

**KAS**

---

**KOMMISSION FÜR  
ANLAGENSICHERHEIT**

beim

Bundesministerium für

Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

---

**Merkblatt**

**Sicherheit in Biogasanlagen**

erarbeitet vom:

Ausschuss Ereignisauswertung (AS-ER)

Ausschuss Erfahrungsberichte (AS-EB)

**KAS-12**

---



**Ausschuss Ereignisauswertung (AS-ER)**  
**Ausschuss Erfahrungsberichte (AS-EB)**

der Kommission für  
Anlagensicherheit (KAS)

**Merkblatt**

Sicherheit in Biogasanlagen

im Juni 2009 von der KAS verabschiedet

**KAS-12**



Die Kommission für Anlagensicherheit (KAS) ist ein nach § 51a Bundes-Immissionsschutzgesetz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gebildetes Gremium.

Ihre Geschäftsstelle ist bei der GFI Umwelt - Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH in Bonn eingerichtet.

---

**Anmerkung:**

Dieses Merkblatt wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen der Verfasser und der Auftraggeber keine Haftung für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen der Anwendung können daher keine Ansprüche gegenüber dem Verfasser und / oder dem Auftraggeber abgeleitet werden.

Dieses Merkblatt darf für nicht-kommerzielle Zwecke vervielfältigt werden. Der Auftraggeber und der Verfasser übernehmen keine Haftung für Fehler im Zusammenhang mit der Vervielfältigung oder mit Reproduktionsexemplaren.



# ***INHALT***

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Anwendungsbereich</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
<b>3.1</b>	<b>Einsatzstoffe und Reaktionsprodukte, gefährliche Eigenschaften</b>	<b>2</b>
<b>3.2</b>	<b>Wesentliche Anforderungen aus dem Regelwerk</b>	<b>6</b>
<b>3.3</b>	<b>Festgestellte Defizite und Mängel</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Defizite / Störungsursachen und Maßnahmen</b>	<b>9</b>
Anhang 1	Ereignisberichte	17
Anhang 2	Wesentliche Gesetze, Verordnungen und Regelwerke	25
Anhang 3:	Weiterführende Literatur	29

# 1 Einleitung

Die Kommission für Anlagensicherheit (KAS) gewann durch die Arbeiten ihrer Ausschüsse Ereignisauswertung (AS-ER) und Erfahrungsberichte (AS-EB) den Eindruck, dass es bei Biogasanlagen häufig Defizite in der Auslegung, der Errichtung und dem Betrieb gibt. Dies lässt sich durch eine Häufung von Ereignismeldungen und von Mängelfeststellungen aus den Erfahrungsberichten von Sachverständigen belegen.

Dieses Merkblatt behandelt die im Zusammenhang mit dem Betrieb von Biogasanlagen auftretenden Gefahrenschwerpunkte und gibt in Anhängen eine Übersicht über zur Verfügung stehende Erkenntnisquellen und Regelwerke.

Diese Übersicht erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Zur Illustration werden

- eine Auswahl der festgestellten Mängel im Hinblick auf ihre Schwere und Häufigkeit und
- aussagekräftige beispielhafte Ereignisse aus der Praxis

aufgezeigt.

Das Merkblatt richtet sich an Betreiber und Planer von Biogasanlagen, sowie an Überwacher, Einsatzkräfte und Sachverständige. Es soll einen Einstieg in die Thematik „Sicherheit von Biogasanlagen“ in komprimierter und allgemeiner Form bieten und insbesondere bzgl. der damit verbundenen sicherheitstechnischen Problemstellungen sensibilisieren, wobei die aufgeführten Beispiele nicht den Anspruch auf Vollständigkeit bzw. Verbindlichkeit haben. Anforderungen zum Errichten und Betrieb solcher Anlagen sind den entsprechenden Regelwerken, Leitfäden und Handbüchern (z. B. der Bundesländer, von Verbänden und von Berufsgenossenschaften) zu entnehmen.

## 2 Anwendungsbereich

Als Quelle für die Energieversorgung werden zunehmend Biogasanlagen genutzt. Dabei kann grob unterschieden werden in Anlagen, die Biogas erzeugen aus

- nachwachsenden Rohstoffen,
- biologischen Abfallstoffen aus der Landwirtschaft,
- Abfällen zur biologischen Behandlung im industriellen Maßstab.



Abb.: Luftbildaufnahme einer Biogasanlage

Konstruktion, Montage (Errichtung), Betrieb und Instandhaltung von Biogasanlagen und Nebeneinrichtungen werden durch die gehandhabten Stoffe und Prozessparameter bestimmt. Eine Anlagenabgrenzung gestaltet sich auf Grund ihrer Komplexität und Vielzahl der Varianten als aufwändig und wird in diesem Merkblatt nicht im Detail berücksichtigt. Dieses Merkblatt will nicht auf Details von Anlagenkonfigurationen eingehen, sondern in allgemein gehaltener Form Gefahrenschwerpunkte aufzeigen (siehe Einleitung).

### **3 Grundlagen**

#### **3.1 Einsatzstoffe und Reaktionsprodukte, gefährliche Eigenschaften**

Biogas ist in den letzten Jahren zu einer bedeutenden Quelle regenerativer Energie geworden. Es handelt sich dabei um ein biotechnisch erzeugtes Gas, das bei der Zersetzung unterschiedlicher Biomassen in einer sauerstoffarmen Umgebung entsteht.

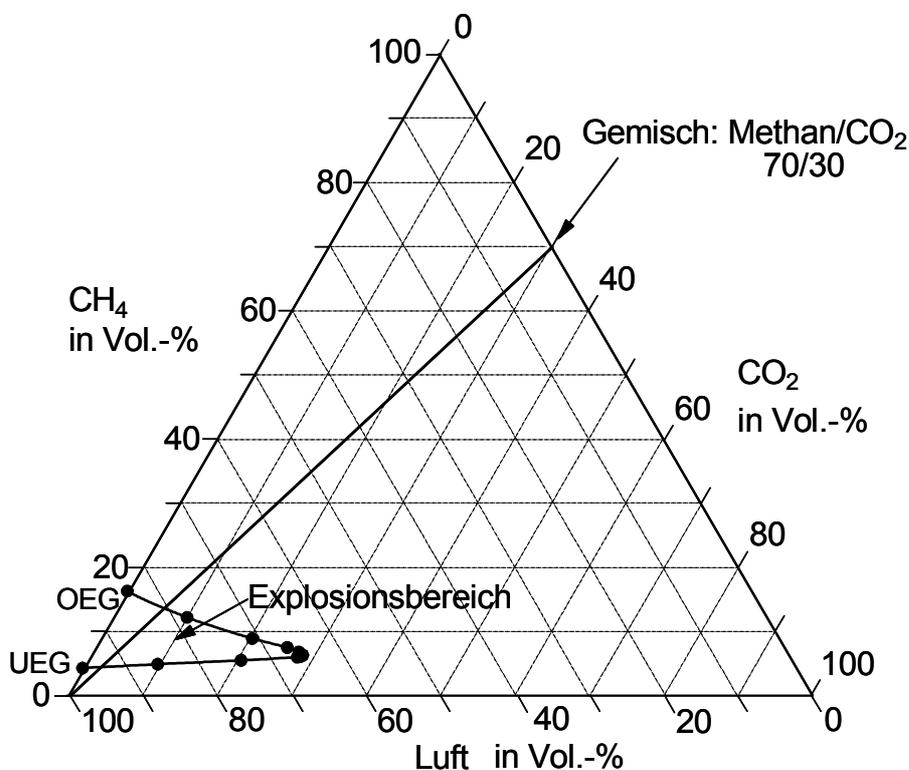
Die Zusammensetzung hängt von den Eingangsstoffen und dem Erzeugungsprozess ab. Typischerweise besteht Biogas aus folgenden Komponenten:

