dort zur Bildung von Schwefelsäure kommt (Bach 2014). Angriffe auf Rührwerkselemente kann es aber auch durch unsachgemäßen Einsatz von Additiven geben. Die Auswahl geeigneter Materialien ist die wichtigste Maßnahme gegen Korrosionsschäden.

Des Weiteren tragen Sand und metallische Störstoffe metallische Werkstoffe oberflächlich ab bzw. deformieren sie bis hin zur völligen Funktionsuntüchtigkeit.

### 3.5 Gasführung

In gasführenden Systemen wird im Regelfall nur Biogas befördert. Es erfordert besondere Sicherheitsvorkehrungen, da der Austritt von Gas oder ein Eintritt von Luft explosionsfähige Gemische bilden kann. Bei Prozessstörungen kann es vorkommen, dass der Flüssigkeitsstand im Fermenter über die Öffnungskante der Gasabführung ansteigt und so Gärgut oder Schaum in die Gasleitungen gelangt. Werden diese nicht gesäubert oder einer regelmäßigen Inspektion auf Korrosion und Dichtigkeit unterzogen, steigt die Gefahr von Gaslecks und die Gefährdung durch Explosionen.

Rohbiogas besteht nicht nur aus Kohlendioxid und Methan, sondern enthält auch Wasserdampf, Schwefelwasserstoff, Wasserstoff und Ammoniak, die als reaktive Gase zu Angriffen auf metallische Rohrleitungen führen können. Im Kondensatabscheider unvollständig abgeschiedenes Wasser kann später die Leitungen korrodieren, Bakterienwachstum und mikrobiell induzierte Korrosion fördern sowie Gasleitungen bzw. Gasfilter verlegen, was Verstopfungen und Störfälle, etwa den Anstieg des Gasdruckes und das Platzen von Gasmembranen zur Folge haben kann. Die Probleme in der Praxis können Undichtigkeiten und Verstopfungen von Aktivkohlefiltern sein.

### 3.6 BHKW

Die Betriebsausfälle an BHKWs durch schwefelwasserstoff-induzierten „Säurefraß“ sind schon lange bekannt. Im Biogas mitgeführtes  $H_2S$  wird im Verbrennungsraum des BHKW zu Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid oxidiert. Dies ruft schwerste Korrosionserscheinungen an den Kolben und nachfolgenden Metallbauteilen durch die Bildung von schwefliger Säure und Schwefelsäure aus dem Verbrennungswasser und Schwefeldioxid/-trioxid hervor. Die Schadensvermeidung durch Senkung der  $H_2S$ -Belastung im Biogas einerseits und durch den Einsatz verbesserter Materialien andererseits hat bereits vor längerer Zeit Eingang in die

Biogaspraxis gefunden. In neueren Anlagen hat sich häufig eine mehrstufige Entschwefelung durchgesetzt, die aus Luftentschwefelung, Zugabe von Eisenpräparaten in das Fermentationsgut, und Einbau eines Aktivkohlefilters vor das BHKW besteht. Letzteres vor allen Dingen zur Einhaltung des Formaldehyd-Bonus und des damit verbundenen notwendigen Schutzes des Nachverbrennungskatalysators. Das Ziel dieser Maßnahmen ist eine möglichst weitgehende Elimination des  $\text{H}_2\text{S}$  aus dem zugeführten Biogas, um Konzentrationen vorzugsweise unter 10 ppm vor dem

Aktivkohlefilter zu erhalten. Nach dem Aktivkohlefilter ist 0 ppm anzustreben.

Sofern jedoch keine regelmäßige und zuverlässige Messung des Gehaltes an Schwefelwasserstoff erfolgt, kann der Zeitpunkt der Filtersättigung übersehen werden und eine Erneuerung der Aktivkohle zu spät erfolgen, sodass  $\text{H}_2\text{S}$  in den Verbrennungsraum gelangt. Häufig sind nicht rechtzeitig kalibrierte Gasmessgeräte für falsche Einschätzungen der Situation verantwortlich.

# 4. VORBEUGENDE INSTANDHALTUNG

Den verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen wird bei der Erstellung von Bau- und Sicherheitsregelwerken als auch in der Fachliteratur bereits entsprechend Rechnung getragen (Heitz, 1986). Berücksichtigung von Korrosion finden sich im KAS-Merkblatt Sicherheit in Biogasanlagen (KAS, 2009), beim Arbeitsblatt DWA-A 779 (DWA, 2006) sowie beim Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 14 des VDZ (VDZ, 2010). Obwohl die Ursache-Wirkungsforschung im komplexen Gefüge der Biogasproduktion hauptsächlich erfahrungsgesteuert ist, gibt es darüber hinaus auch Ansätze, um mit Modellen und Tools Gefahren besser einschätzen und rechtzeitig darauf reagieren zu können (Pereira-Querol et al. 2012).

