



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 17. Mai 2013

Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissions- modells für Biogasanlagen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE

Forschungsprogramm "Biomasse und Holzenergie mit Schwerpunkt Biomasse ohne Holzenergie"

CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS, CH-3003 Bern

Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt, CH-5004 Aarau

Kanton St. Gallen, Amt für Umwelt und Energie, CH-9001 St. Gallen

Kanton Thurgau, Amt für Umwelt, CH-8510 Frauenfeld

Kanton Zürich, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, CH-8090 Zürich

Auftragnehmer:

Ernst Basler + Partner AG

Zollikerstrasse 65

CH-8702 Zollikon

www.ebp.ch

Autoren:

Holger Frantz, Ernst Basler + Partner AG, hfg@ebp.ch

Reto Steiner, Ernst Basler + Partner AG, res@ebp.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Programmleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154369 / 103315

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Ziel des Projekts ist die Erstellung eines Geruchsemissionsmodells für landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Schweiz. Das Geruchsemissionsmodell soll Planern, Investoren und Bewilligungsbehörden eine Planungshilfe schaffen, mit der Geruchsemissionen von Biogasanlagen noch in der Planungs- und Bewilligungsphase abgeschätzt, sowie sinnvolle geruchsmindernde Massnahmen geplant werden können. Dafür wurden Luftproben von verschiedenen Geruch emittierenden Anlagenteilen auf fünf verschiedenen Biogasanlagen in der Schweiz genommen und deren Geruchsstoffkonzentrationen mithilfe eines Olfaktometers bestimmt. Wo es technisch möglich und inhaltlich sinnvoll war, wurden die Luftproben jeweils mit und ohne geruchsmindernde Massnahme erfasst und analysiert. Zudem wurden alle Proben auch hinsichtlich des Geruchsempfindens (Hedonik) und der Geruchsqualität untersucht.

Anhand der Messungen hat sich gezeigt, dass die grössten Geruchskonzentrationen an der Vorgrube und am Feststoffeintrag vorherrschen. Zudem sind Schweinegülle, Fleischsuppe sowie Geschmacksverstärker in Verbindung mit feuchten Co-Substraten sehr geruchsintensiv. Emissionsseitig stellt das BHKW-Abgas ebenfalls eine relevante Quelle dar. Allerdings gibt es bzgl. dieses Geruchs nur selten Belästigungen, da es hedonisch als neutral (weder besonders angenehm, noch besonders unangenehm) wahrgenommen wird. Diese Diskrepanz ist der Forschung bereits bekannt.

Wenig kritisch stellen sich die Co-Substrate Getreideabgang und Kaffeesatz, jeweils im trockenen Zustand dar.

Zudem hat sich gezeigt, dass das Aufwerfen von gelagerten Co-Substraten, z.B. zum Eintragen in den Fermenter, eine ca. 2- bis 30-fache Emission verursacht gegenüber dem einfachen Lager. Der Faktor hängt stark ab vom Co-Substrat selbst, dem Feuchtegehalt, der Lagerdauer sowie den äusseren meteorologischen Einflüssen.

Aus den Messwerten sowie aus Literaturwerten wurde ein Geruchsemissionsmodell entwickelt, mit dem anhand von einfachen Formeln die Geruchsemissionen einer Biogasanlage im Sinne eines Screenings abgeschätzt werden kann. Das Modell ist modular aufgebaut und in einem Bericht mit Formeln, Emissionsfaktoren, Konzentrationen und Verstärkungs- bzw. Minderungsfaktoren beschrieben.

Für die Anwendung dieses Geruchsemissionsmodells wurde die benutzerfreundliche Software GEMS-BGA erstellt. Mit dieser Software können die Geruchsemissionen von Biogasanlagen und die Wirkung von spezifischen Geruchsminderungsmassnahmen abgeschätzt und untersucht werden. Die Software hilft dem Benutzer bei der Modellanwendung, so dass Fehler in Anwendung und Berechnung vermieden werden können.

Einleitung

Das Forschungsprojekt *Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen* lief von Oktober 2009 bis zum Dezember 2011 im Forschungsprogramm *Biomasse und Holzenergie mit Schwerpunkt Biomasse ohne Holzenergie*. Es wird kofinanziert durch das Bundesamt für Umwelt sowie durch die Kantone Aargau, St. Gallen, Thurgau und Zürich.

Projektbeteiligte

Das Forschungsprojekt wurde durchgeführt und geleitet von der Firma *Ernst Basler + Partner* aus Zollikon. Als weitere Projektpartner agierten das *Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC* der *Hochschule Rapperswil* und das *Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co KG* aus Karlsruhe.

Begleitgruppe

Zum Projekt wurde eine Begleitgruppe gebildet, die sich aus Vertretern der einzelnen Geldgeber zusammensetzt. Mitglieder waren:

- Dr. Sandra Hermle, Bundesamt für Energie BFE
- Jürg Dauwalder, Bundesamt für Umwelt BAFU
- Heinrich Zumoberhaus (bis 2010), Esther Gysi (ab 2011), Kanton Aargau, Amt für Umwelt
- Robert Bösch, Kanton Thurgau, Amt für Umwelt (auch in Vertretung des Kantons St. Gallen)
- Seraina Steinlin, Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Die Begleitgruppe hatte die Funktion, den Arbeitsvorgang des Projekts zu überwachen. Die Mitglieder wurden aufgefordert, Rückmeldung über die Projektergebnisse und den Projektfortgang zu geben, und sie wurden dazu eingeladen, Anregungen und Vorschläge zum Vorgehen und zur Umsetzung zu machen. Die Begleitgruppe traf sich einmal jährlich.

Am 26.11.2009, 08.09.2010 und 20.04.2011 fanden die drei Begleitgruppensitzungen statt. Zudem wurde am 14.05.2013 wurde das fertige Softwareprodukt der Begleitgruppe vorgestellt.

Projektziel

Ziel des Projekts war die Erstellung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen in der Schweiz. Das Geruchsemissionsmodell soll Planern, Investoren und Bewilligungsbehörden eine Planungshilfe schaffen, mit der Geruchsemissionen von Biogasanlagen noch in der Planungs- und Bewilligungsphase abgeschätzt, sowie sinnvolle geruchsmindernde Massnahmen geplant werden können.

Dafür wurden Geruchsstoffkonzentrationen von verschiedenen Geruch-emittierenden Anlagenteilen von Biogasanlagen aus der Schweiz gemessen. Wo es technisch möglich war, sollten die Geruchsemissionen jeweils mit und ohne geruchsmindernde Massnahme gemessen werden. Aus den Messwerten wurde ein Emissionsmodell entwickelt. Für die Anwendung dieses Emissionsmodells wurde eine benutzerfreundliche Software erstellt. Mit

dieser Software sollen die Geruchsemissionen von Biogasanlagen und die Wirkung von spezifischen Geruchsminderungsmaßnahmen abgeschätzt werden können.

Methodik/Durchführung

Das Projekt wurde in die nachfolgend aufgeführten fünf Etappen gegliedert. Sie bauten inhaltlich auf einander auf:

Projektgliederung

Etappe 1: Festlegung Geruchsemissionsmessungen

Etappe 2: Durchführung der Geruchsemissionsmessungen

Etappe 3: Erstellung des Geruchsemissionsmodells

Etappe 4: Erstellung der Software

Etappe 5: Präsentation der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ziel, Durchführung und Ergebnisse jeder einzelnen Etappe erläutert.

Etappe 1: Festlegung Geruchsemissionsmessungen

Ziel der Etappe 1

Ziel der Etappe 1 war die Erarbeitung eines Messpflichtenhefts. Dieses Pflichtenheft stellte die Grundlage für die Durchführung der Geruchsemissionsmessungen dar. Im Messpflichtenheft wurden die durchzuführenden Geruchsemissionsmessungen festgelegt. Dazu wurden die Messorte, die Co-Substrate und die jeweiligen Vorgänge beschrieben. Zudem sollten Hinweise darauf gegeben werden, zu welchen Zeitpunkten die Co-Substrate auf den Anlagen voraussichtlich verfügbar sind.

Durchführung der Etappe 1

Zunächst wurde eine Auslegeordnung erarbeitet von allen möglichen Anlageteilen landwirtschaftlicher Biogasanlagen sowie von allen Substraten und Co-Substraten, die gängiger Weise auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Schweiz verarbeitet werden. Diese wurde mit Ökostrom Schweiz an einer Sitzung am 25. November 2009 in Brugg besprochen, bereinigt und die aufgeführten Co-Substrate wurden mit den landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Schweiz verknüpft auf denen sie verarbeitet wurden. Auf Basis dieser bereinigten Auslegeordnung wurden elf Biogasanlagen analysiert, die aufgrund Ihrer Anlagenteile sowie der verwendeten Substrate und Co-Substrate günstige Bedingungen für Geruchsmessungen bieten könnten.

Über die Informationsstelle BiomassEnergie des Programms EnergieSchweiz wurden die Betreiber dieser elf Biogasanlagen angeschrieben mit der Bitte um Einverständnis zur Durchführung von Geruchsemissionsmessungen auf ihren Anlagen.

Es wurden fünf Biogasanlagen ausgewählt, deren Betreiber Ihr Einverständnis für Messungen erteilt haben und die zusammen eine möglichst grosse Abdeckung von typischen Anlagenteilen sowie Substraten und Co-Substraten ergeben. Auf diesen Anlagen wurden Begehungen durchgeführt, um die technische Machbarkeit von Geruchsstoffkonzentrationsmessungen abzuklären. Auf Basis der Begehungen wurden die durchzuführenden Messungen festgelegt und im Messpflichtenheft festgeschrieben.

Ergebnis der Etappe 1

Die Auslegeordnung mit dem Titel *Messpflichtenheft (Entwurf)*, Stand 17.12.2009 ist dem Anhang A1 beigelegt. Sie gibt einen Überblick über die Anlagenteile und verwendeten Substrate und Co-Substrate von elf Biogasanlagen.

Das darauf erarbeitete Pflichtenheft beinhaltet die folgenden Informationen:

- Name der Biogasanlage und Kontaktdaten des Betreibers
- Benennung des Anlagenteils und des jeweiligen Co-Substrats
- Vorgang bzw. Massnahme der Messung

Im Messpflichtenheft wurden vorerst 72 Messungen von Geruchsstoffkonzentrationen festgeschrieben, die während der Messperiode von April bis November 2010 im Rahmen der Etappe 2 durchgeführt werden sollen. Der Schlussbericht der Etappe 1 mit dem Messpflichtenheft (Stand 16. April 2010) befindet sich im Anhang A2.

Aufgrund von qualitativen sowie technischen Erkenntnisse aus den Messungen innerhalb der Etappe 2 haben sich noch weitere Messungen ergeben. Die Änderungen im Messpflichtenheft sind im Anhang A3 dokumentiert.

Etappe 2:

Ziel der Etappe 2

In der Etappe 2 wurden Geruchsstoffkonzentrationen gemessen. Die Anlagenteile und -orte, an denen die Messungen durchgeführt werden sollten, sind im Messpflichtenheft (siehe Anhänge A2 und A3) aufgeführt. Neben der Messung der Geruchsstoffkonzentrationen sollten auch die Geruchsempfindungen (Hedonik) untersucht und die Geruchsqualität ermittelt werden.

Durchführung der Etappe 2

Aufgrund der durchgeführten Begehungen auf den fünf Biogasanlagen wurde ein Messortprotokoll erstellt. Das Protokoll beschreibt und dokumentiert die Messstellen gemäss Messpflichtenheft.

Insgesamt wurden acht Messtage durchgeführt und Luftproben von den beschriebenen Quellen genommen. Methodik und Vorgehen der Probenahme von aktiven und passiven Quellen sind in den Anhängen B1.1 und B1.2 beschrieben. Anschliessend wurden die Proben jeweils am Olfaktometer des Instituts für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC der Hochschule Rapperswil analysiert bzgl. der Geruchsstoffkonzentration und der Hedonik. Methodik und Vorgehen der Analysen sind in den Anhängen B1.3 und B1.4 dargelegt.

Ergebnis der Etappe 2

Die Ergebnisse der Messungen wurden im Zwischenbericht der Etappe 2 des UMTEC vom 11.01.2011 beschrieben. Eine Übersicht aller Geruchskonzentrationsmessungen befindet sich im Anhang B2. Daraus ist ersichtlich, dass eine Reihe von verarbeiteten Substraten und Co-Substraten eine sehr hohe Geruchsstoffkonzentration von über 100'000 GE/m³ aufweist. Namentlich sind diese:

- Feststoffeintrag unter Beimischung von Geschmacksverstärkern (Maltodextrin)
- Flüssigsubstratlager (Schweine- u/o Rindergülle) unter Rühren im geöffneten Zustand
- Fleischsuppe ohne Filterung

Ebenfalls hohe Geruchsstoffkonzentration zwischen 10'000 und 100'000 GE/m³ weisen die folgenden Quellen auf

- Milchflotat
- Geschlossene Vorgrube
- Gärgutendlager nach dem Öffnen
- Flüssigsubstratlager (Schweine- u/o Rindergülle) ohne Rühren im geöffneten Zustand
- Abluft zwischen Fermenter-Doppelmembranen
- Schweinemistlager
- Grüngut/Rasenschnitt-Lager
- Silage, frisch angeschnitten

Emissionsseitig stellt das BHKW-Abgas aufgrund seines relativ hohen Volumenstroms ebenfalls eine relevante Quelle dar. Allerdings kommen bzgl. dieses Geruchs nur selten Belästigungen vor, da das Abgas hedonisch als neutral – also weder besonders angenehm, noch besonders unangenehm – wahrgenommen wird. Diese Diskrepanz ist der Forschung

bereits bekannt. Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen bestätigen die Literaturwerte aus Deutschland.¹

Alle ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen dienen in der Etappe 3 für die Festlegung von Emissionsfaktoren, die im Geruchsemissionsmodell verwendet werden.