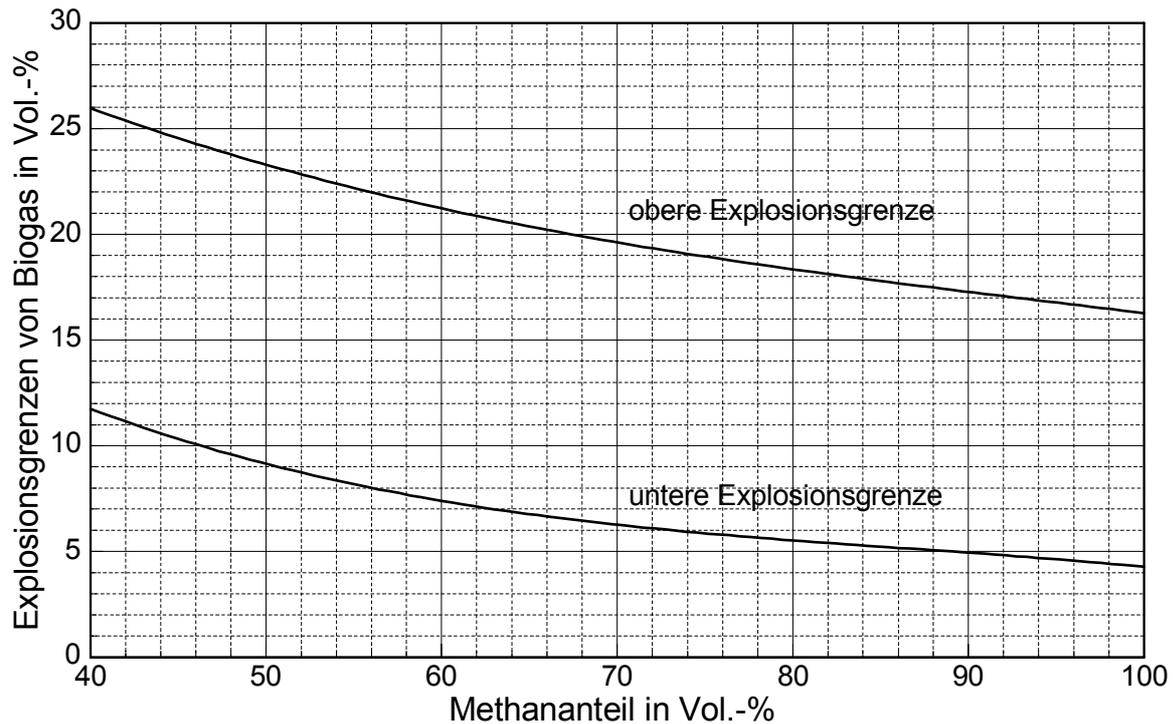
- Methan (45 Vol.-% bis 75 Vol.-%),
- Kohlendioxid (25 Vol.-% bis 55 Vol.-%),
- Wasserdampf (0 Vol.-% bis 12 Vol.-%)
- Stickstoff (0 Vol.-% bis 5 Vol.-%)
- Sauerstoff (0 Vol.-% bis 2 Vol.-%)

- Schwefelwasserstoff (0 Vol.-% bis 0,5 Vol.-%),  
Spuren von Ammoniak, Wasserstoff und höheren Kohlenwasserstoffen.

Wie aus der Zusammensetzung ersichtlich, ist Biogas – trotz der positiv belegten Bezeichnung „Bio“ – ein Gas mit gefährlichen Eigenschaften, die für einen sicheren Betrieb einer Biogasanlage unbedingt zu beachten sind.

**Methan** ist ein brennbares Gas (hochentzündlich), das im Gemisch mit Luft eine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann. Der Explosionsbereich liegt zwischen 4,4 Vol.-% und 17,0 Vol.-% Methananteil in Luft. Daher sind explosionsschutzrechtliche Anforderungen (wie z. B. Ausweisung von Explosionsschutzzonen in der Anlage, Einsatz von für die entsprechende Zone zugelassenen Betriebsmitteln, Anfertigen eines Explosionsschutzdokuments) einzuhalten. Da Biogas im Wesentlichen ein Gemisch aus Methan und Kohlendioxid ist, variiert der Explosionsbereich je nach Zusammensetzung. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Explosionsbereich eines Biogases in Form eines Dreiecksdiagramms zur allgemeinen Veranschaulichung (beispielhaft sind hier die Explosionsgrenzen eines 70/30-Methan / CO<sub>2</sub>-Gemisches angegeben) sowie den Verlauf der unteren und oberen Explosionsgrenze bei Atmosphärendruck in Abhängigkeit vom Methananteil.





Diese Abhängigkeit ist wesentlich für die Betrachtung,

- in welchen Bereichen einer Anlage mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist
- welche Auswirkung mögliche Störungen haben und
- welche Schutzmaßnahmen geeignet sind.

Wenn in Biogasanlagen, im Gegensatz zum ausschließlichen Einsatz nachwachsender Rohstoffe, Bioabfälle oder tierische Nebenprodukte (z. B. Proteinabfälle aus Schlachtbetrieben, Gülle / Festmist, Rapspresskuchen, Reststoffe aus der Hefeferzeugung) eingesetzt werden, ist erfahrungsgemäß verstärkt mit der Bildung von Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) zu rechnen. Dies ist besonders bei der Substrateinbringung (Vorgrube, Mischbehälter usw.) sowie bei Lagern von Einsatzstoffen oder Gärresten der Fall. Durch entsprechende chemische Reaktionen (z. B. Säure- / Base-Reaktionen) kann bei Zugabe von sauren Bestandteilen Schwefelwasserstoff in gefährlicher Menge entstehen. Daher ist für Betreiber von Biogasanlagen die Kenntnis über die Art und Zusammensetzung der Einsatzstoffe sowie den pH-Wert für die Beurteilung möglicher Gefährdungen und die Festlegung entsprechender Schutzmaßnahmen wichtig.

**Schwefelwasserstoff** ist ebenfalls ein brennbares Gas (hochentzündlich). Die untere Explosionsgrenze liegt bei 4,3 Vol.-%, die obere beträgt 45,5 Vol.-% H<sub>2</sub>S-Anteil in Luft. Besonders zu beachten ist aber die Giftigkeit dieses Gases. H<sub>2</sub>S bewirkt schon bei extrem niedrigen Konzentrationen (ab 0,02 ppm, entsprechend ml/m<sup>3</sup>) einen typischen Geruch nach faulen Eiern. Ab ca. 100 ppm wird der Geruchssinn betäubt, wodurch höhere, gefährliche Konzentrationen nicht mehr wahrgenommen werden. Schon Konzentrationen kleiner 100 ppm können lebensgefährliche Vergiftungserscheinungen beim Einatmen über mehrere Stunden hervorrufen. Bei ca. 500 ppm treten diese schon nach 30 min. ein, bei ca. 5000 ppm tritt eine tödliche Wirkung (hervorgerufen durch Atemstörungen, Krämpfe, Bewusstlosigkeit) schon nach wenigen Sekunden ein. Zum Vergleich sei hier erwähnt, dass die maximale Arbeitsplatzkonzentration 5 ppm<sup>1</sup> nicht überschreiten darf.

Biogas ist, abhängig von seiner Zusammensetzung, gemäß Zubereitungsrichtlinie 1999/45/EG einzustufen. (z. B. als „Giftige Zubereitung (T; R23)“ sofern der Gehalt an Schwefelwasserstoff zwischen 0,2 Vol.-% und 1 Vol.-% H<sub>2</sub>S liegt).

Es ist anhand der Mengen und Stoffeigenschaften zu prüfen, ob die StörfallIV anzuwenden ist.

Der Vollständigkeit halber sei noch bemerkt, dass es sich bei den weiteren Biogas-Komponenten **Kohlendioxid** und **Stickstoff** um erstickend wirkende Gase handelt.

Somit ergeben sich hauptsächlich folgende Gefahren / Auswirkungen:

- Lebens- und Gesundheitsgefahr durch Ersticken oder Vergiften, z. B. durch Einatmen von Kohlendioxid oder Schwefelwasserstoff in Schächten und Behältern. Beide Gase sind schwerer als Luft.
- Biogas kann abhängig von seiner Zusammensetzung Leichtgas-, Schwergas- oder dichteneutrales Verhalten zeigen.
- Explosion / Verpuffung durch explosionsfähige (zündfähige) Biogas / Luft-Gemische
- Entstehung von Bränden
- Korrosion durch aggressive Gasbestandteile wie Ammoniak oder Schwefelwasserstoff

---

<sup>1</sup> Quelle: Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK- und BAT-Werte-Liste 2008.

- Wassergefährdung durch flüssige Bestandteile
- Luftverunreinigungen durch gasförmige Emissionen

Die Ermittlung und Bewertung dieser Gefahren im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung (gemäß Arbeitsschutzgesetz, Gefahrstoff-, Biostoff- und Betriebssicherheitsverordnung) und die Festlegung entsprechender Schutzmaßnahmen sind wesentliche Eckpfeiler für einen sicheren Betrieb solcher Anlagen. Dies gilt nicht nur für den normalen Betrieb (einschließlich An- und Abfahren), sondern auch für Wartungs- und Reparaturmaßnahmen sowie die Auswahl der Werkstoffe im Hinblick auf mechanische, chemische und thermische Beständigkeit. So ist z. B. bei Werkstoffpaarungen darauf zu achten, dass elektrochemische Korrosion vermieden wird.

**Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass Beschaffenheit und Betrieb der Anlagen dem Stand der Technik entsprechen sowie die Freisetzung gefährlicher Gase in die Umgebung verhindert wird.**

### **3.2 Wesentliche Anforderungen aus dem Regelwerk**

Aus unterschiedlichen Regelwerken aus verschiedenen Rechtsbereichen, wie

- Arbeitssicherheitsrecht (insb. Betriebssicherheitsverordnung),
- Baurecht,
- Chemikalienrecht (insb. Gefahrstoffverordnung),
- Geräte- und Produktsicherheitsrecht,
- Immissionsschutzrecht,
- Abfallrecht,
- Wasserrecht (Gewässerschutz)

resultieren die an Biogasanlagen zu stellenden Anforderungen. Im Anhang 2 sind wesentliche rechtliche und technische Regelwerke aufgeführt.

### 3.3 Festgestellte Defizite und Mängel<sup>2</sup>

Bei der Mehrzahl (ca. 80 %) der von Sachverständigen nach §29a BImSchG geprüften Biogasanlagen wurden bedeutsame Mängel festgestellt. Die häufigsten Schwachpunkte lagen im Bereich Gasexplosionsschutz und Auslegung der Komponenten, weitere Schwerpunkte waren Mängel bei der Gestaltung der Flucht- und Rettungswege.

Im Einzelnen wurden u. a. folgende Mängel aufgeführt:

Technische Mängel:

- Falsche Auslegung einzelner Komponenten, z. B. unzureichende Festigkeitsprüfungen von Rohrleitungen und Gasspeicherfolien, mangelhafte Dichtungen, unzulängliche Überdruckabsicherungen, nicht geeignete Flammendurchschlagsicherungen.
- Netzunabhängige Notstromversorgung für die Sicherheitsketten, betriebliche Anzeigen, Überwachungseinrichtungen, Alarmierung und Protokollierung fehlen.
- Regel- und Begrenzungseinrichtungen sind hinsichtlich der Sensoren, Signalverarbeitung und Aktoren nicht getrennt.
- Not-Aus-System fehlt.
- Fehlende bzw. falsch positionierte Notfackel.
- Verwendung ungeeigneter Einsatzstoffe, für die die Anlage nicht ausgelegt ist (z. B. Abfälle mit gefährlichen Eigenschaften).
- Fehlende Blitzschutzanlage und mangelhafter Potentialausgleich.
- Unvollständige oder fehlende Ausrüstung der Anlagen mit explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln sowie fehlende Prüfungen.
- Unzureichende Gasdichtheit zwischen Ex-Bereichen und Nicht-Ex-Bereichen.
- Fehlende Ex-Schutz-Maßnahmen im Bereich Vorgrube.
- Gaswarnanlage fehlt oder ist mangelhaft.

---

<sup>2</sup> vgl. hierzu Darstellung in den Berichten KAS-3, KAS-9, KAS-11

#### Organisatorische Mängel:

- Unzureichende / fehlerhafte bzw. nicht dokumentierte Ex-Zoneneinteilung.
- Nichteinhaltung des erforderlichen Schutzabstandes zwischen Gasspeicher und Blockheizkraftwerk (BHKW).
- Einstufung der PLT-Einrichtungen gemäß VDI / VDE 2180, Ursache / Wirkungs-Diagramm (PLT-Funktionsmatrix) fehlt.
- Starkstromanlagen sowie Leitungstrassen der Systeme sind nicht räumlich oder mindestens lichtbogensicher von den PLT-Anlagen getrennt.
- Systemanalytische Gefahrenanalyse durch Planer nur rudimentär durchgeführt.
- Brandschutz unzureichend (fehlende Abstände, Brandmelder ohne Funktion).
- Löschwasserversorgung nicht ausreichend.
- Unzureichende Unterweisung der Beschäftigten.
- Fehlende Warn- und Hinweisschilder.
- Sicherheitsrelevante Störungen werden nicht an eine ständig besetzte Stelle weitergeleitet.

#### Mängel / Empfehlungen bzgl. Dokumentation:

- Unvollständige oder fehlende Nachweise zur Lüftungsanlage (BHKW).
- Prüf- und Wartungszustand nicht dokumentiert.
- Keine Dichtheitsprüfungen bzw. entsprechende Nachweise.
- Nachweise über Eignung und Prüfung von Anlagenkomponenten fehlen.
- Fehlende bzw. nicht mit der zuständigen Behörde abgestimmte Feuerwehrpläne.
- Unzureichende / nicht aktuelle Anlagendokumentation (Betriebshandbücher bzw. -anweisungen, Nachweise und Bescheinigungen zu Anlagenkomponenten).

## 4 Defizite / Störungsursachen und Maßnahmen

Die in der nachstehenden Tabelle enthaltenen Defizite / Störungsursachen und Maßnahmen / Hinweise ergeben sich aus den Auswertungen der Erfahrungsberichte der Sachverständigen nach § 29a BImSchG. Die vorgeschlagenen beispielhaften Maßnahmen richten sich nach der jeweils eingesetzten Technik der geprüften Anlagen und geben die Feststellungen / Festlegungen der jeweiligen Sachverständigen wieder. Sie können nicht ohne weiteres auf alle Anlagen- und Verfahrensalternativen übertragen werden. Diese Gegenüberstellung ist nur als beispielhafte Zusammenstellung ohne Anspruch auf verbindlichen Charakter zu verstehen. Sie soll im Wesentlichen bzgl. der Frage sensibilisieren: „Was ist zu beachten, welche Fehler werden des öfteren gemacht?“

Defizite / Störungsursachen	Maßnahmen / Hinweise
<b>Fermenter</b>	
Verwendung ungeeigneter elektrischer Betriebsmittel, z. B. Klemmkasten, Druckschalter, Füllstandsgeber, Handlampe für die Beleuchtung der Schaugläser.	Die Geräte im Bereich einer Explosionsschutzzone sind zu ersetzen durch zertifizierte Geräte nach RL 94/9/EG (bzw. gemäß 11. GPSGV [Explosionsschutzverordnung]) oder in eigensicheren Stromkreisen zu betreiben (nach RL 94/9/EG zertifizierter Trennschaltverstärker erforderlich).
Für die Füllstandsmessung werden oft Drucksensoren verwendet, die nicht für den Einsatz in der ausgewiesenen Zone geeignet sind und die beim Absinken des Füllstands nicht stromlos geschaltet werden.	Sensoren, die nicht für die entsprechende Explosionsschutzzone zugelassen, aber unter der Flüssigkeitsoberfläche eingebaut sind, müssen beim Entleeren des Fermenters bzw. beim Absenken des Füllstands zur Vermeidung einer Explosionsgefahr stromlos geschaltet werden, z. B. durch geeignete Schwimmerschalter. Gleiches gilt z. B. bei der Verwendung nicht explosionsgeschützter Tauchmotoren für Rührwerke.
Unzureichende Tragwerkskonstruktion.	Auf ausreichende Statik achten, ggf. Statik von unabhängiger Stelle überprüfen lassen (siehe. auch entsprechende Ereignisse in Anh. 1).
<b>BHKW / Maschinenhaus / Gaswarnanlage</b>	
Fehlende Nachweise zu Lüftungsanlagen.	Bereits beim Bau der Anlage auf die vollständige Dokumentation achten.
Der BHKW-Aufstellungsraum ist in einigen Fällen nicht mit einer Gaswarnanlage ausgerüstet.	Es ist eine Gaswarnanlage zu installieren, die bei Überschreiten eines unteren Schwellenwertes (20 % UEG) einen Alarm auslöst und eine mechanische Entlüftung mit mindestens 5-fachem Luftwechsel in Betrieb nimmt. Bei Überschreiten eines oberen Schwellenwertes (40 % UEG) muss die Gaszufuhr zum Gasmotoraufstellungsraum durch Ansteuern

