



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 10. 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, hfz@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 Geruchsemissonsmodells für landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Schweiz. Das Geruchsemissonsmodell soll Planern, Investoren und Bewilligungsbehörden eine Planungshilfe schaffen, mit der Geruchsemisionen 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 Geruchsemissonsmodell entwickelt, mit dem anhand von einfachen Formeln die Geruchsemisionen 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 Geruchsemissonsmodells wurde die benutzerfreundliche Software GEMS-BGA erstellt. Mit dieser Software können die Geruchsemisionen 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 Geruchsemmissionsmessungen
- Etappe 2: Durchführung der Geruchsemmissionsmessungen
- Etappe 3: Erstellung des Geruchsemmissionsmodells
- Etappe 4: Erstellung der Software
- Etappe 5: Präsentation der Ergebnisse

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

Etappe 1: Festlegung Geruchsemmissionsmessungen

Ziel der Etappe 1

Ziel der Etappe 1 war die Erarbeitung eines Messpflichtenhefts. Dieses Pflichtenheft stellte die Grundlage für die Durchführung der Geruchsemmissionsmessungen dar. Im Messpflichtenheft wurden die durchzuführenden Geruchsemmissionsmessungen 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 Geruchsemmissionsmessungen 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 Anlageteilen 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 Substarte 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 Erkenntnissen 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
- Gärkulenglager 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 Geruchstoffkonzentrationen dienten 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 Gärensgut
- Festes Gärensgut (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 Geruchsemmissionsmodell 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 Geruchsemmissionen 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 Geruchsemmissionen diente das Emissionsmodell GERDA III², welches vom Umweltministerium Baden-Württemberg finanziert wurde und die Geruchsemmissionen 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 stattgefunden 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 Geruchsemmissionsmodell ist im Bericht *Etappe 3: Geruchsemmissionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012* beschrieben.

Mit dem Modell können die Geruchsemmissionen 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 Röhrens
- Festmistlagerung
- Festmistlagerung mit dreiseitiger Umwandlung
- 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 Gärgerüsts

- Offene Gärgerütlagerung (nicht separiert oder flüssig)
- Offene Gärgerütlagerung (nicht separiert oder flüssig) - Effekt des Röhrens
- Geschlossener, nicht gasdichter Gärgerütbekälter – Verdrängungsemissionen

| |
|--|
| - Geschlossener, nicht gasdichter Gärgetbehälter - Lageremission |
| - Offene Lagerung von festem Gärget |
| - Lagerung von festem Gärget mit Folienabdeckung |
| - Kompostierung von festem Gärget in unbelüfteten Mieten |
| - Abtransport des Gärgets 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 Programmroutine 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 Mausklick 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

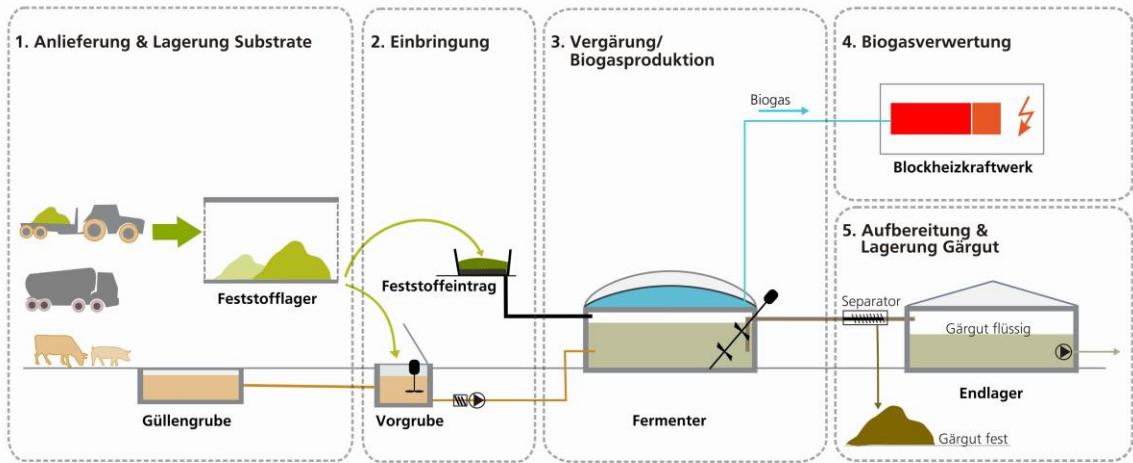


Abbildung 1: Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage in der Schweiz.

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 Geruchsemmissionsmodell für Schweizer Biogasanlagen entwickelt und in einem Bericht⁶ beschrieben. Das Modell beinhaltet einfache Formeln und Annahmen. Integriert sind aus Messungen und Literaturabgaben 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 Geruchsemmissionsmodells wurde sie 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 Geruchsemmissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemmissionsmodell 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