## 4.1 Normen und Regelwerke

Zur allgemeinen Instandhaltung und Instandsetzung existieren umfassende Normen und Regelwerke, die den genauen Ablauf und die Vorgehensweise für die betriebliche Anwendung festlegen.

Als Basis dient die DIN 31051 „Grundlagen der Instandhaltung“, die ein Ordnungssystem für Begriffe festlegt und sich ggf. auf die Norm DIN EN 13306 „Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung“ bezieht. Die technische Regel VDI 2895 „Organisation der Instandhaltung – Instandhalten als Unternehmensaufgabe“ bietet auf dieser Basis eine umfassende Systematik der Organisationsformen von Instandhaltung sowie der strategischen und operativen Aufgaben, die sich aus der Instandhaltung ergeben.

Weitere Regelwerke gehen ins Detail von spezifischen Tätigkeiten, die für Instandhaltung erforderlich sind. So gibt die technische Regel VDI 2886 „Benchmarking in der Instandhaltung“ eine gute Anleitung zur praktischen Vorgehensweise in der Planung, Analyse, Umsetzung und Kontrolle von Instandsetzungstätigkeiten, die zu kontinuierlichen Verbesserungen führen sollen. Die VDI 2893 „Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung“ sowie die DIN EN 15341 „Instandhaltung – Wesentliche Leistungskennzahlen für die Instandhaltung“ ermöglichen die einfache und vergleichbare Beurteilung des Biogasprozesses anhand von Kennzahlen.

Eine Anleitung zur Einbettung der Instandhaltungsprozesse in die übrigen Bereiche des Anlagenmanagements bietet die neue europäische Norm DIN EN 16646:2015-03 „Instandhaltung – Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements“. Sie betrachtet den gesamten Lebenszyklus einer Anlage, berücksichtigt die Wechselwirkungen zwischen Instandhaltung und Anlagenbetrieb, Modernisierung, Entsorgung sowie dem Anlagenmanagement, gibt Hinweise zur Leistungsüberwachung, den Kennzahlen und der Organisationsstruktur.

Spezifisch für Biogasanlagen ist weiterhin die technische Regel DVGW Arbeitsblatt G 495 „Gasanlagen – Instandhaltung“ zu berücksichtigen, die für Biogasanlagen optimal zugeschnittene Strategien der Instandhaltung vorschlägt, und gleichzeitig Betriebssicherheit, Kosteneinsparung und Anlagenverfügbarkeit gewährleisten soll. Eine gute

Zusammenstellung von Schwachstellen in Biogasanlagen (u.a. Korrosionsschäden) zeigt auch die KTBL-Schrift 84 „Schwachstellen an Biogasanlagen kennen und vermeiden“.

### 4.2 Elemente der Instandhaltung

Instandhaltung von Biogasanlagen dient vor allem der Betriebs- und Arbeitssicherheit sowie der Vermeidung von Störungen, die zu Ausfällen der Biogasproduktion führen könnten. Im Störfall kann existenzbedrohender Schaden an Mensch, Umwelt und Anlage auftreten. Ein Ausfall der Biogasproduktion ist oft mit einem gesamten Prozessausfall verbunden, der mehrwöchiges Hochfahren und damit den Verlust von Volllaststunden bedeutet, die unmittelbar mit dem wirtschaftlichen Ertrag verknüpft sind. Durch diese Umstände kommt der Instandhaltung bei Biogasanlagen besonders hohe Bedeutung zu. Instandhaltung kann und soll systematisch durchgeführt werden.

Die erste Maßnahme ist die Wartung mit dem Ziel, eine möglichst störungsarme und lange Funktionsdauer der Anlagenteile zu erreichen. Sie wird regelmäßig anhand von Wartungsplänen für jedes Anlagenteil durchgeführt. Die Inspektion dagegen ist eine Kontrolle der Funktionstüchtigkeit, die als Erhebung des Ist-Zustandes und seiner Ursachen in die Planung der Instandsetzung eingeht. Je nach Beurteilung des Ist-Zustandes werden schadhafte Teile durch Reparatur oder Austausch wieder instandgesetzt. Als letzter Teil der Instandhaltung soll die Verbesserung des Prozesses zu niedrigeren Ausfallraten durch Steigerung der Funktionssicherheit und geringeren Kosten bei Wartung, Inspektion und Instandsetzung insgesamt führen. Der gesamte Regelkreis der Instandhaltung steigert daher die Anlageneffektivität als Verhältnis der Wertschöpfung zur Verfügbarkeit der Anlage.

