

# Optimierung des Blitzschutzes bei Biogasanlagen

## Improvement of lightning protection for biogas plants

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern, FH Aachen, Campus Jülich (DE), [a.kern@fh-aachen.de](mailto:a.kern@fh-aachen.de)

### Kurzfassung

Die Notwendigkeit eines (äußeren) Blitzschutzes für Biogasanlagen (BGA) wird immer wieder kontrovers diskutiert. In diesem Beitrag werden die rechtlichen und normativen Grundlagen dargestellt, eine Risikoanalyse für zwei typische BGA durchgeführt, und daraus abgeleitet die erforderlichen Schutzmaßnahmen dargestellt.

Zur Sicherstellung eines ausreichenden Schutzniveaus gegen Blitzeinwirkungen sind für BGA grundsätzlich folgende Schutzmaßnahmen geeignet: (1) äußerer Blitzschutz der Schutzklasse II; (2) Blitzschutz-Potentialausgleich für alle von außen eingeführten Versorgungsleitungen; (3) koordinierter Überspannungsschutz für die elektrischen Leitungen der automatischen Brandschutzmaßnahmen in der gesamten BGA; und (4) koordinierter Überspannungsschutz für die elektrischen Systeme (Energie- und Automatisierungstechnik) im Bereich der EX-Zonen 1, falls die BGA solche aufweist.

### Abstract

It is an ongoing discussion, whether biogas plants (BGA) need (external) lightning protection measures. In this paper the fundamental regulations and standards are discussed, a risk analysis for two typical BGA is performed, and the derived required protection measures are presented.

To ensure a satisfying level of protection of BGA against lightning incidents the following protection measures are suitable: (1) external lightning protection system class II; (2) lightning protection equipotential bonding for all external supply lines; (3) coordinated surge protection for the electrical lines of the automatic fire precaution systems in the entire BGA, and (4) coordinated surge protection for the electrical systems (power and automation) in EX-zones 1, if existing inside the BGA.

## 1 Einführung

Biogasanlagen (BGA) sind Anlagen, die unter die Störfallverordnung fallen können. Gemäß § 4 der Störfallverordnung hat der Betreiber einer solchen Anlage insbesondere Maßnahmen zu treffen, damit Brände und Explosionen innerhalb des Betriebsbereiches vermieden werden. Dazu werden üblicherweise auch Maßnahmen des Blitzschutzes gezählt. Damit dieser voll wirksam ist, muss auch der Überspannungsschutz sichergestellt sein. Ein vollständiger Blitzschutz besteht aus dem Äußeren Blitzschutz (Fangeinrichtungen, Ableitungen, Erdungsanlage) und dem Inneren Blitzschutz (Blitzschutz-Potentialausgleich einschließlich Überspannungs-Schutzgeräte und Einhaltung des Trennungsabstandes).

In der Vergangenheit kam es immer wieder, aber vereinzelt, zu Schadensereignissen an landwirtschaftlichen BGA durch Blitzeinschlag. Diese wurden aber bislang nicht systematisch ausgewertet. Erstes Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, Blitzeinschläge bzw. Blitzschäden in landwirtschaftliche BGA grob statistisch zu erfassen:

- für den Freistaat Sachsen auf Basis einer konkreten Befragung aller dort bekannten landwirtschaftlichen BGA;
- für die Bundesrepublik Deutschland auf Basis einer Internet-Recherche.

Im nächsten Schritt wird der rechtliche und normative Stand der Technik für den Blitzschutz von landwirtschaftlichen BGA dargestellt. Dazu gehört auch eine Risikoanalyse für einige typische BGA nach DIN EN 62305-2: Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management.

Den Abschluss der Arbeit bilden Vorschläge für die Verbesserung des Blitzschutzes von BGA. Dazu gehören auch Vorschläge für die Verbesserung vorhandener Blitzschutzsysteme.

## 2 Schadensereignisse bei Biogasanlagen

### 2.1 Freistaat Sachsen

Laut STATISTA.COM [1] waren 2014 im Freistaat Sachsen ca. 270 BGA bekannt; ihre Anzahl ist seitdem nahezu konstant geblieben. Aus einer detaillierten Befragung zu Blitzschutz und Blitzschäden liegen Antworten von 40 BGA vor, das entspricht ca. 15% der sächsischen BGA. Diese Stichprobe erscheint zwar gering, so dass keine sicheren quantitativen Aussagen insbesondere zur Repräsentativität der vorliegenden Ergebnisse möglich sind. Sie erscheint aber gleichwohl noch ausreichend, um zumindest qualitative Aussagen zu treffen.

Alle 40 BGA zusammen weisen bisher 314 Betriebsjahre auf. Die Anzahl der bekannten Blitzschäden ist 6. Betrachtet man die Einfangfläche einer typischen BGA, so kann man die erwartete Anzahl der Direkteinschläge in die 40 BGA mit 314 Betriebsjahren zu etwa 21 prognostizieren. Geht man davon aus, dass diese Anzahl von Blitzen real eingeschlagen hat und dabei die o.g. 6 Blitzschäden entstanden sind, folgt daraus eine Schadenswahrscheinlichkeit von ca. 28%, also etwa jeder vierte direkte Blitzeinschlag in eine BGA führte zu einem Schaden.

## 2.2 Andere Bundesländer

Laut STATISTA.COM [1] waren 2014 in Deutschland ca. 8.700 BGA bekannt, deren Anzahl sich bis Ende 2016 nur noch geringfügig auf ca. 9.000 erhöht hat.

Im Zuge einer Internet-Recherche wurden 27 Schäden erfasst. Bei allen Schäden handelt es sich um Sachschäden; Personenschäden wurden nicht ermittelt.

Die Sachschäden betragen zwischen 1.500 € und 175.000 €. Der Anteil der direkten Blitzeinschläge kann zu ca. 30% abgeschätzt werden (8 aus 27). In diesen Fällen sind die Sachschäden naturgemäß wesentlich höher, da hier nahezu immer von Brand und/oder Explosion ausgegangen werden kann.

## 3 Rechtliche Anforderungen und technische Normen

Rechtliche Anforderungen zum Blitzschutz von Biogasanlagen ergeben sich aus verschiedenen Rechtsbereichen. Zum einen aus dem Bereich des Arbeitsschutzes, insbesondere der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), welche für alle Betriebe mit Beschäftigten oder anderen Personen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bzw. der Verwendung von Arbeitsmitteln relevant sind. Zum anderen aus dem Immissionsschutzrecht, hier dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und der Störfallverordnung (12. BImSchV), unabhängig davon, ob in den Betrieben bzw. Anlagen Beschäftigte oder andere Personen tätig sind.