Defizite / Störungsursachen	Maßnahmen / Hinweise
	<p>einer außerhalb dieses Raumes befindlichen Absperrrichtung automatisch unterbunden werden, die mechanische Entlüftung muss weiter laufen.</p> <p>Es sind nur Gaswarnanlagen mit Konformitätserklärung zu installieren, die für diesen Verwendungszweck geeignet sind (z. B. Zulassung für den Einsatz in Zone 2), auch bei Energieausfall ihre Aufgabe erfüllen (z. B. durch Anschluss an ein Not-Strom-Aggregat) und entsprechend ihrer Schutzaufgabe zuverlässig sind.</p> <p>Die Gaswarnanlage ist mit einer optischen und akustischen Alarmgebung (Warnleuchte und Warnhupe) außerhalb des BHKW-Raumes auszurüsten.</p> <p>Die Gaswarnanlagen sind regelmäßig zu warten und zu kalibrieren.</p> <p>Alternativ hierzu ist eine zuverlässige Überwachung einer ständigen technischen Be- und Entlüftung zu installieren.</p>
Die Sensoren der Gaswarnanlage sind oft an den falschen Stellen montiert.	Die Sensoren sind in der Nähe möglicher Leckagestellen zu installieren. Sie sollen sich jedoch nicht im direkten Luftstrom der Lüftungsanlage befinden, da dadurch der Hauptalarm ggf. verhindert wird.
Die verwendeten Gaswarnsysteme und Flammendurchschlagsicherungen sowie das Gasgebläse verfügen oft nicht über eine Konformitätserklärung, die eine Eignung im Sinne der RL 94/9/EG bescheinigt.	Geräte in Ex-Zonen müssen nach RL 94/9/EG zertifiziert sein oder es müssen andere Maßnahmen getroffen werden, damit sie nicht selbst zur Zündquelle werden (z. B. eigensichere Stromkreise).
Die vor den Gasmotoren installierten Messgeber bzw. die Druckschalter am Eingang der Gasregelstrecken sind in einigen Fällen nicht für den Betrieb in Zone 2 nach RL 94/9/EG geeignet.	
Heiß werdende Teile sind zu nah an brennbaren Gebäudeteilen verlegt.	Bei der Installation heiß werdender Teile im Bereich brennbarer Gebäudeteilen (z. B. Abgasrohre an / unter Holzdecken oder Balkenkonstruktionen) ist ein Mindestabstand einzuhalten, evtl. ist ein Hitzeschutz anzubringen.
Der Explosionsschutz im Zusammenhang mit den Abgasturboladern ist oft nicht gewährleistet.	Beim BHKW ist darauf zu achten, dass nur geeignete Abgasturbolader verwendet werden.
Fehlende automatische Brandmelder.	Automatische Brandmelder sind einzubauen.
Unvollständiger Potentialausgleich.	Der Potentialausgleich ist unter Beachtung der elektrotechnischen Vorschriften zu vervollständigen.
In einigen Fällen kein gasdichter Verschluss der Durchführungen vom Aggregate- zum Schaltanlagenraum (Explosionsschutzkonzept).	Das Eindringen von Biogas in den Schaltanlagenraum muss verhindert werden. Alle Durchführungen zu oder von Räumen, die Anlagenteile enthalten, die mit Biogas beaufschlagt sind, sind gasdicht auszuführen.

<b>Defizite / Störungsursachen</b>	<b>Maßnahmen / Hinweise</b>
<b>Fackel</b>	
Oft fehlende Notfackel.	Bei Ausfall des BHKW ist die Entsorgung (Verbrennung) des produzierten Biogases mittels einer Fackel sicherzustellen. Die Fackel muss auch bei Energieausfall betriebsbereit sein (z. B. Stützflamme, Notstromversorgung).
Für vorhandene Notfackelanlagen fehlt in vielen Fällen die Dokumentation.	Auf die vollständige Dokumentation bereits beim Bau der Anlage achten.
Druckschalter sind in einigen Fällen nicht für den Betrieb in Zone 2 (Inneres der Rohrleitung) geeignet.	Die Druckschalter im Inneren der Rohrleitung müssen (falls eine Zone vorliegt) nach RL 94/9/EG zertifiziert sein oder sind in eigensicheren Stromkreisen zu betreiben (nach RL 94/9/EG zertifizierter Trennschaltverstärker erforderlich).
In der Gaszuführung zum Brenner installierte Flammendurchschlagsicherungen sind oft nicht geeignet (flammendurchschlagsicher) gegenüber einem Brand auf der Flammensperre (Kurzzeit- oder Dauerbrand).	Es ist nachzuweisen, dass ein Brand auf der Flammensperre in der Gaszuführung zum Brenner nicht auftreten kann oder die Flammensperre hierfür ausgelegt ist. Für die Flammendurchschlagsicherung sind die Konformitätserklärung nach RL 94/9/EG und die Betriebs- und Wartungsanleitung an den Betreiber der BGA zu übergeben.
<b>Schlamm- / Substrat-Lagerung</b>	
Ex-Schutz-Maßnahmen im Bereich der Vorgrube oft nicht berücksichtigt.	Im Bereich der Vorgrube ist eine Betrachtung zur Explosionsgefahr durchzuführen und die resultierenden Maßnahmen (z. B. Ex.-Zonenausweisung) sind zu berücksichtigen.
Austritt giftiger Gase über den offen stehenden Grubendeckel.	Im gegebenen Fall ist die Grube geschlossen zu halten.
Schlammgrube nicht gasdicht abgeschottet.	Sofern Schlammgruben nicht gasdicht abgeschottet werden können, sind die Gase durch eine gesicherte Lüftung gefahrlos zu beseitigen.
<b>Biogasanalysator</b>	
Biogasanalysatoren, die über die Probenahmeleitung in Verbindung zum Inneren des Gassystems stehen, können als elektrisches Gerät zur Zündquelle werden. Es fehlt in einigen Fällen der Nachweis, dass insbesondere im Bereich der Messzellen das System als Zündquelle im Sinne der RL 94/9/EG ausgeschlossen werden kann.	Die Messzellen sind durch nach RL 94/9/EG zertifizierte Sensoren zu ersetzen oder in eigensicheren Stromkreisen zu betreiben (nach RL 94/9/EG zertifizierter Trennschaltverstärker erforderlich) oder das Analysesystem ist durch eine Flammendurchschlagssicherung in der Ansaugleitung vom Biogassystem explosionsschutztechnisch zu entkoppeln.
Die Anbindung der Probenahmeleitung ist z. T. mangelhaft (herumhängende Schläuche mit Verbindung zur Atmosphäre).	Schutz der Probenahmeleitungen vor mechanischen Beschädigungen, dichte Ausführung.
<b>Gasführende Systeme, Gasspeicher</b>	
Oft keine ausreichende Festlegung der Ex-Zonen um den Gasspeicher.	Eine vollständige Gefährdungsbeurteilung zur Explosionsgefahr ist durchzuführen.

<b>Defizite / Störungsursachen</b>	<b>Maßnahmen / Hinweise</b>
Undichtigkeiten am Gassack oder an der Gaseinspeisung.	Unbedingt auf Dichtheit achten, geeignete Materialien verwenden. Die Errichtung sollte überwacht werden. Vor Inbetriebnahme auf Dichtheit prüfen.
Ungenügende Druckfestigkeit der Gasleitungen.	Auf genügende Druckfestigkeit achten.
<b>Explosionsgefährdete Bereiche, Brand- und Explosionsschutz</b>	
Erdungsmaßnahmen im Rahmen des Potentialausgleiches unzureichend oder unvollständig ausgeführt.	Der Potentialausgleich ist komplett durchzuführen. Da die meisten Einrichtungen, Armaturen und Flanschverbindungen im Freien angeordnet und damit den Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, besteht die Gefahr der Außenkorrosion. Zusätzlich sind auch korrosive Einflüsse des Biogases zu berücksichtigen. Daher ist auf die Erdungsmaßnahmen besonders zu achten, ansonsten ist eine Zündquelle durch elektrostatische Entladungen nicht auszuschließen. Werden Gasleitungen aus Normal-PE, d. h. isolierend und nicht ableitfähig, in Kombination mit metallischen Armaturen eingesetzt, so bildet diese Materialpaarung ein kapazitives Potential und erfordert somit besondere Schutzmaßnahmen (z. B. Erdung und Potentialausgleich). Eine spezielle Betrachtung erfordern alle lackierten Armaturen wie Absperreinrichtungen, Deflagrationssicherungen u. ä.
Fehlende Erdung von Absperrklappen als Zwischenflanscharmaturen (diese Armaturen sind durch O-Ringe gegenüber den beidseitigen Flanschen isoliert).	Auf separate Erdung elektrisch isolierter Armaturen achten.
Fehlende Eignungsnachweise von Betriebsmitteln für den Einsatz in festgelegten Zonen.	Auf die vollständige Dokumentation (Konformitätsbescheinigungen gemäß RL 94/9/EG) bereits beim Bau der Anlage achten.
Unzureichende Betriebsanweisungen hinsichtlich Explosionsschutz / Anlagensicherheit.	Maßnahmen zum Explosionsschutz, Brandschutz und sicheren Betrieb in Betriebsanweisungen aufnehmen.
Der erforderliche Schutzabstand zwischen Gasspeicher und BHKW-Container von 6 m ist in einigen Fällen nicht eingehalten.	Architekten müssen neben dem Baurecht auch das technische Gesetz- und Regelwerk beachten oder die technischen Anlagenplaner stärker in die Planung einbeziehen.
Erforderliche Handfeuerlöscher sind z. T. nicht vorhanden.	Es ist vor dem Bau der Anlage ein Brandschutzkonzept zu erstellen und mit der zuständigen Feuerwehr abzustimmen.
Explosionsschutzdokument / Ex-Zonenplan fehlt oder verweist auf Anforderungen in Vorschriften, beinhaltet aber keine eigene Betrachtung der speziellen Anlage.	Es ist ein Explosionsschutzdokument gemäß § 6 BetrSichV jeweils speziell für die Anlage anzufertigen, die Ergebnisse sind umzusetzen. Ex-Zonen (beispielhafte Einstufung von Anlagenteilen einer Biogasanlage):
Zündquellen werden nicht ausreichend bewertet.	