| Anlageart | Thomas Schryder 079 287 99 93 | Klaus Wittwer 079 441 62 19 | Martin Wipf 079 771 68 05 | Otto Wartmann 071 651 11 33 | Peter Wyss 031 521 01 10 | Thomas Petersens www.saumhof.ch | 056 622 70 85 | Christoph Meierhans 079 495 08 23 | Peter Schürch 079 284 90 36 | Jürg Spenger 079 300 90 93 | Hanspeter Frey 079 430 59 38 |
|--|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|---|---|
| | BGA Bözingen FR 2007 | BGA Winterthur BE 1994/2005 | BGA Wipf Marthalen ZH 2006 | BGA Wartmann Bislegg TG 1999 | BGA Wyss Horgen BE 2005/2008 | BGA Petersen/Holzhausen Küntext AG 2005/2009 | 079 266 20 90 | BGA Jordi/Gehringen ZH Fischbach-Göhlikon AG 2006 | BGA Meierhans Littau LU 2009 | BGA Spenger Wohlen TG 1984/2006 | BGA Wipf Lindau ZH 2007 |
| 1 Güllegruben | | | | | | | | | | | |
| Rindergülle | X | ganz | X | ganz | X | | | | X | | X |
| Schweinegülle | X | ganz | | | | | | | X | | X |
| 2 Festmistlager | | | | | | | | | | | |
| Rindermist | X | ganz | X | ganz | X | | | X | | X | |
| Schweinemist | X | ganz | | | | | | | X | | X |
| Hühnermist | X | ganz | X | ganz | | | | | | X | wenig |
| Pferdemist | X | ganz | | X | | | | X | | | |
| 3 Co-Substratlager, Feststofflager | | | | | | | | | | | |
| Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle) | X | ganz | | X | ganz | X | ganz | | X | Kartoffeln, Äpfel, Rüebli, bis Mitte09 | X |
| Früchte (inkl. Rüstabfälle) | X | ganz | | | | X | Zamba, ganz | X | | Zuckerüberschussnitzel | X |
| Lebensmittelabfälle (Retouren ohne Fleisch) | | | | | | | | | | | |
| Grüngut/Rasenschrott | | | X | X | Gras, Sommer | X | | X | Halle --> Anmaischer, ganz | (X) nur Lagerung --> geht an Kompostgas | ab Mai X |
| Abfälle Nahrungsmittelproduktion | X | Kaffee, Getreide, ganz | X | Gewürze, im Sommer problematisch | X | Gewürztreber (Maggi), Zeitpunkt unbek., Kaffee kein Pr. | X | X | Ricola, alle 1.5 Mt. | Ricola, alle 1.5 Mt. | ab April fahrslos Gras & Getreideabgang |
| Trester (Apfeltrester, Mostabgang) | | | | X | maltoextrin, ganz | | | | | | Cacaoschalen, zeitweise Getreideabgang |
| Schlempen (Schlagsproduktion) | | | | | X | Herbst/Winter | | | | | |
| Schlachtabfälle: Pansen und Darminhalte | | | | | X | Pansen abgepresst, ganz | | | | | |
| Gastroabfälle | (X) | ev. ab 6/2010 | | | | | | (x) | ev. wieder | | |
| 4 Mistlager, Co-Substratlager gemeinsam | | | X | | | | | | | | |
| 5 Vorgrube: offen und geschlossen | X | X | | | X | X | | | | X | |
| 6 Vorgrube / Einbringen feste Substrate | | | | | | | | | | | |
| Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle) | X | ganz | | | X | ganz | | | | X | Zuckerüberschussnitzel |
| Früchte (inkl. Rüstabfälle) | X | ganz | | | | | | | | | Gemüserübstaf. |
| Lebensmittelabfälle (Retouren ohne Fleisch) | | | X | ganz | | | | | | X | Mühlestaub, ganz |
| Grüngut/Rasenschrott | | | X | Sommer | | | | | | X | ab Mai X |
| Abfälle Nahrungsmittelproduktion | X | ganz | X | Mühleabgang, Gewürz, | | X | Gewürztreber (Maggi), Kaffee | | | | |
| Schlachtabfälle: Pansen und Darminhalte | | | X | ganz | | | | | | | |
| Trester (Apfeltrester, Mostabgang) | | | | | | | | | | | |
| Fettabtscheidematerialien | | | | | | | | | | | |
| Gastroabfälle | | | | | | | | | | X | ganz |
| 7 Vorgrube / Entleeren flüssige Substrate | | | | | | | | | | | |
| Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle) | | | | | X | ganz | | | | X | ganz |
| Abfälle Nahrungsmittelproduktion | | | X | Milchwasser, ganz | | X | Permeat Schote, Getreideabg., ganz | | | X | Permeat (Schote), ganz |
| Schlempen (Schlagsproduktion) | | | | | | | X | 1 x pro Monat | | (X) | Aug.-April |
| Schlachtabfälle: Pansen und Darminhalte | | | | | X | Darminhalte, ganz | | | | | |
| Rieschsuppe (Magen und Eingeweide) | | | | | X | unregelmässig | | | | | |
| 8 Feststoffeintrag direkt in Fermente | | | | | X | ganz | | | (X) | | |
| Gemüseabfälle (inkl. Rüstabfälle) | | | | | | | | | | | |
| Früchte (inkl. Rüstabfälle) | | | | | | | | | | | |
| Lebensmittelabfälle (Retouren ohne Fleisch) | | | | | | | | | | | |
| Grüngut/Rasenschrott | | | X | Sommer | | | | | | | |
| Abfälle Nahrungsmittelproduktion | | | X | ganz | | | | | | | |
| Trester (Apfeltrester, Mostabgang) | | | | | | | | | | | |
| Gastroabfälle | | | | | | | | X | | | |
| 9 Flüssigteintrag direkt in Fermente | | | | | | | | | | | |
| Rieschsuppe direkt in Fermente | | | | | | | | | | | |
| Gastrosuppe von Tank direkt nach Fermenter | | | | | | | | | | | |
| 10 Hygienisierung Gastroabfälle und Direkteintrag in Fermente | | | | | | | | | | | |
| 11 Hydrolysestufe vor Fermenter | | | | | | | | | | | |
| 12 Biofilter-Abluft bei Vorgrube | X | ganz | X | ganz | X | | | | | | |
| 13 Fermenter mit EPDM-Folie | | | X | ganz | X | | | X | | | |
| | | | | | | | | X | | | |
| 14 Fermenter mit Doppelmembranfolie | | | | wechselt, Jan10 | | | (X) wechselt | X | | X | einzig Überlauf in EL geruchsemmiss. |
| 15 Nachgärbehälter mit EPDM-Folie | | | X | ganz | | | | | | | X |
| 16 Nachgärbehälter mit Doppelmembranfolie | X | ganz | | | | | | X | | | |
| 17 Externer Speicher (Kissenspeicher) | | | | | | | | | | | |
| 18 Gärgetundlager offen | | | | | | | X | X | | | |
| 19 Gärgetundlager mit Zeltdach | | | X | | | | | | | | mit Betondach X |
| 20 Gärgetaufbereitung (Separator) | | | X | | | X | 1-2 mt 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

(X) noch nicht klar ob im 2010 vorhanden

Sehr interessant. Vergütung noch abmachen. Vergütung noch abmachen

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

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

mittler interessant, wenn nicht nötig dann eher keine Messungen. Vergütung wäre zu regeln.

sehr interessant, einsprache zu geplantem bau NG durch Nachbar, Grund: Geruch

sehr interessant. Problem: Schweißgeruch, z.T. weisse Sprüne. Hauptproblem ist Biogasschlauch der Folie

mäßig interessant: keine Geruchsprobleme nach Einbau von Biofilten (Kostenpunkt: 2.5 Mio. CHF)

Es handelt sich um eine Kompositanlage in Kombi mit Flüssigvergärungsanlage mit F, NG, Sep, und Boxenkompostierung in Halle (>Doppelmembran).

Grosse Konkurrenz: SPP, Kompostage, neuerlage im Fricktal etc

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

sehr interessiert. Problem: Geruch von Gastrospülung

Geruch bei Anlieferung: Entfärbung offener Tank

Geruch bei Anlieferung: Entfärbung offener Tank

Substrategisch

Geruch bei Anlieferung: Entfärbung offener Tank

Geruch bei Anlieferung:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Etappenbericht 16. April 2010

Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells 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, hfv@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 Wittwer in Süderen BE
- Biogasanlage Imboden-Peterhans in Buslingen AG
- Biogasanlage Wipf in Marthalen ZH
- Biogasanlage Frey in Lindau ZH
- Biogasanlage Sprenger in Wängi TG

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 durchgeföhrten 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 Wittwer, Süderen BE

Anlagenbetreiber

Wigako
Urs + Klaus Wittwer
Vorderer Schallenberg
3618 Süderen

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 | Separator, festes Gärgetreide | Oberfläche ohne Bewegung des Gärgetriebes |
| SÜ-14 | Separator, festes Gärgetreide | Gärgetreide aufgeworfen, frische Oberfläche |

Messungen Biogasanlage Imboden-Peterhans, Busslingen AG

Anlagenbetreiber

BG Imboden + Peterhans

Thomas Peterhans, Samuel und Walter Imboden

Algier 20

5453 Busslingen

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 Wipf, Marthalen ZH

Anlagenbetreiber

Sunnehofenergie GmbH

Jakob & Martin Wipf

Im Sunnehof 1

8460 Marthalen

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 Gärgetendlager, flüssiges Gärget | Nach längerer Zeit ohne Rühren |
| MA-17 | geschlossenes Gärgetendlager, flüssiges Gärget | 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 Frey, Lindau ZH

Anlagenbetreiber

BGL Bio Gas Lindau

Hanspeter Frey

Strickhof

8315 Lindau

Messungen gemäss Messpflichtenheft

| Nr. | Anlagenteil/Stoff | Massnahme |
|-------|---|--|
| LI-01 | Güllegrube, Schweinegülle | Ohne Röhren |
| LI-02 | Güllegrube, Schweinegülle | Mit Röhren |
| LI-03 | Festmistlager, Schweiinemist | Oberfläche ohne Bewegung des Substrat |
| LI-04 | Festmistlager, Schweiinemist | 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 Röhren |
| LI-10 | Vorgrube | Offen, ohne Röhren |
| LI-11 | Vorgrube | Nach Beschickung der Vorgrube, offen, mit Röhren |
| LI-12 | Vorgrube | Nach Beschickung der Vorgrube, geschlossen, mit Röhren |
| 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 Sprenger, Wängi TG

