



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Bestimmung von Geruchsemissionen an Biogasanlagen

- Emissionen von Biogasmotoren & Silagen

IMA

Richter & Röckle



Reihenbezeichnung

UmweltSpezial

Impressum

Bestimmung von Geruchsemissionen
an Biogasanlagen. Emissionen von Silagen & Biogasmotoren

ISBN (Druck-Version): xxx-x-xxxxxx-xx

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

IMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG
Niederlassung Stuttgart
Hauptstr. 54
D-70839 Gerlingen

LGA Immissions- und Arbeitsschutz

Christian-Hessel-Str. 1
D-90427 Nürnberg

Redaktion:

IMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG
Niederlassung Stuttgart
Hauptstr. 54
D-70839 Gerlingen

LfU, Referat 21: Feistkorn, Schmoeckel, Winkler, Ebertsch

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
IMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG
Niederlassung Stuttgart
Hauptstr. 54
D-70839 Gerlingen

Druck:

Eigendruck der Druckerei Bayerisches Landesamt für Umwelt
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

August 2014

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	4
2	Standort und örtliche Gegebenheiten	6
2.1	Biogasanlage Nr. 1	6
2.2	Biogasanlage Nr. 2	6
3	Probenahmen und Messergebnisse	7
3.1	Motorenanlage - Gas-Otto-Motor	7
3.2	Motorenanlage – Zündstrahlmotor	11
3.3	Gärresttrocknungsanlage	14
3.4	Silagen/ -anschnitte und Gärrest zu unterschiedlichen Jahreszeiten	17
4	Zusammenfassung der Ergebnisse	22
	Literaturverzeichnis	25

1 Situation und Aufgabenstellung

Bei der Genehmigung von Biogasanlagen ist bei geringen Abständen zur Wohnbebauung häufig die Abschätzung der Geruchsimmissionsbelastung durch eine Geruchsimmissionsprognose erforderlich. Ob eine Immissionsbelastung durch Kaltluftabflüsse begünstigt wird, kann mit dem in Bayern bei den Kreisverwaltungsbehörden eingeführten Modellsystem GAKBY (Geruchsausbreitung in Kaltluftabflüssen in Bayern [1]) abgeschätzt werden. Für beide Anwendungsfälle wird auf spezifische Geruchsemissionsfaktoren zurückgegriffen. Bei Biogasanlagen mangelt es an Aktualität und Vollständigkeit der Grundlagen. Zwischenzeitlich haben sich sowohl der Stand der Technik bei Biogasanlagen als auch bei der olfaktometrischen Probenahme und Analyse verbessert.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) führte daher ein Forschungsvorhaben zur Bestimmung von spezifischen Geruchsemissionsfaktoren von landwirtschaftlichen Biogasanlagen durch. Die vorhandenen Daten für Biogasanlagen sollen durch das Untersuchungsprogramm verifiziert, ggf. verbessert und ergänzt werden. Dies gilt insbesondere für die Geruchsemissionsfaktoren von Biogasmotoren, Silagen und Anschnitten, separierte Gärreste und Gärresttrocknungsanlagen. Zusätzlich sollen zu den ermittelten Geruchsemissionsfaktoren weitere Erkenntnisse durch die Aufnahme der Randbedingungen (jahreszeitlichen abhängigen Witterungsbedingungen) unter anderem auch durch Messungen gasförmiger Emissionen gewonnen werden. Ein Augenmerk wurde im Projekt auch auf die Geruchsstoffemissionen aus Motoren von Biogasanlagen gelegt. In der Literatur [2] werden sehr hohe Geruchsstoffkonzentrationen (5000 GE/m^3 für Zündstrahlmotoren, 3000 GE/m^3 für Gas-Otto-Motoren) genannt, die bei einem bestimmungsgemäßen Betrieb moderner Biogasmotoren als wenig plausibel eingeschätzt werden. Nach einer vollständigen Verbrennung des Biogases sollte kein typischer Biogasgeruch mehr feststellbar sein.

Nachdem es in der Vergangenheit deswegen zu Diskussionen gekommen war, sollten hierzu Geruchsmessungen in Motorabgasen durchgeführt und die Geruchsqualität (es riecht nach ...) berücksichtigt werden.

Des Weiteren wurden unterschiedliche Silagen, separiertes Material und eine Gärresttrocknungsanlage untersucht. Von besonderem Interesse war, ob unterschiedliche Silagen, bzw. deren Anschnitte - (Ganz-Pflanzen-Silage (GPS), Mais- und Gras-Silage) jahreszeitlich unterschiedliche Emissionen aufweisen. Ferner wurde untersucht, welche Unterschiede zwischen frisch angeschnittener, ruhender und noch verdichteter, Silage auftreten. In diesem Projekt wurden Messungen im Herbst, Winter und Frühsommer vorgenommen.

An zwei typischen Biogasanlagen fanden olfaktometrische Messungen nach DIN EN 13725 [3], der VDI 3880 [9] und auf Basis der DIN EN ISO/IEC 17025 [4] mit Ermittlung der Geruchsstoffkonzentrationswerte sowie Abgasmessungen statt.

Zielsetzung der Untersuchung war die Datengrundlage an Geruchsemissionsfaktoren für Biogasanlagen zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren.. Es sollte geprüft werden, in wie weit bisherige Angaben zur Geruchsstoffemission von Biogasmotoren [2], von Gärrest und Silagen [8] ggf. noch aktuell sind. Ferner sollten nach Möglichkeit Jahresmittelwerte aus den gemessenen Geruchsstoffströmen für eine repräsentative Biogasanlage abgeschätzt werden.

Der durchgeführte Untersuchungsumfang der Flächenquellen ist in Tabelle 1, der Motoren in Tabelle 2 und der Gärresttrocknungsanlage in Tabelle 3 beschrieben. Während des Projektverlaufs wurden teilweise Änderungen und Ergänzungen vorgenommen.

Tab. 1: Untersuchte Geruchsstoffquellen: Silagen und Gärreste

Quelle	Zustand	Wie oft?	Messungen
Mais-Silage	frisch angeschnitten	Übergangsjahreszeit/ Winter/Sommer	Geruch ¹⁾
Mais-Silage	ruhend (> 4h)	Übergangsjahreszeit/ Winter/Sommer	Geruch ¹⁾
GPS-Silage	frisch angeschnitten	Übergangsjahreszeit/ Winter/Sommer	Geruch ¹⁾
GPS-Silage	ruhend (> 4h)	Übergangsjahreszeit/ Winter/Sommer	Geruch ¹⁾
Gras-Silage	frisch angeschnitten	Übergangsjahreszeit/ Winter/Sommer	Geruch ¹⁾
Gras-Silage	ruhend (> 4h)	Übergangsjahreszeit/ Winter/Sommer	Geruch ¹⁾
Gärrest (fest)	separiert frisch	Übergangsjahreszeit/ Sommer	Geruch ¹⁾
Gärrest (fest)	separiert gelagert	Übergangsjahreszeit/ Sommer	Geruch ¹⁾

¹⁾ inkl. Geruchsqualität (d.h. es riecht nach...)

Tab. 2: Untersuchte Geruchsstoffquelle: Biogasmotoren

Motor	Messpunkt	Wie oft?	Messungen
Zündstrahlmotor	Abgaskamin	einmalig	Geruch ¹⁾ , Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO _x), Gesamtkohlenstoff (Gesamt-C) (zzgl. Methan (CH ₄), Stickstoffoxide (SO ₂), Formaldehyd (HCHO), Abgasrandbedingungen
Gas-Otto-Motor	vor Oxidationskatalysator	einmalig	Geruch ¹⁾ , CO, NO _x , Gesamt-C (zzgl. CH ₄), SO ₂ , HCHO, Abgasrandbedingungen
Gas-Otto-Motor	nach Oxidationskatalysator	einmalig	Geruch ¹⁾ , CO, NO _x , Gesamt-C (zzgl. CH ₄), SO ₂ , HCHO, Abgasrandbedingungen

¹⁾ inkl. Geruchsqualität (d.h. es riecht nach...)