Defizite / Störungsursachen	Maßnahmen / Hinweise
Ex-Zonen und Schutzzonen / Schutzabstände sind teilweise falsch angegeben. Es fehlen plausible Nachweise zum Ausschluss explosionsfähiger Atmosphäre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Gasraum von Fermentern gilt als Zone 1</li> <li>• Im Störfall kann über die Unterdrucksicherung Luft angesaugt werden. Beim Hochfahren und nach dem Öffnen oder teilweiser Entleerung ist mit gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen.</li> <li>• Bei Entschwefelung mittels Lufteinblasung gilt der Gasraum des Fermenters als Zone 0, wenn – wie im vorliegenden Fall – im Normalbetrieb bis zu maximal 12 % Luft eingeblasen werden.</li> <li>• In umschlossenen Räumen oder Schächten (z. B. Vorgruben, Pumpschächte), welche von Gülle bzw. Substrat durchflossen werden oder in denen solche Stoffe gespeichert werden, ist mit dem Auftreten von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen.</li> <li>• Werden elektrische Geräte im Fermenter eingesetzt, die nicht der fallweise vorhandenen Zone 0 bzw. Zone 1 entsprechen (z. B. Motoren von Tauchrührwerken), muss der Explosionsschutz auf andere Weise sichergestellt sein. Dies kann z. B. durch Schwimmerschalter realisiert werden, die über dem Gerät montiert werden und dieses vor dem Auftauchen allpolig spannungsfrei schalten. Schwimmerschalter müssen der Kategorie 1G bzw. 2G nach RL 94/9/EG entsprechen.</li> <li>• Um Öffnungen des Gasraumes ins Freie, z. B. Serviceöffnungen, Seildurchführungen, Rührwerksverstellrichtung, Schaugläser, Einbringöffnungen und ähnliches, sind explosionsgefährdete Bereiche vorzusehen, z. B. der Bereich von 1 m um die äußeren Kanten der Öffnungen als Zone 1 und der weitere Bereich bis zu einem Abstand von 3 m als Zone 2.</li> <li>• Bei der Anordnung von Membrangasbehältern in geschlossenen Räumen bzw. in Behältern mit Stahlummantelung ist das Innere dieser Räume als Zone 1 auszuweisen.</li> <li>• Werden Kondensatabscheider in einem unterirdischen Schacht aufgestellt, gilt bei natürlicher Lüftung des Schachtes das Innere des Kondensatschachtes als Zone 1.</li> </ul>
Gefährdungsermittlung und Zonenfestlegung sind teilweise inkonsistent.	
In etlichen Fällen fehlerhafte Ausrüstung der Anlage mit explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln.	
Mängel bei Bewertung der technischen Dichtheit und Auslegung von Anlagenteilen.	
Die Rauchmelder der Brandmeldeanlage sind teilweise nicht für explosionsgefährdete Bereiche geeignet.	

<b>Defizite / Störungsursachen</b>	<b>Maßnahmen / Hinweise</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Stand der Absperrflüssigkeit im Kondensatschacht ist zu überwachen (möglicher Über- und Unterdruck in der Anlage beachten, damit keine Luft angesaugt werden kann und kein Biogas austreten kann (siehe auch Ereignis 8).</li> </ul>
Die Beanspruchung der Überdruck- / Unterdrucksicherung entspricht teilweise nicht den Angaben des Herstellers sowie des Errichters der Anlage.	Druckentlastungseinrichtungen entsprechend den Herstellerangaben betreiben, damit kein unzulässiger Druck in der Anlage auftreten kann.
Fehlende Blitzschutzanlage.	Biogasanlagen sind mit einem Blitzschutz zu versehen. Es sind die explosionsgefährdeten Bereiche mit zu berücksichtigen.
<b>Dokumentation, Alarmpläne</b>	
Fehlende Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung gemäß BGV A 8.	<p>Kennzeichnung der Arbeitsplätze vor Ort entsprechend BGV A8.</p> <p>Folgende Dokumente sind zu erstellen, zu aktualisieren und bereitzuhalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Feuerwehrplan, u. a. mit den explosionsgefährdeten Bereichen</li> <li>Alarmierungs- und Gefahrenabwehrplan</li> <li>R+I Schemata (Rohrleitungs- und Instrumenten-Schema) mit allen Einrichtungen</li> <li>Wartungsplan</li> <li>Konformitätsbescheinigungen</li> <li>Herstellerbescheinigung, u. a. bezüglich der Eignung für eine bestimmte Ex-Zone</li> <li>Bescheinigung über Dichtheitsprüfung</li> <li>Prüfbescheinigungen (z. B. zur PLT-Technik)</li> <li>Datenblätter zu den installierten Anlagenteilen und Armaturen</li> <li>Betriebsanweisungen für Anfahren, Normalbetrieb, Abfahren und Störungen</li> <li>Explosionsschutzdokument</li> <li>Gefährdungsbeurteilung</li> <li>Prüfpläne</li> <li>Nachweise zur Unterweisung.</li> </ul>
Der Feuerwehrplan fehlt oder ist nicht mit der zuständigen Behörde abgestimmt.	
Fehlende Darstellung der explosionsgefährdeten Bereiche im Feuerwehreinsatzplan.	
Für die Anlage fehlt ein AGAP (Alarmierungs- und Gefahrenabwehrplan) bzw. die Einarbeitung der Anlage in den vorhandenen betrieblichen AGAP.	
R+I Schemata fehlen.	
Mangelhafte Darstellung der sicherheitstechnischen Armaturen (Biogasreaktoren) bzw. der Flammenrückschlagsicherung (Biogasnotfackel) im Fließbild.	
Unvollständige Angaben zu Störungsauswirkungen.	
Unvollständige Angaben zur Komponentenauslegung.	
Unzureichende Unterweisung der Beschäftigten für den Gefahrenfall.	
<b>Prüfungen</b>	
Fehlende Prüfungen von Geräten vor Inbetriebnahme nach Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Die Prüfpflicht ist häufig nicht bekannt, wenn sie nicht explizit im Genehmigungsbescheid gefordert ist.	Vorgeschriebene erstmalige (vgl. §14 und Anhang 4 A Nr. 3.8 der BetrSichV und wiederkehrende Prüfungen (vgl. §15 BetrSichV) sind durchzuführen und zu dokumentieren.
Keine Prüfung der Anlage in explosionsgefährdeten Bereichen (Überwachungsbedürftige Anlage im Sinne § 1 Abs. 2 Nr. 3 BetrSichV).	

<b>Defizite / Störungsursachen</b>	<b>Maßnahmen / Hinweise</b>
Fehlende wiederkehrende Prüfungen (Elektrotechnik und Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen).	
<b>Bauliche Planung</b>	
Unzureichender Zugang zu Anlagenteilen.	Architekten müssen neben dem Baurecht auch das technische Gesetzes- und Regelwerk beachten oder die technischen Anlagenplaner stärker in die Planung mit einbeziehen.
Kein ausreichender Abstand zwischen Biogasspeicher und BHKW sowie unzureichende brandschutztechnische Trennung.	
Notgasfackel im Schutzabstand des Gaslagers.	
<b>Auslegung</b>	
Fehlende Notstromversorgung.	Prüfen, ob eine Notstromversorgung notwendig ist. Elektrische Einrichtungen, deren Betrieb für die Erreichung des sicheren Betriebszustandes notwendig ist, sind an eine Notstromversorgung anzuschließen.
Falsche Komponentenauslegung	Alle Betriebszustände sind bei der Planung zu beachten. Innerhalb der explosionsgefährdeten Bereiche dürfen nur solche Rohre verlegt werden, die elektrostatisch leitfähig sind, z. B. PVC-EL.
Abfahr- bzw. Außerbetriebnahmesituationen werden bei der Planung und Genehmigung von Biogasanlagen nicht ausreichend berücksichtigt.	
Die oberirdische Verlegung von Kanalgrundrohren (KG-Rohren) ist aufgrund der Nicht-UV-Beständigkeit unzulässig.	UV-beständige Kunststoffrohre für Biogas im Außenbereich einsetzen.
Für Anlagenteile mit Sicherheitsfunktion sind keine Angaben zur Zuverlässigkeit oder dem Zusammenwirken mit anderen Teilen der Anlagensteuerung vorhanden ( z. B. Einstufung nach VDI 2180).	Risikogerechte Einstufung und Ausführung der Prozessleittechnik – PLT (Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen).
Nebeneinrichtungen außer Acht gelassen (wie Abgas- und Abwassersysteme, verbindende Rohrleitungen).	Die gesamte Biogasanlage ist in der Gefährdungsbeurteilung zu betrachten.
<b>Stoffkenntnisse</b>	
Mängel bei Bewertung von Stoffeigenschaften.	Schulung / Unterweisung der Betreiber, Qualifizierung der Hersteller und Errichter
Keine eindeutige Bewertung und Kennzeichnung des Biogases als Gefahrstoff.	Das Biogas ist als Gefahrstoff zu bewerten und eindeutig zu kennzeichnen (Gefährlichkeitsmerkmal R 12 „hochentzündlich“ bzw. Gefahrenkennzeichnung F+, bei Schwefelwasserstoffgehalt: ggf. zusätzlich T).
<b>Not-Aus</b>	
Not-Aus nicht vorhanden.	Nachrüsten!
Nicht alle Auslösungsvoraussetzungen werden umgesetzt.	Der Not-Aus des BHKW sollte aktiviert werden bei: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterschreiten des Mindestgasdruckes</li> <li>• Überschreiten des maximal zulässigen Gasdruckes vor der Verbrauchseinrichtung</li> <li>• Ansprechen des Temperaturbegrenzers im Kühlmittelkreislauf</li> </ul>