Anlagenbetreiber

Sprenger Bioenergie-Gewinnung
Jürg Sprenger
Anetswilerstr. 14
9545 Wängi

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 Gärkulenglager, flüssiges Gärkul | Ohne Rühren |
| WÄ-11 | Geschlossenes Gärkulenglager, flüssiges Gärkul | Mit Rühren |
| WÄ-12 | BHKW-Abgas | |



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Ergänzungsbericht 10. Dezember 2010

Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells 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, hfv@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 würden folgende Änderungen am Messpflichtenheft vorgenommen:

Biogasanlage Wipf, Marthalen ZH

| 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 Festsubstraten, mit Geschmacksverstärker (Trockeneintrag), mit Vliesabdeckung (Geruchsprobenahme über Vlies) | neu |
| MA-25 | Feststoffeintrag | Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstraten, ohne Geschmacksverstärker ohne Aufmischen, ohne Vliesabdeckung | neu |
| MA-26 | Feststoffeintrag | Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstraten ohne Geschmacksverstärker, ohne Aufmischen, mit Vliesabdeckung, (Geruchsprobenahme über Vlies) | neu |
| MA-27 | Feststoffeintrag (in Schubkarre simuliert) | Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstraten mit Geschmacksverstärker (Trockeneintrag), ohne Aufmischen, ohne Vliesabdeckung, (Geruchsprobenahme ohne Vlies) | neu |
| MA-28 | Feststoffeintrag (in Schubkarre simuliert) | Nach Beschickung, voller Mischer mit Festsubstraten mit Geschmacksverstärker und Wasser, ohne Aufmischen, mit Vliesabdeckung, (Geruchsprobenahme über Vlies) | neu |
| MA-29 | Fermenter / Luft zwischen Membranen | zuletzt vor 4 Tagen aufgeworfen (Krustenbildung) | neu |

Biogasanlage Frey, Lindau ZH

| 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 / Flüssigsubstrate | 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 geruchsemittierende Fläche mit geruchsneutraler Luft überströmt werden.

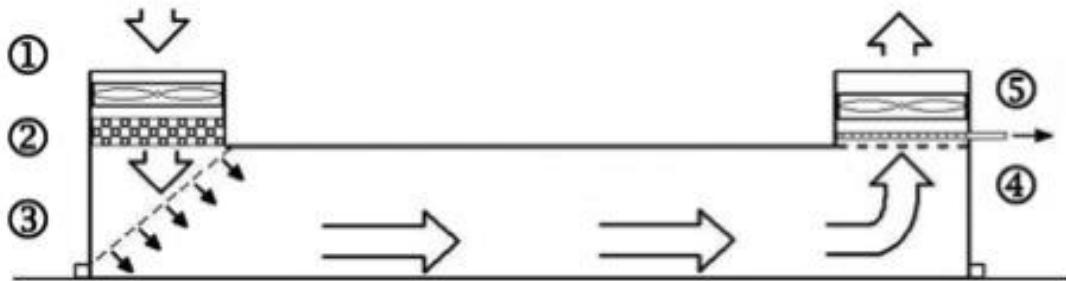


Abbildung 5: Funktionsschema der belüfteten Probenahmehaube

- 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 Lufteuchte: +- 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 Ablufkanal der Probenahmehaube gemessen. Anhand der im Ablufkanal («Kamin») der Probenahmehaube gemessenen Strömungsgeschwindigkeit lässt sich die Durchströmgeschwindigkeit 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 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 Geruchschwellenbestimmung 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) selektiert. 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 | | mas 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 Austrittfläche, 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 definiertem Abmessungen und Emissionsströmen (z.B. Schornsteine, Lüftungsöffnungen) in die Atmosphäre gelangen. ¹⁴ |
|--------------|--|

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

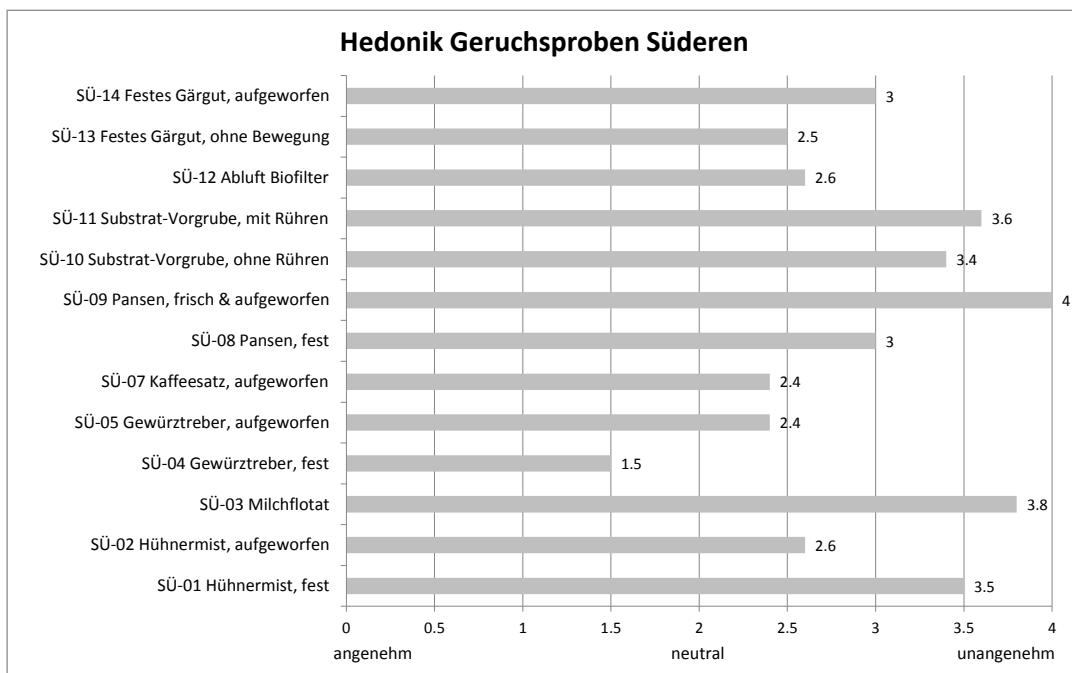
B2: Übersicht Geruchskonzentrationsmessungen bei Biogasanlagen