Bezüglich der materiellen Anforderungen zum Blitzschutz ist im Bereich des Arbeitsschutzes insbesondere die TRBS (Technische Regel Betriebssicherheit) 2152 Teil 3 [2] von Bedeutung. Aus dem BImSchG bzw. der Störfallverordnung gibt es dagegen kein nachgeordnetes Regelwerk mit materiellen Anforderungen zum Blitzschutz. Hier wird regelmäßig auf weitere Erkenntnisquellen wie die Normenreihe DIN EN 62305 (VDE 0185-305) [3, 4, 5, 6] oder die VdS 2010 [7] zurückgegriffen.

### 3.1 BetrSichV, GefStoffV, TRBS 2152 Teil 3

Anforderungen an den Brand- und Blitzschutz in Hinblick auf Explosionsgefährdungen können aus § 9 Abs. 4 BetrSichV zusammen mit §§ 6, 11 und Anhang I Nr. 1 GefStoffV hergeleitet werden. Im Anhang I Nr. 1 der GefStoffV ist u. a. formuliert: *„Kann das Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Gemische nicht sicher verhindert werden, sind Schutzmaßnahmen zu ergreifen, um eine Zündung zu vermeiden. Für die Festlegung von Maßnahmen und die Auswahl der Arbeitsmittel kann der Arbeitgeber explosionsgefährdete Bereiche nach Nummer 1.7 in Zonen einteilen und entsprechende Zuordnungen nach Nummer 1.8 vornehmen.“*

Die konkrete Umsetzung dieser Forderung zum Blitzschutz erfolgte bisher über die TRBS 2152 Teil 3: *„Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“* [2]. Mit dem Übergang des Explosionsschutzes von der BetrSichV in die GefStoffV sollte auch die genannte TRBS in

eine TRGS (Technische Regel Gefahrstoffe) überführt werden, was bislang allerdings noch nicht erfolgt ist. Bis auf Weiteres kann daher die TRBS 2152 Teil 3 als Erkenntnisquelle verwendet werden. In dieser werden allerdings Begriffe wie äußerer und innerer Blitzschutz nicht verwendet; sie schließt für die Ex-Schutzzone 2 Blitzschutzmaßnahmen aus und bezieht sich auch nicht unmittelbar auf Biogasanlagen.

Bisherige Praxis ist deshalb, dass beim Blitzschutz für Biogasanlagen neben der TRBS 2152 Teil 3 die DIN EN 62305 (VDE 0185-305) zur Anwendung kommt [8].

### 3.2 Störfallverordnung

Grundsätzlich sind aus Sicht des Blitzschutzes in der Regel die „Grundpflichten“ der §§ 3 – 8 mit den dazugehörigen Anhängen zutreffend. Erwähnenswert sind hier insbesondere die §§ 3 und 4. Für BGA mit über 50 t Biogas kommen die „Erweiterten Pflichten“ nach §§ 9 und 10 dazu. Dabei handelt es sich allerdings um die Erstellung von Sicherheitsberichten und Alarm- und Gefahrenabwehrpläne, also keine technischen Maßnahmen im engeren Sinne. Insofern sollen die „Erweiterten Pflichten“ für diese Untersuchung nicht weiter beachtet werden.

Blitzschutzsysteme mit Überspannungsschutz sind geeignet, *„Störfälle zu verhindern“* bzw. *„die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten“*. Der Blitzeinschlag ist unter *„umgebungsbedingte Gefahrenquellen“* einzuordnen. Mit den Schutzmaßnahmen sollen *„Brände und Explosionen innerhalb des Betriebsbereiches vermieden werden“* und sie sollen *„nicht in einer die Sicherheit beeinträchtigenden Weise von einer Anlage auf andere Anlagen des Betriebsbereichs einwirken können“*. *„Die Beschaffenheit und der Betrieb der Anlagen des Betriebsbereichs müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen“*. Somit bleibt zu klären, ob die *„erforderlichen Vorkehrungen“*, also die Maßnahmen des Blitz- und Überspannungsschutzes auch *„nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren“* zu treffen sind. Zur Beantwortung dieser Frage scheint eine Risikoabschätzung nach DIN EN 62305-2 [4] geeignet.

BGA unterliegen der Störfallverordnung dann, wenn in ihnen >10.000 kg Biogas vorhanden sind (in der Regel >500 kW elektrische Leistung).

Bei Anlagen, die nicht der Störfallverordnung unterliegen, ergeben sich folgende Forderungen aus dem BImSchG, sofern sie genehmigungsbedürftig nach BImSchG sind: *„Genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt (1) schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können; (2) Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen...“*. Auch hier erscheint damit eine Risikoabschätzung nach DIN EN 62305-2 [4] geeignet, um zu prüfen, ob zur *„Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen“* Maßnahmen des

Blitz- und Überspannungsschutzes zu treffen sind. Bei Anlagen, die nicht dem BImSchG unterliegen (z. B. 75 kW Anlagen), ergeben sich die Forderungen auch aus dem Arbeitsschutzrecht.

### 3.3 VdS 2010: Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz

Die VdS 2010 [7] in der Fassung von 2015 verzichtet auf die Anforderung eines äußeren Blitzschutzes für landwirtschaftliche Biogas-Anlagen, hält aber einen inneren Blitzschutz für erforderlich. Dies ist überraschend, da für andere Anlagen, die explosionsgefährdete Bereiche enthalten (z.B. Läger für brennbare Gase) wie auch für andere landwirtschaftliche Anlagen (z.B. Heu-/Strohlagerung) stets auch ein äußerer Blitzschutz gefordert wird.

Die VdS-Richtlinien des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) richten sich grundsätzlich an die einzelnen Sachversicherer und geben „Empfehlungen“ an diese, inwieweit bei Versicherungsverträgen bestimmte Anforderungen an den Versicherungsnehmer weitergegeben werden sollten. Es sind also keine gesetzlichen Forderungen; darauf wird auch explizit in den VdS-Richtlinien hingewiesen. Allerdings entfalten die VdS-Richtlinien durch die breite Anwendung in Fragen der Versicherungsverträge faktisch große Bedeutung.

Der Verzicht auf die Anforderung eines äußeren Blitzschutzes in [7] hat wohl auch dazu geführt, dass ein solcher regelmäßig nicht errichtet wird, sofern nicht explizit gefordert (z.B. im Genehmigungsbescheid). Es besteht die Gefahr, dass in solchen Fällen auch der innere Blitzschutz, der ja auch nach der VdS 2010 stets erforderlich ist, nicht anforderungsgemäß (z.B. durch eine Blitzschutz-Fachkraft) installiert wird.