Defizite / Störungsursachen	Maßnahmen / Hinweise
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betätigen eines Not-Aus-Tasters</li> <li>• Ausfall der Steuerenergie</li> <li>• Ansprechen der Gaswarn- oder Brandmeldeanlage</li> <li>• Ansprechen der Temperaturüberwachung der Raumluft</li> <li>• Ausfall der Lüftungsanlage</li> <li>• Drehzahlüberschreitung</li> </ul>
<b>Kennzeichnung</b>	
Anlagenkennzeichnung (Armaturen, Fluchtwege usw.) unzureichend	Ergänzen der Anlagenkennzeichnung sowie der Flucht- und Rettungswege.

## **Anhang 1    Ereignisberichte**

### **Brandereignisse durch unzureichende Bauausführungen**

#### **Ereignis 1**

In einer Biogasanlage waren 2 BHKW (je 120 kW) installiert. Das 1. Aggregat erzeugte Wärme und Strom und das 2. Aggregat war nur gelegentlich in Spitzenlastzeiten in Betrieb. Am Schadenstag ging morgens wegen einer Störung Aggregat 1 außer Betrieb und Aggregat 2 wurde eingeschaltet. Nach rund 8 Stunden bemerkte der mit der Störungsbehebung beschäftigte Elektriker Qualmaustritt aus dem Dach. Bei Nachschau wurde ein Brand in der Decke oberhalb von Aggregat 2 beobachtet.

Die Untersuchung ergab, dass in der Decke keine Elektroinstallationen verlegt waren, die einen Brand hätten zünden können. Das Abgasrohr war unter der Decke an einem hölzernen Unterzug mit einer Halterung aus Vierkanthrohr befestigt. An der Befestigung war der Balken stark ausgebrannt. Die Hitze der Abgasanlage (Temperatur am Turbolader ca. 560 °C) hatte durch Wärmeleitung über die Halterung den Balken in Brand gesetzt. Der Brand breitete sich in die Decke aus, wo er schließlich bemerkt wurde. Die Ursache des Brandes war eine ungenügende Aufhängung des Abgasrohres.

#### **Ereignis 2**

In einer nach BImSchG genehmigten Biogasanlage entstand ein Brand, der den Maschinenraum zerstörte. Brandursache war nach dem Gutachten eines anerkannten Brandsachverständigen ein zu geringer Abstand der Abgasrohre der Motoren zu einem Holzbalken der Deckenkonstruktion. Das Maschinengebäude wurde wieder aufgebaut und verstärkt auf einen verbesserten Brandschutz geachtet.

### **Sonstige Brandereignisse**

#### **Ereignis 3**

In einer Biogasanlage wurde bei Umbauarbeiten an einem Fermenter ein Brand ausgelöst. Durch Funkenschlag wurde eine im Silo befindliche Schwefelschicht in Brand gesetzt. Das Feuer griff auch auf die Dachfolie und den dazugehörigen Unterbau über. Eine Ausbreitung des Brandes konnte durch die Feuerwehr vermieden werden.

#### **Ereignis 4**

Die Generatoren einer Biogasanlage waren abgeschaltet worden, um notwendige Reparaturarbeiten vorzunehmen. Das weiterhin entstehende Gas wurde im Gasvorratsbehälter aufgefangen. Vermutlich strömte durch ein Leck im Gasvorratsbehälter Gas in den Motorenraum und entzündete sich dort bei Lötarbeiten. Zunächst versuchte der Monteur, die Flammen mit einem Feuerlöscher selbst zu löschen, was allerdings misslang. Der Vorratsbehälter samt Umhausung und ein Teil des sich anschließenden Generatorgebäudes wurden von den Flammen zerstört.

#### **Ereignis 5**

In einer industriellen Biogasanlage wurden Abfälle (Lebensmittelreste, Knochenmehl etc.) und Abfälle aus der grünen Tonne vergoren und das entstehende Biogas durch ein BHKW in Wärme und Strom umgewandelt. In einem heißen Sommer kam es zu einem Brandereignis in der Aufbereitungshalle der Biogasanlage. Brandspezialisten machten Unrat, der sich im angelieferten organischen Abfall befand, als Ursache für den Brand aus. Der Brand ist durch Selbstentzündung im Annahmehunker entstanden. Die Annahme- und Kompostierungshalle wurde durch den Brand vollständig zerstört. Der Annahmehunker wurde nicht täglich geräumt.

## **Explosionsereignisse infolge von Gasfreisetzung**

### **Ereignis 6**

Zum Unfallzeitpunkt wurden an den Gärbehältern so genannte „Bullaugen“ gereinigt. Diese waren mit ringförmigen Gummidichtungen zum umgebenden Betonbehälter hin abgedichtet. Diese Bauweise, wie auch die der Gesamtanlage, entspricht dem technischen Stand zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme vor etwa 10 Jahren.

Während der Reinigung ereignete sich eine Verpuffung, bei der 2 Personen verletzt wurden. Sehr wahrscheinlich schlossen die Bullaugen nicht vollkommen dicht ab. Da es schon vorher zu Undichtigkeiten gekommen war, hatte der Betreiber an der Abdichtung mittels einer Silikonmasse nachgearbeitet. Durch Sonneneinstrahlung stand der Gärbehälter unter etwas höherem Druck als normal, und vermutlich wurde über die undichte Abdichtung der Bullaugen Gas in den Raum gedrückt. Aus Ex-Schutz-Gründen waren keine Öffnungen nach Außen im oberen Teil des Technikraumes vorhanden. Das Gas konnte sich dort ansammeln, bis sich ein explosionsfähiges Gemisch mit Luft gebildet hatte.

Der Zündfunke wurde vermutlich durch einen Druckluftkompressor ausgelöst, welcher sich von Zeit zu Zeit selbsttätig einschaltete. Die elektrischen Anlagen in dem Technikraum hätten explosionsgeschützt ausgeführt sein müssen. Im Fall des Kompressors war dies nicht gegeben. Eine wiederkehrende Ex-Schutzprüfung durch eine befähigte Person wurde nicht durchgeführt.

### **Ereignis 7**

In einer Biogasanlage ereignete sich eine Explosion mit Folgebrand, der zu erheblichen Schäden am Gebäude und der Dachkonstruktion führte. Als technische Ursache wurde eine undichte Gasspeicherfolie eines doppelschaligen Tragluftdachs ermittelt.

Das Ereignis hatte eine längere Entstehungsgeschichte. Zunächst wurde in der Nähe des Fermenters und im Betriebsraum der Biogasanlage Gasgeruch festgestellt. Eine Lecksuche blieb trotz Begutachtung der Gasspeicherfolie unterhalb des Daches erfolglos. Es wurde eine verringerte Leistung des BHKW im Gasbetrieb gemessen und anhand des eingesetzten Messsystems ein niedriger Höhenstand der Gasspeicherfolie festgestellt (Seilumspannung des Gasspeichers oberhalb der Gasspeicherfolie mit Höhenstandsanzeige außerhalb des Daches). Daraufhin wurde die Biomassezufuhr erhöht und es kam zur Explosion und Folgebrand.

Wie nach dem Ereignis festgestellt werden konnte, war die Gasspeicherfolie beschädigt und wies eine ca. 20\*20 cm<sup>2</sup> Öffnung infolge nicht beherrschter Mehrlagenschweißung (5 Lagen) bei nicht schweißgerechter Folienkonstruktion auf.

Die letztendliche Ursache für die Explosion ist in der mehrfachen Steigerung der Biomassezufuhr und damit der Gasproduktion zu suchen. Es baute sich im gesamten Gasspeicher- und Luftraumvolumen infolge des Strömungswiderstandes über die Regulierarmatur ein Druck auf, der größer als der Staudruck des Stützluftgebläses war, auf. Die ungehinderte Gasproduktion des überdimensionierten Fermenters ließ das Biogas gegen das im Betriebsraum der Biogasanlage angeordnete Stützluftgebläse anströmen. Es füllten sich in den Nachtstunden vor dem Ereignis der Betriebsraum und die benachbarten Räume mit einem Gas-Luft-Gemisch innerhalb der Explosionsgrenze. Die Zündung erfolgte mit Schaltvorgängen in Leistungsschaltern der Rührwerke des Fermenters.