Zusätzlich zur Geruchsstoffkonzentration wurden die Geruchsproben auch noch hinsichtlich ihrer Hedonik und Qualität analysiert. Die Zusammenstellungen der Hedonik befinden sich im Anhang B3. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Grossteil der Proben von den Probanden als neutral bis unangenehm eingestuft wurden. Als besonders unangenehm sind hier zu nennen:

- Flüssiges Substrat (von Schwein und Rind) (Vorgrube) beim Rühren
- Pansen
- Milchflotat
- Hühnermist
- Gemüseabfalllager
- Feststoffeintrag mit Geschmacksverstärkern
- Flüssiges Gärendgut
- Festes Gärendgut (frisch)
- Fleischsuppe (vor und nach Filter)

¹ LfULG: Gerüche aus Abgasen bei Biogas-BHKW. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen. Heft 35/2008.

Etappe 3:

Ziel der Etappe 3

In der Etappe 3 sollte ein Geruchsemissionsmodell für landwirtschaftliche Biogasanlagen entwickelt werden. Das Modell soll auf den Ergebnissen der Messungen aus Etappe 2 sowie auf Literaturwerten basieren. Das Modell soll so aufgebaut werden, dass Geruchsemissionen aus verschiedenen Arten von Anlageteilen einzeln abgeschätzt und die Ergebnisse aller Einzelemissionen zusammengefasst werden können. Das Modell soll die Emissionen mit einfachen Formeln und mit einem möglichst einfachen Eingabedatensatz in einer Screeningqualität abschätzen.

Durchführung der Etappe 3

Als Vorlage für die Modellierung der Geruchsemissionen diente das Emissionsmodell GERDA III², welches vom Umweltministerium Baden-Württemberg finanziert wurde und die Geruchsemissionen von Biogasanlagen in Deutschland beschreibt und abschätzt. Das Modellverfahren, welches in GERDA III beschrieben ist, wurde eingängig geprüft und auf die Anforderungen von Biogasanlagen in der Schweiz angepasst bzw. erweitert. Die im Projekt Gerda III stattgefundenen Literaturstudie wurde auf die Schweizer Gegebenheiten erweitert und mit den Messwerten (siehe Anhang B2) verglichen bzw. ergänzt. Aus der Datensammlung wurden die Emissionsfaktoren bestimmt, welche dem Modell zugrunde gelegt werden.

Aufbauend auf einer Beschreibung der Verfahrensschritte und Anlagenteile einer landwirtschaftlichen Biogasanlage wurden die relevanten Geruchsquellen dargestellt und deren Emissionen mit praxisgerechten Formeln beschrieben.

Bei der Entwicklung der Formeln wurde von einem einfachen Eingangsdatensatz ausgegangen, damit das Verfahren bereits in einem frühen Stadium der Anlagenplanung, d.h. wenn nur wenige Daten vorliegen, eingesetzt werden kann. Zudem sollten die Ergebnisse im Sinne einer Abschätzung konservativ sein. Den einzelnen Formeln liegen Emissionsfaktoren zugrunde, die auf Basis der innerhalb der Etappe 2 gemessenen Geruchsstoffkonzentrationen entwickelt wurden. Wo keine Geruchsmessungen durchgeführt wurden oder die Ergebnisse nicht verallgemeinerbar erscheinen, wurden Literaturwerte, wo verfügbar, herangezogen. Die Emissionsvorgänge innerhalb der einzelnen Anlagenteile wurden mit Verstärkungs- bzw. Reduktionsfaktoren beschrieben.

Ergebnis der Etappe 3

Das erarbeitete Geruchsemissionsmodell ist im Bericht *Etappe 3: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012* beschrieben.

Mit dem Modell können die Geruchsemissionen der im Tabelle 1 aufgeführten Anlagenteile einer landwirtschaftlichen Biogasanlage abgeschätzt werden.

² Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, GERDA III: Aktualisierung und Erweiterung von GERDA II, Karlsruhe im Januar 2011

Anlieferung und Lagerung der Substrate

- Geschlossene Güllegrube – Verdrängungsemissionen
- Geschlossene Güllegrube mit Biofilter - Verdrängungsemissionen
- Geschlossene Güllegrube - Lageremission
- Offene Güllegrube - Lageremission
- Offene Güllegrube - Effekt des Rührens
- Festmistlagerung
- Festmistlagerung mit dreiseitiger Umwandung
- Festmistlagerung mit Folienabdeckung
- Betrieb der Fahrsilos bzw. Anlieferung von Silage
- Co-Substratlager ohne Abdeckung
- Co-Substratlager mit Folienabdeckung
- Diffuse Emissionen auf dem Anlagengelände

Einbringung in die Anlage

- Feststoffeintrag offen
- Feststoffeintrag mit Vliesabdeckung
- Feststoffeintrag mit Deckel
- Feststoffeintrag bei Einsatz von Geschmacksverstärkern
- Diffuse Emissionen auf dem Anlagengelände infolge Befüllung des Feststoffeintrags
- Geschlossene Vorgrube mit Biofilter - Eintrag der Flüssigstoffe - Verdrängungsemissionen
- Geschlossene Vorgrube mit Biofilter Eintrag von Feststoffen - Verdrängungsemissionen
- Geschlossene Vorgrube - Lageremission
- Diffuse Emissionen auf dem Anlagengelände infolge Befüllung der Vorgrube mit Feststoffen

Vergärung und Biogasproduktion

- Fermenter mit EPDM-Folien (Einzelmembranen)
- Fermenter mit Doppelmembranen

Biogasverwertung (inkl. Biogasaufbereitung)

- Biogasverwertung

Aufbereitung und Lagerung des Gärguts

- Offene Gärgutlagerung (nicht separiert oder flüssig)
- Offene Gärgutlagerung (nicht separiert oder flüssig) - Effekt des Rührens
- Geschlossener, nicht gasdichter Gärgutbehälter – Verdrängungsemissionen

– Geschlossener, nicht gasdichter Gärgutbehälter - Lageremission
– Offene Lagerung von festem Gärgut
– Lagerung von festem Gärgut mit Folienabdeckung
– Kompostierung von festem Gärgut in unbelüfteten Mieten
– Abtransport des Gärguts in Güllefässern

Tabelle 1: Prozesse bzw. Anlagenteile von landwirtschaftlichen Biogasanlagen, die im Modell behandelt werden

In den Bereichen Anlieferung und Lagerung sowie Einbringung in die Anlage können die Emissionen der im Tabelle 2 aufgeführten Hofdünger und Co-Substrate abgeschätzt werden.

Gruppe	Einsatzstoff
Hofdünger	Schweinegülle
Hofdünger	Rindergülle
Hofdünger	Mischgülle
Hofdünger	Schweinemist
Hofdünger	Rinderfestmist
Hofdünger	Hühnermist
Co-Substrat	Fruchtabfälle
Co-Substrat	Gemüse- und Rüstabfälle
Co-Substrat	Getreideabgang
Co-Substrat	Getreideganzpflanzensilage
Co-Substrat	Getreidekörner
Co-Substrat	Gewürztreber
Co-Substrat	Grassilage
Co-Substrat	Grüngut und Rasenschnitt
Co-Substrat	Kaffeesatz
Co-Substrat	Maissilage
Co-Substrat	Panseninhalt

Tabelle 2: Hofdünger und Substrate, die im Modell berücksichtigt werden

Die im Modell verwendeten Emissionsfaktoren und Geruchsstoffkonzentrationen sind in den Anhängen C1 und C2 aufgeführt. Die Multiplikationsfaktoren für verschiedene Emissionsvorgänge finden sich im Anhang C3.

Etappe 4:

Ziel der Etappe 4

Die Etappe 4 hatte zum Ziel, eine Software zur Abschätzung der Geruchsemissionen aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen zu erstellen. Die Software stellt damit die praktische Umsetzung des in Etappe 3 entwickelten Geruchsemissionsmodells dar. Das Programm ist lauffähig auf Windows-Betriebssystemen.

Durchführung der Etappe 4

Die im Abschlussbericht zur Etappe 3³ enthaltenen Formelübersichtstabellen und Tabellen zu Emissionsfaktoren, Konzentrationen und Multiplikationsfaktoren (siehe Anhang C) dienten als Pflichtenheft für die programmtechnische Umsetzung. Für eine effiziente Bearbeitung wurden ProgrammROUTINEN des bereits vorhandenen Programms GERDA III⁴ übernommen. Als Entwicklungsumgebung diente DELPHI. Nach Fertigstellung der Software wurden Funktionen und Berechnungsergebnisse mehrfach überprüft und die aufgefallenen Fehler bereinigt.

Ergebnis der Etappe 4

Die entwickelte Software trägt den Namen

GEMS-BGA (GeruchsEmissionsModell Schweiz – BioGasAnlage)

Sie basiert auf dem Abschlussbericht zur Etappe 3⁵. Die Programmoberfläche besteht aus einer Menüleiste und dem in Abbildung 1 dargestellten Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage. Mit Mausclick auf die einzelnen Anlagenteile im Schema wird der Benutzer intuitiv durch die Eingabedialoge geführt. Sind alle Dialoge ausgefüllt, wird ein Ergebnisprotokoll erstellt. Dieses Protokoll listet die Eingabedaten, die Geruchsemissionen und die Emissionsdauer pro Anlagenteil sowie eine Gesamtemission der Biogasanlage auf. Das Protokoll kann exportiert und in anderen herkömmlichen Datenverarbeitungssoftwares importiert und aufbereitet werden. Die Eingabedaten können als Projekt abgespeichert und wieder eingeladen werden. Die dem Emissionsmodell zugrunde liegenden Emissions-, Verstärkungs- und Minderungsfaktoren können in einer separaten ASCII-Datei abgeändert werden. Damit hat der Benutzer die Möglichkeit, bei höherer Detailkenntnis dieser Daten oder später vorliegenden anderen Literaturdaten die Werte eigenständig abzuändern.

³ Ernst Basler + Partner AG, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012

⁴ Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, GERDA III: Aktualisierung und Erweiterung von GERDA II, Karlsruhe im Januar 2011

⁵ Ernst Basler + Partner AG, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012

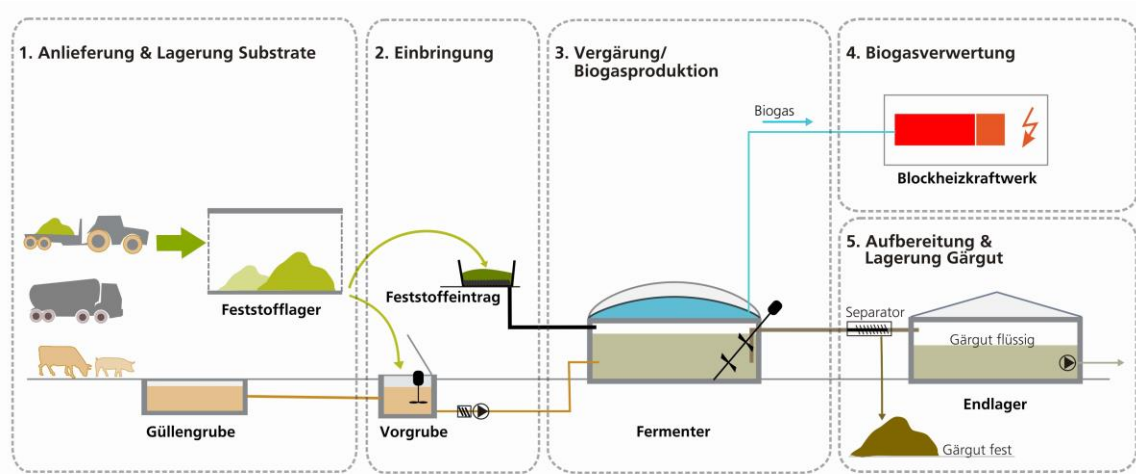


Abbildung 1: Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage in der Schweiz.

Im Anhang D sind die verschiedenen Dialoge der Software GEMS-BGA.

Etappe 5:

Ziel der Etappe 5

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts und die Software sollten an einem BFE-Workshop vorgestellt werden. Zudem sollte es das Ziel sein, dass die Ergebnisse auch auf anderen Konferenzen vorgestellt bzw. in Zeitschriften publiziert werden.

Durchführung der Etappe 5

Das Projekt und seine Ergebnisse sind an den folgenden Konferenzen vorgestellt worden:

OdorVision 11 – Biogas - Geruchskonflikte um saubere Energie

am 24. Juni 2011

an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil

organisiert vom UMTEC, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik

Titel: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen

Referent: Holger Frantz

Biomasseforschung in der Schweiz -

Prozessoptimierung, Emissionen, neue Entwicklungen

am 3. November 2011

in der Aula des Bundesamts für Strassen ASTRA, Ittingen

organisiert vom Bundesamt für Energie

Titel: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen

Referent: Holger Frantz

In folgender Zeitschrift wurde das Projekt in einem Beitrag beschrieben:

Umwelt Perspektiven

Ausgabe 3-2011

Titel: Geruchsemissionsmodell

Autor: Holger Frantz

Ergebnisse

Bislang lagen Literaturwerte von Geruchsemissionen hauptsächlich aus dem Deutschen Raum und aus Österreich vor. Mit dem Projekt wurden erstmals eine Vielzahl von Geruchstoffkonzentrationen auf Schweizer Biogasanlagen gemessen, dokumentiert und ausgewertet.