Tab. 3: Untersuchte Geruchsstoffquelle: Gärresttrocknungsanlage

Quelle	Messpunkt	Wie oft?	Messungen
Gärresttrocknungsanlage	Abluft des zu trocknenden Gärrests	einmalig	Geruch ¹⁾ , Gesamt-C (zzgl. CH ₄), SO ₂ , Ammoniak (NH ₃), Abgasrandbedingungen
Gärresttrocknungsanlage	nach Wäscher	einmalig	Geruch ¹⁾ , Gesamt-C (zzgl. CH ₄), SO ₂ , NH ₃ , Abgasrandbedingungen

¹⁾ inkl. Geruchsqualität (d.h. es riecht nach...)

2 Standort und örtliche Gegebenheiten

Exemplarisch für diese Untersuchungen wurden zwei nach dem Stand der Technik errichtete, ordnungsgemäß betriebene und sauber geführte Biogasanlagen ausgewählt. Die Flächenquellen und die Messungen am Gas-Otto-Motor wurden an Biogasanlage Nr. 1 durchgeführt. Die Untersuchung zum Zündstrahlmotor und zur Gärresttrocknungsanlage fand an Biogasanlage Nr. 2 statt. Beide Biogasanlagen sind immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig. Dementsprechend wurden die Emissionsbegrenzungen für Motoren entsprechend der Nr. 1.4 der TA Luft festgelegt.

2.1 Biogasanlage Nr. 1

Die Biogasanlage Nr. 1 liegt nordwestlich einer Ortschaft an einem Waldrand. Das Gelände am Standort fällt leicht nach Südost ab. Die Anlage verarbeitet NAWARO-Material. Die Fahrhilfen weisen eine Sandwich-Struktur mit einer Lagerkapazität von 8500 m³ auf. Die Aufbaustruktur von unten nach oben ist Gras, GPS und Mais.

Das erzeugte Biogas wird in drei Gas-Otto-Motoren, jeweils ausgeführt mit Oxidationskatalysatoren, verstromt und die entstehende Abwärme zur Beheizung der Fermenter und zur Gärrestaufbereitung genutzt. Abbildung 1 zeigt die topographische Lage des Standorts.

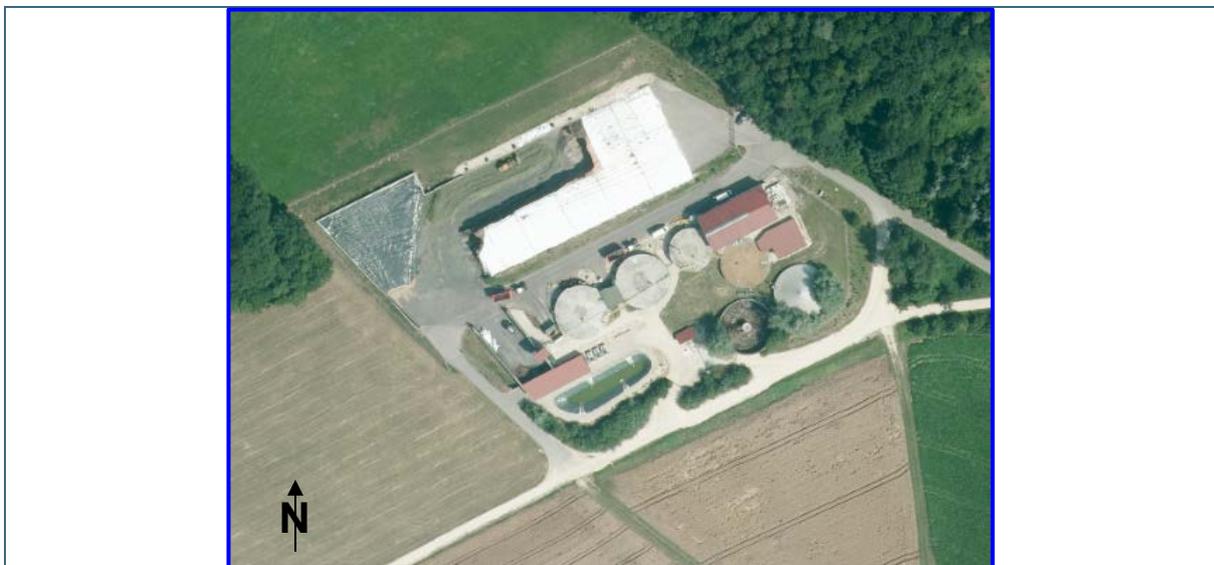


Abb. 1: Luftbild der Biogasanlage Nr. 1 (www.geodaten.bayern.de)

2.2 Biogasanlage Nr. 2

Die Biogasanlage Nr. 2 liegt nordwestlich der Ortschaft. Das Gelände am Standort ist leicht nach Nordost abfallend und insgesamt wellig. Die Anlage verarbeitet NAWARO-Material und Gülle. Als BHKW werden zwei Zündstrahlmotoren zum Zeitpunkt der Messung ohne Oxidationskatalysator eingesetzt. Ferner verfügt die Anlage über eine Gärresttrocknungsanlage. Die Biogasanlage hat eine Silage-Lagerkapazität (Mais GPS Gras gemischt) von ca. 6.000 m³ und für Gülle von ca. 200 m³. In der Abbildung 2 ist der Standort aus einem Luftbild ersichtlich.



Abb. 2: Luftbild der Biogasanlage Nr. 2 (www.geodaten.bayern.de)

3 Probenahmen und Messergebnisse

Die Flächenquellen (Silage und Gärrest) wurden zur Erfassung verschiedener Einflüsse, wie Witterung und Alter dreimalig olfaktometrisch untersucht. Während die Geruchs- und Abgasemissionen der geführten Quellen (Motoren und Gärresttrocknung) einmalig gemessen wurden.

3.1 Motorenanlage - Gas-Otto-Motor

Die Untersuchung an einem Motor mit Oxidationskatalysator erfolgte am 10.10.2012 an Biogasanlage Nr. 1. Die technischen Daten zu Motor 3, an dem die Messungen erfolgten, zeigt Tabelle 4

Baujahr	2011
Zylinder	12
Motorleistung elektrisch	420 kW

Tab. 4:
Technische Daten des Gas-Otto-
Motors mit Oxidationskatalysator

mit einem Oxidationskatalysatoren je Abgasstrang (V-Motor)

Typ	BOC-250090-100 LF
Baujahr	2011
Seriennummer	A11 0001-1-70/A11 0001-1-65

Die Abgasmessung der unten aufgeführten Parameter führte eine nach § 29 b BImSchG bekannt gegebene Messstelle durch. Die Ergebnisse sind in einem Messbericht [6] dokumentiert.

- Kohlenmonoxid
- Stickstoffoxide
- Gesamt C (inkl. Methan)

- Schwefeldioxid
- Formaldehyd
- Abgasrandbedingungen

Die Messstelle vor Katalysator (Rohgas) war für die Erfassung von Emissionen nicht geeignet und entsprach nicht der DIN EN 15259, so dass eine erhöhte Messunsicherheit besteht.

Die Messungen für die Komponente Geruchstoffe erfolgte durch den Auftragnehmer. Um den Geruchsminderungsgrad des Oxidationskatalysators bestimmen zu können, wurden die Probenahmen zeitgleich vor und nach dem Oxidationskatalysator vorgenommen. Die Probenahmedauer für die olfaktometrischen Proben und die Abgaskomponenten (s.o.) betrug jeweils 30 min. Nach Vorversuchen war eine Vorverdünnung für die olfaktometrische Probenahme von 1:2 erforderlich. Die Geruchsprobenahmestellen entsprachen nicht den Anforderungen der DIN 15259. Aufgrund des geringen Querschnittes und der hohen Abgasgeschwindigkeit konnte auf eine Netzmessung verzichtet werden.