# 5. FAZIT

Der Auswahl der Werkstoffe, die in diesem Projekt untersucht wurden, lagen sieben repräsentative Schadensfälle aus der Praxis zu Grunde

Ausgehend von den Ergebnissen der Schadensfälle und darauf aufbauend wurden die Labor- und Technikumsversuche ausgelegt. Die Ergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen in der Praxis.

Daraus können folgende praxisrelevanten Hinweise für Biogasanlagen gegeben werden:

Eine Erhöhung der Chlorid-Konzentration kann die Korrosion in einem Fermenter verstärken. Folglich gilt es den Einsatz von Chlorid-haltigen Additiven zum Zweck der Entschwefelung auf ein notwendiges Maß zu beschränken.

Eine Erhöhung der Sauerstoff-Konzentration zur Steigerung der biologischen Entschwefelungsleistung kann die Korrosion in einem Fermenter ebenfalls verstärken. Die verstärkte Korrosion ist bedingt durch die Bildung von schwefliger Säure und Schwefelsäure durch Weiteroxidation des aus

dem Sulfid-Schwefel resultierenden elementaren Schwefels.

Biogene Korrosion findet vornehmlich an der Phasengrenzfläche Gas/Flüssigkeit im gesamten, wasserdampfgesättigten Gasraum statt, da Schwefel-oxidierende Bakterien zur Oxidation von Schwefelwasserstoff bzw. elementarem Schwefel Sauerstoff benötigen.

Stark schwefelhaltige Substrate fördern die Bildung von erhöhten Schwefelwasserstoffkonzentrationen und können damit das beschriebene Korrosionsrisiko deutlich erhöhen.

Unter Beachtung der vorstehend genannten Anforderungen können die in der Praxis eingesetzten metallischen Werkstoffe als grundsätzlich geeignet angesehen werden.

Viele Schadensfälle sind auf konstruktions- oder baubedingte Mängel zurückzuführen.

Unzulänglichkeiten in der Betriebsführung der Biogasanlage können ebenfalls zum Ausfall metallischer Werkstoffe führen.

# 6. LITERATUR

- Bräsel M. (2013): Korrosion frisst Werte. Biogasanlagen langfristig durch korrosionsbeständige Werkstoffe zu ersetzen ist das Ziel .... Biogas Journal 2/2013: 102.
- DESTATIS – Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung 315 vom 31.08.2015, [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/08/PD15\\_315\\_32311.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/08/PD15_315_32311.html)
- DIN 31051:2012-09 Grundlagen der Instandhaltung. (2012) Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN 13306:2010-12 Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung. (2010) Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN 15341:2007-06 Instandhaltung – Wesentliche Leistungskennzahlen für die Instandhaltung (2010), Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN 16646:2015-03 Instandhaltung – Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements (2015), Beuth-Verlag, Berlin.
- DVGW Arbeitsblatt G 495:2006-07 Gasanlagen – Instandhaltung. (2006) Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn.
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: DWA-Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 779. (2006).
- e+s rück (2013): Biogasanlagen. Risiken und Schutzmaßnahmen bei der Erzeugung und Nutzung von Biogas. Sicherheitstechnische Fachinformation: Biogasanlagen, Hannover.
- Fiedler A. (2014): Untersuchungen von Korrosion und Biofouling in gasführenden Anlageteilen von Biogasanlagen. Masterarbeit TU Bergakademie Freiberg.
- Gaul T. (2014): Die sichere Anlage im Blick. Biogas Journal I 2014 Sonderheft Anlagensicherheit, 22-33.
- Gemmeke B., Rieger C., Weiland P., Schröder J.: Biogas-Messprogramm II. 61 Biogasanlagen im Vergleich. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow (2009).
- Härig M. (2012): Risiko- und Versicherungsmanagement für Biogasanlagen. Marsh & McLennan Companies, Informationsschrift.
- Heitz E.: Korrosion und Korrosionsschutz in Systemen mit neuen Energieträgern und Brennstoffen. Chemie Ingenieur Technik 58(5): 357-363 (1986).
- KAS Kommission für Anlagensicherheit: Merkblatt K-12 Sicherheit in Biogasanlagen, Bonn (2009).
- Krause D. (2014): Schäden an Holzdächern von Biogasbehältern. 25. Hanseatische Sanierungstage 2014, Heringdorf.
- KTBL-Heft 84, Schwachstellen an Biogasanlagen kennen und vermeiden, Hrsg. Kuratorium der Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, ISBN 978-3-939371-81-6 (2009)
- Lohse M., Weismann D., Zölsmann H. (2012): Geruch und biogene Korrosion – vermeiden und beheben. Korresp. Abw. 59(1): 16-19.
- Mauky E. (2012): Prozesssimulation für Biogasanlagen: Das DBFZ-Modell und seine Einsatzmöglichkeiten im praktischen Betrieb. Vortrag Fachtagung Betriebsführung und Instandhaltung regenerativer Energieanlagen (BIREA), 25.09.2012, Leipzig.