Auf der Basis der gemessenen Geruchsstoffkonzentrationen und von Literaturwerten wurde ein Geruchsemissionsmodell für Schweizer Biogasanlagen entwickelt und in einem Bericht⁶ beschrieben. Das Modell beinhaltet einfache Formeln und Annahmen. Integriert sind aus Messungen und Literaturangaben abgeleitete Emissionsfaktoren, Geruchsstoffkonzentrationen und für einzelnen Vorgänge und Massnahmen auch Verstärkungs- bzw. Minderungsfaktoren. Die Summe der Geruchsemissionen aller einzelnen Anlagenteile ergibt die Gesamtemission der Anlage. Das Modell hat der Charakter eines Screeningmodells und erlaubt dem Anwender eine Abschätzung der Geruchsemissionen von einzelnen Anlagenteilen oder auch von einer ganzen Biogasanlage zu machen. Zudem können einzelne Anlagenteile mit und ohne geruchsmindernde Massnahme berechnet werden um damit die Effizienz von Massnahmen abschätzen zu können.

Für eine einfache Handhabung des Geruchsemissionsmodells wurde die Software GEMS-BGA entwickelt. Sie soll helfen, das Modell richtig anzuwenden und mögliche Anwendungsfehler und Berechnungsfehler zu vermeiden. Die Berechnungsergebnisse können zur Dokumentation oder zur Weiterverarbeitung in Word und Excel exportiert werden.

⁶ Ernst Basler + Partner AG, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012

Anhang A

A1: Auslegeordnung "Messpflichtenheft (Entwurf), Stand 17.12.2009"

**A2: Etappe 1: Festlegung der Geruchsemissionsmessungen
(Messpflichtenheft)**

A3: Etappe 1: Änderungen im Messpflichtenheft

Messpflichtenheft (Entwurf), Stand 17.12.2009, anonymisiert

Anlageteil	Biogasanlage 1		Biogasanlage 2		Biogasanlage 3		Biogasanlage 4		Biogasanlage 5		Biogasanlage 6		Biogasanlage 7		Biogasanlage 8		Biogasanlage 9		Biogasanlage 10		Biogasanlage 11	
	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum	Messung (Vorlauf)	Messzeitraum
1 Güllegrube																						
Rindergülle	X	ganz	X	ganz	X				X	ganz	X						X					X
Schweinegülle	X	ganz															X					X
2 Festmistlager																						
Rindermist	X	ganz	X	ganz	X				X	ganz			X	ganz			X					X
Schweinemist	X	ganz															X					X
Hühnermist	X	ganz	X	ganz															X	wenig		
Pferdemist	X	ganz			X								X	ganz								
3 Co-Substratler, Feststofflager																						
Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle)	X	ganz			X	ganz			X	ganz					X	Kartoffeln	(X)	Kartoffeln, Äpfel, Rhabärl, bis Mitte/09	X	Zuckerüberschüsse	X	Sommer
Früchte (inkl. Rüstabfälle)	X	ganz									X	Zamba, ganz	X	Zamba, ganz, Geruch im So								
Lebensmittelabfälle (Retouren ohne Fleisch)																						
Grünger/Rasenschnitt			X		X	Gras, Sommer			X	Gras (So), Laub (He)					X	Halle -> Anmischer, ganz	(X)	nur Lagerung -> geht an Kompost	X	ab Ma	X	ab April: fahrlos Gras & Getreideabgang
Abfälle Nahrungsmittelproduktion	X	Kaffee, Getreide, ganz	X	Gewürze, im Sommer problem	X	maltoextrin, ganz			X	Gewürztreiber (Maggi), Zeitpunkt unbek., Kaffee kein Pr.	X	ganz			X	in Bunker: Kaffee, Milchsücker	X	Ricola, alle 1.5 Mt.	X	Mühlstaub, ganz	X	Cacaoshalen, zeitweise Getreideabg.
Trester (Apfeltrester, Mostabgang)					X	Herbst/Winter																
Schlempen (Schnapsproduktion)																						
Schlachtabfälle: Pansen und Darminhalte			X	Pansen abgepresst, ganz											(X)	ev. wieder						
Gastroabfälle	(X)	ev. ab 6/2010																				
4 Mistlager, Co-Substratler gemeinsam			X						X		X											
5 Vorgruben: offen und geschlossen	X		X																			
6 Vorgruben / Einbringen feste Substrate																						
Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle)	X	ganz							X	ganz									X	Zuckerüberschüsse	X	Gemüseabfall
Früchte (inkl. Rüstabfälle)	X	ganz																				
Lebensmittelabfälle (Retouren ohne Fleisch)			X	ganz															X	Mühlstaub, ganz		
Grünger/Rasenschnitt			X	Sommer															X	ab Ma	X	Grünger, Silage
Abfälle Nahrungsmittelproduktion	X	ganz	X	Mühlabgang, Gewürz					X	Gewürztreiber (Maggi), Kaffee												Cacaoshalen
Schlachtabfälle: Pansen und Darminhalte			X	ganz																		
Trester (Apfeltrester, Mostabgang)																						
Fettscheidermaterialien																						ganz
Gastroabfälle																						
7 Vorgruben / Entleeren flüssige Substrate																						
Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle)							X	ganz											X	ganz		
Abfälle Nahrungsmittelproduktion			X	Fettschraum, Milchwasser, ganz			X	Permeat Schotte, Getreideabg., ganz			X	Permalat, Getreideabg., ganz							X	Permeat (Schotte), ganz		
Schlempen (Schnapsproduktion)											X	1 x pro Monat									(X)	Aug-April
Schlachtabfälle: Pansen und Darminhalte							X	Darminhalte, ganz														
Fleischsuppe (Magen und Eingeweide)							X	unregelmäßig														
8 Feststoffeintrag direkt in Fermenter					X	ganz													(X)			
Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle)					X	ganz									X	Zamba, ganz						
Früchte (inkl. Rüstabfälle)																						
Lebensmittelabfälle (Retouren ohne Fleisch)																						
Grünger/Rasenschnitt					X	Sommer																
Abfälle Nahrungsmittelproduktion					X	ganz																
Trester (Apfeltrester, Mostabgang)																						
Gastroabfälle																						
9 Flüssigeintrag direkt in Fermenter																						
Fleischsuppe direkt in Fermenter									X	Tank, Leitung direkt nach F, ganz							X	Tank, Leitung direkt nach F, momentan noch vorhanden				
Gastrosuppe von Tank direkt nach Fermenter																						
10 Hygienisierung Gastroabfälle und Direkteintrag in Fermenter																						
11 Hydrolysestufe vor Fermenter																						
12 Biofilter-Abluft bei Vorgruben	X	ganz	X	ganz	X																	
13 Fermenter mit EPDM-Folie			X	ganz	X						X		X									
14 Fermenter mit Doppelmembranfolie						wechsel, Jan10							(X) wechsel		X				X	einzig Überlauf in EL geruchsmässig	X	
15 Nachgärbehälter mit EPDM-Folie			X	ganz																		
16 Nachgärbehälter mit Doppelmembranfolie	X	ganz																				
17 Externer Speicher (Kisenspeicher)																						
18 Gärgutendlager offen											X		X									
19 Gärgutendlager mit Zehldach					X																	
20 Gärgutaufbereitung (Separator)					X						X	1-2 mit im Frühjahr			X							
21 Kompostierung					X										X	Boxenkompostierung Compac						
22 BHKW-Abgas			X	ganz	X	ganz							X									X
23 Gasturbine-Abgas	X	ganz																				

X Einverständnis vom Betreiber eingeholt. Messung noch abhängig von technischer Machbarkeit

DD noch nicht klar ob im 2010 vorhanden

X Geruch unproblematisch

X Geruch problematisch

mittel interessiert. Vergütung noch abmachen

Sehr interessiert. Geruchsprobleme. Vergütung noch abmachen

Sehr interessiert. Messung im Januar der EPDM Folie. Dann im Frühjahr Wechsel auf Doppelmembran

wenig interessiert. wenn nicht nötig dann eher keine Messungen. Ansonsten nur Minimalmessung: VG

mittel interessiert. wenn nicht nötig dann eher keine Messungen. Vergütung wäre zu regeln.

massnahme1: Gewürztreiber mit Mühlstaub zudecken

Massnahme2: Fleischsuppe in Tank und direkt in Fermenter anstatt in VG

Mischung ist manchmal kritisch obwohl einzeln Substrate unkritisch betr. Geruch

Geruchsentwicklung bei Rhren in VG

mittel interessiert. eingprache zu geplantem bau NG z.T. weisse Spuren. Hauptproblem ist Biogasschlupf der Folie

eher wenig geruchintensiv Stoffe

keine Vorgruben. Messung nur bei Co-Substratler, EL, F, ev. Hygienisierunganlage

sehr interessiert. Problem: Schwefelgeruch, mässig interessiert: keine Geruchsprobleme nach Einbau von BioItem (Kosterpunkt 2.5 Mio. CHF

Möglichkeit der Messung vor und nach Wechsel der Blache im Feb./märz (F: EPDM Folie -> Doppelmembran, EL: keine Folie -> Doppelmembran).

Das flüssige Gärgut wird zu grösstem Teil zurück zum Anmischen vom Grüngerut gebraucht (Anmischer)

Feste Substrate gelangen über Bunker und Sieb nach Humbunker, dort wo auch das Grüngerut angenommen wird

mässig interessiert: Verfügbarkeit Co-Substrate unklar. Grosse Mengen nicht mehr geliefert. letztes Jahr nur noch 1'000 t. Wechsel auf LW-bonus

Es handelt sich um eine Kompostieranlage in Kombi mit Flüssigvergärungsanlage mit F, NG, Sep, und Boxenkompostierung in Halle.

Fleischsuppe heute noch geliefert, sehr wärts. im 2010 nicht mehr. Flotischlamms Emms geht heute schon nach SFP.

Gemüse- und Fruchtabfälle von Steffen Ris max. bis Mitte 2010, dann in eig. Anlage BEBAG.

sehr interessiert. Problem: Geruch von Grünabfällen im Sommer bei Ostwind

Grosse Konkurrenz: SFP, Komposgas, neuanlage im Fricktal etc.

Hauptquellen Geruch: anmischen in Vorgruben, Dämpfe beim Wenden vom Grüngerut

Permeat riecht säuerlich

sehr interessiert. Problem: Geruch von Gastrosuppe

Vorgruben, Hydrolyse, Fermenter, NG, EL



Etappenbericht 16. April 2010

Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissions- modells für Biogasanlagen

**Etappe 1:
Festlegung Geruchsemissionsmessungen**

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm "Biomasse und Holzenergie mit Schwerpunkt Biomasse ohne Holzenergie"
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS, CH-3003 Bern
Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt, CH-5004 Aarau
Kanton St. Gallen, Amt für Umwelt und Energie (AFU), CH-9001 St. Gallen
Kanton Thurgau, Amt für Umwelt, CH-8510 Frauenfeld
Kanton Zürich, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, CH-8090 Zürich

Auftragnehmer:

Ernst Basler + Partner AG
Zollikerstrasse 65
CH-8702 Zollikon
www.ebp.ch

Autoren:

Reto Steiner, Ernst Basler + Partner AG, res@ebp.ch
Holger Frantz, Ernst Basler + Partner AG, hfz@ebp.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Programmleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154369 / 103315

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Messpflichtenheft

Die Geruchsmessungen für die Erstellung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen sollen auf fünf verschiedenen Anlagen durchgeführt werden:

- Biogasanlage 2
- Biogasanlage 3
- Biogasanlage 6
- Biogasanlage 10
- Biogasanlage 11

Nachfolgend sind die geplanten Geruchsmessungen im Einzelnen pro Biogasanlage aufgeführt. Im Anschluss sind die vollständigen Messpläne mit weiteren Hinweisen angehängt.

Vorerst sind insgesamt 72 Messungen vorgesehen. Während der Messperiode von April bis November 2010 können sich aufgrund der Erkenntnisse und Ergebnisse aus durchgeführten Messungen noch Änderungen des Messpflichtenhefts ergeben. Zudem besteht die Möglichkeit, dass die eine oder andere Messung aus technischen Gründen nicht so durchführbar ist, wie zunächst angedacht.