In der Abbildung 3 ist der Oxidationskatalysator der Biogasanlage Nr. 1 in der Abgasführung des Gas-Otto-Motors zu erkennen. Abbildung 4 zeigt die olfaktometrische Probenahme des Motorenabgases vor dem Eintritt in den Oxidationskatalysator nach Durchgang hinter dem Motor und vor dem Kamin.

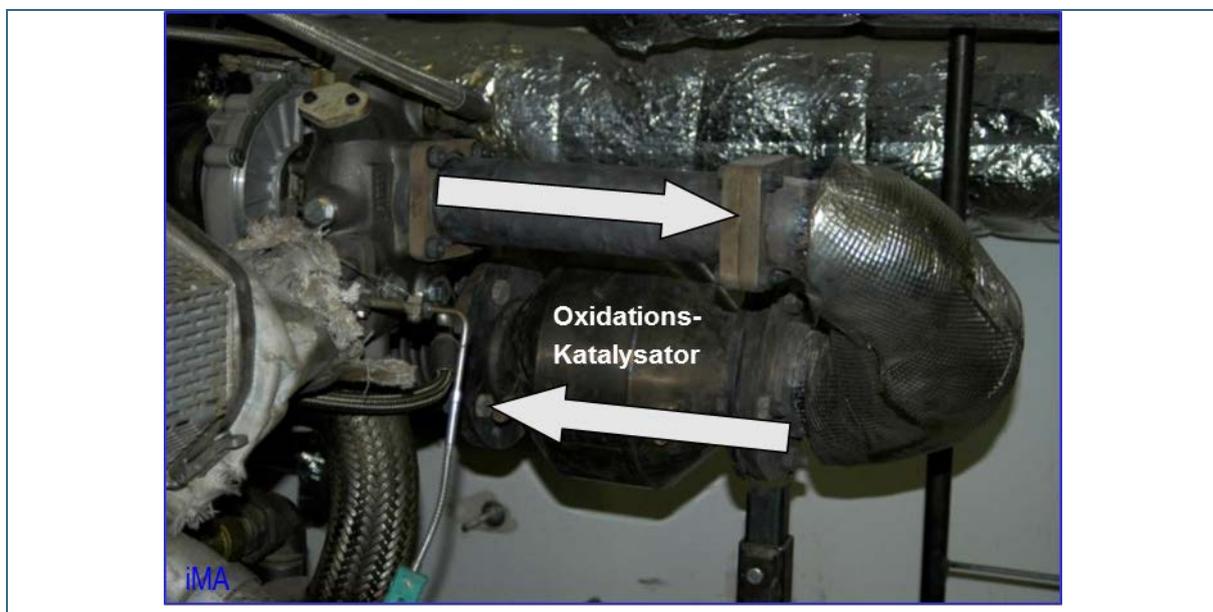


Abb. 3: Oxidationskatalysator und Durchströmungsrichtung (weißer Pfeil) des Motorabgases



Abb. 4: Probenahme Olfaktometrie vor und nach Oxidationskatalysator am Gas-Otto-Motor

Die Messergebnisse aus den Proben zur Messung an der Gas-Otto-Motorenanlage sind in den Tabellen 5 und Tabelle 6 zusammengestellt. Die Auslastung der Anlage betrug im Messzeitraum 100 %. Über die reine Messung der Geruchsstoffkonzentration hinaus wurde das Motorenabgas noch auf die Geruchsstoffqualität (d.h. es riecht nach ...) untersucht.

Tab. 5: Ergebnisse der Abgasmessung an Biogasanlage Nr. 1, bezogen auf trockene Abgase im Normzustand (273 K, 1013 hPa) und 5 Vol.-% Sauerstoff

Messkomponente	Einheit	Mittelwert	Max. Wert	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Grenzwert der TA Luft	Auslastung
Rohgas						
Formaldehyd	mg/m ³	15,2	15,6	20,0		100 %
SO ₂	mg/m ³	32,7	42,1	52,6		
CO	mg/m ³	571	580	615		
NO _x	mg/m ³	3.461	3610	3.790		
Gesamt-C ¹⁾	mg/m ³	319	389	420		
Sauerstoff	Vol.-%	4,2	4,4			
Reingas						
Formaldehyd	mg/m ³	11,1	13,4	15,2	60	100 %
SO ₂	mg/m ³	34,9	38,6	43,2	0,31 g/m ³	
CO	mg/m ³	57,2	59,6	66,7	1,0 g/m ³	
NO _x	mg/m ³	3389,3	3511	3.687	0,50 g/m ³	
Gesamt-C ²⁾	mg/m ³	300,2	328	344	--	
Sauerstoff	Vol.-%	4	4,1			

¹⁾ Methangehalt im Mittel 270-325 mg/m³

²⁾ Methangehalt im Mittel 265-360 mg/m³

Tab. 6: Messergebnisse der Olfaktometrie an der Motorenanlage Gas-Otto-Motor der Biogasanlage Nr. 1

	Geruchsstoffkonzentration [GE/m ³] Geometrisches Mittel	Messunsicherheit OG - GE/m ³ - UG (VDI 3884 Bl. 1 E [10])	Beschreibung der Geruchsqualität
Rohgas	7.386	10.230 / 5.333	Abgas, verbrannte Kerze, Chlor
Reingas	2.297	3.182 / 1.659	verbranntes Erdgas oder Kerze

Bis auf NO_x wurden die Emissionskonzentrationswerte der TA Luft unterschritten. Dem LfU liegt für die Anlage 1 ein Messbericht von November 2013 vor, in dem bei emissionsoptimierter Motoreinstellung, alle nach TA-Luft relevanten Emissionswerte eingehalten wurden. Die Auswirkungen der Motoreinstellung (Lambda-Wert) auf die Abgasemissionen und die Betriebsweise der Motoren in der Praxis waren nicht Bestandteile dieses Forschungsvorhabens. Grundsätzlich wird vorgeschlagen, bei

Emissionsmessungen nach § 26 BImSchG Soll- und Istwerte der Lambdaregelung und ggf. den Zündzeitpunkt im Messbericht zu dokumentieren.

Der vermessene Gas-Otto-Motor mit Oxidationskatalysator liegt mit der gemessenen Geruchsstoffkonzentration rohgasseitig im oberen Bereich der Bandbreite der Ergebnisse der Untersuchung aus Sachsen [2]. Von Sachsen wurde resultierend aus den Untersuchungen ein Emissionsfaktor von 3.000 GE/m³ für Gas-Otto-Motoren vorgeschlagen. Durch den Einsatz des Oxidationskatalysators wurde dieser Emissionsfaktor im Reingas jedoch deutlich unterschritten. Die Geruchsstoffminderung, bezogen auf das Rohgas, durch Einsatz des Oxidationskatalysators lag bei ca. 70%.

Bei Betrachtung der Geruchsstoffqualität gibt es keine zwingenden Hinweise auf den Betrieb einer Biogasanlage. Damit kann das Abgas aus dieser Anlage geruchstechnisch nicht einer Biogasanlage zugeordnet werden. Die Geruchscharakteristik ist offensichtlich vergleichbar zu anderen Motoren aus Nicht-Biogas BHKW-Anlagen.

Die Messungen zeigen auch, dass durch den Oxidationskatalysator die CO Emissionen deutlich gemindert werden konnten. Die CO-Konzentration ist vor dem Oxidationskatalysator 10-mal höher als dahinter, d.h. der CO- Minderungsgrad durch den Katalysator liegt bei ca. 90% Die anderen Komponenten zeigen keine wesentliche Beeinflussung durch den Oxidationskatalysator.

3.2 Motorenanlage – Zündstrahlmotor

Die Untersuchung an einem Zündstrahlmotor (siehe Tabelle 7) fand am 11.10.2012 statt.