## Korrosion metallischer Werkstoffe in Biogasanlagen

- Pereira-Querol M. A., Seppänen L. (2012): Finding disturbances in on-farm biogas production. Work 41: 81-88.
- Pingel N. (2012): Schäden an Biogasanlagen. Vortrag EnergyDecentral, 14.11.2012, Hamburg.
- Schreier W. (2011): Untersuchung ausgewählter Biogasanlagen hinsichtlich Gasleckagen an den Fermentern, Nachgärern, abgedeckten Gärrestlagern und Rohrleitungen. Bericht-Nr. P66711 IR\_BGA Sachsen.
- Thömen A. (2012): Einsatz von Schweißverbindungen aus rostfreien Stählen unter korrosiven Bedingungen in einem Biogasfermenter. Diplomarbeit Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.
- VDI 2886:2003-09 Benchmarking in der Instandhaltung (2003). VDI-Verlag Düsseldorf.
- VDI 2893:2006-05 Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung (2003). VDI-Verlag Düsseldorf..
- VDI 2895:2012-12 Organisation der Instandhaltung – Instandhalten als Unternehmensaufgabe (2012). VDI-Verlag Düsseldorf.
- VDI-Richtlinie 3822: Schadensanalyse – Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse. (2011) VDI-Verlag, Düsseldorf.
- VDZ Verein deutscher Zementwerke e.V.: Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB14 (2010).
- von Laar C. (2014): Korrosionserscheinungen an Holzdecken. Biogas Journal | 2014 Sonderheft Anlagensicherheit 48-52.
- Wentzke M. (2015): Schadensreport Biogas-Blockheizkraftwerke. IG-Biogasmotoren e.V., Hamburg.
- Zemke P.E., Wood B.D., Rohleder C.R. (2010): Effect of solids removal from dairy manure feedstock on biogas production in anaerobic digesters. ASME Int. Conf. Energy Sustainability, ES Vol 2. 1093-1098.



# 7. ANHANG: FALLBEISPIELE

Im Folgenden sind einige Fallbeispiele aus dieser Untersuchung angeführt, die in Anlehnung an die VDI 3822 untersucht wurden.

## 7.1 Lochkorrosion an einem Substratrohr

Der Schaden ereignete sich an der Substratrohrleitung einer Nawaro-Biogasanlage mit Silomais und Corn-Cob-Mix (CCM) als Substrate. Der schadhafte Rohrabschnitt war waagrecht verlegt und stammt aus dem Abschnitt zwischen einer Substratpumpe eines Feststoffdosierers und dem Anmischbehälter. Der pH-Wert der Substratmischung lag bei pH 4. Das Rohr, aus einem nichtrostenden Stahl (V2A-Stahl) mit 150 mm Durchmesser und 5 mm Wandstärke, ist an der Schweißnaht, welche zwei Rohrabschnitte miteinander verbindet, nach ca. 6 Jahren Betriebszeit gerissen. Für die Schadensanalyse konnte der Abschnitt aus dem geschädigten Rohrleitungsbereich aus betrieblichen Gründen nicht zur Verfügung gestellt werden. Damit wurden die Untersuchungen auf ein abgeschnittenes Rohrstück mit ca. 96 cm Länge, welches vor der gerissenen Schweißnaht entnommen wurde, begrenzt.

Die Entschwefelung der Biogasanlage erfolgt mit Luft, wobei in den ersten 3 Betriebsjahren, je nach H<sub>2</sub>S-Gehalt, Eisen(II)chlorid eingesetzt wurde.