Messungen Biogasanlage 2

Messungen gemäss Messpflichtenheft

Nr.	Anlagenteil/Stoff	Massnahme
SÜ-01	Festmistlager, Hühnermist	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
SÜ-02	Festmistlager, Hühnermist	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
SÜ-03	Zwischentank, Milchflotat	Direkt nach der Befüllung des Zwischentanks
SÜ-04	Co-Substratlager, Gewürztreber	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
SÜ-05	Co-Substratlager, Gewürztreber	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
SÜ-06	Co-Substratlager, Kaffeesatz	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
SÜ-07	Co-Substratlager, Kaffeesatz	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
SÜ-08	Co-Substratlager, Panseninhalt abgepresst	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
SÜ-09	Co-Substratlager, Panseninhalt abgepresst	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
SÜ-10	Vorgrube	Ohne Rühren
SÜ-11	Vorgrube	Mit Rühren während Beschickung
SÜ-12	Biofilter-Abluft bei Vorgrube	Nach Biofilter (Ausgang)
SÜ-13	Seperator, festes Gärgut	Oberfläche ohne Bewegung des Gärguts
SÜ-14	Seperator, festes Gärgut	Gärgut aufgeworfen, frische Oberfläche

Messungen Biogasanlage 6

Messungen gemäss Messpflichtenheft

Nr.	Anlagenteil/Stoff	Massnahme
BU-01	Co-Substratlager, Fruchtabfälle	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
BU-02	Co-Substratlager, Fruchtabfälle	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
BU-03	Co-Substratlager, Getreideabgang	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
BU-04	Co-Substratlager, Getreideabgang	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
BU-05	Vorgrube	Geschlossen, ohne Rühren
BU-06	Vorgrube	Offen, ohne Rühren
BU-07	Vorgrube	Nach Beschickung der Vorgrube, offen, mit Rühren
BU-08	Vorgrube	Nach Beschickung der Vorgrube, geschlossen, mit Rühren
BU-09	BHKW-Abgas	

Messungen Biogasanlage 3

Messungen gemäss Messpflichtenheft

Nr.	Anlagenteil/Stoff	Massnahme
MA-01	Güllekanal, Rindergülle	Nach Öffnen des Kanals
MA-02	Güllegrube, Rinder-/Saugülle-Gemisch	Ohne Rühren
MA-03	Güllegrube, Rinder-/Saugülle-Gemisch	Mit Rühren
MA-04	Co-Substratlager, Gemüse- und Rüstabfälle	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
MA-05	Co-Substratlager, Gemüse- und Rüstabfälle	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
MA-06	Co-Substratlager, Frischgras	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
MA-07	Co-Substratlager, Frischgras	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
MA-08	Co-Substratlager, Getreideabgang	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
MA-09	Co-Substratlager, Getreideabgang	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
MA-10	Feststoffeintrag	Nach Beschickung, voller Mischer mit Aufmischen, ohne Fliessabdeckung
MA-11	Feststoffeintrag	Nach Beschickung, voller Mischer mit Aufmischen, mit Fliessabdeckung
MA-12	Feststoffeintrag	Nach Beschickung, voller Mischer ohne Aufmischen, ohne Fliessabdeckung
MA-13	Feststoffeintrag	Nach Beschickung, voller Mischer ohne Aufmischen, mit Fliessabdeckung
MA-14	Feststoffeintrag	Nach längerer Pause (mind. 4 Stunden), mit Aufmischen, ohne Fliessabdeckung
MA-15	Feststoffeintrag	Nach längerer Pause (mind. 4 Stunden), mit Aufmischen, mit Fliessabdeckung
MA-16	geschlossenes Gärgutendlager, flüssiges Gärgut	Nach längerer Zeit ohne Rühren
MA-17	geschlossenes Gärgutendlager, flüssiges Gärgut	Mit Rühren
MA-18	Gärgutaufbereitung, festes Gärgut	frisches Gärgut direkt nach Austrag
MA-19	Gärgutaufbereitung, festes Gärgut	Frischkompost nach frischem Umwerfen der Miete
MA-20	Gärgutaufbereitung, festes Gärgut	Endkompost (Reifekompost, 2-2.5 Mt.) ohne Umwerfen
MA-21	BHKW-Abgas	

Messungen Biogasanlage 11

Messungen gemäss Messpflichtenheft

Nr.	Anlagenteil/Stoff	Massnahme
LI-01	Güllegrube, Schweinegülle	Ohne Rühren
LI-02	Güllegrube, Schweinegülle	Mit Rühren
LI-03	Festmistlager, Schweinemist	Oberfläche ohne Bewegung des Substrat
LI-04	Festmistlager, Schweinemist	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
LI-05	Co-Substratlager, Gemüse und Früchte/Rüstabfälle	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
LI-06	Co-Substratlager, Gemüse und Früchte/Rüstabfälle	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
LI-07	Co-Substratlager, Grüngut/Rasenschnitt	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
LI-08	Co-Substratlager, Grüngut/Rasenschnitt	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
LI-09	Vorgrube	Geschlossen, ohne Rühren
LI-10	Vorgrube	Offen, ohne Rühren
LI-11	Vorgrube	Nach Beschickung der Vorgrube, offen, mit Rühren
LI-12	Vorgrube	Nach Beschickung der Vorgrube, geschlossen, mit Rühren
LI-13	Hydolysestufe vor Fermenter mit Aktivkohlefilter, Puffertank mit Fleischsuppe	Vor Aktivkohlefilter
LI-14	Hydolysestufe vor Fermenter mit Aktivkohlefilter, Puffertank mit Fleischsuppe	Nach Aktivkohlefilter
LI-15	Fermenter mit Doppelmembranfolie	Abluftmessung bei Schlauchaustritt
LI-16	BHKW-Abgas	

Messungen Biogasanlage 10

Messungen gemäss Messpflichtenheft

Nr.	Anlagenteil/Stoff	Massnahme
WÄ-01	Güllegrube, Schweinegülle	Ohne Rühren
WÄ-02	Güllegrube, Schweinegülle	Mit Rühren
WÄ-03	Co-Substratlager, Grüngut/Rasenschnitt	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats
WÄ-04	Co-Substratlager, Grüngut/Rasenschnitt	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche
WÄ-05	Vorgrube	Geschlossen, ohne Rühren
WÄ-06	Vorgrube	Offen, ohne Rühren
WÄ-07	Vorgrube	Nach Beschickung der Vorgrube, offen, mit Rühren
WÄ-08	Vorgrube	Nach Beschickung der Vorgrube, geschlossen, mit Rühren
WÄ-09	Fermenter mit Doppelmembranfolie	Abluftmessung bei Schlauchaustritt
WÄ-10	Geschlossenes Gärgutendlager, flüssiges Gärgut	Ohne Rühren
WÄ-11	Geschlossenes Gärgutendlager, flüssiges Gärgut	Mit Rühren
WÄ-12	BHKW-Abgas	



Ergänzungsbericht 10. Dezember 2010

Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissions- modells für Biogasanlagen

Etappe 1:
Änderungen im Messpflichtenheft

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm "Biomasse und Holzenergie mit Schwerpunkt Biomasse ohne Holzenergie"
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS, CH-3003 Bern
Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt, CH-5004 Aarau
Kanton St. Gallen, Amt für Umwelt und Energie (AFU), CH-9001 St. Gallen
Kanton Thurgau, Amt für Umwelt, CH-8510 Frauenfeld
Kanton Zürich, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, CH-8090 Zürich

Auftragnehmer:

Ernst Basler + Partner AG
Zollikerstrasse 65
CH-8702 Zollikon
www.ebp.ch

Autoren:

Reto Steiner, Ernst Basler + Partner AG, res@ebp.ch
Holger Frantz, Ernst Basler + Partner AG, hfz@ebp.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Programmleiter: Dr. Sandra Hermle

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154369 / 103315

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Änderungen im Messpflichtenheft

Während der Geruchsmessungen in Etappe 2 wurden folgende Änderungen am Messpflichtenheft vorgenommen:

Biogasanlage 3

Nr.	Anlagenteil/Stoff	Massnahme	Status
MA-06	Co-Substratlager, Frischgras	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats	gestrichen
MA-07	Co-Substratlager, Frischgras	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche	gestrichen
MA-22	Gärgutaufbereitung, Kompost	zuletzt vor 4 Tagen aufgeworfen (Krustenbildung)	neu
MA-24	Feststoffeintrag (in Schubkarre simuliert)	Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstra- ten, mit Geschmacksverstärker (Trockeneintrag), mit Vliesabdeckung (Geruchsprobenahme über Vlies)	neu
MA-25	Feststoffeintrag	Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstra- ten, ohne Geschmacksverstärker ohne Aufmi- schen, ohne Vliesabdeckung	neu
MA-26	Feststoffeintrag	Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstra- ten ohne Geschmacksverstärker, ohne Aufmi- schen, mit Vliesabdeckung, (Geruchsprobenahme über Vlies)	neu
MA-27	Feststoffeintrag (in Schubkarre simuliert)	Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstra- ten mit Geschmacksverstärker (Trockeneintrag), ohne Aufmischen, ohne Vliesabdeckung, (Ge- ruchsprobenahme ohne Vlies)	neu
MA-28	Feststoffeintrag (in Schubkarre simuliert)	Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstra- ten mit Geschmacksverstärker und Wasser, ohne Aufmischen, mit Vliesabdeckung, (Geruchsproben- ahme über Vlies)	neu
MA-29	Fermenter / Luft zwi- schen Membranen	zuletzt vor 4 Tagen aufgeworfen (Krustenbildung)	neu

Biogasanlage 11

Nr.	Anlagenteil/Stoff	Massnahme	Status
LI-03	Festmistlager, Schweinemist	Oberfläche ohne Bewegung des Substrat	gestrichen
LI-05	Co-Substratlager, Gemüse und Früchte/Rüstabfälle	Oberfläche ohne Bewegung des Substrats	gestrichen
LI-06	Co-Substratlager, Gemüse und Früchte/Rüstabfälle	Substrat aufgeworfen, frische Oberfläche	gestrichen
LI-10	Vorgrube	Offen, ohne Rühren	gestrichen
LI-15	Fermenter mit Doppelmembranfolie	Abluftmessung bei Schlauchaustritt	gestrichen
LI-17	Vorgrube / Flüssigsub- strate	offen, vor Beschicken, mit Rühren	neu
LI-18	CO-Substratlager / Silage	Silage frisch aufgeworfen	neu

Anhang B

- B1: Methodik der Beprobungen, der olfaktorischen und der hedonischen Messungen**
- B2: Übersicht Geruchskonzentrationsmessungen bei Biogasanlagen**
- B3: Auswertung Hedonik der Geruchsproben**

B1: Methodik der Beprobungen, der olfaktorischen und der hedonischen Messungen

B1.1 Beprobung aktiver Punktquellen

Die Probenahmebeutel aus geruchslosem Nalophan wurden nach dem «Lungenprinzip» gefüllt. Dabei wurde der Probenahmebeutel in einen Behälter gegeben, der für die Probenahme luftdicht abgeschlossen wurde (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3).

Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.



Abbildung 2: 1 Minuten Probenehmer

Abbildung 3: 30 Minuten Probenehmer

Der Probenahmebeutel wurde über einen Teflonschlauch mit der Probenahmestelle verbunden. Durch Evakuierung des Behälters strömte die Probenluft direkt und unbeeinflusst (kein Kontakt mit der Pumpe) in den Beutel ein. Für jede Geruchsquelle wurde ein neuer Teflonschlauch verwendet.

B1.2 Beprobung passiver Flächenquellen

Die Beprobung passiver Flächenquellen erfolgte mit Hilfe einer belüfteten Probenahmehaube und einem 1 Minuten Probenehmer (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Probenahme mittels belüfteter Probenahmehaube und 1 Minuten Probenehmer

Da passive Flächenquellen nicht aktiv durchströmt werden, muss zur olfaktorischen Probenahme die geruchsemitterende Fläche mit geruchsneutraler Luft überströmt werden.

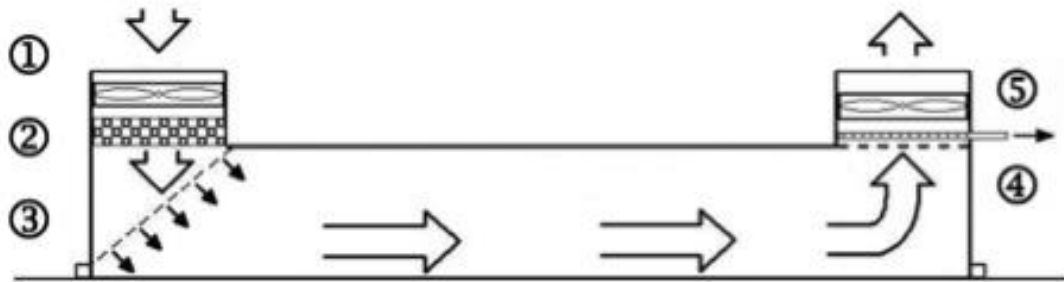


Abbildung 5: Funktionsschema der belüfteten Probenahmehaube

- 1 Einlassventilator
- 2 Aktivkohlefilter
- 3 Defektorblech
- 4 Probenahmeanschluss
- 5 Auslassventilator

Bei der Probenahme wird mit Hilfe zweier Ventilatoren (Punkte 1 und 5 in Abbildung 5) in der Probenahmehaube ein definierter Luftstrom erzeugt. Die Temperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit der Abluft werden mittels eines aufgesetzten Temperatur- und Luftfeuchtemessgerätes am Auslass der Abluft gemessen. Die olfaktometrische Probenahme erfolgt über das Probenahme-Anschlussventil (Punkt 4 in Abbildung 5).

Um Fremdlufteinflüsse auszuschliessen, wird die angesaugte Luft mit Hilfe eines Aktivkohlefilters gereinigt (Punkt 2 in Abbildung 5). Zudem wird sichergestellt, dass die Probenahmehaube fest auf dem zu untersuchenden Untergrund steht, d.h. dass keine Fremdluft über den Rand der Probenahmehaube angesogen werden kann.

Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Abluftstrom, in der Umgebungsluft und im Substrat des Biofilters wurden mit Hilfe eines Industrie Thermo-Hygrometer der Firma testo (testo 645: Rel Luftfeuchte: +- 0.1%, Messbereich 0 – 100%, Temperatur: +-0.1°C, Messbereich -200 – 800°C) gemessen.

Die im Bericht erwähnten Temperatur- und Feuchtwerte wurden durch eine einmalige Stichprobenmessung ermittelt.

Die Geschwindigkeit des Abluftstrom wurde für aktive Geruchsquellen mit Hilfe einer Prantelsonde ermittelt (Airflow Messgerät von TSI, Modell TSI 8710-DP-CALC Microanemometer, Messbereich 0.125 – 25 m/s). Das Messergebnis ist der Mittelwert aus 6 Messwerten, die an 6 unterschiedlichen Stellen im Abluftstrom gemessen wurden.