Baujahr	2010
Zylinder	6
Motorleistung elektrisch	265 kW

Tab. 7:
Technische Daten des Zündstrahlmotors

Die Messungen der unten aufgeführten Parameter erfolgten durch eine nach § 29 b BImSchG bekannt gegebene Messstelle und sind in einem Messbericht [6] dokumentiert. Eine Messstelle gemäß DIN EN 15259 war vorhanden.

- Kohlenmonoxid
- Stickstoffoxide
- Gesamt C (inklusive Methan)
- Schwefeldioxid
- Formaldehyd
- Abgasrandbedingungen

Die Messungen für die Komponente Geruchsstoffe erfolgten durch den Auftragnehmer und sind in zwei Zwischenberichten [11] dokumentiert. Abbildung 5 zeigt den untersuchten Zündstrahlmotor.



Abb. 5: Zündstrahlmotor der Biogasanlage Nr. 2.

In der Abbildung 6 ist die Probenahme des Abgases hinter dem Motor, vor dem Schalldämpfer und dem Kamin dargestellt.



Abb. 6: Probenahmeleitungen an der Abgasführung eines der Zündstrahlmotoren der Biogasanlage Nr. 2

Die Probenahmedauer für die olfaktometrischen Proben und der Abgaskomponenten (s.o.) betragen jeweils 30 min. Für die olfaktometrische Probenahme war nach Vorversuchen eine Vorverdünnung im Verhältnis 1:2 erforderlich.

Die olfaktometrische Probenahmestelle entsprach nicht den Anforderungen der DIN EN 15259. Aufgrund des geringen Querschnittes und der hohen Abgasgeschwindigkeit konnte auf eine Netzmessung verzichtet werden.

Die Messergebnisse aus den Proben zur Messung an der Zündstrahl-Motorenanlage der Biogasanlage Nr. 2 sind in den Tabellen 8 und Tabelle 9 zusammengestellt. Über die reine Messung der Geruchsstoffkonzentration hinaus wurde das Motorenabgas auf Geruchsstoffqualität (d.h. es riecht nach ...) untersucht. Die Auslastung der Anlage betrug zum Messzeitraum 100 %.

Es zeigt sich, dass die gemessene Geruchsstoffkonzentration des Zündstrahlmotors im unteren Bereich der Bandbreite der Untersuchungen aus Sachsen [2] liegt. Von Sachsen wurde resultierend aus den Untersuchungen ein Emissionsfaktor von 5.000 GE/m³ für Zündstrahlmotoren vorgeschlagen, der hier ebenfalls unterschritten wurde.. Die im Projekt gemessenen hohen NO_x – Emissionen deuten grundsätzlich auf höhere Verbrennungstemperaturen hin, so dass ggf. günstigere Bedingungen für die Zerstörung organischer Geruchsträger gegeben waren.

Bei Betrachtung der Geruchsstoffqualität gibt es keinen zwingenden Hinweis auf einen Betrieb in einer Biogasanlage. Damit kann das Abgas aus dieser Anlage geruchstechnisch nicht einer Biogasanlage zugeordnet werden. Die Geruchscharakteristik ist offensichtlich vergleichbar zu anderen Motoren aus Nicht-Biogas BHKW-Anlagen.

Tab. 8: Ergebnisse der Abgasmessung an Biogasanlage Nr. 2, bezogen auf trockene Abgase im Normzustand (273 K, 1013 hPa) und 5 Vol.-% Sauerstoff

Messkomponente	Einheit	Mittelwert	Max. Wert	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Grenzwert der TA Luft	Auslastung
Formaldehyd	mg/m ³	83,7	89,3	101,8	60	100 %
SO ₂	mg/m ³	18,7	28,5	31,9	0,31 g/m ³	
CO	mg/m ³	946,4	951,2	1000	2,0 g/m ³	
NO _x	mg/m ³	1923,5	1959,3	2100	1,0 g/m ³	
Gesamt-C ¹⁾	mg/m ³	592,5	653,2	686	--	
Sauerstoff	Vol.-%	4,8	4,8			

¹⁾ Methangehalt im Mittel 530 -620 mg/m³

Tab. 9: Messergebnis der Olfaktometrie des Zündstrahlmotors der Biogasanlage Nr. 2 [11]

Geruchsstoffkonzentration [GE/m ³] Geometrisches Mittel	Messunsicherheit OG - GE/m ³ - UG (VDI 3884 Bl. 1 E [10])	Beschreibung der Geruchsqualität
3.922	5.649 / 2.723	Chlor, stechend verbrannt

Die Emissionskonzentrationswerte überschritten bei den Messungen die Formaldehyd und NO_x-Emissionswerte der TA Luft. Um den Formaldehydemissionswert der TA Luft zu unterschreiten, werden Zündstrahlmotoren üblicherweise mit Oxidationskatalysatoren ausgestattet. Von der zuständigen Genehmigungsbehörde wurde deshalb die emissionstechnische Optimierung und Nachrüstung des Motors veranlasst. Zwischenzeitlich wurde der Motor komplett überholt. Die neuen Messergebnisse stehen noch aus.

3.3 Gärresttrocknungsanlage

Bei der untersuchten Gärresttrocknungsanlage handelt es sich um einen Bandtrockner, der nach dem Prinzip der Verdunstung arbeitet. Dabei wird die thermische Energie der Biogasmotoren genutzt. Die untersuchte Gärresttrocknungsanlage ist eine Kompaktanlage in Containerbauweise und ist auf Abbildung 7 zu sehen. Die technischen Daten enthält die Tabelle 10.

Trocknungsanlage

Bauart	2 Trocknerschichten mit Pendelförderband
Trockenleistung	0,8-1 kg Wasser/kWh
Trockenfläche	60 m ²
TS-Gehalt Eingang	8%
TS-Gehalt Ausgang	80%
Wärmeangebot	400 kW _{th}
Max. Luftmenge	29.000 m ³ /h

Abluftreinigung

Bauart	Zwei-stufiger Wäscher (Chemische und biologische Stufe)
Filterflächenbelastung	5500 m ³ /m ²
pH-Wert Stufe 1	1-4
pH-Wert Stufe 2	6-8
Säureverbrauch	ca. 3 kg/kg Ammonium
Abschlammung	ca. 20-30 Liter Ammoniumsulfat/kg Ammonium

Tab. 10:
Technische Daten der
Gärresttrocknungsanlagen
mit Abluftreinigung

Die Trocknungsanlage wurde für die Trocknung von Gärresten entwickelt. Sie verfügt über zwei gegenläufige Bänder aus Stahlplatten, auf denen der Gärrest gefördert und von warmer Luft durchströmt wird. Eine einstellbare Menge Flüssiggärrest wird zuvor mit rückgeführtem Trockengut (aus einem Pufferbehälter) im Mischer gemischt. Anschließend wird die tropffreie zu trocknende Masse auf das obere Förderband aufgebracht.



Abb. 7: Gärresttrocknungsanlage an der Biogasanlage Nr. 2.

Die erwärmte Luft strömt gleichmäßig vertikal durch die Förderbänder und nimmt Feuchtigkeit auf. Die dann mit Wasser, Staub, Ammoniak und geruchsintensiven Komponenten belastete Luft wird über einen zweistufigen Wäscher (chemische und biologische Stufe) geführt und über den Abgaskamin in die Atmosphäre geleitet. In der chemischen Stufe wird Schwefelsäure zudosiert, die Ammoniak als Ammoniumsulfat bindet. Die chemische Stufe ist pH-Wert gesteuert. Das Waschwasser wird im Kreislauf gefahren bis ein definierter Sättigungsgrad an Ammoniumsulfat erreicht ist und das Waschwasser aus der Anlage gepumpt wird (in der Regel alle 2 Tage). Das Endprodukt der Gärresttrocknungsanlage ist ein Granulat, das im Gartenbau als Dünger zur Anwendung kommen soll (vgl. hierzu Abbildung 8).