In der Schadensanalyse zeigt sich Lochkorrosion an der Innenseite des V2A-Stahlrohres, siehe dazu folgende Abbildung:

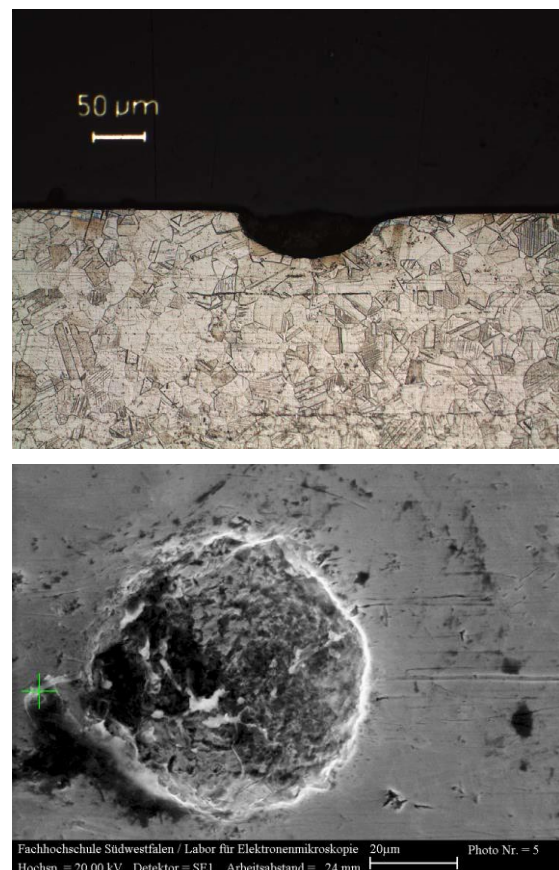


Abbildung 2: Metallographische Analyse des Querschliffs eines Substratrohrs mit Lochkorrosion (oben); REM-Aufnahme der Lochkorrosion (unten).

**Schadensursache.** Die Korrosionserscheinungen an der Innenoberfläche des Substratrohres weisen das typische

Erscheinungsbild der Chlorid-induzierten Lochkorrosion auf, die sich durch die gesamte Rohroberfläche ausgedehnt hat. Nichtrostende Stähle, wie der V2A-Stahl (WN: 1.4307/1), können in saurer, wässriger und sauerstoffhaltiger Umgebung sowie bei gleichzeitiger Anwesenheit von Chlorid-Ionen, Schädigungen durch Lochkorrosion erleiden. Durch den Einsatz von Eisen(II)Chlorid sowie die Förderung von wässrigem und saurem Substrat, waren die Bedingungen für das Eintreten von Lochkorrosion grundsätzlich erfüllt. Besonders die Schwachstellen wie z.B. Schweißverbindungen werden unter solchen Bedingungen verstärkt angegriffen, wodurch es schließlich zu dem Korrosionsschaden an der Schweißverbindung der Substratrohrlleitung gekommen ist.

**Schadensabhilfe.** Generell sollte der Kontakt der metallischen Bauelemente mit Chloridreichem Medium vermieden werden. Hierzu kommen als medienberührende Werkstoffe geeignete Kunststoffe in Frage aber auch die Platzierung der Dosierstelle ist von Bedeutung. So kann die Dosierung direkt in den Fermenter erfolgen, wenn gute Einmischbedingungen vorliegen und die unverdünnte Eisen(II)Chlorid-Lösung keinen direkten Kontakt mit metallischen Bauteilen aufweist. Weiterhin können auch andere Chlorid-freie Fällungsmittel, wie z.B. Eisenhydroxid, eingesetzt werden oder gar ein anderes Entschwefelungsverfahren, wie z.B. externe biologische Entschwefelung oder externe Filter.

### 7.2 Lochkorrosion an der Tauchhülle im Anmischbehälter

Der Schaden ereignete sich in derselben Biogasanlage wie unter Punkt 8.1 an der Tauchhülle, der zur Aufnahme eines Temperaturfühlers in einem Anmischbehälter dient. In diesem wird Substrat sowie Frischgülle homogenisiert und in den Hauptfermenter der Biogasanlage gepumpt. Die Tauchhülle, längsnahtgeschweißt aus hochlegiertem Stahl und einer Gesamtlänge von ca. 1,5 m, war senkrecht durch die Decke des Behälters nahe am Rand eingebaut, sodass sie in die Flüssigkeit des

Anmischbehälters hineinragte. Nach 6 Jahren Betrieb ist die Tauchhülle an der zur Decke hin zugewandten Seite abgebrochen. Die Tauchhülle ist verformt und zeigt einen senkrecht verlaufenden Bruch.