### 3.4 Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3: Biogasanlagen

Das Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3 [9] enthält „Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen“. Dazu zählen auch BGA, die in Abschnitt 17 behandelt werden: „Ein Blitzschutzsystem, das für Schutzklasse II ausgelegt ist, entspricht den normalen Anforderungen für Biogasanlagen mit explosionsgefährdeten Bereichen. In besonderen Einzelfällen ist die Erfordernis zusätzlicher Maßnahmen nach DIN EN 62305 2 zu prüfen.“

In Abschnitt 17: Biogasanlagen, wird bereits auf Abschnitt 5 des gleichen Beiblatts [9] verwiesen. Dieser Abschnitt 5 behandelt Anlagen mit explosionsgefährdeten Bereichen und nennt dafür unterschiedliche Anforderungen. Insofern stellt sich die Frage, welche Explosionsschutz-Zonen bei einer BGA auftreten.

In [10] wird eine „Einteilung der Explosionsschutz-Zonen bei Biogasanlagen“ durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DUGV) vorgenommen. Dort sind in weiten Teilen einer BGA Zonen 1 und Zonen 2 definiert. Die Zoneneinteilung wird aus der TRBS 2152 [11] übernommen und entsprechend interpretiert:

- Zone 0: liegt vor, wenn z.B. über eine Schicht zeitlich überwiegend eine gefährliche explosionsfähige At-

mosphäre (g.e.A.) vorliegt. Zone 0 ist nur im Inneren von Behältern vorgesehen.

- Zone 2: liegt vor, wenn wenige Male im Jahr, z.B. einmal monatlich, eine g.e.A. nicht länger als ca. 30 Minuten vorliegt.
- Zone 1: liegt vor, wenn Dauer und Häufigkeit der g.e.A. zwischen Zone 0 und Zone 2 liegen.

Es scheint allerdings in der Fachwelt umstritten, inwieweit welche EX-Zonen bei BGA wirklich existieren; eine Festlegung von größeren Bereichen einer BGA als EX-Zone 1 wird von vielen Experten nicht unterstützt. Für manche BGA sind nur Zonen 2 ausgewiesen. Mit dem Übergang des Explosionsschutzes in die GefStoffV ist eine Einteilung von EX-Zonen auch nicht mehr zwingend vorgeschrieben. Dieser Aspekt wird bei der Risikoanalyse für BGA wieder aufgegriffen.

## 4 Risikoanalyse für typische Biogasanlagen

Zur besseren Einschätzung der Notwendigkeit eines Blitzschutzsystems mit Überspannungsschutz wurden für zwei virtuelle BGA Risikoanalysen nach DIN EN 62305-2 [4] durchgeführt. Zwei BGA wurden ausgewählt, um eine gewisse Bandbreite der Eingabeparameter zu ermöglichen. Daneben wurden für die beiden BGA auch je zwei Varianten angesetzt. Natürlich kann die Vielzahl der möglichen Werte der Eingabeparameter für die Risikoanalyse hier nicht vollständig untersucht werden. Dies ist aus Sicht des Verfassers aber auch nicht erforderlich.

Die Risikoanalysen sind für folgende BGA gültig:

1. „Kleine“ BGA (75 kW elektrische Leistung):
  - Fermenter: 2000 m<sup>3</sup>
  - Nachgärbehälter 2000 m<sup>3</sup>
  - Endlagerbehälter 2500 m<sup>3</sup>
  - daraus abgeleitet Abmessungen der BGA: 50 m (L), 20 m (W), 10 m (H).

Der Wert dieser BGA wird zu 300.000 € angesetzt (Anhaltswert: 4.000 € je kW). Die Blitzdichte für die Risikoanalyse wird gemäß [12, 13] zu  $N_G = 4$  (1/km<sup>2</sup>\*a) angenommen (das ist ein relativ niedriger Wert für den Freistaat Sachsen, mit Berücksichtigung der Verdoppelung nach [12]).

2. „Große“ BGA (1000 kW elektrische Leistung):

- Fermenter: 3500 m<sup>3</sup>
- Nachgärbehälter 3500 m<sup>3</sup>
- Endlagerbehälter 4500 m<sup>3</sup>
- daraus abgeleitet Abmessungen der BGA: 100 m (L), 40 m (W), 10 m (H).

Der Wert dieser BGA wird zu 2.500.000 € angesetzt (Anhaltswert: 2.500 € je kW). Die Blitzdichte für die Risikoanalyse wird gemäß [12, 13] zu  $N_G = 8$  (1/km<sup>2</sup>\*a) angenommen (das ist ein relativ hoher Wert für den Freistaat Sachsen, mit Berücksichtigung der Verdoppelung nach [12]).

Gemeinsam werden für die beiden BGA die folgenden typischen Parameterwerte angenommen:

- alleinstehend, d.h.  $C_D = 1$ ;
- zwei ungeschirmte Versorgungsleitungen (Energie, Daten) über lange Strecken (max. 1000 m);

- ca. 1/3 der BGA stellt eine Explosionsschutz-Zone 1 oder 2 dar;
- die gesamte BGA wird damit in zwei Bereiche unterteilt: Z1 stellt den „normalen“ Bereich der BGA, Z2 die EX-Zone 1 oder 2 dar;
- 12 h/Tag befinden sich Personen im Bereich der BGA, aber nur ca. 2 h/Tag sind Personen im Bereich der Explosionsschutz-Zone 1 oder 2;
- die Verlustwerte  $L_X$  werden für die beiden Bereiche Z1 und Z2 aus den Standardwerten gemäß [4] abgeleitet. Die überspannungsrelevanten Verlustwerte werden dabei rel. niedrig angesetzt, sonst ergeben sich unrealistisch hohe wirtschaftliche Verluste;
- automatische Brandschutzmaßnahmen, d.h.  $r_p = 0,2$ , sofern gegen Überspannungen geschützt.

Bei der Einteilung in Explosionsschutz-Zonen werden dabei jeweils zwei Fälle unterschieden:

- a) die BGA weist eine EX-Zone 1 auf; dies hat Einfluss auf die Verlustwerte  $L_X$  und die Einstufung des Brand/Explosionsrisikos  $r_f$  der BGA. So werden für die EX-Zone 1 folgende Werte gewählt:
  - $r_f = 0,1$ ,
  - $L_F = 0,1$  und  $L_O = 0,0001$  für die Schadensart L1,
  - $L_F = 0,5$  und  $L_O = 0,001$  für die Schadensart L4;
- b) die BGA weist nur eine EX-Zone 2 auf; Hier werden dann folgende Werte gewählt:
  - $r_f = 0,01$ ,
  - $L_F = 0,02$  und  $L_O = 0$  für die Schadensart L1,
  - $L_F = 0,1$  und  $L_O = 0,001$  für die Schadensart L4.