Abb. 8: Endprodukt der Gärresttrocknung

An der Gärresttrocknungsanlage wurden folgende Komponenten roh- und reingasseitig gemessen:

- Geruchstoffkonzentration
- Gesamt C (inklusive Methan)
- Ammoniak
- Schwefelwasserstoff
- Abgasrandbedingungen

Die Messergebnisse aus den Proben zur Messung an der Gärresttrocknungsanlage sind in den Tabellen 11 und Tabelle 12 zusammengestellt. Über die reine Messung der Geruchstoffkonzentration hinaus wurde das Abgas der Gärresttrocknung noch auf die Geruchsstoffqualität (d.h. es riecht nach ...) untersucht. Die Probenahmestellen entsprachen nicht den Anforderungen der DIN EN 15259.

Das Reingas der Trocknungsanlage weist eine höhere Ammoniak-Konzentration auf als das Rohgas. Bei den Abgasparametern besteht eine erhöhte Messunsicherheit (ca. 40 %), da die Messungen an einer Messstelle durchgeführt werden mussten, die nicht den Anforderungen der DIN 15259 entsprach. Volumenstrom und Temperatur des Trocknerabgases wurden an der Kaminmündung erfasst, während die restlichen Komponenten direkt in der Abgasreinigungsanlage, in einem nicht geführten Volumenstrom gemessen wurden. Es ist möglich, dass trotz Töpfchenabscheider im Abgas Tröpfchen mit gelöstem Ammoniumsulfat bei der Messung erfasst wurden und zu einem erhöhten Ammoniakmesswert geführt haben. Die Wäscherlösung hatte durch die Zugabe der Schwefelsäure zum Zeitpunkt der Messung einen pH-Wert von 3,9. Es besteht der Verdacht, dass der Sättigungsgrad des Waschwassers nicht richtig eingestellt ist und zu selten abgepumpt wird. Dadurch fällt Ammoniumsulfat aus. Dies führt zu Verkrustungen am Tröpfchenabscheider und dessen Funktionsverlust. Die Elektrode der pH-Wert-Messung und somit die Regelung der Schwefelsäurezugabe funktioniert bei Verkrustungen ebenfalls nicht mehr. Verschmutzungen am Wäscher sind deshalb umgehend zu entfernen und die Einstellungen der Regelparameter (pH-Wert, Dichte) des Wäschers regelmäßig zu überprüfen.

Für einen ordnungsgemäßen Betrieb der Ammoniakrückgewinnungsanlage einer Gärrestaufbereitung sind automatische Steuer- und Regelungseinrichtungen, insbesondere pH-Wertregelung, Säuredosierung, sowie eine Leitfähigkeits- bzw. Dichtemessung (optimale Abschlämmraten), wichtige Voraussetzungen. Unerlässlich sind ebenso Vorgaben von Wartungs- und Reinigungsintervallen für Sonden und Filterflächen sowie des Tröpfchenabscheiders. Dazu müssen geeignete Revisionsöffnungen zur Reinigung von Salzablagerungen vorgesehen sein. Durch Führung eines Betriebstagebuches sind die Reinigungsintervalle aufzuzeichnen. Des Weiteren sind auch andere Parameter, wie z.B. Säureverbrauch, Trocknerleistung, TS-Gehalte, Durchsatzmenge und der Verwendungszweck der Gärreste, sowie sonstige Auffälligkeiten festzuhalten.

Bezüglich der Geruchsemissionen sind aufgrund des hohen Abgasvolumenstroms (32.000 m³/h) bereits rohgasseitig sehr niedrige Konzentrationen von 69 GE/m³ vorhanden, die im Wäscher nochmals um 50 % reduziert werden. Erfahrungsgemäß werden schon allein durch den Vergärungsprozess in einer Biogasanlage die Geruchsstoffe der Einsatzsubstrate in erheblichem Maße abgebaut. In der Regel sind daher Gärreste weniger geruchsrelevant als deren Vorläufersubstanzen. Ammoniak reichert sich dagegen durch die Vergärung eher an. Der höhere Ammoniakwert wirkt sich geruchstechnisch nicht wesentlich aus, da dies einer Geruchstoffkonzentration von nur ca. 16 GE/m³ entspricht.

Tab. 11: Messergebnisse der Gärresttrocknung, bezogen auf trockene Abgase im Normzustand (273 K, 1013 hPa)

Messkomponente	Einheit	Mittelwert	Max. Wert	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Grenzwert der TA Luft	Auslastung
Rohgas						
Gesamt-C	mg/m ³	<2	<2	<2		
NH ₃	mg/m ³	6,7	7,2	10,1		
H ₂ S	mg/m ³	<0,04	<0,04	0,04		
Reingas						
Gesamt-C	mg/m ³	<2	<2	<2	50	
NH ₃	mg/m ³	15,0	15,7	22	30	
H ₂ S	mg/m ³	<0,04	<0,04	0,04	3	

Tab. 12: Messergebnis der Olfaktometrie der Gärresttrocknungsanlage von Biogasanlage Nr. 2 (Messung der iMA Richter & Röckle [11])

	Geruchsstoffkonzentration [GE/m ³] Geometrisches Mittel	Messunsicherheit OG - GE/m ³ - UG (VDI 3884 Bl. 1 E [10])	Beschreibung der Geruchsqualität
Gärresttrocknung, (Rohgas)	69	100 / 48	süßlich, erdig, malzig
Gärresttrocknung, (Reingas)	34	49 / 23	modrig, muffig, mild

3.4 Silagen/ -anschnitte und Gärrest zu unterschiedlichen Jahreszeiten

Neben der Untersuchung an den Biogasmotoren und an einer Gärresttrocknungsanlage sollten die Emissionen von unterschiedlichen Silagetypen und dem separierten Gärrest zu unterschiedlichen Jahreszeiten untersucht werden. Es sollte geprüft werden, ob sich die unterschiedlichen Temperaturen der Jahreszeiten und /oder das Alter der Silage bzw. der Anschnitte emissions technisch bemerkbar machen. Im Betriebsablauf einer Biogasanlage wird in der Regel ein- bis zweimal am Tag Silage aus dem Silo entnommen. Diese Bedingungen werden zum Beispiel in Simulationsrechnungen angesetzt, um das Emissionsverhalten einer Biogasanlage zu beschreiben. Zum Vergleich der frisch entnommenen und etwas abgelagerten Silagen wurden für die Geruchsprobenahme sowohl Haufwerke gebildet als auch direkt am vertikalen Anschnitt gemessen.

Die Geruchsproben wurden auch qualitativ (d.h. es riecht nach) beschrieben. Das Untersuchungsprogramm war wie folgt definiert:

- **Silagetypen**
 1. Mais-Silage

- 2. Ganz-Pflanzen-Silage (GPS)
- 3. Gras-Silage
- **Frische der Silage:**
 - 1. Frisch angeschnittene Silage
 - 2. Alter Anschnitt (älter als 4 h) und vereinzelt älter >> 24 h
- **Gärrest:**
 - 1. Fester frischer separierter Gärrest
 - 2. Gelagerter separierter Gärrest
- **Jahreszeiten:**
 - 1. Übergangsjahreszeit (hier Oktober)
 - 2. Winter (hier Februar)
 - 3. Sommerliche Zeit mit Temperaturen >20 °C (hier Ende Mai)

Alle Messungen erfolgten an der Biogasanlage Nr. 1, bei der die Fahrsilos im Sandwich-Verfahren befüllt wurden. Die drei Silagetypen waren über den Messzeitraum, d.h. zu allen Jahreszeiten ausreichend vorhanden. Die Silage wies eine gute Qualität auf (z.B. keine Schimmelbildung oder Feuchtnester). Die Fahrsilos waren gepflegt und sauber. Das Alter der Silage betrug für die Messung im Herbst und im Winter jeweils ca. 6 Monate. Die Messungen während der sommerlichen Zeit (hier Ende Mai) wurden an Silagen mit einem Alter von 12 Monaten vorgenommen. Die unterschiedlichen Gärreste standen während der Winterzeit-Messung nicht zur Verfügung.