Bei der Beprobung von (aktiven oder passiven) Flächenquellen wird die Strömungsgeschwindigkeit im Abluftkanal der Probenahmehaube gemessen. Anhand der im Abluftkanal («Kamin») der Probenahmehaube gemessenen Strömungsgeschwindigkeit lässt sich die Durchströmungsgeschwindigkeit der Teilfläche bestimmen (Formel 1.1), auf welcher die Probenahmehaube zum Zeitpunkt der Messung steht.

$$V_i = v_{i,Kamin} * A_{Kamin} / A_{Haube} \quad (1.1)^7$$

⁷ Olfaktometrie Statische Probenahme, VDI 3880, K 5.2.2.3: Ermittlung der Durchströmungsverteilung, Januar 2009

v_i	Durchströmgeschwindigkeit der Teilfläche i in m/s
$v_{i,Kamin}$	im Kamin der Probenahmehaube auf der Teilfläche i gemessene Strömungsgeschwindigkeit in m/s
A_{Kamin}	Querschnittsfläche des Kamins der Probenahmehaube in m^2
A_{Haube}	Grundfläche der Probenahmehaube in m^2 (= $1 m^2$)

B1.3 Olfaktometrische Messung

Die Proben wurden innerhalb von 24 Stunden nach den Probenahmen mit einem Olfaktometer des Typs T08 der Firma ECOMA GmbH im Geruchslabor des UMTEC gemessen. Geruchsproben, bei denen eine Geruchsbelastung von mehr als $30'000 \text{ GE}/m^3$ erwartet wurde, wurden vor der eigentlichen Geruchsmessung mit Umgebungsluft vorverdünnt. Dies ist eine Vorsichtsmaßnahme, um einer Geruchskontamination des Olfaktometers vorzubeugen.

Bei der Geruchsschwellenbestimmung wurde nach DIN EN 13725 vorgegangen. Dabei wurden die Geruchsproben soweit mit geruchsfreier Luft verdünnt, bis diese von 50% der Testpersonen wahrgenommen werden konnten.

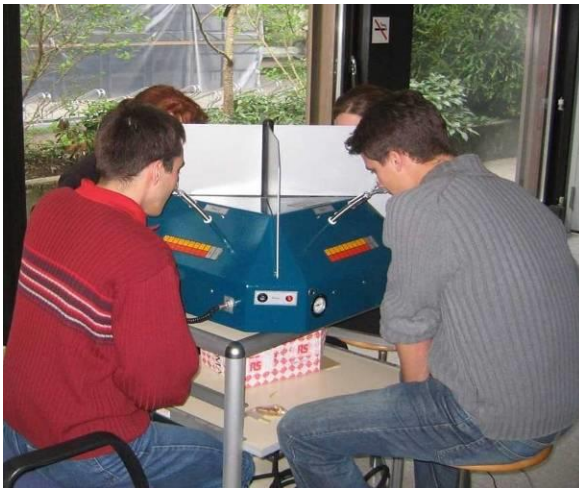


Abbildung 6: Geruchsmessung am Olfaktometer

Als Resultat wurde eine Verdünnungszahl (Geruchseinheiten pro m^3) angegeben. Diese Verdünnungszahl stellt ein Maß für die Stärke eines Geruches dar und berechnet sich aus den individuellen Geruchsschwellenwerten der Probanden (geometrisches Mittel).

Die obere und untere Grenze des 95% Vertrauensintervalls wurde aus den individuellen Geruchsschwellenwerten berechnet:⁸

Obere Grenze: **Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.**

Untere Grenze: **Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.**

M: individuelle Geruchsschwelle (in logarithmischer Form)

⁸ Olfaktometrie Geruchsschwellenbestimmung Grundlagen, VDI 3881; K. 5: Berechnung der Geruchsstoffkonzentration, Mai 1986

- N: Anzahl der Versuchspersonen
 s: Standardabweichung der individuellen Geruchsschwelle vom geometrischen Mittel (in logarithmischer Form) der Geruchsschwellen des gesamten Probandenpanels
 t: Statistischer Faktor zur Berechnung des 95% Vertrauensintervalls

Das Vertrauensintervall ist abhängig von der Streuung der individuellen Geruchsschwellen.

Die Versuchspersonen wurden aus der Studentenschaft der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) selektioniert. Jede Probe wurde mit mindestens vier Probanden durchgeführt, welche am Messtag die Referenzsubstanz n-Butanol zwischen einer Konzentration von 62 und 264 µg/m³ gerochen haben und deren individuellen Messresultate im 95%-Vertrauensintervall lagen.⁹

Jede Geruchsprobe wurde mit drei Wiederholungen auf ihre Geruchsstoffkonzentration geprüft. Die sensorische Bestimmung jeder Probe beruht somit auf mindestens 12 individuellen Geruchsschwellenwerten (geometrisches Mittel).

Die Messunsicherheit für die gesamte olfaktorische Beurteilung liegt zwischen 20 und 25%.

B1.4 Hedonikmessungen

Im Anschluss an die olfaktometrischen Messungen wurden den Geruchsprobanden die Gerüche erneut vorgeführt. Nachdem die Probanden an der unverdünnten Geruchsprobe gerochen hatten, musste er oder sie einen kurzen Fragebogen ausfüllen (siehe Abbildung 7).

Bestimmung der Geruchsqualität und Hedonik

Proband: _____ Alter: _____

Datum: _____

Geruchsprobe (Nr.): _____

Hedonik

unangenehm	1	2	3	4	5	angenehm
------------	---	---	---	---	---	----------

Geruchsqualität

Nr.	Geruch	sch wac		mäs sig		star k
	nach Essig					
	nach Blut, nach rohem Fleisch					
	nach Ammoniak					
	modrig, erdig, schimmelig					
	fruchtig					
	verdorben, faul					
	nach verfaulten Früchten					
	nach Gülle					
	blumenhaft					
	Gärend (heftig, schaumig)					
	nach Rosen					
	nach geschnittenem Gras					
	nach Müll, Abfall					
	nach Getreide, Korn					
	nach Autoabgasen					
	nach verfaulten Früchten					
	nach saurer Milch					

Abbildung 7: Fragebogen zur Hedonikmessung

⁹ Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie – DIN EN13725; 6.7.2 Auswahl der Prüfer nach individueller Schwankungsbreite und Empfindlichkeit, Juli 2003

In einem ersten Teil mussten die Probanden auf einer Skala zwischen 1 (unangenehm) und 5 (angenehm) ankreuzen, wie sie den Geruch empfanden.

Der zweite Teil des Fragebogens ist ein Auszug aus dem Geruchsprofil nach ASTM (American Society of Testing Materials). Das Geruchsprofil nach ASTM beinhaltet eine Liste von 146 Geruchseindrücken, mit deren Hilfe ein Geruch beschrieben werden kann. Bei der Auswertung wird einerseits berücksichtigt, welcher Geruchsbegriff für einen Geruch verwendet wird. Damit ein Geruch in Rechnung getragen wird, muss eine Mindestzahl von zwei Personen den gleichen Begriff ankreuzen. Andererseits spielt eine Rolle, wie stark diese Geruchsnote auf einer Skala zwischen 1 und 5 im zu beurteilenden Geruch vertreten ist.

Anhand der ermittelten Daten lässt sich die sogenannte Ausprägung eines Geruchs wie folgt ermitteln:

$$\text{Ausprägung } A = (P \times S)^{1/2}$$

Wobei:

- P: Häufigkeit eines bestimmten Geruchsattributes bei einer Geruchsprobe in Prozent
- S: Prozentsatz der Skalenpunkte von maximal möglichen Skalenpunkten
- A: Ausprägung des bestimmten Geruchsbegriffs

B1.5 Begriffe und Definitionen

- Aktivquelle:** Aktive Geruchsquellen sind einem definiertem Volumenstrom ausgesetzt, dessen Strömungsgeschwindigkeit mindestens 50 m/h (0.014 m/s) beträgt.¹⁰
- Geruchsstoffstrom:** Der Geruchsstoffstrom ist die Menge an europäischen Geruchseinheiten, die pro Zeiteinheit eine definierte Fläche durchströmt. Er ist das Produkt der Geruchsstoffkonzentration, der Austrittsgeschwindigkeit und der Austrittsfläche, oder das Produkt der Geruchsstoffkonzentration und des zugehörigen Volumenstroms. Die zugehörige Einheit heisst GE/h oder GE/min bzw. GE/s.¹¹
- Flächenquelle:** Bei Flächenquellen strömen die Abgase über eine Fläche die meist einen inhomogenen Volumenstrom aufweist. Flächenquellen können sowohl aktive (z.B. Biofilter) als auch passive Geruchsquellen (z.B. Komposthaufen) sein.
- Geruchsstoffkonzentration:** Anzahl der europäischen Geruchseinheiten in einem Kubikmeter Gas unter Normbedingungen.¹²
- Passivquelle:** Quelle mit definierten Abmessungen (meist Flächenquellen), die keinen definierten Abgasstrom aufweist wie Abfalldeponien, Klärteiche, Felder und Äcker nach Düngung oder unbelüftete Kompostmieten.¹³

¹⁰ Olfaktometrie Statische Probenahme, VDI 3880, K 5.1: Abgrenzung von aktiven und passiven Quellen, Januar 2009

¹¹ Olfaktometrie Statische Probenahme, VDI 3880, K 2: Begriffe, Januar 2009

¹² Olfaktometrie Statische Probenahme, VDI 3880, K 2: Begriffe, Januar 2009

¹³ Olfaktometrie Statische Probenahme, VDI 3880, K 2: Begriffe, Januar 2009

Punktquelle:

Diskrete Emissionsquelle, aus der Abgase durch Leitungen mit definierten Abmessungen und Emissionsströmen (z.B. Schornsteine, Lüftungsöffnungen) in die Atmosphäre gelangen.¹⁴

¹⁴ Olfaktometrie Statische Probenahme, VDI 3880, K 2: Begriffe, Januar 2009

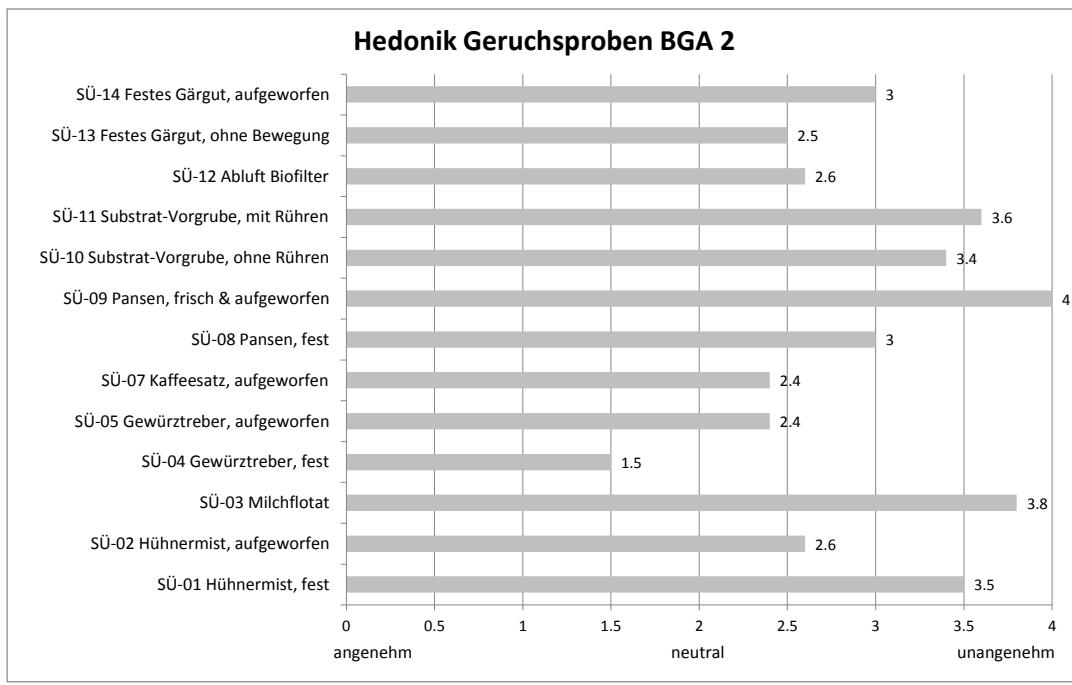
B2: Übersicht Geruchskonzentrationsmessungen bei Biogasanlagen