Mit den beiden Varianten EX-Zone 1 und EX-Zone 2 soll untersucht werden, welchen Einfluss insbesondere diese Einteilung auf das Erfordernis von Schutzmaßnahmen gegen Blitz und Überspannungen hat. Die insgesamt vier Risikoanalysen wurden mit Hilfe des Beiblatts 2 zur DIN EN 62305-2 [14] erstellt. **Bild 1** zeigt die Ergebnisse der Risikoanalyse für die „große“ BGA mit EX-Zone 1.

Untersucht wurden bei der Risikoanalyse folgende Schadensarten [4]:

- L1: Verlust von Menschenleben, einschließlich dauerhafter Verletzungen (das sind unmittelbare Personenschäden durch Blitzeinwirkungen). Dafür gilt gemäß [4] ein Wert des akzeptierbaren Risikos von  $R_T = 1 \cdot 10^{-5} 1/a$ ;
- L4: Wirtschaftliche Verluste (das sind Sachschäden durch Blitzeinwirkungen, einschließlich der gegebenenfalls erforderlichen Wiederherstellungskosten). Hier erfolgt ein Vergleich der wahrscheinlichen jährlichen Kosten ohne Schutzmaßnahmen (das sind dann nur die Sachschäden) mit den jährlichen Kosten der Schutzmaßnahmen zuzüglich der noch verbleibenden wahrscheinlichen jährlichen Sachschäden (trotz Schutzmaßnahmen wird das Risiko nicht auf null reduziert). Die Variante mit den geringeren Kosten ist wirtschaftlich effizienter.

Aus den Ergebnissen der Risikoanalysen lässt sich Folgendes ableiten:

- Der Blitzschutz-Potentialausgleich für alle eingeführten Versorgungsleitungen ist immer erforderlich.
- Der koordinierte Überspannungsschutz für die elektrischen Leitungen der automatischen Brandschutzmaßnahmen in der gesamten BGA ist immer erforderlich.

- Ist eine EX-Zone 1 vorhanden, benötigen „große“ BGA mindestens einen äußeren Blitzschutz der Schutzklasse III, bei „kleinen“ BGA wäre eine Schutzklasse IV bereits ausreichend. Bei geringerer Blitzdichte als der in der Berechnung angenommenen wäre bei „kleinen“ BGA sogar das Ergebnis „kein äußerer Blitzschutz“ möglich.
- Ist dagegen keine EX-Zone 1 vorhanden, sondern nur eine EX-Zone 2, benötigen die BGA i.d.R. keinen äußeren Blitzschutz, sofern nur die Schadensart L1: Verletzung oder Tod von Personen, zugrunde gelegt wird.
- Ist eine EX-Zone 1 vorhanden, ist ein koordinierter Überspannungsschutz für die elektrischen Systeme (Energie- und Automatisierungstechnik) im Bereich der EX-Zone 1 erforderlich.
- Ist nur eine EX-Zone 2 vorhanden, ist ein koordinierter Überspannungsschutz für die elektrischen Systeme (Energie- und Automatisierungstechnik) nicht erforderlich.
- Durch die o.g. Schutzmaßnahmen werden bei „großen“ BGA, unabhängig ob eine EX-Zone 1 oder nur eine EX-Zone 2 vorhanden ist, auch wirtschaftliche Verluste deutlich reduziert; bei „kleinen“ BGA ist dies nur in geringerem Maße der Fall (da die wirtschaftlichen Verluste bereits ohne Schutzmaßnahmen entsprechend gering sind). Bei großen BGA werden durch einen äußeren Blitzschutz die wirtschaftlichen Verluste weiter eingedämmt.

Die Begriffe „große“ und „kleine“ BGA sind hier natürlich nur sehr unscharf zu quantifizieren. Darüber hinaus hängt die Anforderung an den äußeren Blitzschutz auch noch direkt mit der Blitzdichte am Ort der BGA zusammen. Letztendlich kann man als Ergebnis dieser Risikoanalyse einen äußeren Blitzschutz der Schutzklasse III für erforderlich definieren, sofern die BGA eine EX-Zone 1 aufweist. Für BGA ohne EX-Zone 1, also nur mit EX-Zone 2, ergibt sich, dass kein äußerer Blitzschutz erforderlich ist, sofern nur die Schadensart L1 zugrunde gelegt wird. Dies zeigt, welchen enormen Einfluss die EX-Zonen-Einteilung auf das Erfordernis von Blitz- und Überspannungs-Schutzmaßnahmen hat. Diese Festlegung muss noch mit den bereits in Abschnitt 3 genannten Anforderung harmonisiert werden. Dies ist Gegenstand von Abschnitt 5.1.

Soll allerdings auch die Eindämmung der wirtschaftlichen Verluste (Schadensart L4) für BGA als vorbeugende Maßnahme berücksichtigt werden, ist zumindest auch für „große“ BGA ohne EX-Zone 1 ein äußerer Blitzschutz dringend zu empfehlen.

Eine Analyse der einzelnen Risikokomponenten aus den Berechnungen für beide BGA führt weiterhin zum Ergebnis, dass die größere Zahl von Schäden nicht durch direkte Blitzeinschläge verursacht wird, sondern die Folge indirekter, benachbarter Einschläge ist. Dies ist auch der Grund dafür, warum der äußere Blitzschutz offenbar mit einer geringeren „Qualität“ (Schutzklasse III) bereits ausreichend ist. Der innere Blitzschutz (Blitzschutz-Potentialausgleich für die von außen zugeführten Versorgungsleitungen), der koordinierte Überspannungsschutz für die automatischen Brandschutzmaßnahmen und, falls vorhanden, auch für die elektrischen Systeme in der sensiblen EX-Zone 1 sind stets erforderlich.



## 5 Verbesserung des Blitzschutzes von Biogasanlagen

### 5.1 Schutzklasse; Erfordernis eines äußeren Blitzschutzes

Die Risikoanalysen für zwei beispielhafte BGA in Abschnitt 4 zeigen, dass bei Vorhandensein einer EX-Zone 1 ein äußerer Blitzschutz erforderlich ist. Ist dagegen lediglich eine EX-Zone 2 existent, ist ein äußerer Blitzschutz im Ergebnis der Risikoanalysen und bei Zugrundelegung ausschließlich der Schadensart L1 nicht erforderlich; hier erscheint ein innerer Blitzschutz ausreichend.