Gemäß Richtlinie-VDI 3880 [9] erfolgten die Probennahmen für die passiven Oberflächen mit einer aktiv belüfteten Haube. Die standardisierte und kontrollierte Probennahme stellt sicher, dass vergleichbare Emissionsraten zu Geruchsemissionen von „Passiven Flächenquellen“ ermittelt werden können. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen beispielhaft die Probennahmen an den untersuchten passiven Oberflächen.

Für die Geruchsemissionsmessungen wurde frische Silage mittels Greifschaufel aus dem Silo entnommen und ein Haufwerk gebildet. Mit einer Schaufel wurde die Silage verdichtet und für das Aufsetzen der Haube eine glatte Oberfläche gebildet. Die Haube saß dicht auf der Oberfläche auf, so dass Luft nicht unkontrolliert in die Haube eindringen konnte.



Abb. 9: Probennahme mit belüfteter Haube gemäß VDI 3880 [9] für frischen Anschnitt GPS-Silage.

Um direkt vertikal am Anschnitt zu messen, mussten stabile Halterungen in die Silage gebohrt werden, an denen die Haube aufgehängt wurde. Stellenweise war eine zusätzliche Abdichtung zwischen Silageoberfläche und Haube nötig.



Abb. 10: Probennahme gemäß VDI 3880 [9] für >> 4 h alten Anschnitt Mais-Silage.

Die Ergebnisse aus den Messungen zu den unterschiedlichen Silagen und dem Gärrest sind in der Tabelle 13 zusammengestellt. Dargestellt sind die in jeder Messkampagne (Witterungszeitraum) gemessenen Geruchsstoffkonzentration in GE/(m³), der korrespondierende spezifische Emissionsfaktor in GE/(m²s) und eine Beschreibung der jeweiligen Geruchsqualität.

In Tabelle 13 ist zu beachten, dass zum Teil unterschiedlichen Alter der Silagen bzw. Anschnitte beprobt worden sind, die auch mit unterschiedlichen Probennahmetechniken/-aufgaben verknüpft waren.

Bei der Erzeugung von Haufwerken wird das silierte Material aufgelockert und kommt in Kontakt mit Sauerstoff. Biologische Prozesse mit Wärmeentwicklung und intensiver Geruchsbildung setzen ein. Durch die waagerechte Fläche und das nicht mehr verfestigte Material können die Geruchstoffe leichter entweichen als bei vertikaler Fläche der Silage. Für den Betrieb einer nach dem Stand der Technik ausgestatteten und geführten Biogasanlage sind deshalb die Ergebnisse der Messungen an der vertikalen Silage-Anschnittsfläche repräsentativer. Die Ergebnisse der Messungen an den Haufwerken zeigen dagegen, dass bei offenen Eingabeverfahren und bei Verunreinigungen, die nicht unverzüglich entfernt werden, hohen Geruchsemissionen auftreten.

Die vorgefundenen meteorologischen Wetterbedingungen unter denen die Messungen stattfanden, spiegeln einen guten Querschnitt über ein Jahr wider. Die Messwerte unterschieden sich zum Teil erheblich und wären leichter zu interpretieren, wenn kein Niederschlag während der Probennahme stattgefunden hätte.

In der Tabelle 14 sind die Messunsicherheiten nach VDI 3884 Bl.1 E /10/ zu den Ergebnissen der olfaktometrischen Messungen (vgl. Tabelle 13) an den Silagen bzw. Anschnitten und dem Gärrest für die unterschiedlichen Messzeiträume zusammengestellt. Der Quotient aus höchstem Einzelwert zu niedrigsten Einzelwert hat dabei den Wert von 2,6 nicht überschritten. Er blieb meist < 2.

Nachdem die Probennahme mit jeweils immer der gleichen Messanordnung, d.h. aktiv belüftete Haube nach VDI 3880 [9] erfolgte, können die Unterschiede in den unterschiedlichen Zeiten nur im Alter der Silage und/oder in den stark differierenden Wetterbedingungen zum Zeitpunkt der Probennahme selbst, wie Temperatur, Sonneneinstrahlung und Niederschlag gesucht werden.

Offensichtlich ist diese große Bandbreiten bei den Emissionsfaktoren eher in den spezifischen Randbedingungen der untersuchten Anschnitte und Fahrsiloanlagen zu suchen als in einer messtechnisch bedingten Schwankungsbreite.

Tab. 13: Ergebnisse zu Silagen bzw. Anschnitten und Gärrest zu unterschiedliche Jahreszeiten

Silage / Gärrest	Zustand	Probennahme	Übergangsjahreszeit / Oktober ¹⁾		Winter / Februar ²⁾		Sommer / Mai ³⁾		
			Geruchskonzentration GE/m ³	Emissionsfaktor GE/ (m ² s)	Geruchskonzentration GE/m ³	Emissionsfaktor GE/ (m ² s)	Geruchskonzentration GE/m ³	Emissionsfaktor GE/ (m ² s)	
	Schnittalter	aktive Haube auf							
Mais	frisch	Haufwerk	3.241	56,0	3.073	53,1	11.127	208,3	
Mais	gelagert, > 4 h	Haufwerk	2.279	39,4	1.260	21,8	---	---	
Mais	gelagert, >> 4 h	vertikaler Anschnitt	---	---	140	2,8	2.631	49,3	
GPS	frisch	Haufwerk	3.286	56,8	1.148	20,0	23.130	433	
GPS	gelagert, > 4 h	Haufwerk	3.224	55,7	---	---	---	---	
GPS	gelagert, >> 4 h	vertikaler Anschnitt	---	---	444	3,8	1.190	22,3	
				-					
Gras	frisch	Haufwerk	4.491	77,6	6.028	104,2	19.122	358	
Gras	gelagert, > 4 h	Haufwerk	7.277	125,7	1.795	31,0	---	---	
Gras	gelagert, >> 4 h	vertikaler Anschnitt	---	---	150	2,6	14.978	280,4	
Gärrest	frisch	Haufwerk	285	4,9	---	---	689	13,1	
Gärrest	gelagert, > 4 h	Haufwerk	283	4,9	---	---	1.533	19,9	
Beschreibung der Geruchsqualität der Silage / des Gärrests									
Mais	säuerlich, vergoren , stechend				¹⁾ Silagealter: 3-6 Monate, Witterung: 5°C bis 13°C, leichter Regen ²⁾ Silagealter: 6 Monate, Witterung: -4°C bis 3°C, leichte Schneeschauer ³⁾ Silagealter: 12 Monate, Witterung: 18°C bis 23°C (Sonne) und 10°C bis 13°C (Regen)				
GPS	säuerlich, vergoren , nach Heu und Gemüsereste								
Gras	säuerlich, schafig, fruchtig								
Gärrest	mulchig, erdig, pilzig, nussig								

Tab. 14: Messunsicherheit zu Silagen bzw. Anschnitten und Gärrest zu unterschiedliche Jahreszeiten.