Übersicht Geruchskonzentrationsmessungen bei Biogasanlagen

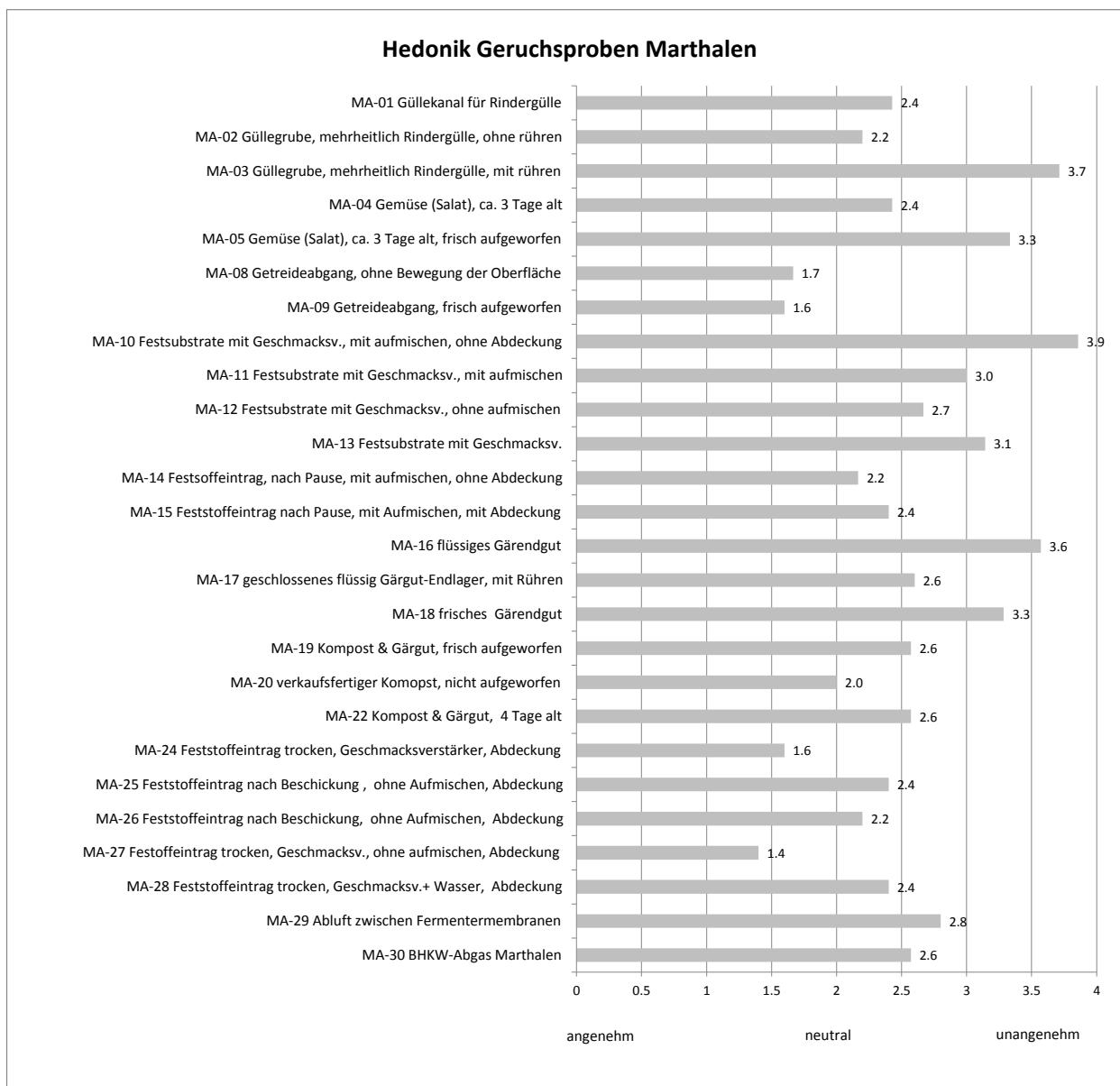
| Datum | Probenummer | Probenahmestelle | Geruchsquelle | Geschw. Abluftstrom (m/s) | Überströmte Fläche (m ²) | Durchströmte Fläche (m ²) | Quelle überdacht | Temperatur in °C | | rel. Luftfeuchte in % | | Butanol- schwelle | Anzahl Probanden | Vorverdünnu- ngsfaktor | Geruchsstoffkonzentration (GE/m ³) | | | Abweichung (GE/m ³) | |
|------------|-------------|------------------|---|---------------------------------|---|--|---------------------|------------------|----------|-----------------------|----------|----------------------|---------------------|---------------------------|---|---------|------------|------------------------------------|------------|
| | | | | | | | | Abluft | Umgebung | Abluft | Umgebung | | | | Untergrenze | Mittel | Obergrenze | nach oben | nach unten |
| 03.02.2010 | LI-16 | Lindau | Abluft BHKW - LI16 | - | - | - | ja | - | - | - | - | 152 | 7 | 5.5 | 1'850 | 2'680 | 3'500 | 820 | 830 |
| 11.06.2010 | SÜ-1 | Süderen | Hühnermist- SÜ1 | 0.5 | 0.5 | 0.00985 | nein | 32 | 30 | 28 | 33 | 140 | 4 | 0 | 140 | 210 | 310 | 100 | 70 |
| | SÜ-4 | Süderen | 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 | Süderen | Kaffesatz- SÜ6 | 0.5 | 0.5 | 0.00985 | nein | 31 | 30 | 34 | 33 | 140 | 4 | 0 | 20 | 20 | 20 | 0 | 0 |
| | SÜ-9 | Süderen | 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 | Süderen | Panseninhalt - SÜ8 | 0.5 | 0.5 | 0.00985 | nein | 31 | 30 | 34 | 33 | 140 | 4 | 0 | 400 | 540 | 740 | 200 | 140 |
| | SÜ-13 | Süderen | festes Gärget - SÜ13 | 0.5 | 0.5 | 0.00985 | nein | 33 | 30 | 36 | 33 | 140 | 4 | 0 | 250 | 390 | 620 | 230 | 140 |
| | SÜ-14 | Süderen | festes Gärget, 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 | Süderen | 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 | Süderen | Milchflockat - 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 | Süderen | 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 | Süderen | 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 | Süderen | 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 | Süderen | Flüssigsubstrat-Vorgrube, geschlossen, mit Röhren - 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 | Süderen | 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 | Marthalen | Gärget, 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 | Marthalen | 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 | Marthalen | 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 | Marthalen | Flüssig-Gärget 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 | Marthalen | 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 | Marthalen | 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 | Marthalen | Feststoffeintrag mit Geschmacks-, 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 | Marthalen | Feststoffeintrag mit Geschmacks-, 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 | Marthalen | Feststoffeintrag mit Geschmacks-, 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 | Marthalen | Feststoffeintrag mit Geschmacks-, 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 | Wängi | 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 | Wängi | 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 | Wängi | Schweinegüllegrube offen, mit Röhren - 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 | Wängi | Grüngut/Rasenschnitt - WÄ3 | 0.5 | 0.5 | 0.00985 | nein | 23 | 23 | 91 | 60 | 226 | 8 | 0 | 170 | 220 | 300 | 80 | 50 |
| | WÄ-4 | Wängi | 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 | Wängi | 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 | Wängi | 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 | Wängi | Flüssigsubstrat-Vorgrube, offen, nach Beschickung, mit Röhren - 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 | Wängi | Flüssigsubstrat-Vorgrube, unmittelbar nach Öffnen, nach Beschickung, mit Röhren | 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 | Wängi | Abluft zwischen Fermentermembranen - WÄ9 | 3.4 | - | 0.00785 | ja | 17 | 18 | 45 | 79 | 226 | 7 | 0 | 1'800 | 2'220 | 2'750 | 530 | 420 |
| | WÄ-10 | Wängi | Flüssig-Gärget 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 |
| | WÄ-11 | Wängi | Flüssig-Gärget Endlager, unmittelbar nach Öffnen, mit Röhren - WÄ11 | 0.5 | 0.45 | 0.00985 | ja | 22 | 21 | 101 | 67 | 226 | 7 | 3 | 2'110 | 2'830 | 3'790 | 960 | 720 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