Zieht man dieses Ergebnis heran und berücksichtigt gleichzeitig alle in Abschnitt 3 aufgeführten Dokumente und Analysen, erscheint für BGA, die eine EX-Zone 1 aufweisen (unabhängig von deren räumlichen Umfang), grundsätzlich ein äußerer Blitzschutz erforderlich. Für das Blitzschutzsystem sollte dann Schutzklasse II festgelegt werden. Nur dadurch lassen sich auch die Anforderungen aus den TRBS und dem Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3 [9] erfüllen.

Weist die BGA dagegen keine EX-Zone 1 auf, ist also lediglich eine EX-Zone 2 oder auch keine EX-Zone vorhanden, kann auf Basis der Ergebnisse der Risikoanalysen ein äußerer Blitzschutz nicht zwingend ausschließlich auf Basis der Schadensart L1 begründet werden. Insofern kommt der EX-Zonen-Einteilung eine entscheidende Bedeutung zu. Ein Verzicht auf einen äußeren Blitzschutz muss aus Sicht des Verfassers allerdings eindeutig begründet und detailliert dokumentiert sein. Es muss also zweifelsfrei gesichert sein, dass keine EX-Zone 1 vorhanden ist. Wurde für eine BGA keine EX-Zonen-Einteilung durchgeführt, sollte als worst-case Betrachtung stets von einer EX-Zone 1 ausgegangen werden. Damit ist ein äußerer Blitzschutz erforderlich und es sollte dann auch Schutzklasse II für das Blitzschutzsystem festgelegt werden.

Allerdings stellt sich auch für BGA ohne eine EX-Zone 1 die Frage, ob es zur Eindämmung wirtschaftlicher Verluste im Rahmen einer vorbeugenden Maßnahme nicht von Vorteil ist, einen äußeren Blitzschutz zu errichten. Die Risikoanalysen zeigen, dass dadurch die wirtschaftlichen Verluste zumindest für „große“ BGA weiter reduziert werden können. Insofern wird auch für solche BGA ohne EX-Zone 1 ein äußerer Blitzschutz dringend empfohlen. Im Sinne einer Vereinheitlichung mit den übrigen Anforderungen sollte dieser auch wieder nach Schutzklasse II ausgeführt werden.

In allen Fällen muss aber klar herausgestellt werden: Auch wenn auf einen äußeren Blitzschutz verzichtet werden soll, werden dadurch lediglich die Maßnahmen nach den Abschnitten 5.2 – 5.4 eingespart. In jedem Fall sind für alle BGA die Maßnahmen nach den Abschnitten 5.5 – 5.8 erforderlich!

### 5.2 Fangeinrichtungen

Für alle Gebäude und Anlagenteile einer BGA sind Fangeinrichtungen nach Schutzklasse II gemäß DIN EN 62305-3 [5] zu installieren. Der Radius  $R$  der Blitzkugel für die Planung dieser Fangeinrichtungen beträgt 30 m. Der

Schutz vor direkten Blitzeinschlägen sollte vor allem in Form von Fangstangen realisiert werden. Dabei sind insbesondere alle Dachränder, -kanten und -ecken der Gebäude und Anlagenteile zu schützen. Übertragende Dachaufbauten sind mit zu schützen. Eine getrennte Fangeinrichtung für einen Gärbehälter/Fermenter mit Folienhaube (Membrane) einer BGA zeigt **Bild 2**.

Es ist auf eine ausreichende „Vermaschung“ der Fangstangen untereinander durch die Ableitungen zu achten, um eine ausreichend gleichmäßige Blitzstrom-Verteilung zu erreichen.

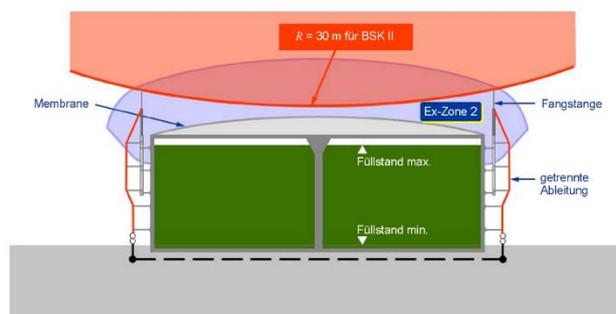
Es besteht keine absolute Notwendigkeit, für alle Anlagenteile einen isolierten äußeren Blitzschutz zu errichten. Eine BGA bietet ausreichend Metallteile, die in den Schutz als natürliche Bestandteile mit einbezogen werden können. Voraussetzung dafür ist, dass entweder keinerlei Funken auftreten können, die Brände oder Explosionen verursachen können, oder dass diese nur dort auftreten, wo sie keine Brände oder Explosionen verursachen können. Dabei ist insbesondere die Festlegung von EX-Zonen 1 zu beachten. Ein solches, integriertes Blitzschutzsystem kann sowohl aus technischer wie auch aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhaft sein. In diesem Fall sind metallene Dachaufbauten grundsätzlich mit den Fangeinrichtungen auf kurzem Wege zu verbinden.

Anmerkung:

Die Planung eines äußeren Blitzschutzes mit der Blitzkugel nach Schutzklasse II ist äußerst konservativ. Untersuchungen zeigen, dass anstelle der eigentlich für Schutzklasse II unterstellten Einfangwirksamkeit von 97% (siehe [3], Abschnitt 8.2) durch Fangstangen wesentlich höhere Werte für die eingefangenen Blitzeinschläge erreicht werden können [15, 16]. Solche Untersuchungen sind mit dem dynamischen elektro-geometrischen Modell (DEGM) möglich.

Bei einer Planung von Fangeinrichtungen mit dem DEGM ist eine deutliche Reduzierung der Anzahl der Fangstangen so möglich, dass das Schutzniveau, d.h. die Einfangwirksamkeit der Fangstangen, gegenüber dem „Standardfall“ entweder gleichbleibt oder der gemäß [3] unterstellte Wert von 97% sicher erreicht wird.

Es sei hier nur festgehalten, dass eine Planung der Fangstangen mit dem DEGM stets nur für eine reale Anlage möglich ist. Damit können Anzahl, Lage und Höhe von Fangstangen optimiert werden. Das Verfahren stellt allerdings eine moderne Interpretation der Normenanforderungen aus DIN EN 62305 dar [3, 4, 5].