Silage / Gärrest	Zustand	Probennahme	Übergangsjahreszeit / Oktober	Winter / Februar	Sommer / Mai
	Schnittalter	aktive Haube auf	Geruchskonzentration OG - GE/m ³ - UG	Geruchskonzentration GE/m ³	Geruchskonzentration GE/m ³
Mais	frisch	Haufwerk	4.466 / 2.328	4.403 / 2.145	15.291 / 8.097
Mais	gelagert, > 4 h	Haufwerk	3.156 - 1.645	1.773 / 896	---
Mais	gelagert, >> 4 h	vertikaler Anschnitt	---	201 / 98	3.616 / 1.915
GPS	frisch	Haufwerk	4.458 / 2.423	1.615 / 816	31.786 / 16.899
GPS	gelagert, > 4 h	Haufwerk	4.466 / 2.328	---	---
GPS	gelagert, >> 4 h	vertikaler Anschnitt	---	625 / 316	1.653 / 857
Gras	frisch	Haufwerk	6.092 / 3.311	8.636 / 4.207	26.278 / 13.915
Gras	gelagert, > 4 h	Haufwerk	10.079 / 5.254	2.525 / 1.276	---
Gras	gelagert, >> 4 h	vertikaler Anschnitt	---	215 / 105	20.583 / 10.899
Gärrest	frisch	Haufwerk	386 / 208	---	959 / 503
Gärrest	gelagert, > 4 h	Haufwerk	383 / 210	---	2.128 / 1.104

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus dem Untersuchungsprogramm an Biogasanlagen des bayerischen Landesamtes für Umweltschutz können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

Abgas aus Biogas-Motoren:

Bei beiden Motorentypen wurde jeweils der NO_x-Emissionswert deutlich überschritten. Am Zündstrahlmotor der Biogasanlage 2 konnte auch der Formaldehydwert nicht eingehalten werden. Der Oxidationskatalysator am Gas-Otto-Motor von Biogasanlage 1 brachte für die Komponente CO eine deutliche Reduzierung der CO-Konzentration um 90%. Auch die Geruchsstoffkonzentration konnte durch den Einsatz des Oxidationskatalysators gegenüber der Rohgasbelastung deutlich gemindert werden. Die nunmehr vorliegenden Emissionsmessergebnisse vom November 2013 zeigen, dass am Motor 1 zwischenzeitlich alle nach TA-Luft relevanten Grenzwerte eingehalten werden. Für den Zündstrahlmotor der Biogasanlage Nr. 2 wurde zwischenzeitlich eine sich als notwendig erwiesene grundlegende Motorüberholung durchgeführt. Neue Messergebnisse liegen noch nicht vor.

Die Auswirkungen der Motoreinstellung (Lambda-Wert) auf die Abgasemissionen und die Betriebsweise der Motoren in der Praxis waren nicht Bestandteile dieses Projektes. Grundsätzlich wird jedoch vorgeschlagen bei Emissionsmessungen durch nach § 29 b BImSchG bekanntgegebene Stellen Soll- und Istwerte der Lambdaeinstellung bzw. den Zündzeitpunkt zum Zeitpunkt der Messungen im Messbericht für behördliche Überwachungsmaßnahmen zu dokumentieren, da bei anderer Motoreinstellung die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte (insbesondere NO_x) im Dauerbetrieb ggf. nicht sichergestellt ist.

Für Geruchsstoffe zeigte sich, dass sowohl beim Gas-Otto-Motor mit Oxidationskatalysator als auch beim Zündstrahlmotor die gemessene Geruchsstoffkonzentration in der Bandbreite der Untersuchungsergebnisse aus Sachsen [2] liegen. Die von Sachsen vorgeschlagenen Emissionsfaktoren (3000 GE/m³ bei Gas-Otto-Motoren bzw. 5000 GE/m³ bei Zündstrahlmotoren) wurden jeweils unterschritten, können aber im Sinne einer konservativen Abschätzung weiterhin für Ausbreitungsrechnungen herangezogen werden. Da sich der Einsatz von Oxidationskatalysatoren geruchsmindernd auswirkt, kann dies bei Ausbreitungsrechnungen jedoch entsprechend berücksichtigt werden.

Die Betrachtung der Geruchsstoffqualität im Abgas der Motoren hat jeweils ergeben, dass es keinen zwingenden Hinweis auf den Betrieb einer Biogasanlage gibt. Der Geruchseindruck war vergleichbar mit denen einer normalen Motorenanlage.

Abgas aus der Gärresttrocknung:

Der Wirkungsgrad des Wäschers der vermessenen Gärresttrocknung bei der Biogasanlage 2 in Bezug auf Geruchsstoffe lag bei ca. 50%. Durch die hohen Luftströme bei der Trocknung lagen die Geruchskonzentrationen rohgasseitig bereits sehr niedrig.

Für die Komponente Ammoniak (NH_3) hat sich reinluftseitig im Abgas eine um den Faktor 2 höhere Konzentration im Vergleich zur Rohluftseite gefunden. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass zum Zeitpunkt der Messungen die chemische Gleichgewichtsreaktion am Wäscher (Wäscherlösung) nicht optimal in Richtung Ammoniumsulfat eingestellt war. Bei Betrieb des Wäschers ist unbedingt deshalb darauf zu achten, dass das Waschwasser bei Sättigung an Ammoniumsulfat rechtzeitig aus der Anlage gepumpt wird. Das Salz (Ammoniumsulfat) bildet sonst Verkrustungen, die zur Beeinträchtigung der pH-Wert Messung und der Füllkörper sowie Tröpfchenabscheider führen können. Es ist daher denkbar, dass Ammonium in Form von Waschwassertröpfchen mit dem Abgas wieder ausgetragen wird.

Für einen ordnungsgemäßen Betrieb der Ammoniakrückgewinnung einer Gärrestaufbereitung werden die folgenden Maßnahmen empfohlen:

- automatische Steuer- und Regelungseinrichtungen, insbesondere zur pH-Wertregelung und Säuredosierung,
- Sicherstellung optimaler Abschlämrraten durch z.B. automatische Leitfähigkeits- bzw. Dichtemessungen
- regelmäßige Wartungs- und Reinigungsintervalle für Sonden und Filterflächen sowie des Tröpfchenabscheiders,
- Einrichtung geeigneter Revisionsöffnungen zur Reinigung von Salzablagerungen,
- Führung eines Betriebstagebuches mit Aufzeichnung von Reinigungsintervallen, Säureverbrauch, Trocknerleistung, TS-Gehalten und Durchsatzmengen.

Emissionen aus Silagen bzw. Anschnitten:

Aus den Messergebnissen ist abzuleiten, dass Silageanschnitte sehr volatil auf Witterungs- und Handhabungsbedingungen sowie auf die aktuelle meteorologische Situation (z.B. Temperatur, Niederschlag) reagieren und vermutlich auch je nach unterschiedlichem Versäuerungsgrad (Gärsäuremessungen waren im Projekt nicht vorgesehen) zu unterschiedlichen Emissionsstärken neigen. Gerade das Eindringen von Niederschlagswasser in die Silage und insbesondere in den Anschnitt führen u.U. zu einer raschen Entwicklung von weiteren neuen Gärprozessen, die zuvor unter Luftabschluss nicht zum Zuge kamen.

Eine große Schwankungsbreite in Bezug auf Geruchsstoffemissionen deutet sich auch beim Gärrest an. Wenn auch während der Wintermesskampagne auf Gärrest nicht zurückgegriffen werden konnte, ist der Unterschied zwischen Oktober und Mai auffällig. Ein Hinweis könnte sein, dass der gelagerte Gärrest in der Mai-Kampagne nur während Niederschlag vermessen werden konnte, während bei der Messung des frischen Gärrestes am Tag zuvor eine trockene Witterung vorherrschte.

Für die Beurteilung der Geruchsemissionen einer nach dem Stand der Technik ausgestatteten und geführten Biogasanlage, sind die Ergebnisse aus den Emissionsmessungen der Sommermessung und der Wintermessung des **vertikalen** Anschnitts zu beachten, da diese die tägliche Betriebspraxis, zutreffender abbilden, als die Ergebnisse aus den Haufwerksmessungen. Die Größenordnung der er-

mittelten Geruchsemissionsfaktoren im Winter entspricht den Geruchsemissionsfaktoren der VDI 3894 Blatt 1 und den im GAKBY (Geruchs-Ausbreitung in Kaltluftabflüssen Bayern) hinterlegten Faktoren. Die vorhandenen Faktoren sind Konventionswerte, die sich ausschließlich aus Wintermessungen ableiten.

Die Messungen bestätigen, dass die in Ausbreitungsberechnungen verwendeten Faktoren von Silagen und Gärresten bei niedrigen Temperaturen (Tagesmittel < 15 °C) zur Abschätzung der Geruchsemissionen verwendet werden können. Insbesondere im GAKBY für die Modellierung von Kaltluftabflüssen, die nachts auftreten, sollten die hinterlegten Faktoren zum jetzigen Wissenstand weiterverwendet werden.