Besonders am Übergang zwischen Gas- und Flüssigphase findet sich Loch- und Muldenkorrosion, wie in folgender Abbildung zu sehen.

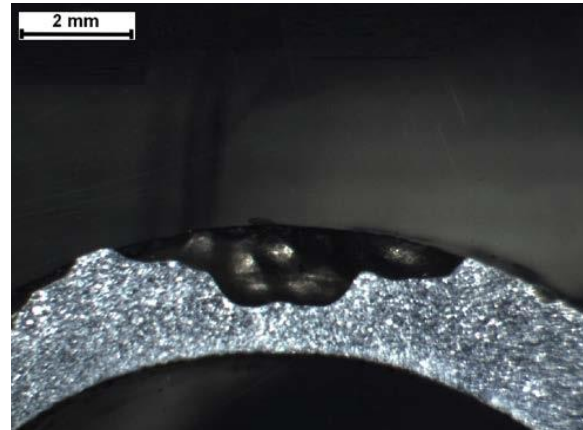


Abbildung 3: Muldenkorrosion an der Flüssigkeitsgrenze des Tauchrohres mit ca. 1,3 mm Tiefe.

**Schadensursache.** Als Schadensursache konnte mit Hilfe von REM/EDX-Untersuchungen Chlorid-induzierte Schwingungsrissskorrosion festgestellt werden. Aufgrund der vorhandenen Chloride wurde die Werkstoffoberfläche durch Lochkorrosion, vor allem im Bereich der Niveaulinie, angegriffen woraus sich regelrechte Mulden auf der Oberfläche ausbildeten. Durch die zusätzlich überlagerte mechanische Beanspruchung wurde dann eine Schwingungsrißkorrosion erzeugt, welche zum Bruch des Bauteils führte.

**Schadensabhilfe.** Ausgelöst wurde der Schaden, wie auch im ersten Fall, durch Chloridionen. Somit gelten die gleichen Maßnahmen wie in Punkt 7.1 beschrieben.

### 7.3 Verschleiß am Stator einer Exzentrerschneckenpumpe

Der Stator einer Exzentrerschneckenpumpe zur Substratförderung (1:1 Gemisch aus Silomais

und CCM) musste nach 6 - 8 Monaten Betrieb aufgrund des Zusammenbruchs der Saugleistung ausgetauscht werden. Visuell konnte bereits verstärkter Verschleiß in Form von Mulden und Riefen am Elastomerkern festgestellt werden, siehe folgende Abbildung.



Abbildung 4: Verschleiß am Elastomerkern einer Exzentrerschneckenpumpe.

**Schadensursache.** Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass es sich in dem vorliegenden Fall um abrasiven Verschleiß der Innenfläche des Elastomers handelt. Die Innenfläche des Stators ist mit Rissen und Mulden behaftet, die durch Hartkörper, wie z.B. Steine im Substrat, hervorgerufen wurden. Durch den erhöhten Verschleiß des Elastomerkerns kam es zum Abfall des Förderstromes und damit zum Ausfall des Stators.

**Schadensabhilfe.** Im Allgemeinen lässt sich die Standzeit der Exzentrerschneckenpumpen bzw. des Stators durch die richtige Auswahl an bestimmten Optimierungsparametern verlängern: Kleinere Überdeckung der Fördererlemente, kleinere Drehzahl, höhere Werkstoffhärte, kleinere Elastomerhärte.

### 7.4 Korrosion an der Welle eines Rührwerks

Nach dreijähriger Betriebszeit wurde an der Welle eines Paddelrührwerkes ein Korrosionsangriff festgestellt. Die Welle ist auf zwei Auflagestützen horizontal gelagert und überträgt das Drehmoment auf die Paddel zur Durchmischung der Fermenterflüssigkeit, die mit Fixierhülsen auf die Paddel aufgesetzt sind. Zwischen zwei benachbarten Fixierhülsen befindet sich ein ca. 10 mm

breiter Spalt, wo die Fermenterflüssigkeit direkt Kontakt zu der Oberfläche der Welle besitzt. An dieser Stelle wurde bei einer Revision der muldenartige Korrosionsangriff festgestellt, worauf die Welle vorsorglich ausgetauscht wurde. An baugleichen Rührwerken derselben Biogasanlage kam es an gleicher Stelle wiederholt zu Wellenbrüchen. Die Nawaro-Biogasanlage vergärt Energiepflanzen, die Rührzeit beträgt 24 h/Tag, die Entschwefelung erfolgt extern.