B3: Auswertung Hedonik der Geruchsproben

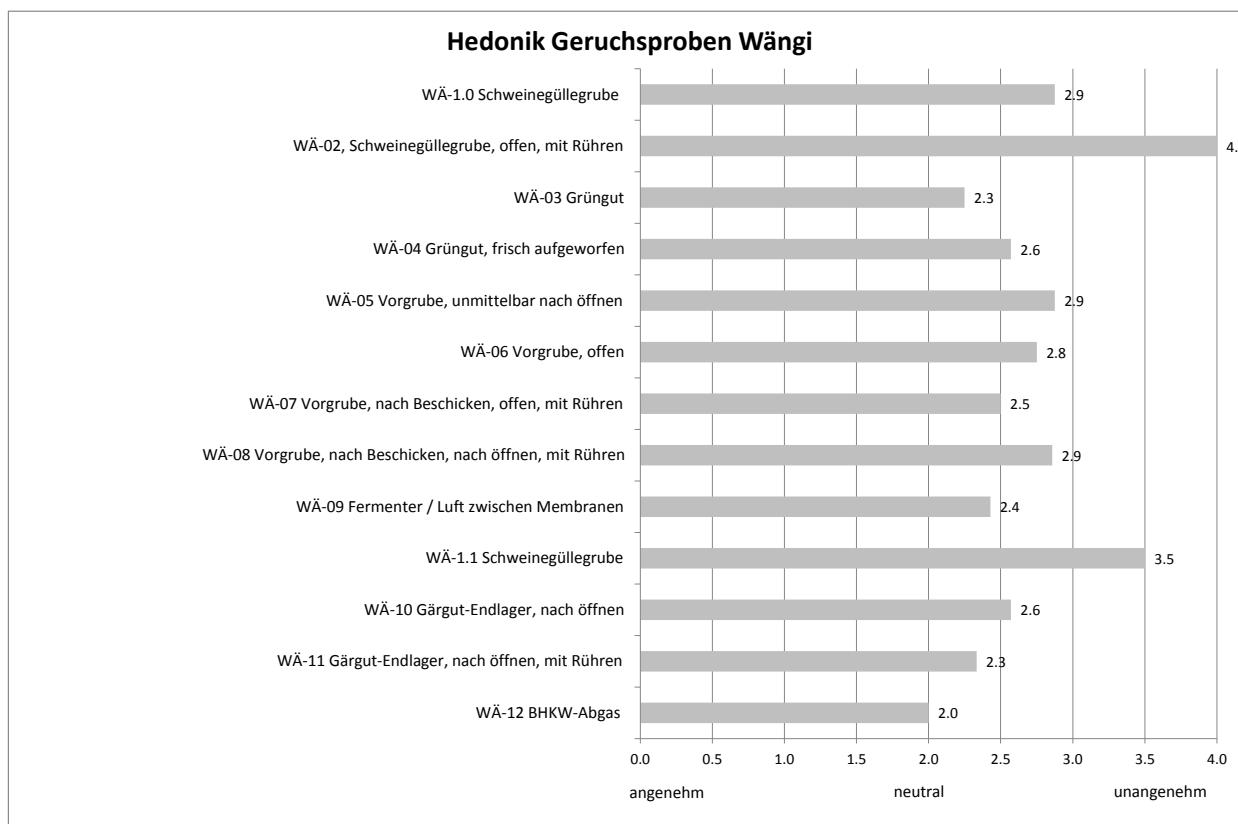
| Proben- nummer | Anzahl Probanden | Geruchsquelle | Geruchsbeurteilung | | | Individuelle Beurteilungen | | | | | | | | | | | | Mittelwert | Standardabweichung | Hedonik in % /angenehm = 0%, unangenehm = 100% | Mittelwerte neu |
|-------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------|----------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|--------------------|--|-----------------|
| | | | kein angenehm | mäßig angenehm | angenehm | Probанд 1 | Probанд 2 | Probанд 3 | Probанд 4 | Probанд 5 | Probанд 6 | Probанд 7 | Probанд 8 | Probанд 9 | Probанд 10 | Probанд 11 | Probанд 12 | | | | |
| 1 | 3 | SÜ-01 Hühnermist, fest | | | 1 | 2 | 2 | 3 | 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 | | | | | | | | | 1.2 0.4 | 95% | 3.8 | |
| 4 | 3 | SÜ-04 Gewürztreber, fest | | | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | 3.5 0.5 | 38% | 1.5 | |
| 5 | 5 | SÜ-05 Gewürztreber, aufgeworfen | | | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | | | | | | | | | 2.6 0.8 | 60% | 2.4 | |
| 7 | 5 | SÜ-07 Kaffeesatz, aufgeworfen | | | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | 2.6 0.49 | 60% | 2.4 | |
| 8 | 3 | SÜ-08 Pansen, fest | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | 2 0 | 75% | 3 | |
| 9 | 3 | SÜ-09 Pansen, frisch & aufgeworfen | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 0 | 100% | 4 | |
| 10 | 5 | SÜ-10 Substrat-Vorgrube, ohne Rühren | | | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | 1.6 0.49 | 85% | 3.4 | |
| 11 | 5 | SÜ-11 Substrat-Vorgrube, mit Rühren | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | 1.4 0.49 | 90% | 3.6 | |
| 12 | 5 | SÜ-12 Abluft Biofilter | | | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | | | | | | | | | 2.4 0.49 | 65% | 2.6 | |
| 13 | 3 | SÜ-13 Festes Gärget, ohne Bewegung | | | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | 2.5 0.5 | 63% | 2.5 | |
| 14 | 3 | SÜ-14 Festes Gärget, aufgeworfen | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | 2 0 | 75% | 3 | |
| | | | | | 5 | 5 | | | | | | | | | | | | 5 0 | 0% | 0 | |



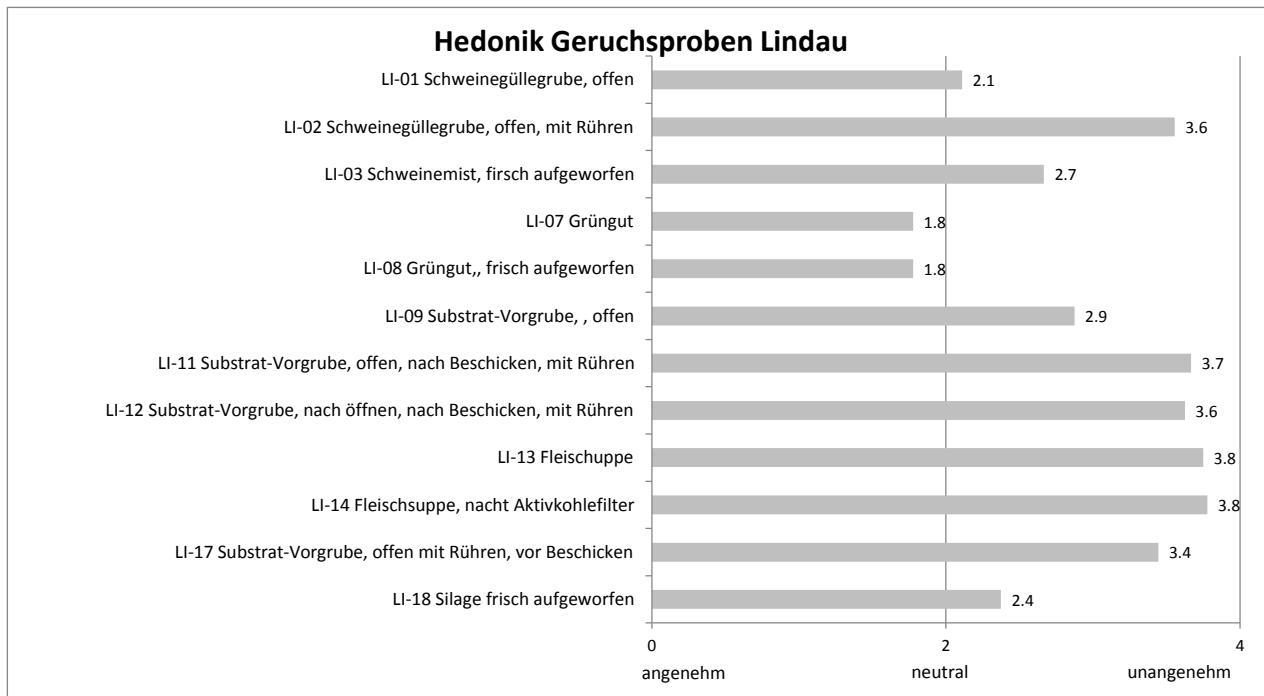
| Proben- nummer | Anzahl Probanden | Geruchsquelle | Geruchsbeurteilung | | | | Individuelle Beurteilungen | | | | Mittelwert | Standardabweichung | Hedonik in % (angenehm = 0% unangenehm = 100%) | Resultate neu | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|--|--------------------|---------------------|----------|---|----------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------------|--|---------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----|-------------|
| | | | kein unangenehm | mäßig unangenehm | 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 Marthalen | 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, Abdecki | 4 | 3 | 3 | | 3 | | 5 | | | | | | | | | | 3.6 0.8 | 35% | 1.4 |
| MA-26 | 7 | MA-26 Feststoffeintrag nach Beschickung, ohne Aufmischen, Abdeckun | 3 | 2 | 3 | | 3 | | 3 | | | | | | | | | | 2.8 0.4 | 55% | 2.2 |
| MA-25 | 7 | MA-25 Feststoffeintrag nach Beschickung , ohne Aufmischen, Abdeckun | 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 & Gärget, 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 & Gärget, frisch aufgeworfen | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | | | | | | | | | | 2.43 0.73 | 64% | 2.571428571 |
| MA-18 | 7 | MA-18 frisches Gärget | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | 1.71 0.7 | 82% | |
| MA-17 | 7 | MA-17 geschlossenes flüssig Gärget-Endlager, mit Rühren | 2 | 3 | 2 | | 2 | | 3 | | | | | | | | | | 2.4 0.49 | 65% | 2.6 |
| MA-16 | 7 | MA-16 flüssiges Gärget | 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 Festsubstrate mit Geschmacksv. | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | | | 1.86 0.83 | 79% | 3.142857143 |
| MA-12 | 7 | MA-12 Festsubstrate mit Geschmacksv., ohne aufmischen | 2 | 3 | 3 | | 2 | 1 | 3 | | | | | | | | | | 2.33 0.75 | 67% | 2.666666667 |
| MA-11 | 7 | MA-11 Festsubstrate mit Geschmacksv., mit aufmischen | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | 2 0.53 | 75% | 3 |
| MA-10 | 7 | MA-10 Festsubstrate mit Geschmacksv., mit aufmischen, ohne Abdecku | 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 röhren | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | 1.29 0.45 | 93% | 3.714285714 |
| MA-02 | 7 | MA-02 Güllegrube, mehrheitlich Rindergülle, ohne röhren | 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 |