Übersicht Geruchskonzentrationsmessungen bei Biogasanlagen

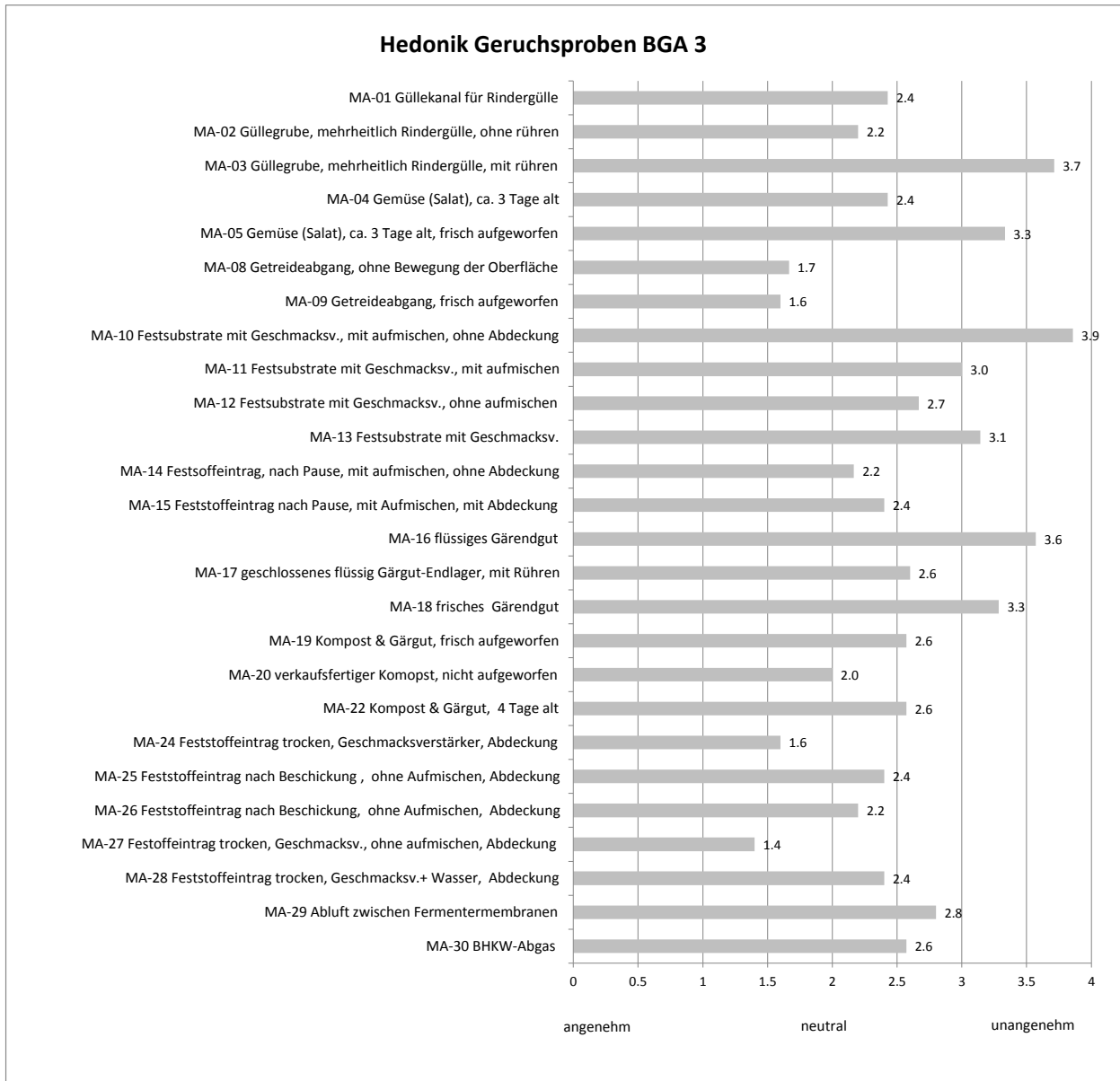
Datum	Probennummer	Geruchsquelle	Geschw. Abluftstrom (m/s)	überströmte Fläche (m ²)	Durchströmte Fläche (m ²)	Quelle überdacht	Temperatur in °C		rel. Luftfeuchte in %		Butanolgeschwelle	Anzahl Probanden	Vorverdünnungsfaktor	Geruchsstoffkonzentration (GE/m ³)			Abweichung (GE/m ³)	
							Abluft	Umgebung	Abluft	Umgebung				Untergrenze	Mittel	Obergrenze	nach oben	nach unten
03.02.2010	LI-16	Abluft BHKW - LI16	-	-	-	ja	-	-	-	-	152	7	5.5	1'850	2'680	3'500	820	830
11.06.2010	SÜ-1	Hühnermist- SÜ1	0.5	0.5	0.00985	nein	32	30	28	33	140	4	0	140	210	310	100	70
	SÜ-4	Gewürztreber - SÜ4	0.5	0.5	0.00985	nein	32	29	39	33	140	4	0	720	1'150	1'810	660	430
	SÜ-6	Kaffesatz- SÜ6	0.5	0.5	0.00985	nein	31	30	34	33	140	4	0	20	20	20	0	0
	SÜ-9	Panseninhalt, frisch aufgeworfen - SÜ9	0.5	0.5	0.00985	nein	32	31	41	33	140	4	0	2'180	3'650	6'100	2'450	1'470
	SÜ-8	Panseninhalt - SÜ8	0.5	0.5	0.00985	nein	31	30	34	33	140	4	0	400	540	740	200	140
	SÜ-13	festes Gärgut - SÜ13	0.5	0.5	0.00985	nein	33	30	36	33	140	4	0	250	390	620	230	140
	SÜ-14	festes Gärgut, frisch aufgeworfen - SÜ14	0.5	0.5	0.00985	nein	33	30	67	33	140	4	0	520	910	1'610	700	390
11.06.2010	SÜ-2	Hühnermist, frisch aufgeworfen - SÜ2	0.5	0.5	0.00985	nein	33	30	41	33	140	4	0	2'130	3'070	4'430	1'360	940
	SÜ-3	Milchflotat - SÜ3	< 0.1	-	0.031	ja	31	30	65	33	140	4	0	40'800	61'860	93'800	31'940	21'060
	SÜ-5	Gewürztreber, frisch aufgeworfen - SÜ5	0.5	0.5	0.00985	nein	32	30	29	33	140	4	0	2'110	3'250	5'010	1'760	1'140
	SÜ-7	Kaffesatz, frisch aufgeworfen - SÜ7	0.5	0.5	0.00985	nein	30	30	62	33	140	4	0	360	570	910	340	210
	SÜ-10	Flüssigsubstrat-Vorgrube, geschlossen - SÜ10	< 0.1	-	0.031	ja	31	31	80	27	140	4	0	8'310	11'580	16'200	4'620	3'270
	SÜ-11	Flüssigsubstrat-Vorgrube, geschlossen, mit Rühren - SÜ11	< 0.1	-	0.031	ja	31	31	80	27	140	4	0	14'300	23'170	37'500	14'330	8'870
	SÜ-12	Abluft Biofilter (nach Vorgrube) - SÜ12	< 0.1	-	0.031	ja	31	30	70	28	140	4	0	3'860	8'510	18'800	10'290	4'650
21.07.2010	MA-18	Gärgut, direkt nach Austrag - MA18	0.5	0.5	0.00985	nein	28.3	28	70	48	137	6	0	5'200	9'200	16'200	7'000	4'000
	MA-19	Kompost, frisch aufgeworfen - MA19	0.5	0.5	0.00985	ja	29	28	50	50	137	6	0	650	1'020	1'560	540	370
	MA-22	Kompost, 4 Tage alt - MA22	0.5	0.5	0.00985	ja	35	32	38	36	137	6	0	200	360	660	300	160
	MA-16	Flüssig-Gärgut Endlager, unmittelbar nach Öffnen - MA16	0.5	0.45	0.00985	ja	36	35	80	36	137	6	0	20'500	29'200	41'600	12'400	8'700
	MA-04	Gemüse (Salat), 4 Tage alt - MA04	0.5	0.5	0.00985	nein	35	36	45	36	137	6	0	330	540	900	360	210
	MA-05	Gemüse (Salat), 4 Tage alt, frisch aufgeworfen - MA05	0.5	0.5	0.00985	nein	37	35	51	36	137	6	0	3'880	4'600	5'450	850	720
	MA-13	Feststoffeintrag mit Geschmacksv., mit Flies (Probenahme unter Flies) - MA13	passiv	-	-	ja	37	35	33	36	137	6	3	74'950	115'000	178'000	63'000	40'050
	MA-12	Feststoffeintrag mit Geschmacksv., ohne Flies - MA12	0.5	-	0.00985	nein	30	35	57	36	137	6	3	12'800	18'400	26'600	8'200	5'600
	MA-11	Feststoffeintrag mit Geschmacksv., mit Aufmischen, mit Flies (Probenahme unter Flies) - MA11	passiv	-	-	ja	40	35	95	36	137	6	2	60'900	91'000	136'000	45'000	30'100
	MA-10	Feststoffeintrag mit Geschmacksv., mit Aufmischen, ohne Flies - MA10	0.5	0.4	0.00985	nein	32	35	86	36	137	6	2	88'000	121'000	167'000	46'000	33'000
20.08.2010	WÄ-1.0	Schweinegüllegrube, unmittelbar nach Öffnen - WÄ1.0	0.5	0.3	0.00985	ja	18	18	85	79	226	7	3	9'450	12'900	17'600	4'700	3'450
	WÄ-1.1	Schweinegüllegrube, unmittelbar nach Öffnen - WÄ1.1	0.5	0.4	0.00985	ja	18	17	88	79	226	7	3	12'800	17'400	23'500	6'100	4'600
	WÄ-2.3	Schweinegüllegrube offen, mit Rühren - WÄ2.3	0.5	0.4	0.00985	ja	17	19	87	79	226	8	7.33	276'000	375'000	510'000	135'000	99'000
	WÄ-3	Grüngut/Rasenschnitt - WÄ3	0.5	0.5	0.00985	nein	23	23	91	60	226	8	0	170	220	300	80	50
	WÄ-4	Grüngut/Rasenschnitt, frisch aufgeworfen - WÄ4	0.5	0.5	0.00985	nein	19	21	80	66	226	8	0	1'180	1'530	1'990	460	350
	WÄ-6	Flüssigsubstrat-Vorgrube, offen - WÄ6	0.5	0.3	0.00985	ja	18	17	99	77	226	8	0	1'150	1'370	1'620	250	220
	WÄ-5	Flüssigsubstrat-Vorgrube, unmittelbar nach öffnen - WÄ5	0.5	0.3	0.00985	ja	23	18	99	77	226	8	0	3'410	4'220	5'220	1'000	810
	WÄ-7	Flüssigsubstrat-Vorgrube, offen, nach Beschickung, mit Rühren - WÄ7	0.5	0.3	0.00985	1	18	17	99	77	226	8	3	8'840	11'300	14'400	3'100	2'460
	WÄ-8	Flüssigsubstrat-Vorgrube, unmittelbar nach Öffnen, nach Beschickung, mit Rühren - WÄ8	0.5	0.3	0.00985	1	18	17	99	77	226	7	3	66'600	214'000	281'000	67'000	147'400
	WÄ-9	Abluft zwischen Fermentermembranen - WÄ9	3.4	-	0.00785	ja	17	18	45	79	275	7	0	1'800	2'220	2'750	530	420
	WÄ-10	Flüssig-Gärgut Endlager, unmittelbar nach Öffnen - WÄ10	0.5	0.45	0.00985	ja	21	19	101	79	226	6	0	4'850	6'760	9'410	2'650	1'910
22.09.2010	WÄ-11	Flüssig-Gärgut Endlager, unmittelbar nach Öffnen, mit Rühren - WÄ11	0.5	0.45	0.00985	ja	22	21	101	67	226	7	3	2'110	2'830	3'790	960	720
	MA-01	Güllekanal für Rindergülle (trocken) - MA01	0.5	0.5	0.00985	nein	28	25	36	60	92	6	0	100	140	210	70	40
	MA-02	Güllegrube für Rinder- und Schweinegülle, offen, ohne Rühren MA-02	0.5	0.45	0.00985	ja	29	25	42	60	92	6	0	1'040	1'450	2'020	570	410
	MA-09	Getreideabgang, frisch aufgeworfen, MA-09	0.5	0.5	0.00985	ja	24	20.8	50	60	92	6	0	90	140	220	80	50
	MA-14	Feststoffeintrag nach längerer Pause (ca. 4 Stunden), mit Aufmischen, ohne Fließabdeckung MA-14	0.5	0.4	0.00985	nein	21	21	86	60	92	6	0	5'380	7'590	10'700	3'110	2'210
	MA-15	Feststoffeintrag nach längerer Pause (ca. 4 Stunden), mit Aufmischen, mit Fließabdeckung (Probenahme über Flies) MA-15	0.5	0.4	0.00985	ja	21	21	84	60	92	6	0	720	1'060	1'560	500	340
	MA-20	Reifekompost (2 - 2.5 Mt.) MA-20	0.5	0.5	0.00985	ja	30	21	45	60	92	6	0	150	220	320	100	70
	MA-25	Feststoffeintrag nach Beschickung, ohne Geschmacksverstärker, ohne Aufmischen, ohne Fließabdeckung MA-25	0.5	0.4	0.00985	nein	25	21	81	60	92	6	0	3'340	4'780	6'830	2'050	1'440
	MA-26	Feststoffeintrag nach Beschickung, ohne Geschmacksverstärker, ohne Aufmischen, mit Fließabdeckung (Probenahme über Flies) MA-26	0.5	0.4	0.00985	ja	25	21	50	60	92	6	0	980	1'500	2'300	800	520
	MA-28	Feststoffeintrag nach Beschickung, mit Geschmacksverstärker und Wasser, ohne Aufmischen, mit Fließabdeckung, (Geruchsprobenahme über Flies) MA-28	0.5	0.5	0.00985	ja	24	21	60	60	92	6	0	1'290	2'050	3'250	1'200	760
23.09.2010	MA-03	Güllegrube für Rinder- und Schweinegülle, offen, mit Rühren MA-03	0.5	0.45	0.00985	ja	30	25	45	60	106	7	6	75'700	102'000	138'000	36'000	26'300
	MA-08	Getreideabgang, MA-08	0.5	0.5	0.00985	ja	24	21	48	60	106	7	0	160	230	330	100	70
	MA-17	Flüssig-Gärgut Endlager, unmittelbar nach Öffnen, mit Rühren MA-17	0.5	0.45	0.00985	ja	26	25	46	60	106	7	0	3'580	5'570	8'670	3'100	1'990
	MA-24	Feststoffeintrag nach Beschickung, Trockeneintrag mit Geschmacksverstärker, mit Fließabdeckung (Probenahme über Flies) MA-24	0.5	0.5	0.00985	ja	29	25	36	60	106	7	0	890	1'240	1'730	490	350
	MA-27	Feststoffeintrag nach Beschickung, Trockeneintrag mit Geschmacksverstärker, ohne Aufmischen, ohne Fließabdeckung MA-27	0.5	0.5	0.00985	nein	29	25	36	60	106	7	0	540	720	970	250	180
13.10.2010	MA-29	Abluft zwischen Fermentermembranen MA-29	7.5	-	0.012	ja	34	25	27	60	106	7	0	13'700	16'700	20'200	3'500	3'000
13.10.2010	BU-01	Fruchtabfälle BU-01	0.5	0.5	0.00985	nein	11	11	82	78	148	7	0	2'500	3'300	4'300	1'000	800
	BU-02	Fruchtabfälle, frisch aufgeworfen BU-02	0.5	0.5	0.00985	nein	11	10	91	78	148	7	0	5'800	7'000	8'300	1'300	1'200
	BU-03	Getreideabgang BU-03	0.5	0.5	0.00985	nein	10	11	88	78	148	5	0	60	100	150	50	40
	BU-04	Getreideabgang, frisch aufgeworfen BU-04	0.5	0.5	0.00985	nein	15	11	99	78	148	6	0	860	1'150	1'540	390	290
	BU-05	Flüssigsubstrat-Vorgrube, unmittelbar nach Öffnen BU-05	0.5	0.5	0.00985	ja	12	11	88	78	148	6	0	28'000	41'300	60'700	19'400	13'300
	BU-06	Flüssigsubstrat-Vorgrube, offen BU-06	0.5	0.5	0.00985	ja	12	11	84	78	148	5	0	33'000	42'300	54'400	12'100	9'300
	BU-07	Flüssigsubstrat-Vorgrube, offen, mit Rühren BU-07	0.5	0.5	0.00985	ja	12	11	86	78	148	5	7.5	13'600	21'700	34'800	13'100	8'100
	BU-08	Flüssigsubstrat-Vorgrube, offen, nach Beschickung, mit Rühren BU-08	0.5	0.5	0.00985	ja	12	11	92	78	148	5	7.5	42'600	63'700	95'200	31'500	21'100
20.10.2010	LI-01	Schweinegüllegrube, offen LI-01	0.5	0.5	0.00985	ja	8	7	99	78	132	5	10	5'600	9'500	16'300	6'800	3'900
	LI-02	Schweinegüllegrube, offen, mit Rühren, LI-02	0.5	0.5	0.00985	ja	6	7	99	78	132	5	10	23'100	32'000	44'500	12'500	8'900
	LI-03	Schweinemist, LI-03	0.5	0.5	0.00985	ja	6	7	99	78	132	6	10	27'600	38'200	53'000	14'800	10'600
	LI-07																	