Die Werkstoffanalyse zeigte, dass es sich um kohlenstoffarmen, unlegierten Stahl handelt. Im Bereich des Spaltes ist deutlich Flächen- und Muldenkorrosion zu erkennen, siehe Abbildung.

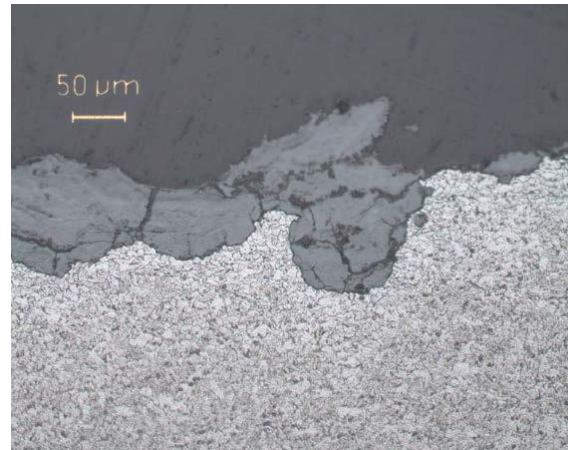


Abbildung 5: Ferritisch-perlitisches Gefüge mit Flächen- und Muldenkorrosion an der Außenoberfläche der Welle im Spaltbereich.

**Schadensursache.** Beim vorliegenden Schadensfall kann, aufgrund von anaeroben Bedingungen am Einsatzort und relativ starkem Korrosionsangriff (ca. 2 mm/a), von einer mikrobiell beeinflussten Korrosion (MIC) ausgegangen werden. Aufgrund von erhöhter Scherbelastung, bedingt durch den Rührvorgang, im Spaltbereich, wurde die Beschichtung abgetragen, worauf die ungeschützte Stahloberfläche im direkten Kontakt mit dem Gärsubstrat stand. Der Korrosionsangriff konnte dann durch Stoffwechselprodukte (Sulfide, Schwefelwasserstoff) der Mikroorganismen oder auch direkt durch diese verursacht worden sein.

**Schadensabhilfe.** Geometrisch bedingte Spalten sollten bei Bauelementen in korrosiven Umgebungen je nach Möglichkeit vermieden werden. In dem vorliegenden Fall



war dieser Spalt zwischen den Fixierhülsen der Rührwelle gegeben. Im Spalt kann es dabei zur Aufkonzentrierung von aggressiven Substanzen kommen, die einen Korrosionsangriff verstärken können. Im Spaltbereich wird auch die Biofilmbildung begünstigt, wo durch die Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen oder direkt durch diese ein Korrosionsangriff induziert werden kann. Werkstoffseitig kann auch eine Rührwelle aus höherlegiertem Stahl (nichtrostender Stahl) eingesetzt werden, welcher eine höhere Korrosionsbeständigkeit aufweist.

### 7.5 Korrosion an der Fermenterwand

Der Korrosionsschaden ereignete sich nach 6 Jahren Betriebszeit an der Innenwand eines Biogasfermenters. Die Behälterwand besteht im Bereich der Flüssigphase aus V2A-Stahl, im Gasraum dagegen aus dem höherwertigen V4A-Stahl. Die Schädigungen traten im Gasraum oberhalb der Niveaulinie zwischen Flüssig- und Gasphase des Fermenters auf. Dabei wurde nach der Entfernung des anhafteten gelblichen Belages, Korrosionsangriffe entlang der schwarzen Deckschicht gefunden, die in Form von Loch- und Muldenkorrosion aber auch teilweise in flächenartigem Korrosionsangriff vorlagen, siehe Abb. 6. Bei den gelblichen Ablagerungen handelt es sich um Schwefel, der im Zuge der biologischen Entschwefelung an der Oberfläche abgeschieden wird. Der Bereich unterhalb der Niveaulinie war im korrosionsfreien Zustand, siehe dazu die folgende Abbildung.



Abbildung 6: Fermenterwand im Gasraum nach Entfernung des Schwefelbelages.

Es handelt sich dabei um eine Nawaro-Biogasanlage mit Maissilage, Grassilage und Rindergülle. Die Entschwefelung erfolgte durch Luftzufuhr. Die geschädigte Fermenterwand wurde aus einem nichtrostenden Stahl Nr. 1.4571 gefertigt.

Die mit schwarzer Deckschicht belegte Fermenterwand weist starke Loch- und Muldenkorrosion sowie flächigen Korrosionsangriff mit Wandverlust bis zu 1,06 mm auf, siehe folgende Abbildung. Eisensulfid wurde nachgewiesen.