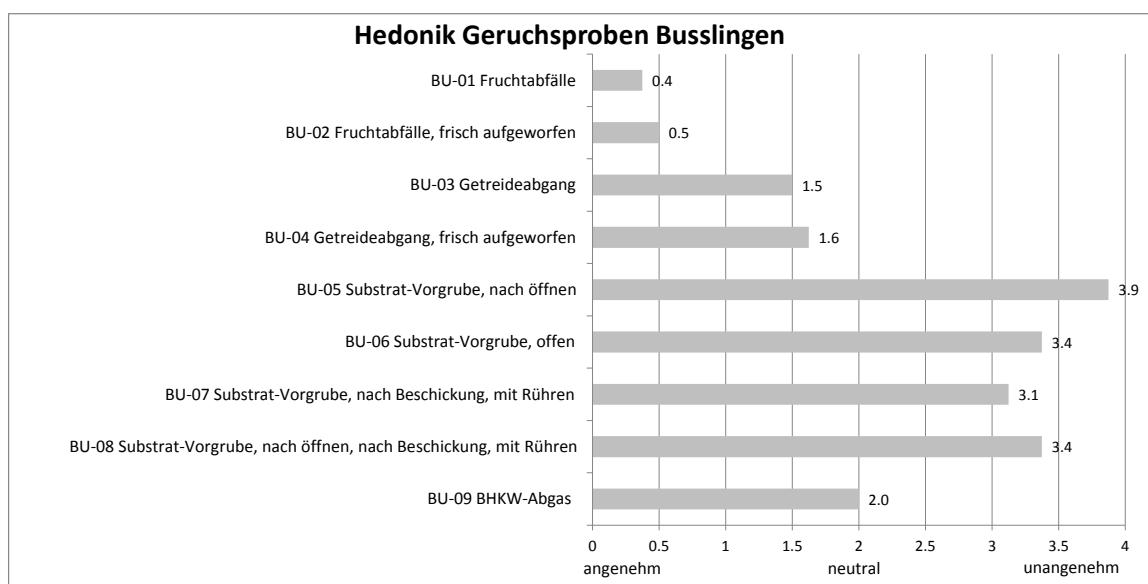
| Proben-nummer | Anzahl Probanden | Geruchsquelle | Geruchsbeurteilung | | | | | Individuelle Beurteilungen | | | | | | | | | | | | Mittelwert neu | | |
|---------------|--|---------------|--------------------|------------|--------|----------|------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------------|--------------------|--|
| | | | kein | unangenehm | mässig | angenehm | Anzahl Probanden | Proband 1 | Proband 2 | Proband 3 | Proband 4 | Proband 5 | Proband 6 | Proband 7 | Proband 8 | Proband 9 | Proband 10 | Proband 11 | Proband 12 | Mittelwert | Standardabweichung | Hedonik in % (angenehm = 0% unangenehm = 100%) |
| WÄ-53 | WÄ-12 BHKW-Abgas | 0 1 2 3 4 5 | 7 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 0.76 | 50% | 2.0 |
| WÄ-11 | WÄ-11 Gärget-Endlager, nach öffnen, mit Röhren | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | 2.67 0.47 | 58% | 2.3 |
| WÄ-10 | WÄ-10 Gärget-Endlager, nach öffnen | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | 2.43 0.49 | 64% | 2.6 |
| WÄ-1.1 | WÄ-1.1 Schweinegüllegrube | 0 1 2 3 4 5 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | 1.5 0.5 | 88% | 3.5 |
| WÄ-09 | WÄ-09 Fermenter / Luft zwischen Membranen | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | 2.57 0.9 | 61% | 2.4 |
| WÄ-08 | WÄ-08 Vorgrube, nach Beschicken, nach öffnen, mit Röhren | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | 2.14 0.83 | 71% | 2.9 |
| WÄ-07 | WÄ-07 Vorgrube, nach Beschicken, offen, mit Röhren | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | | | | | | | | | 2.5 0.5 | 63% | 2.5 |
| WÄ-06 | WÄ-06 Vorgrube, offen | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | | | | | | | | | 2.25 0.43 | 69% | 2.8 |
| WÄ-05 | WÄ-05 Vorgrube, unmittelbar nach öffnen | 0 1 2 3 4 5 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | | | | | | | | 2.13 0.78 | 72% | 2.9 |
| WÄ-04 | WÄ-04 Grüngut, frisch aufgeworfen | 0 1 2 3 4 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | | | | | | | | | 2.43 0.49 | 64% | 2.6 |
| WÄ-03 | WÄ-03 Grüngut | 0 1 2 3 4 5 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | 2.75 0.43 | 56% | 2.3 |
| WÄ-02 | WÄ-02, Schweinegüllegrube, offen, mit Rühr | 0 1 2 3 4 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 0 | 100% | 4.0 |
| WÄ-01 | WÄ-1.0 Schweinegüllegrube | 0 1 2 3 4 5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | | 2.13 0.6 | 72% | 2.9 |



| Proben-nummer | Geruchsquelle | Anzahl Probanden | Geruchsbeurteilung | | | Individuelle Beurteilungen | | | | | | | | | | | | Mittelwert | Standardabweichung | Hedonik in % (angenehm = 0%, unangenehm = 100%) | Mittelwert neu | |
|---------------|-----------------------------------|------------------|--------------------|------------|--------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|--------------------|---|----------------|--------|
| | | | kein | unangenehm | mässig | angenehm | Probанд 1 | Probанд 2 | Probанд 3 | Probанд 4 | Probанд 5 | Probанд 6 | Probанд 7 | Probанд 8 | Probанд 9 | Probанд 10 | Probанд 11 | Probанд 12 | | | | |
| Li18 | LI-18 Silage frisch aufgeworfen | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | | | 2.625 | 0.86 | 59% | 2.3750 |
| Li17 | LI-17 Substrat-Vorgrube, offen r | 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, nach Aktivkf | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 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 | | 1.25 | 0.43 | 94% | 3.7500 |
| Li12 | LI-12 Substrat-Vorgrube, nach c | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | 1.375 | 0.48 | 91% | 3.6250 |
| Li11 | LI-11 Substrat-Vorgrube, offen, i | 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 | 1 | | 2.125 | 0.6 | 72% | 2.8750 |
| Li08 | LI-08 Grüngut,, frisch aufgeworf | 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, frisch aufgu | 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, offer | 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, offer | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | | 2.889 | 1.1 | 53% | 2.1111 |