B3: Auswertung Hedonik der Geruchsproben

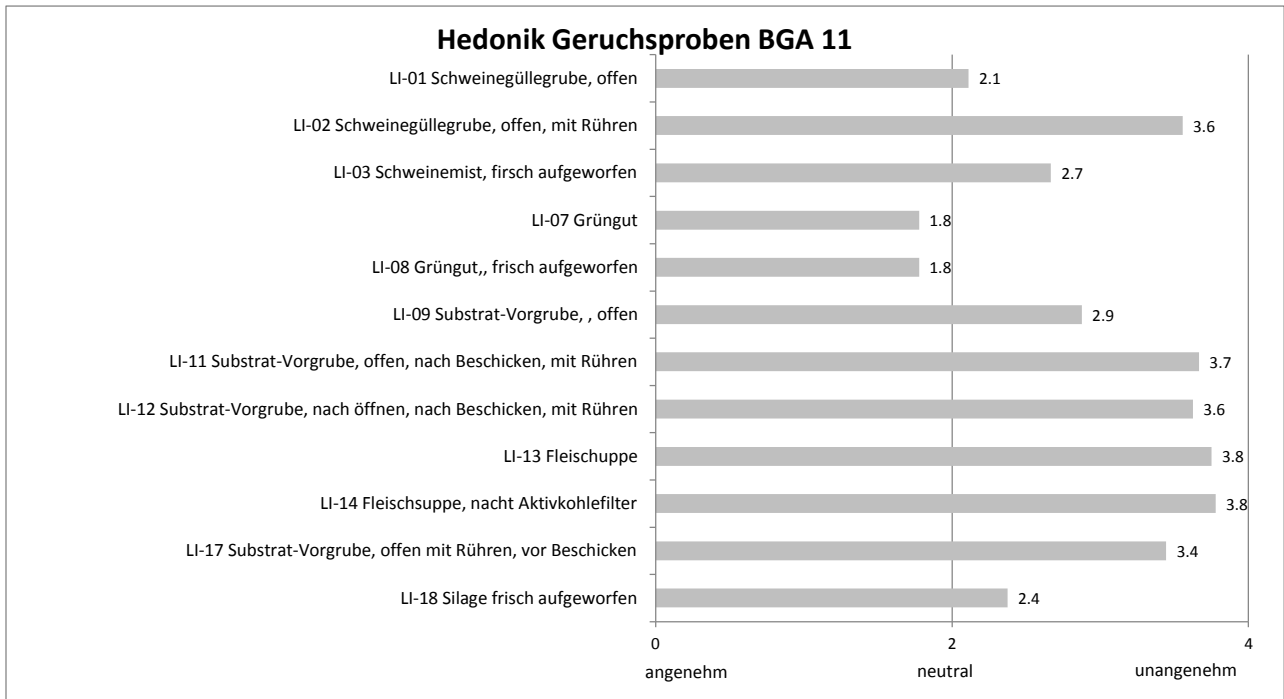
Probennummer	Anzahl Probanden	Geruchsquelle	Geruchsbeurteilung				Individuelle Beurteilungen												Mittelwert	Standardabweichung	Hedonik in % (angenehm = 0%, unangenehm = 100%)	Mittelwert neu										
			kein unangenehm	mässig	angenehm		Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6	Proband 7	Proband 8	Proband 9	Proband 10	Proband 11	Proband 12														
1	3	SÜ-01 Hühnermist, fest					1	2															1.5	0.5	88%	3.5						
2	5	SÜ-02 Hühnermist, aufgeworfen					3	2	2	3	2																2.4	0.49	65%	2.6		
3	5	SÜ-03 Milchflotat					1	2	1	1	1																			95%	3.8	
4	3	SÜ-04 Gewürztreber, fest						3	4																					38%	1.5	
5	5	SÜ-05 Gewürztreber, aufgeworfen					4	2	2	2	3																				60%	2.4
7	5	SÜ-07 Kaffeesatz, aufgeworfen					2	2	3	3	3																				60%	2.4
8	3	SÜ-08 Pansen, fest						2	2																						75%	3
9	3	SÜ-09 Pansen, frisch & aufgeworfen					1	1	1																						100%	4
10	5	SÜ-10 Substrat-Vorgrube, ohne Rühren					2	2	1	2	1																				85%	3.4
11	5	SÜ-11 Substrat-Vorgrube, mit Rühren					1	1	1	2	2																				90%	3.6
12	5	SÜ-12 Abluft Biofilter					2	3	2	3	2																				65%	2.6
13	3	SÜ-13 Festes Gärgut, ohne Bewegung						3	2																						63%	2.5
14	3	SÜ-14 Festes Gärgut, aufgeworfen						2	2																						75%	3
								5	5																						0%	0



Probennummer	Anzahl Probanden	Geruchsquelle	Geruchsbeurteilung				Individuelle Beurteilungen												Mittelwert	Standardabweichung	Hedonik in % (angenehm = 0%, unangenehm = 100%)	Resultate neu		
			kein unangenehm	mässig	angenehm		Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6	Proband 7	Proband 8	Proband 9	Proband 10	Proband 11	Proband 12						
MA-51	7	MA-30 BHKW-Abgas				2	3	1	3	3	2	3									2.43	0.73	64%	2.571428571
MA-29	7	MA-29 Abluft zwischen Fermentermembranen				2	2	2	2	3											2.2	0.4	70%	2.8
MA-28	7	MA-28 Feststoffeintrag trocken, Geschmacksv.+ Wasser, Abdeckung				2	2	3	3	3											2.6	0.49	60%	2.4
MA-27	7	MA-27 Feststoffeintrag trocken, Geschmacksv., ohne aufmischen, Abdeckung				4	3	3	3	3	5										3.6	0.8	35%	1.4
MA-26	7	MA-26 Feststoffeintrag nach Beschickung, ohne Aufmischen, Abdeckung				3	2	3	3	3											2.8	0.4	55%	2.2
MA-25	7	MA-25 Feststoffeintrag nach Beschickung, ohne Aufmischen, Abdeckung				2	3	3	3	2											2.6	0.49	60%	2.4
MA-24	7	MA-24 Feststoffeintrag trocken, Geschmacksverstärker, Abdeckung				4	3	3	3	4											3.4	0.49	40%	1.6
MA-22	7	MA-22 Kompost & Gärgut, 4 Tage alt				3	3	2	2	3	2	2									2.43	0.49	64%	2.571428571
MA-20	7	MA-20 verkaufsfertiger Kompost, nicht aufgeworfen				3	3	3	3	3											3	0	50%	2
MA-19	7	MA-19 Kompost & Gärgut, frisch aufgeworfen				3	3	2	3	2	1	3									2.43	0.73	64%	2.571428571
MA-18	7	MA-18 frisches Gärendgut				2	2	1	3	1	1	2									1.71	0.7	82%	3.285714286
MA-17	7	MA-17 geschlossenes flüssig Gärgut-Endlager, mit Rühren				2	3	2	2	3											2.4	0.49	65%	2.6
MA-16	7	MA-16 flüssiges Gärendgut				2	1	2	1	1	1	2									1.43	0.49	89%	3.571428571
MA-15	7	MA-15 Feststoffeintrag nach Pause, mit Aufmischen, mit Abdeckung				3	2	3	2	3											2.6	0.49	60%	2.4
MA-14	7	MA-14 Feststoffeintrag, nach Pause, mit aufmischen, ohne Abdeckung				4	3	3	2	3	2										2.83	0.69	54%	2.166666667
MA-13	7	MA-13 Fests substrate mit Geschmacksv.				2	2	3	1	1	1	3									1.86	0.83	79%	3.142857143
MA-12	7	MA-12 Fests substrate mit Geschmacksv., ohne aufmischen				2	3	3	2	1	3										2.33	0.75	67%	2.666666667
MA-11	7	MA-11 Fests substrate mit Geschmacksv., mit aufmischen				2	2	3	2	1	2	2									2	0.53	75%	3
MA-10	7	MA-10 Fests substrate mit Geschmacksv., mit aufmischen, ohne Abdeckung				2	1	1	1	1	1	1									1.14	0.35	96%	3.857142857
MA-09	7	MA-09 Getreideabgang, frisch aufgeworfen				5	2	3	3	4											3.4	1.02	40%	1.6
MA-08	7	MA-08 Getreideabgang, ohne Bewegung der Oberfläche				4	3	2	4	4	3										3.33	0.75	42%	1.666666667
MA-05	7	MA-05 Gemüse (Salat), ca. 3 Tage alt, frisch aufgeworfen				2	1	1	2	2	2										1.67	0.47	83%	3.333333333
MA-04	7	MA-04 Gemüse (Salat), ca. 3 Tage alt				3	3	3	3	3	1	2									2.57	0.73	61%	2.428571429
MA-03	7	MA-03 Güllegrube, mehrheitlich Rindergülle, mit rühren				1	1	1	1	1	2	2									1.29	0.45	93%	3.714285714
MA-02	7	MA-02 Güllegrube, mehrheitlich Rindergülle, ohne rühren				4	4	2	2	2											2.8	0.98	55%	2.2
MA-01	7	MA-01 Güllekanal für Rindergülle				4	4	2	1	2	2	3									2.57	1.05	61%	2.428571429



Proben-nummer	Geruchsquelle	Anzahl Probanden	Geruchsbeurteilung				Individuelle Beurteilungen												Mittelwert	Standardabweichung	Hedonik in % (angenehm = 0%, unangenehm = 100%)	Mittelwert neu
			kein unangenehm	mässig unangenehm	angenehm	Probant 1	Probant 2	Probant 3	Probant 4	Probant 5	Probant 6	Probant 7	Probant 8	Probant 9	Probant 10	Probant 11	Probant 12					
LI18	LI-18 Silage frisch aufgeworfen	8	0	1	2	3	4	5	2	2	3	2	3	4	3	3	1	2.625	0.86	59%	2.3750	
LI17	LI-17 Substrat-Vorgrube, offen mit Rühren, vor Be	9	0	1	2	3	4	5	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1.556	0.5	86%	3.4444	
LI14	LI-14 Fleischsuppe, nacht Aktivkohlefilter	9	0	1	2	3	4	5	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1.222	0.42	94%	3.7778	
LI13	LI-13 Fleischsuppe	8	0	1	2	3	4	5	1	2	1	1	1	2	1	1		1.25	0.43	94%	3.7500	
LI12	LI-12 Substrat-Vorgrube, nach öffnen, nach Besck	8	0	1	2	3	4	5	1	2	2	1	1	1	2	1		1.375	0.48	91%	3.6250	
LI11	LI-11 Substrat-Vorgrube, offen, nach Beschicken,	9	0	1	2	3	4	5	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1.333	0.47	92%	3.6667	
LI09	LI-09 Substrat-Vorgrube, , offen	8	0	1	2	3	4	5	2	3	2	2	3	2	2	1		2.125	0.6	72%	2.8750	
LI08	LI-08 Grüngut,, frisch aufgeworfen	9	0	1	2	3	4	5	2	4	3	4	3	4	3	3	3	3.222	0.63	44%	1.7778	
LI07	LI-07 Grüngut	9	0	1	2	3	4	5	2	3	3	5	3	4	3	2	4	3.222	0.92	44%	1.7778	
LI03	LI-03 Schweinemist, firsch aufgeworfen	9	0	1	2	3	4	5	1	3	3	2	2	3	2	2	3	2.333	0.67	67%	2.6667	
LI02	LI-02 Schweinegüllegrube, offen, mit Rühren	9	0	1	2	3	4	5	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1.444	0.68	89%	3.5556	
LI01	LI-01 Schweinegüllegrube, offen	9	0	1	2	3	4	5	1	4	2	2	2	4	4	3	4	2.889	1.1	53%	2.1111	