### **Ereignis 8**

Bei einer Explosion in einer nach BImSchG genehmigten Biogasanlage wurde das Betriebsgebäude völlig zerstört und es entstand ein Sachschaden in Millionenhöhe. Die Ursache für die Explosion lag in einem Kondensatschacht im Keller des Betriebsgebäudes, dessen Isolierflüssigkeit soweit abgesunken war, dass Gas in das Gebäude einströmen konnte und vermutlich durch ein verschmortes Elektrokabel zur Zündung gebracht wurde.

### **Ereignis 9**

Eine Biogasanlage bestand aus 2 Betonbehältern (Fermenter und Nachgärer), die in einen Hang eingebaut und durch ein Untergeschoss miteinander verbunden waren. Oben auf dem Behälter war das Maschinenhaus errichtet, bestehend aus einem Gaslager (Holzbauweise) mit einem Gassack, einem Zwischentrakt mit Elektroschaltraum und Heizöllager für den Zündstrahlmotor und dem eigentlichen BHKW (Massivbauweise).

Die Biogasanlage explodierte im Bereich des Elektroschaltschranks. Vermutlich war eine Undichtigkeit am Anschlussflansch der Gaseinspeisung / Gassack für die Explosion verantwortlich. Allerdings ist durch eine Reihe mangelhafter Ausführungen die Explosion ermöglicht worden. Das Gas (etwa in der Dichte von Luft) konnte durch die nicht verfüllte Öffnung der Gaseinspeisung in das Untergeschoss gelangen. Hier bestanden wiederum Öffnungen zum darüberliegenden Elektroschrank (Kabeleinführungen) und den BHKW

Raum (Einführungen von Leitungen und Schläuchen), durch die das Gas in den Schaltraum und den BHKW-Raum gelangen konnte. Die Zündung erfolgte wahrscheinlich im Schaltschrank, ausgelöst durch eine Zeitschaltuhr des Rührwerks.

## **Ereignis 10**

In einer Biogasanlage wurde ein neuer Fermenter aus Beton hergestellt. Die Einrichtungen des alten Fermenters sollten in dem neuen Fermenter weiter benutzt werden. Um eine Zuführschnecke auszubauen, musste der Flüssigkeitsspiegel im alten Fermenter abgesenkt werden. Dies geschah durch Umpumpen in den neu erstellten Fermenter. Nach dem Ausbau wurde die Flüssigkeit wieder zurück gepumpt. Dabei verblieb im neuen Fermenter ein Bodensatz von rund 20 cm.

Bei der Installation der Zuführschnecke im neuen Behälter ereignete sich eine Explosion, die den Deckel des Fermenters (Fassungsvermögen 2.000 m<sup>3</sup>) anhob, verdrehte und seitlich versetzt wieder ablegte. Aus der Öffnung, in die die Zuführschnecke installiert worden war, trat eine Stichflamme aus. Die außenliegende Wärmedämmung des Behälters wurde um die Öffnung herum großflächig auf mehrere Meter Ausdehnung thermisch geschädigt.

In dem Behälter hatte sich offensichtlich durch die Restflüssigkeit ein explosionsfähiges Biogas / Luftgemisch gebildet. Die Zündung erfolgte wahrscheinlich durch Schlagfunkenbildung zwischen Stahlteilen der Schnecke und in die Öffnung hineinragenden Bewehrungsstahl. An der Öffnung war noch nachzuweisen, dass die ursprüngliche gesetzte Kernbohrung durch Ausspitzen und Abflexen des Bewehrungsstahls erweitert worden war.

## **Stofffreisetzung wegen Behälterversagens**

### **Ereignis 11**

Ein Riss in einem Güllebehälter einer nach dem BImSchG genehmigten Biogasanlage hat zu Fischsterben in angrenzenden Gewässern geführt. Durch Umpumpen und die Errichtung von Sanddämmen konnte der Gülleaustritt begrenzt werden. Trotzdem musste der angrenzende Bach auf einer Länge von mehreren hundert Metern vom Substratkuchen geräumt werden.

Als Ursache ist eine fehlerhafte Bauausführung beim Zusammenfügen der Stahlbetonfertigteile wahrscheinlich.

### **Ereignis 12**

In einer gerade erst in Betrieb gegangenen Biogasanlage traten aufgrund eines Lecks fast 300m<sup>3</sup> Gülle aus. Ursache für die Leckage war wahrscheinlich ein Materialfehler. Der Fermenter wurde von einem Heizsystem mit Wärme versorgt. Die Rohre im Inneren des Behälters wurden von einem Befestigungssystem gestützt. Als dieses brach, bewirkten die Erschütterungen, dass die Dichtungen der Rohre herausgedrückt wurden und die Gülle austreten konnte.

### **Ereignis 13**

Eine Biogasanlage war soweit hergestellt, dass der Probetrieb begonnen werden konnte. Der Fermenter war als Stahltank ausgeführt und bestand aus einzelnen Stahlplatten, die im Werk vorgebohrt und vor Ort durch Verschrauben zusammengesetzt wurden. Die Bauabnahme des Fermenters und Dichtigkeitsproben lagen vor. Der Fermenter wurde mit 4.000m<sup>3</sup> Gülle gefüllt und aufgeheizt.

Am Schadenstag riss der Gärbehälter gegen 2.30 Uhr vermutlich im Bereich der Trafostation auf und die Gülle schwemmte die Trafostation fort. Die 20 kV Erdleitung riss ab und verursachte einen Kurzschluss. Beim Wiederaufschalten des Netzes gegen 4.00 Uhr bildete sich an den blanken Enden des 20 kV Kabels ein Lichtbogen, der eine Explosion der sich über dem "Güllesee" gebildeten Restgasen bewirkte.

Ursache ist wahrscheinlich ein Behälterversagen, wobei die Ursache z. Zt. noch untersucht wird und entsprechende Ergebnisse noch nicht vorliegen.

## **Stofffreisetzung wegen Dichtungsversagens**

### **Ereignis 14**

Aus einem Güllebehälter liefen ca. 100 m<sup>3</sup> Gülle aus und verteilten sich über Firmengelände und mehrere Privatgrundstücke. Als Schadensursache wird eine defekte Ringraumdichtung angenommen. Das zuständige Regierungspräsidium ordnete daraufhin eine Überprüfung aller Biogasanlagen mit entsprechenden eingebauten Ringraumdichtungen an.

### **Ereignis 15**

An einer Biogasanlage trat ein Leck auf, so dass sich 1.600 m<sup>3</sup> zähflüssiges Gärsubstrat über den Hof und die anliegenden Felder ausbreitete. Das Alarmsystem der Anlage funktionierte, die Feuerwehr rückte an und versuchte vergeblich unter schweren Atemschutz den auslaufenden Strom zu stoppen. Ein Erdwall wurde aufgeschüttet um eine Verunreinigung eines nahe gelegenen Bachlaufs zu verhindern. Dieses Unterfangen war nur zum Teil von Erfolg gekrönt.

Zwischenzeitlich herrschte bei der Feuerwehr helle Aufregung, nachdem eine Messung der Gaskonzentration ergab, dass die Explosionsgrenzwerte erreicht bzw. überschritten waren. Glücklicherweise war keine Zündquelle vorhanden und ständig weiter durchgeführte Messungen beruhigten die Gemüter, da die explosionsfähige Atmosphäre im Laufe der Zeit deutlich unterschritten wurde.

Ursache des Unglücks war eine defekte Dichtung an einem von vier Schiebern.

## **Toxische Gefahren**

### **Ereignis 16**

In einer Biogasanlage wurde aus einem Tankcluster warmer Schweinedarmschleim in die geöffnete Vorgrube geleitet, in der sich sauer reagierende Reste aus der Vortagsproduktion befanden. Dieser Darmschleim aus einer Heparinproduktion mit einem pH-Wert von 7-9 enthielt u. a. hohe Konzentrationen an gelöstem Schwefelwasserstoff und an Sulfiden in leicht zersetzbarer Form. Durch die Reaktion mit dem sauer reagierenden Rest in der Vorgrube und der damit verbundenen pH-Wert-Verschiebung kam es zu Freisetzung von Schwefelwasserstoff. Da der Deckel der Vorgrube wegen eines Defektes des Antriebmotors nicht geschlossen werden konnte, war die vorhandene Absaugung unzureichend. Außerdem sorgten zwei laufende Rührer und die erhöhte Temperatur des Darmschleims für eine beschleunigte Freisetzung von Schwefelwasserstoff. Als Folge davon kamen zwei Personen vor Ort und zwei weitere Personen später im Krankenhaus ums Leben.