**Bild 2** Beispiel für einen Gärbehälter/Fermenter mit Folienhaube (Membrane), getrennte Fang- und Ableitungseinrichtungen ([9], Bild 13).

### 5.3 Ableitungen

Um die Gebäude und Anlagenteile einer BGA sind Ableitungen im Abstand von ca. 10 m an den Außenwänden zu errichten. Diese Ableitungen sind mit dem Ringerder und dem Fundamenterder des Gebäudes bzw. Anlagenteiles zu verbinden.

Auch hier gilt, dass vorhandene Metallteile als natürliche Bestandteile der Ableitungen mitverwendet werden können. Voraussetzung dafür ist, dass entweder keinerlei Funken auftreten können, die Brände oder Explosionen verursachen können, oder dass diese nur dort auftreten, wo sie keine Brände oder Explosionen verursachen können. Dabei ist insbesondere die Festlegung von EX-Zonen 1 zu beachten.

### 5.4 Trennungsabstand

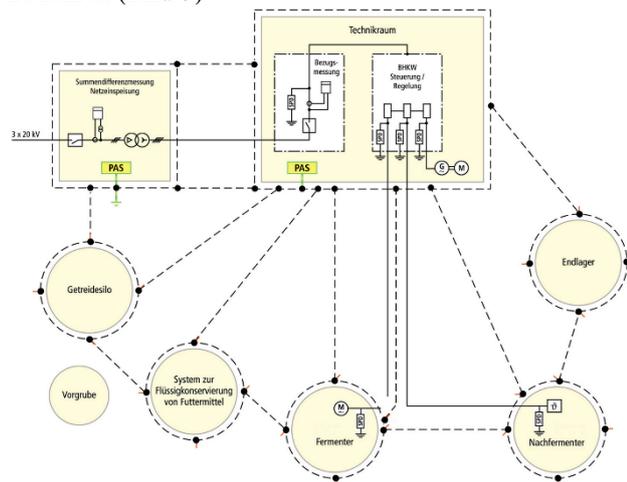
Für Fangeinrichtungen und Ableitungen des Blitzschutzsystems sind an den Trennungsabstand zu elektrischen und metallenen Installationen grundsätzlich die Anforderungen nach [5], Abschnitt 6.3 zu erfüllen. Zugrunde zu legen ist die Schutzklasse II.

Ein gebäude- bzw. anlagen-integriertes Blitzschutzsystem mit Nutzung natürlicher Bestandteile für Fangeinrichtungen und Ableitungen kann hier sowohl aus technischer wie auch aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhaft sein.

### 5.5 Erdungsanlage

Für alle Gebäude und Anlagenteile ist ein Fundamenterder (FE) nach DIN 18014 [17] zu errichten, der in die Bewehrung der Sohle eingelegt wird. Zusätzlich dazu ist um jedes Gebäude im Abstand von ca. 1 m ein Ringerder in einer Tiefe von mindestens 0,5 m zu verlegen. An den Ringerder ist im Abstand von ca. 10 m der FE anzuschließen.

Die Erdungsanlagen der einzelnen Gebäude und Anlagenteile sind zu einer vermaschten Erdungsanlage zusammen zu führen (**Bild 3**).



**Bild 3** Vermaschte Erdungsanlage ([9], Bild 14).

### 5.6 Blitzschutz-Potentialausgleich

Zur Erdung bzw. Blitzschutz-Potentialausgleich werden ausreichend Haupterdungsschienen (HES) bzw. Potential-

ausgleichsschienen (PAS) installiert. Zusätzlich gibt es natürliche Bestandteile der Erdung, z.B. Metallfassaden bzw. -gehäuse, die hier mitverwendet werden können. Dafür wird im Folgenden der Begriff Innenerdung verwendet.

Metallene Konstruktionen, die in die Gebäude und Anlagenteile eintreten (Rohre, Versorgungskanäle, etc.), werden direkt am Gebäudeeintritt geerdet.

Bei im Erdreich liegenden isolierten Rohren mit kathodischem Korrosionsschutz erfolgt die Anbindung an die Erdung über geeignete Trennfunkstrecken. Gleiches gilt für die Erdungsleitungen, die für Zwecke des kathodischen Korrosionsschutzes aus den Gebäuden nach außen geführt werden.

Metallene Konstruktionen im Innenbereich (Länge >1 m) werden mindestens einmal geerdet. Bei längeren Konstruktionen sind Verbindungen im Abstand von ca. 20 m vorzunehmen.

Bei metallenen Installationen auf oder an den Seiten von Gebäuden (z.B. auch Antennen, Kommunikationseinrichtungen, etc.) sind ebenfalls Verbindungen zur Innenerdung erforderlich.

Alle elektrischen Versorgungsleitungen (Energie, Automatisierungstechnik, Kommunikation), die von außen in die BGA eintreten, werden über geeignete Überspannungsschutzgeräte Typ I in den Blitzschutz-Potentialausgleich einbezogen. Dies sollte so nahe wie möglich am Leitungseintritt in Gebäude bzw. Anlage realisiert werden.

Elektrische Leitungen, die innerhalb der BGA von einem Gebäude/Anlagenteil zu einem anderen verlegt sind, gehören zunächst nicht in diese Kategorie. Für diese gelten die Anforderungen aus den Abschnitten 5.7 und 5.8.

### 5.7 Kabelverlegung

Kabel sollten nach Möglichkeit auf metallenen Kabeltragkonstruktionen verlegt werden (**Bild 4**). Die Kabeltragkonstruktionen sind im gesamten Verlauf komplett über kurze Verbindungselemente durch zu verbinden. Dies gilt auch für Gitter- und Rohrbahnen.

Die Kabeltragkonstruktionen sind nach Möglichkeit mindestens an den Enden auf kürzestem Wege mit der Innenerdung zu verbinden. Bei längeren Kabeltragkonstruktionen sollten Verbindungen mit der Innenerdung im Abstand von ca. 20 m vorgenommen werden.

Führen Kabeltrassen in ein Gebäude hinein (Kabeldurchführungen), sind die Kabeltragkonstruktionen an den Gebäudegrenzen auf kürzestem Wege mit der Innenerdung zu verbinden. An den Verbindungsstellen ist eine sichere elektrische Verbindung zu realisieren.