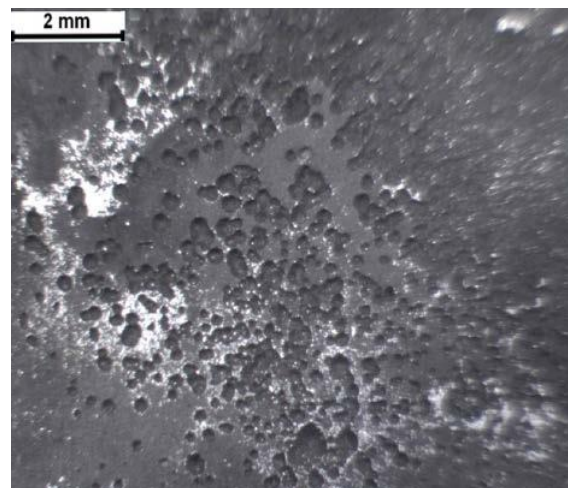


Abbildung 7: Oberfläche der Fermenterwand mit starker Loch-, Mulden- und Flächenkorrosion.

**Schadensursache.** Die Untersuchungen zeigen, dass es sich bei diesem Schadensfall aller Wahrscheinlichkeit nach um eine mikrobiell induzierte Korrosion handelt. Dabei wird im Zuge der biologischen Entschwefelung durch Mikroorganismen und in Anwesenheit von Sauerstoff Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel und Sulfat umgesetzt. Die gelblichen Schwefelablagerungen im

Gasraum des Fermenters belegen dieses. Im wässrigen Milieu, bedingt durch die wasserdampfgesättigte Gasatmosphäre, kann dann Schwefelsäure entstehen, welche die Werkstoffoberfläche direkt angreift. Weiterhin zeigt die EDX-Analyse der schwarzen Deckschicht einen hohen Anteil an Schwefel, welcher durch den zusätzlich durchgeführten Sulfidtest als Eisensulfid identifiziert werden konnte. Durch die sulfidische Decksicht wird die Ausbildung einer oxidischen Passivschicht erschwert, was die Metallauflösung zusätzlich fördert. Die

Anwesenheit von Sauerstoff begünstigte die Korrosion.

**Schadensabhilfe.** Grundsätzlich sollte der Eintrag von Luftsauerstoff in den Gasraum des Fermenters sachgerecht durchgeführt werden. Die durchgeführte Schadensanalyse zeigt, dass durch die Anwesenheit des Sauerstoffs die Korrosion der Werkstoffe begünstigt bzw. erst eingeleitet wird. Alternativ können andere Entschwefelungsverfahren eingesetzt werden, wie z.B. externe biologische Entschwefelung, Biowäscher, Aktivkohle u.a.



## AUTOREN

Projektpartner und Autoren dieses Leitfadens in alphabetischer Reihenfolge:

Dipl.-Ing. M. Sc. Diana Andrade<sup>2</sup>, Dr. Manfred Bischoff<sup>4</sup>, Prof. Dr.-Ing. Ralf Feser<sup>3</sup>,  
Alexander Krebs B.Sc<sup>3</sup>, Dr. Jan Küver<sup>5</sup>, Dr. Fabian Lichti<sup>2</sup>, Dipl.-Biol. Markko Remesch<sup>5</sup>,  
Dr. Dirk Wagner<sup>1</sup>, Dr. Andreas Weber<sup>2</sup>

1 APMA Services GmbH (APMA)  
Wannbornstraße 4, 66125 Saarbrücken



2 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft(LfL)  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT)  
Wirtschaftsdüngermanagement und Biogastechnologie  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising



3 Fachhochschule Südwestfalen - Labor für Korrosionsschutztechnik  
(SWF-KST)  
Frauenstuhlweg 31, 58644 Iserlohn



4 Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA)  
Nord-West  
Institut für Boden und Umwelt  
Jägerstrasse 23-27, 26121 Oldenburg



5 Amtliche Materialprüfanstalt der freien Hansestadt Bremen (MPA-IWT)  
Geschäftsbereich der Stiftung Institut für Werkstofftechnik  
Paul-Feller-Straße 1, 28199 Bremen



**APMA Services GmbH (APMA)**

Wannbornstraße 4, 66125 Saarbrücken

Tel: 06897 - 9245638 Fax: 06897 - 9650463

Mail: [service@apma.de](mailto:service@apma.de)

Internet : [www.apma.de](http://www.apma.de)