Allerdings zeigen die Messungen auch, dass im Sommer wesentlich höhere Geruchsemissionen feststellbar waren. Bei hohen Temperaturen und Feuchtigkeit können, in Abhängigkeit der Silageart, zum Teil erheblich höhere Geruchsemissionen auftreten. So waren die Geruchsemissionsfaktoren im Sommer von Maissilage und Ganzpflanzensilagen um den Faktor 18 bzw. 9 höher. Der Geruchsemissionsfaktor von Grassilage steigt auch u.U. auf das 100-fache an. Allerdings lassen sich auf Basis dieser Einzelmessergebnisse derzeit keine repräsentativen spezifischen Geruchsemissionsfaktoren abschätzen, die für eine Ausbreitungsrechnung verwendet werden könnten. Hierzu wären weitere systematische Untersuchungen an verschiedenen Anlagen erforderlich, um in Abhängigkeit der jahreszeitlichen Verteilung die auftretenden Geruchsemissionen ggf. auch in Abhängigkeit der Silagequalität zu erfassen. Dies konnte im Rahmen dieses Projektes nicht geleistet werden.

Empfehlungen

Erfahrungsgemäß sind bodennahe, windinduzierte Quellen insbesondere im Nahbereich von erheblicher Bedeutung, die Geruchswahrnehmung nimmt aber mit zunehmender Entfernung deutlich ab. Silagen führen daher zu starken Platzgerüchen. Diese sollten in der Immissionsprognose immer berücksichtigt werden (i.d.R. 10 % der Gesamtemissionen). Ausreichende Mindestabstände zur Wohnbebauung sollten eingehalten werden.

Gerade die hohe Bandbreite der gemessenen Geruchstoffkonzentrationen gibt Anlass, von Betreibern von Fahrsiloanlagen eine größtmögliche Sauberkeit und Sorgfalt beim Betrieb zu fordern. Wenn es irgend geht, sollten die Anschnitte der Fahrsiloanlagen vor Niederschlagwasser, starker Sonneneinstrahlung und starkem Winddruck geschützt werden (zum Beispiel durch Abhängung mit einer separaten Silofolie oder leichtem Vliesmaterial). Die Anschnitte sollten nach Möglichkeit glatt beziehungsweise senkrecht gefräst sein, um die effektive Oberfläche der Emission klein zu halten. Siloschneidern sind grundsätzlich den aufgerissenen Oberflächen von Frontlader-Entnahmen Vorzug zu geben.

Mit Sandwich-Silage lässt sich der offene Silageanschnitt minimieren, da nur eine Anschnittsfläche und nicht 3-4 Futterstöcke gleichzeitig offen sind. Ferner sollte dringend darauf geachtet werden, dass kein Silagematerial im Fahrbereich frei der Witterung ausgesetzt ist und Silageflüssigkeit sofort in einen Sammelkanal eingeleitet wird. Separierte feste Gärreste von NaWaRo Anlagen sind dagegen im Vergleich zu den Eingangssubstraten bezüglich der Geruchsemissionen eher von untergeordneter Bedeutung. Erfahrungsgemäß führt der Vergärungsprozess zu einer erheblichen Geruchsminderung in Bezug auf die Ausgangsstoffe. Dies konnte durch das Projekt nochmal bestätigt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Röckle, R.; Nielinger, J.: Erstellen eines flächendeckenden Screening-Modells zur Ermittlung der Geruchsausbreitung in Kaltluftabflüssen für Bayern. Bericht vom 27. Januar 2011. Handbuch GAKBY Version 3.02, 27. Januar 2011
- [2] Gerüche aus Abgasen bei Biogas-BHKW; Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Bundeslandes Sachsen 2008
- [3] DIN EN 13725: Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003
- [4] DIN EN ISO IEC: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2005
- [5] 4. BImSchV (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) "Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973)
- [6] LGA-Messbericht 120337, vom 29.11.2012: Durchführung von Emissionsmessungen an Biogasanlagen
- [7] Bestimmung von spez. Geruchsemissionsfaktoren für Biogasanlagen (1. Messkampagne, 10-2012), November 2012
- [8] VDI 3894 Blatt 1 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen Halteverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde, Beuth Verlag Berlin
- [9] VDI 3880 (2011): Olfaktometrie Statische Probenahme, Beuth Verlag Berlin
- [10] VDI 3884 Blatt 1 (Entwurf 2012): Olfaktometrie - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie - Ausführungshinweise zur DIN EN 13725 , Beuth Verlag Berlin
- [11] Messbericht 11-04-06-S-II Teil 1 und Teil 2 der iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG zur Untersuchung von Biogasanlagen und Silagen

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Untersuchte Geruchsstoffquellen: Silagen und Gärreste	5
Tab. 2: Untersuchte Geruchsstoffquelle: Biogasmotoren	5
Tab. 3: Untersuchte Geruchsstoffquelle: Gärresttrocknungsanlage	5
Tab. 4: Technische Daten des Gas-Otto-Motors mit Oxidationskatalysator	7
Tab. 5: Ergebnisse der Abgasmessung an Biogasanlage Nr. 1 (Messung der LGA Nürnberg), bezogen auf trockene Abgase im Normzustand (273 K, 1013 hPa) und 5 Vol.-% Sauerstoff	10
Tab. 6: Messergebnisse der Olfaktometrie an der Motorenanlage Gas-Otto-Motor der Biogasanlage Nr. 1 (Messung der iMA Richter & Röckle)	10
Tab. 7: Technische Daten des Zündstrahlmotors	11
Tab. 8: Ergebnisse der Abgasmessung an Biogasanlage Nr. 2 (Messung der LGA Nürnberg), bezogen auf trockene Abgase im Normzustand (273 K, 1013 hPa) und 5 Vol.-% Sauerstoff	13
Tab. 9: Messergebnis der Olfaktometrie des Zündstrahlmotors der Biogasanlage Nr. 2 (Messung der iMA Richter & Röckle [11])	13
Tab. 10: Technische Daten der Gärresttrocknungsanlagen mit Abluftreinigung	14
Tab. 11: Techn. Randbedingungen und Messergebnisse der Gärresttrocknung (Messung der LGA Nürnberg), bezogen auf trockene Abgase im Normzustand (273 K, 1013 hPa)	17
Tab. 12: Messergebnis der Olfaktometrie der Gärresttrocknungsanlage von Biogasanlage Nr. 2 (Messung der iMA Richter & Röckle [11])	17
Tab. 13: Ergebnisse zu Silagen bzw. Anschnitten und Gärrest zu unterschiedliche Jahreszeiten	21
Tab. 14: Messunsicherheit zu Silagen bzw. Anschnitten und Gärrest zu unterschiedliche Jahreszeiten.	22

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Luftbild der Biogasanlage Nr. 1 (www.geodaten.bayern.de)	6
Abb. 2: Luftbild der Biogasanlage Nr. 2 (www.geodaten.bayern.de)	7
Abb. 3: Oxidationskatalysator und Durchströmungsrichtung (weißer Pfeil) des Motorabgases	8
Abb. 4: Probenahme Olfaktometrie vor und nach Oxidationskatalysator am Gas-Otto-Motor	9
Abb. 5: Zündstrahlmotor der Biogasanlage Nr. 2.	12
Abb. 6: Probennahmeleitungen an der Abgasführung eines der Zündstrahlmotoren der Biogasanlage Nr. 2	12
Abb. 7: Gärresttrocknungsanlage an der Biogasanlage Nr. 2.	15
Abb. 8: Endprodukt der Gärresttrocknung	15
Abb. 9: Probennahme mit belüfteter Haube gemäß VDI 3880 [9] für frischen Anschnitt GPS-Silage.	19
Abb. 10: Probennahme gemäß VDI 3880 [9] für >> 4 h alten Anschnitt Mais-Silage.	19