Anhang C

C1: Emissionsfaktoren gelagerter Substrate

C2: Geruchsstoffkonzentrationen für die verschiedenen Emissionsvorgänge

C3: Multiplikationsfaktoren für verschiedene Emissionsvorgänge

C1: Emissionsfaktoren gelagerter Substrate

Einsatzstoff Nr.	Zeichen	Emissionsquelle	Emissionsfaktor [GE/m ² /s]
1	efa_1	Schweinegülle	10
2	efa_2	Rindergülle	5
3	efa_3	Mischgülle	8
4	efa_4	Schweinemist	8
5	efa_5	Rinderfestmist	5
6	efa_{6-1}	Hühnermist, trocken gelagert	10
	efa_{6-2}	Hühnermist, feucht gelagert	50
7	efa_7	Fruchtabfälle	30
8	efa_8	Gemüse- und Rüstabfälle	5
9	efa_9	Getreideabgang	1
10	efa_{10}	Getreideganzpflanzensilage	7
11	efa_{11-1}	Getreidekörner, trockene Lagerung	0
	efa_{11-2}	Getreidekörner, feuchte Lagerung	50
12	efa_{12}	Gewürztreber	10
13	efa_{13}	Grassilage	10
14	efa_{14}	Grüngut und Rasenschnitt	50
15	efa_{15}	Kaffeersatz	1
16	efa_{16}	Maissilage	3.5
17	efa_{17}	Panseninhalt	5
18	efa_{18}	Gärgut, flüssig (ohne Schwimmschicht)	7
19	efa_{19}	Gärgut, fest	10
20	efa_{20}	Gärgut, flüssig (mit 10 cm mächtiger Schwimmschicht)	2
21	efa_{21}	Gärgut fest, direkt nach Umsetzen, bis zu 1 Woche alt	90
22	efa_{22}	Gärgut fest, in Ruhe, bis zu 1 Woche alt	60
23	efa_{23}	Gärgut fest, direkt nach Umsetzen, 1 Woche bis 2 Wochen alt	40
24	efa_{24}	Gärgut fest, in Ruhe, 1 Woche bis 2 Wochen alt	20
25	efa_{25}	Gärgut fest, direkt nach Umsetzen, 2 bis 4 Wochen alt	10
26	efa_{26}	Gärgut fest, in Ruhe, 2 bis 4 Wochen alt	5
27	efa_{27}	Gärgut fest, direkt nach Umsetzen, älter als 4 Wochen	5
28	efa_{28}	Gärgut fest, in Ruhe, älter als 4 Wochen	2

Tabelle 3: Emissionsfaktoren¹⁵

¹⁵ Ernst Basler + Partner AG, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012

C2: Geruchsstoffkonzentrationen für die verschiedenen Emissionsvorgänge

Zeichen	Emissionsquelle	Geruchsstoffkonzentration [GE/m ³]
c ₁	Verdrängungsemission geschlossene Güllegrube bzw. Vorgrube	20'000
c ₂	Verdrängungsemission geschlossene Güllegrube bzw. Vorgrube mit Biofilter	4'000
c ₃	Auspuff BHKW-Ottomotor	3'000
c ₄	Auspuff BHKW-Zündstrahlmotor	5'000
c ₅	Verdrängungsemission geschlossener Gärgutbehälter	15'000

Tabelle 4: Geruchsstoffkonzentrationen¹⁶

¹⁶ Ernst Basler + Partner AG, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012

C3: Multiplikationsfaktoren für verschiedene Emissionsvorgänge

Zeichen	Emissionsvorgang	Multiplikationsfaktor
m ₁	Minderungswirkung von Schwimmdecken bei Lagerbehältern	1/3
m ₂	Erhöhung der Emissionen beim Rühren in offenen Lagerbehältern	3
m ₃	Minderungswirkung des geschlossenen nicht gasdichten Betondeckels auf einem abgeschlossenen Lagerbehälter	1/10
m _{4a}	Erhöhung der Emissionen beim frischen Aufwerfen des Festmists	3
m _{4b}	Erhöhung der Emissionen beim frischen Abschneiden von Silagefläche	3
m _{5,a}	Minderungswirkung von dreiseitiger Umwandlung der Festmistplatte	2/3
m _{5,b}	Minderungswirkung von Folienabdeckung	1/3
m ₆	Vliesabdeckung	1/3
m ₇	Erhöhung der Emissionen beim Aufwerfen von Fruchtabfällen	2
m ₈	Erhöhung der Emissionen beim Aufwerfen von Gemüse- und Rüstabfällen	10
m ₉	Erhöhung der Emissionen beim Aufwerfen von Getreideabgang	3
m ₁₂	Erhöhung der Emissionen beim Aufwerfen von Gewürztreber	3
m ₁₄	Erhöhung der Emissionen beim Aufwerfen von Grüngut und Rasenschnitt	3
m ₁₅	Erhöhung der Emissionen beim Aufwerfen von Kaffeesatz	5
m ₁₇	Erhöhung der Emissionen beim Aufwerfen von Panseninhalt	5
m ₁₈	Erhöhung der Emissionen bei Verwendung von Geschmacksverstärker	3

Tabelle 5: Multiplikationsfaktoren¹⁷

¹⁷ Ernst Basler + Partner AG, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012

Anhang D

Dialoge der Software GEMS-BGA

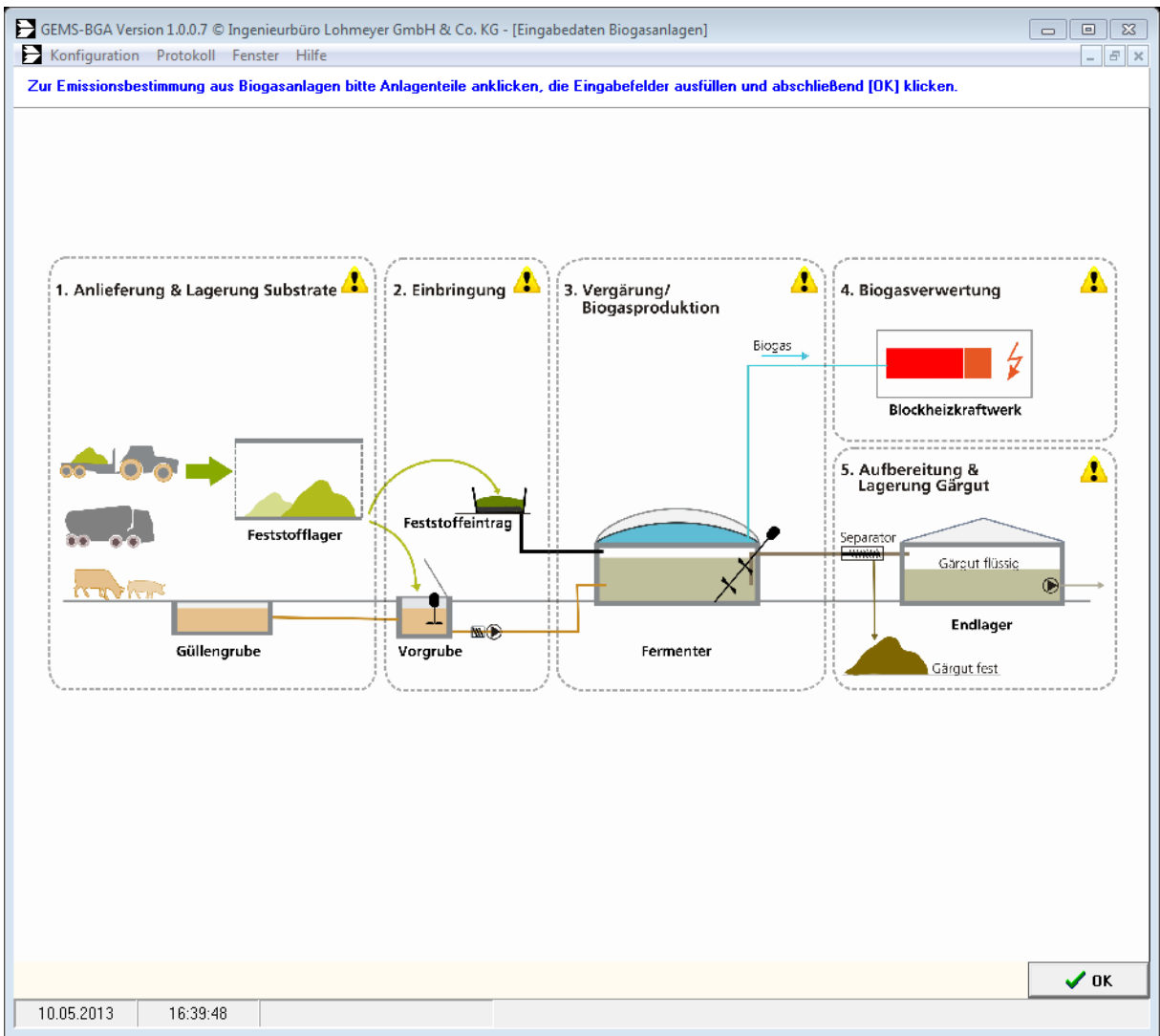


Abbildung 8: Startfenster der Software GEMS-BGA

Anlieferung und Lagerung Substrate

Wirtschaftsdünger

Gülle

Einsatzstoff	Menge	Zwischenlagerung geschlossene Grube	Biofilter	Ø Rührzeit	Ø Pumpzeit	Zwischenlagerung offene Grube	Ø Rührzeit	Abdeckung
Schweinegülle	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="checkbox"/>
Rindergülle	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="checkbox"/>
Mischgülle	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> h/d	<input type="checkbox"/>

Mist

Einsatzstoff	Menge	Zwischenlagerung	davon frisch emit.	tägliche Einbringvorgänge	dreiseitige Umwandlung	Folienabdeckung	Einbringung
Schweinemist	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Feststoffeintrag
Rindermist	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Feststoffeintrag
Hühnermist	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Feststoffeintrag

Co-Substrate

Einsatzstoff	Menge	offene Zwischenlagerung	davon frisch emit.	tägliche Einbringvorgänge	Folienabdeckung	Einbringung
Fruchtabfälle	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Vorgrube
Gemüse- und Rüstabfälle	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Vorgrube
Getreideabgang	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Vorgrube
Getreidekörner	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Feststoffeintrag
Gewürztreiber	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Vorgrube
Grüngut und Rasenschnitt	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Vorgrube
Kaffeersatz	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Vorgrube
Panseninhalt	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="checkbox"/> Oberfl. <input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	<input type="checkbox"/>	Vorgrube

Einsatzstoff	Menge	Anschnittsfl.	tägliche Einbringvorgänge	Einbringung
Getreideganzpflanzensilage	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	Feststoffeintrag
Grassilage	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	Feststoffeintrag
Maissilage	<input type="text" value="0"/> t/a	<input type="text" value="0"/> m²	<input type="text" value="0"/> 1/d	Feststoffeintrag

Abbildung 9: Dialog „Anlieferung und Lagerung Substrate“ der Software GEMS-BGA

Einbringung

geschlossene Vorgrube mit Deckel

Flüssigkeitsoberfläche m² Biofilter im Einsatz während Einleitung

Ø Pumpzeit beim Befüllen mit Flüssigkeiten h/d

Ø Befüllzeit mit Feststoffen h/d

Feststoffeintrag

Fläche m² mit Vliesabdeckung

mit Deckel

Ø Öffnungs- bzw. Befüllzeit h/d

Einsatz von Geschmacksverstärkern

Abbildung 10: Dialog „Einbringung“ der Software GEMS-BGA

Vergärung / Biogasproduktion

Biogasspeicher

Druckunterschied zur Atmosphäre < 0.1 bar

Abbildung 11: Dialog „Vergärung / Biogasproduktion“ der Software GEMS-BGA

Biogasverwertung

Elektrische Anlagenleistung

kW

Motortyp

Ottomotor Zündstrahlmotor

Betrieb einer Trocknungsanlage

Abbildung 12: Dialog „Biogasverwertung“ der Software GEMS-BGA

Aufbereitung und Lagerung Gärgut

Zuführung von Wasser beim Gärprozess

Separation fester und flüssiger Gärrestanteile unbelüftete Mietenkompostierung

Abtransport in Güllefässern

Zwischenlagerung fest

offen Fläche m²

geschlossen Ø Befüllzeit h/d

gasdicht mit Foliendach

Zwischenlagerung flüssig

offen Fläche m²

geschlossen Ø Befüllzeit h/d

gasdicht mit Foliendach

unbelüftete Mietenkompostierung

täglich anfallender fester Gärrest m³/d

Arbeitstage pro Woche 1/Woche

Anzahl Umsetzungsvorgänge der Mieten 1/Monat

Anzahl Tage pro Umsetzungsvorgang d

Abtransport in Güllefässern

jährlich abtransportierte Güllemenge t/a

Ø Befüllungszeit der Güllefässer h/d

Abbildung 13: Dialog „Aufbereitung und Lagerung Gärgut“ der Software GEMS-BGA