| Proben-nummer | Geruchsquelle | Anzahl Probanden | Geruchsbeurteilung | | | Individuelle Beurteilungen | | | | | | | | | | | | Mittelwert | Standardabweichung | Hedonik in % (angenehm = 0%, unangenehm = 100%) | neuer Mittelwert |
|---------------|--|------------------|--------------------|------------|--------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|--------------------|---|------------------|
| | | | kein | unangenehm | mässig | Probанд 1 | Probанд 2 | Probанд 3 | Probанд 4 | Probанд 5 | Probанд 6 | Probанд 7 | Probанд 8 | Probанд 9 | Probанд 10 | Probанд 11 | Probанд 12 | | | | |
| BU42 | BU-09 BHKW-Abgas | 7 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 0.76 | 3 | 50% | 2 | |
| BU8 | BU-08 Substrat-Vorgrube, nach öffnen | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1.63 | 0.7 | 84% | 3.375 | |
| BU7 | BU-07 Substrat-Vorgrube, nach öffnen | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1.88 | 0.78 | 78% | 3.125 | |
| BU6 | BU-06 Substrat-Vorgrube, offen | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1.63 | 0.48 | 84% | 3.375 | |
| BU5 | BU-05 Substrat-Vorgrube, nach öffnen | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.13 | 0.33 | 97% | 3.875 | |
| BU4 | BU-04 Getreideabgang, frisch aufgeworfen | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3.38 | 0.7 | 41% | 1.625 | |
| BU3 | BU-03 Getreideabgang | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3.5 | 0.71 | 38% | 1.5 | |
| BU2 | BU-02 Fruchtabfälle, frisch aufgeworfen | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4.5 | 0.71 | 13% | 0.5 | |
| BU1 | BU-01 Fruchtabfälle | 8 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4.63 | 0.48 | 9% | 0.375 | |



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} efa_{6-2} | Hühnermist, trocken gelagert Hühnermist, feucht gelagert | 10 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} efa_{11-2} | Getreidekörner, trockene Lagerung Getreidekörner, feuchte Lagerung | 0 50 |
| 12 | efa_{12} | Gewürztreber | 10 |
| 13 | efa_{13} | Grassilage | 10 |
| 14 | efa_{14} | Grüngut und Rasenschnitt | 50 |
| 15 | efa_{15} | Kaffeesatz | 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 Geruchsemisionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen - Etappe 3: Geruchsemisionsmodell für Biogasanlagen, Stand 30. September 2012

C2: Geruchsstoffkonzentrationen für die verschiedenen Emissionsvorgänge

| Zeichen | Emissionsquelle | Geruchsstoffkonzentration [GE/m³] |
|----------------|---|---|
| c ₁ | Verdrängungsemision geschlossene Güllegrube bzw. Vorgrube | 20'000 |
| c ₂ | Verdrängungsemision geschlossene Güllegrube bzw. Vorgrube mit Biofilter | 4'000 |
| c ₃ | Auspuff BHKW-Ottomotor | 3'000 |
| c ₄ | Aufpuff BHKW-Zündstrahlmotor | 5'000 |
| c ₅ | Verdrängungsemision geschlossener Gärgetbehälter | 15'000 |

Tabelle 4: Geruchsstoffkonzentrationen¹⁶

¹⁶ Ernst Basler + Partner AG, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Messung von Geruchsemisionen 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: Multiplikationsfaktoren ¹⁷