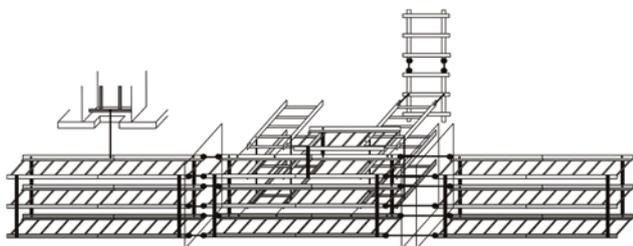
Es sollte auf eine konsequente Leveltrennung geachtet werden. Auf den Pritschen der MSR und Leittechnik (Automatisierungstechnik) dürfen nur Kabel mit einer Nennspannung < 60 V verlegt werden. Niederspannungs- (NS-) und ggf. Mittelspannungs- (MS-) Kabel dürfen nur auf eigenen Pritschen verlegt werden. Für die Kabelabstände gilt grundsätzlich:

- NS-Kabel: Abstand >0,2 m zur Pritsche MSR/Leittechnik;
- MS-Kabel: Abstand >0,4 m zur Pritsche MSR/Leittechnik.

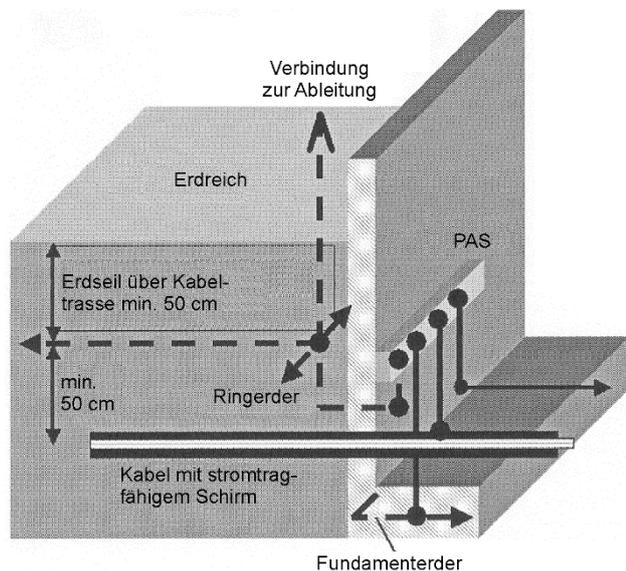
Es dürfen außerhalb von Gebäuden und Anlagen nur Kabel der Automatisierungstechnik mit einem elektrisch ausreichend leitfähigen Schirm mit ausreichender Stromtragfähigkeit (z.B. Geflecht) verwendet werden (Ausnahme: Kabellänge außerhalb des Gebäudes <1 m). Weiterhin wird empfohlen, außerhalb von Gebäuden und Kabelkanälen auch nur geschirmte NS-Kabel zu verwenden. Die Kabel sind so zu verlegen, dass sie nicht direkt vom Blitz getroffen werden können.

Nach Möglichkeit sollten auch die Leitungen innerhalb der BGA, also Leitungen, die von einem Gebäude/Anlagenteil zu einem anderen verlegt sind, geschirmt ausgeführt werden. Diese Kabelschirme sollten dann beidseitig an die HES bzw. PAS der beiden verbundenen Gebäude/Anlagenteile angeschlossen sein (**Bild 5**). Mehrere parallel verlegte Leitungen können in einer gemeinsamen Schirmung verlegt werden (z.B. Kabelwanne mit Deckel). Ein Schutz vor direkten Blitzeinschlägen kann durch einen darüber verlegten Erdungsleiter erreicht werden.

Mit diesen Maßnahmen wird der Einsatz weiterer Überspannungs-Schutzgeräte deutlich reduziert.



**Bild 4** Kabeltragkonstruktionen.



**Bild 5** Schutz einer Kabeltrasse im Erdreich durch die Verlegung eines zusätzlichen Erdungsleiters, Situation am Gebäudeeintritt ([9], Bild 4).

## 5.8 Koordinierter Überspannungsschutz

Ein koordinierter Überspannungsschutz ist innerhalb der BGA zunächst nur für die elektrischen Leitungen der auto-

matischen Brandschutzmaßnahmen erforderlich. Abhängig von den technischen Systemen und ihren Schnittstellen sind anforderungsgerechte, mit den Überspannungsschutzgeräten Typ I zum Zwecke des Blitzschutz-Potentialausgleichs koordinierte, und ggf. auch untereinander koordinierte Überspannungs-Schutzgeräte Typ II bzw. Typ III zu installieren. Die einschlägigen Anforderungen an die Koordination ergeben sich aus DIN EN 62305-4 [6]. Damit wird die ausreichende Funktionsfähigkeit der Brandschutzmaßnahmen, die im Sinne der Störfallverordnung erforderlich sind, auch bei Blitzeinwirkung sichergestellt.

An den Eingängen aller elektrischer Leitungen in Bereiche der EX-Zonen 1 sind, falls vorhanden, ebenfalls anforderungsgerechte, mit den Überspannungs-Schutzgeräten Typ I zum Zwecke des Blitzschutz-Potentialausgleichs koordinierte, und ggf. auch untereinander koordinierte Überspannungs-Schutzgeräte Typ II bzw. Typ III zu installieren [6]. Damit wird ausreichend sichergestellt, dass in den Bereichen der EX-Zonen 1 keine Funken auftreten, die zu Bränden und Explosionen führen können.

Für alle Überspannungs-Schutzgeräte wird die Installation in eigenen Anschlusskästen dringend empfohlen. Die Anschlusskästen sind genauso wie metallene Unterverteiler und die elektrischen und elektronischen Endgeräte bei Wandmontage auf kurzem Wege mit der Innenerdung zu verbinden. Sind Unterverteiler auf einem Montagegestell montiert, ist dieses ebenfalls mit der Innenerdung zu verbinden.

Die Maßnahmen aus Abschnitt 5.7 und 5.8 sind teilweise voneinander abhängig. Werden Kabelschirmungen nach Abschnitt 5.7 realisiert, sind häufig nur rel. energiearme Überspannungs-Schutzgeräte erforderlich; im Einzelfall kann hier sogar auf den Einsatz von weiteren Überspannungs-Schutzgeräten vollständig verzichtet werden. Dies ist Aufgabe einer Detailplanung für eine reale BGA.

## 6 Zusammenfassung

Bisher traten bei BGA in Deutschland offensichtlich ausschließlich wirtschaftliche Schäden und keine Personenschäden auf. Auch bei BGA mit äußerem und innerem Blitzschutz sind dabei Schäden aufgetreten. Dies könnte ein Hinweis sein auf bestehende Mängel der installierten Blitzschutzsysteme und des installierten Überspannungsschutzes.