Messungen der Polizei ergaben in der Hallenluft eine Konzentration über 6.000 ppm Schwefelwasserstoff (führen innerhalb weniger Sekunden zum Tod!).

### **Ereignis 17**

In einer Biogasanlage war ein Servicetechniker mit der Reparatur eines defekten Keilriemens am Antriebsmotor der Getreidezufuhrschnecke des Mischbehälters beschäftigt. Nach Abschluss der Arbeiten stieg er in den Mischbehälter ein, um verloren gegangenes Werkzeug herauszuholen. Dabei kam der Techniker zu Tode.

Die Biogasanlage wurde mit Getreideschrot und Schweinegülle betrieben, die im Anmischbehälter durch ein Rührwerk vermischt und anschließend zur Biogasgewinnung in den Fermenter gepumpt wurden. Nach Aussage des Anlagenerrichters verbleibt im Anmischbehälter nach der jeweiligen Entleerung ein Füllstand von ca. 10 bis 30 cm des Anmischsubstrates. Entstehende Gase werden bei der nächsten Befüllung des Anmischbehälters über einen Entlüftungsschlauch, welcher durch ein geöffnetes Fenster des Technikraumes nach Außen geführt wird, verdrängt.

Um Aussagen über die Gaskonzentrationen im Anmischbehälter treffen zu können, wurden an verschiedenen Betriebspunkten des Mischprozesses Gasproben genommen. Dabei konnte festgestellt werden, dass 40 bis 50 Minuten nach Entleerung des Mischers die Konzentration von Schwefelwasserstoff im Bereich zwischen 2.200 bis 2.600 ppm lag.

## Anhang 2 Wesentliche Gesetze, Verordnungen und Regelwerke

### Allgemein:

- **Arbeitsschutzgesetz** (ArbSchG)
- **Baugesetzbuch** (BauGB)
- **Betriebssicherheitsverordnung** (BetrSichV)
  - **TRBS 1201** Prüfungen
  - **TRBS 1203** Befähigte Personen
  - **TRBS 2152** Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Allgemeines
  - **TRBS 2152** Teil 1 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung
  - **TRBS 2152** Teil 2 Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
  - **TRBS 2152** Teil 4 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken
  - **TRBS 2153** Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- **Bundes-Immissionsschutzgesetz** (BImSchG)
  - **4. BImSchV** (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen)
  - **9. BImSchV** (Verordnung über das Genehmigungsverfahren)
  - **12. BImSchV** (Störfall-Verordnung)
- **Explosionsschutzrichtlinie 94/9/EG** (Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen)
- **Gefahrstoffverordnung** (GefStoffV)

- **Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte** (GPSG) vom 6. Januar 2004 (BGBl. I Nr. 1 vom 09.01.2004 S. 2) zuletzt geändert am 7. Juli 2005 durch Artikel 3 Abs. 33 des Zweiten Gesetzes zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts (BGBl. I Nr. 42 vom 12.07.2005 S. 1970)
  - **Maschinenverordnung** (Neunte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – 9. GPSGV)
  - **Explosionsschutzverordnung** (11. GPSGV, ExVO) vom 12. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1914), zuletzt geändert am 27.09.2002 (BGBl. I S. 3777)
- **Richtlinie 1999/92/EG** (Richtlinie über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können)
- **Wasserhaushaltsgesetz** (WHG)
- **Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe** (VAwS)
 

Verordnungen der Länder mit den zugehörigen Verwaltungsvorschriften

  - **DWA-A 779**, Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS), Allgemeine Technische Regelungen
  - **ATV-DVWK-A 780**, Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS), Oberirdische Rohrleitungen (Teil 1 und 2)
  - **DWA-A 785**, Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS), Bestimmung des Rückhaltevermögens bis zum Wirksamwerden geeigneter Sicherheitsvorkehrungen - R<sub>1</sub> (ENTWURF)
  - **DWA-A 786**, Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS), Ausführung von Dichtflächen
- BGR 104 Regeln für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung (**Explosionsschutz-Regeln, EX-RL**)
- BGR 132 Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- VDE 0165-1 (05.2009; DIN EN 60079-14), Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen

- VDE 0165-10-1 (05.2008; 10.2008; DIN EN 60079-17),  
Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 17: Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen
- VDE 0165-101 (08.2004; DIN EN 60079-10),  
Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche – Teil 10: Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche
- DIN EN 1127-1 (04.2009),  
Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik

**Verfahrensspezifisch:**

Arbeitsunterlage 69 Stand 5.9.2002	Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen Bundesverband der landw. Berufsgenossenschaften e. V. - Hauptstelle für Sicherheit und Gesundheitsschutz -
BGI 518	Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz - Einsatz und Betrieb
BGI 836	Gaswarneinrichtungen für toxische Gase / Dämpfe und Sauerstoff – Einsatz und Betrieb
DIN EN 12255-10	Kläranlagen - Teil 10: Sicherheitstechnische Baugrundsätze
DIN EN 50054 ff (VDE 0400-1)	Elektrische Geräte für die Detektion und die Messung brennbarer Gase – Allgemeine Anforderungen und Prüfmethoden
DIN EN 60079-29-1	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 29-1: Gasmessgeräte – Anforderungen an das Betriebsverhalten von Geräten für die Messung brennbarer Gase
DIN EN 60079-29-2 (VDE 0400-2)	Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 29-2: Gasmessgeräte - Auswahl, Installation, Einsatz und Wartung von Geräten für die Messung von brennbaren Gasen und Sauerstoff.
DVGW	DVGW-Regelwerk Gas

DWA-M 376	Sicherheitsregeln für Biogasspeicher mit Membrandichtung
GUV-I 8594	Beispielsammlung Explosionsschutzmaßnahmen bei der Arbeit im Bereich von abwassertechnischen Anlagen, Ausgabe Januar 2005, inhaltlich identisch mit BGI 5033
GUV-R 126	Sicherheitsregeln für Arbeiten in umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Anlagen
GUV-V C 5	Abwassertechnische Anlagen
Veröffentlichung des Bundesverbandes der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften; Okt. 2008	Technische Regeln 4 – Sicherheitsregeln für Biogasanlagen

### **Anhang 3: Weiterführende Literatur**

- /1/ KAS-3:  
Bericht des Ausschusses Erfahrungsberichte  
Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen  
nach § 29a BImSchG in den Jahren 2004 / 2005 und  
Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch.
- /2/ KAS-9:  
Bericht des Ausschusses Erfahrungsberichte  
Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen  
nach § 29a BImSchG im Jahr 2006 und  
Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch
- /3/ KAS-11:  
Bericht des Ausschusses Erfahrungsberichte  
Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen  
nach § 29a BImSchG im Jahr 2007 und  
Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch
- /4/ Volkmar Schröder und Maria Molnarne, Berlin:  
Die Explosionsgrenzen von Biogas in Luft  
(Technische Überwachung Bd. 49 (2008) Nr. 1/2, S. 16 – 20).
- /5/ Deutsche Forschungsgemeinschaft:  
MAK- und BAT-Werte-Liste 2008.
- /6/ Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz:  
Handbuch für die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Biogasanlagen in  
der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz (2007)
- /7/ Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung  
Biogas-Anlagen-Bau (Gütesicherung RAL-GZ 629) – (03/2001)
- /8/ Informationspapier des Umweltbundesamtes:  
Zur Sicherheit bei Biogasanlagen (Juni 2006)
- /9/ Leitfaden des niedersächsischen Umweltministeriums:  
Hinweise zum Immissionsschutz bei Biogasanlagen (Stand 27.02.2007)

- /10/ Biogashandbuch Bayern des Bayerischen Landesamtes für Umwelt  
<http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm>
- /11/ Peter Schildhauer  
Brandschäden in Blockheizkraftwerken  
(Technische Überwachung Bd. 48 (2007) Nr. 6, S. 18 – 21).
- /12/ TÜV Thüringen e.V.  
Merkblatt für Biogasanlagen B001 (2006).
- /13/ VDI-Richtlinie 3475 Blatt 4 Biogasanlagen in der Landwirtschaft - Vergärung von  
Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger (Entwurf, Stand: 07/2007).
- /14/ Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung der Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe e. V. (FNR) und des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz (BMELV) (Stand: 2006).
- /15/ Sicherheitsregeln für Biogasanlagen auf Basis der BetrSichV  
DAS - IB GmbH LFG - & Biogas-Technology und weiteren Sachverständigen (Stand:  
23. März 2009)

---

**GFI Umwelt – Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH**

Geschäftsstelle der  
Kommission für Anlagensicherheit

Königswinterer Str. 827  
D-53227 Bonn

Telefon 49-(0)228-90 87 34-0

Telefax 49-(0)228-90 87 34-9

E-Mail [kas@gfi-umwelt.de](mailto:kas@gfi-umwelt.de)

[www.kas-bmu.de](http://www.kas-bmu.de)

---