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

Anhang D

Dialoge der Software GEMS-BGA

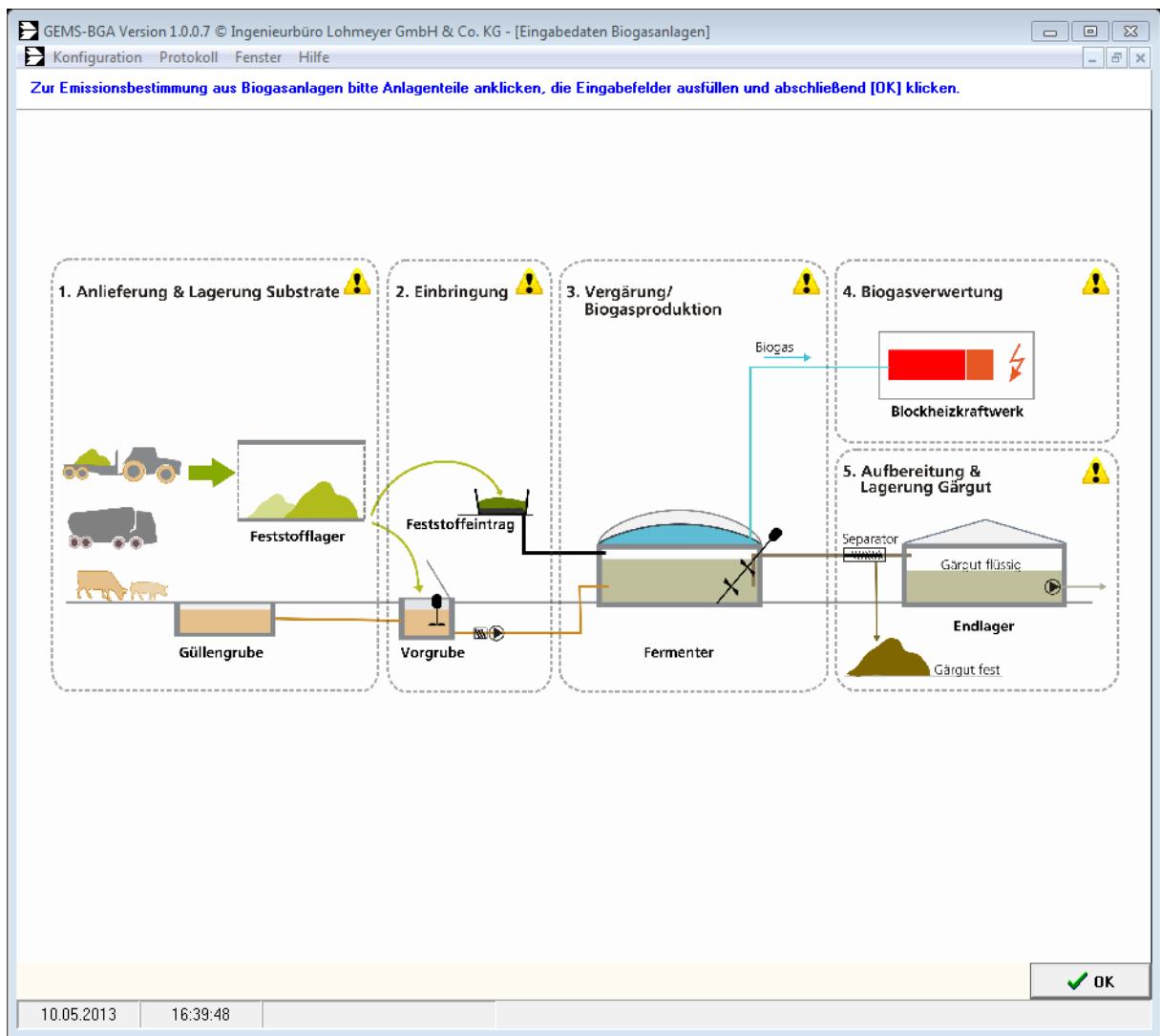


Abbildung 8: Startfenster der Software GEMS-BGA

Anlieferung und Lagerung Substrate

| Wirtschaftsdünger | | Anlieferung und Lagerung Substrate | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|--|------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------|-------------------|--------------------------|
| Gülle | | Zwischenlagerung geschlossene Grube | | | Biofilter | Ø Rührzeit | Ø Pumpzeit | Zwischenlagerung offene Grube | | | Ø Rührzeit | Abdeckung |
| Einsatzstoff | Menge | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> |
| Schweinegülle | 0 t/a | | | | | | | | | | | |
| Rindergülle | 0 t/a | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> |
| Mischgülle | 0 t/a | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 h/d | <input type="checkbox"/> |
| Mist | | Zwischenlagerung | | | davon frisch emit. | tägliche Einbringvorgänge | dreiseitige Umwandlung | Folien-abdeckung | Einbringung | | | |
| Einsatzstoff | Menge | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Feststoffeintrag | | | |
| Schweinemist | 0 t/a | | | | | | <input type="checkbox"/> | 1/d | | | | |
| Rindermist | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Feststoffeintrag | | | |
| Hühnermist | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Feststoffeintrag | | | |
| Co-Substrate | | offene Zwischenlagerung | | | davon frisch emit. | tägliche Einbringvorgänge | Folien-abdeckung | Einbringung | | | | |
| Einsatzstoff | Menge | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Vorgrube | | | |
| Fruchtabfälle | 0 t/a | | | | | | <input type="checkbox"/> | 1/d | | | | |
| Gemüse- und Rüstabfälle | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Vorgrube | | | |
| Getreideabgang | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Vorgrube | | | |
| Getreidekörner | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Feststoffeintrag | | | |
| Gewürztreber | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 1/d | <input type="checkbox"/> Vorgrube | | | |
| Grüngut und Rasenschnitt | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Vorgrube | | | |
| Kaffeesatz | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Vorgrube | | | |
| Panseninhalt | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> Oberfl. | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Vorgrube | | | |
| Einsatzstoff | Menge | Anschnittslf. | | | tägliche Einbringvorgänge | | | Einbringung | | | | |
| Getreideganzpflanzensilage | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 1/d | <input type="checkbox"/> Feststoffeintrag | | | |
| Grassilage | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Feststoffeintrag | | | |
| Maissilage | 0 t/a | | | | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Feststoffeintrag | | | |

X Abbrechen ✓ OK

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

Einbringung

geschlossene Vorgrube mit Deckel

| | | |
|---|------------------|--|
| Flüssigkeitsoberfläche | 0 m ² | <input type="checkbox"/> Biofilter im Einsatz während Einleitung |
| Ø Pumpzeit beim Befüllen mit Flüssigstoffen | 0 h/d | |
| Ø Befüllzeit mit Feststoffen | 0 h/d | |

Feststoffeintrag

| | | |
|-----------------------------|------------------|--|
| Fläche | 0 m ² | <input type="checkbox"/> mit Vliesabdeckung |
| | | <input type="checkbox"/> mit Deckel |
| Ø Öffnungs- bzw. Befüllzeit | 24 h/d | |
| | | <input type="checkbox"/> Einsatz von Geschmacksverstärkern |

X Abbrechen ✓ OK

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

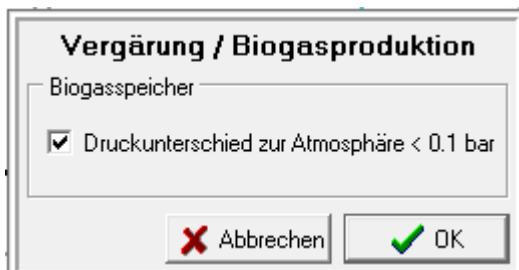


Abbildung 11: Dialog „Vergärung / Biogasproduktion“ der Software GEMS-BGA

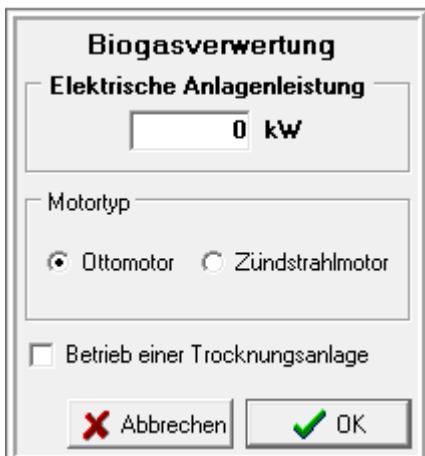


Abbildung 12: Dialog „Biogasverwertung“ der Software GEMS-BGA

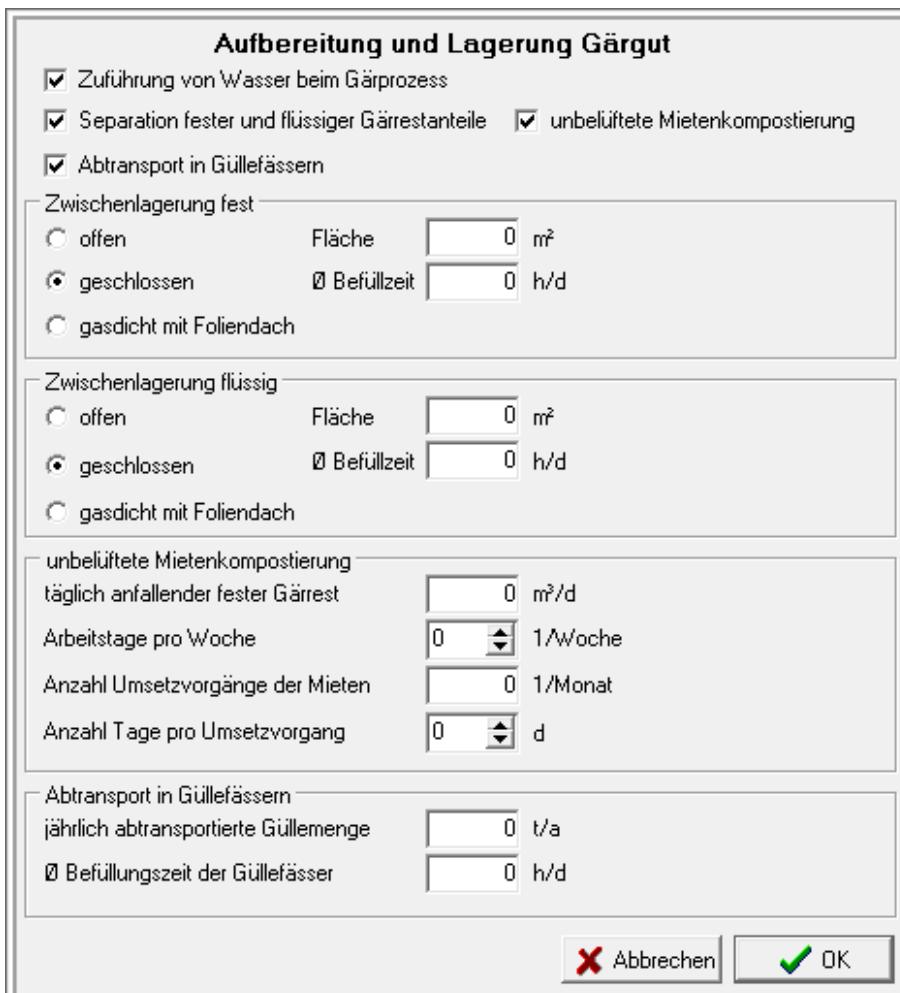


Abbildung 13: Dialog „Aufbereitung und Lagerung Gärgut“ der Software GEMS-BGA