Für BGA ist neben einem inneren zusätzlich ein äußerer Blitzschutz erforderlich, sofern eine Explosionsschutz-(EX-) Zone 1 vorhanden ist. Dies wird durch Aussagen des informativen Beiblatts 2 zur DIN EN 62305-3 [9] gestützt. Hier wird eine Schutzklasse II des Blitzschutzsystems festgelegt. In Risikoanalysen für zwei unterschiedliche BGA nach DIN EN 62305-2 [4] wird dieses Ergebnis ebenfalls grundsätzlich gestützt; allerdings dürfte nach diesen Analysen bereits eine Schutzklasse III (zum Teil auch schon eine Schutzklasse IV) des Blitzschutzsystems ausreichen. Ist dagegen keine EX-Zone 1 vorhanden, sondern lediglich eine EX-Zone 2 oder auch gar keine EX-Zone, ist ein äußerer Blitzschutz, d.h. Fangeinrichtungen und Ableitungen, aus Sicht der genannten Risikoanalysen i.d.R. nicht erforderlich, sofern lediglich die Schadensart L1: Verlet-

zung oder Tod von Personen zugrunde gelegt wird. Unabhängig davon kann aber auch für solche BGA, also ohne EX-Zone 1, ein (zusätzlicher) äußerer Blitzschutz zur Reduzierung von Sachschäden im Rahmen einer vorbeugenden Maßnahme von Vorteil sein; er wird daher dringend empfohlen.

Weiterhin folgt aus den Risikoanalysen, dass ein Überspannungsschutz für alle elektrischen Versorgungsleitungen am Eintritt von außen in die BGA, für alle Leitungen der automatischen Brandschutzmaßnahmen in der BGA, und am Eintritt/Übergang aller elektrischen Leitungen in Bereiche der EX-Zonen 1, falls vorhanden, stets erforderlich ist. Der sogenannte „innere“ Blitzschutz mit Überspannungsschutz hat gegenüber dem „äußeren“ Blitzschutz eine grundsätzlich höhere Bedeutung, da die weitaus höhere Bedrohung (Zahl der Schäden) durch indirekte Blitzeinschläge hervorgerufen wird, nicht durch direkte Blitzeinschläge.

Zur Sicherstellung eines ausreichenden Schutzniveaus gegen Blitzeinwirkungen sind damit grundsätzlich folgende Schutzmaßnahmen geeignet:

- äußerer Blitzschutz der Schutzklasse II (vgl. dazu im Detail die Aussagen in Abschnitt 5.1);
- Blitzschutz-Potentialausgleich für alle von außen eingeführten Versorgungsleitungen;
- koordinierter Überspannungsschutz für die elektrischen Leitungen der automatischen Brandschutzmaßnahmen in der gesamten BGA;
- koordinierter Überspannungsschutz für alle elektrischen Systeme (Energie- und Automatisierungstechnik) im Bereich der EX-Zonen 1, falls die BGA solche aufweist.

Naturngemäß kann dieses Konzept insbesondere beim Neubau von BGA Anwendung finden. Die Möglichkeiten für Nachrüstungen bei Bestandsanlagen, die Defizite im Bereich des Blitz- und Überspannungsschutzes haben, sind eingeschränkt und abhängig von der konkreten BGA sowie der Ausgestaltung vorhandener Schutzmaßnahmen. Eine Priorisierung bei der Nachrüstung von Schutzmaßnahmen für Bestandsanlagen muss technisch-wirtschaftliche Kompromisse eingehen.

## 7 Literatur

[1] [HTTPS://DE.STATISTA.COM/STATISTIK/DATEN/STUDIE/164247/UMFRAGE/ANZAHL-DER-BIOGASANLAGEN-NACH-BUNDESLAND/](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164247/umfrage/anzahl-der-biogasanlagen-nach-bundesland/) (aufgerufen: 10.01.2017)

[2] Technische Regeln für Betriebssicherheit TRBS 2152 Teil 3 - Technische Regeln für Gefahrstoffe Teil 3: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (GMBI. Nr. 77 vom 20. November 2009, S. 1583)

[3] DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1): 2011-10: Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze.

[4] DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2): 2013-02: Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management.

[5] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): 2011-10: Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.

[6] DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4): 2011-10: Blitzschutz – Teil 4: elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.

[7] VdS 2010: 2015-04: Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz.

[8] Anforderungen an den Blitzschutz von Biogasanlagen – Technische Information (SVK Biogas – Informationsblatt Stand 30.04.2014.

[9] DIN EN 62305-3 Beiblatt 2 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 2): 2012-10: Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 2: Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen.

[10] Deutsche Gesellschaft Unfallversicherung (DGUV) – Sachgebiet Explosionsschutz: Einteilung von Explosionsschutz-Zonen bei Biogasanlagen – Auszug aus der Beispielsammlung der BGR 104. Stand: 01/2014.

[11] Technische Regeln für Betriebssicherheit TRBS 2152 - Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines (Bundesanzeiger Nr. 103a vom 2. Juni 2006).

[12] DIN EN 62305-2 Beiblatt 1 (VDE 0185-305-2 Beiblatt 1): 2013-02: Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management – Beiblatt 1: Blitzgefährdung in Deutschland.

[13] Schucknecht A.; Matschullat J.: Raum-zeitliches Blitzaufkommen im Freistaat Sachsen – Ursachen, Phänomene, Risiken. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Schriftenreihe, Heft 12/2014.

[14] DIN EN 62305-2 Beiblatt 2 (VDE 0185-305-2 Beiblatt 2): 2013-02: Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management – Beiblatt 2: Berechnungshilfe zur Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen, mit CD-ROM.

[15] Kern A.: Das dynamische elektro-geometrische Modell zur detaillierten Berechnung der Einschlagwahrscheinlichkeit in Fangeinrichtungen – 3 Fallstudien. 11. VDE/ABB-Blitzschutztagung, Neu-Ulm 2015.

[16] Kern A., et.al.: Detailed calculation of interception efficiencies for air-termination systems using the dynamic electro-geometrical model – Practical applications. 33rd International Conference on Lightning Protection (ICLP), Estoril (Portugal) 2016.

[17] DIN 18014: 2014-03: Fundamentender - Planung, Ausführung und Dokumentation.

**DANKSAGUNG** Das Projekt wurde vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) finanziert. Der Verfasser dankt dem LfULG für die Förderung und für die Genehmigung der Veröffentlichung der Ergebnisse.

Eine ausführliche Fassung der Projektergebnisse ist in folgendem Bericht zu finden: A.Kern: „Untersuchung zur Optimierung des Blitzschutzes bei Biogasanlagen“, Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG); Redaktionsschluss: 31.05.2017.