

Geruchsstoffkonzentrationen bei Flächenquellen landwirtschaftlicher Biogasanlagen und ausgewählte Polaritätenprofile

Odour Concentration from Area Sources of Agricultural Biogas Facilities and Selected Polarity Profiles

Dr. **Margret Keck**, **Markus Keller**, BSc. **Matthias Frei**, Dipl. Ing. Agr.
FH **Beat Steiner**, Dr. **Sabine Schrade**, Agroscope, Institut für
Nachhaltigkeitswissenschaften, Ettenhausen

Kurzfassung

Die Geruchsstoffkonzentration war von relevanten Flächenquellen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen zu quantifizieren. Auf acht Betrieben erfolgten Erhebungen bei den Einzelquellen. Die Betriebe wiesen eine grosse Vielfalt an Substraten auf. Zu den geruchsintensiven Quellen zählten Festmist von Geflügel, Rind und Pferd, Rasenschnitt, Gemüserüstabfälle, Sickersaft und Gärrest sowie Biogas direkt von der Anlage. Bei Gemischen, wie zum Beispiel Gemüserüstabfällen, können besonders geruchsintensive Einzelkomponenten, auch bereits zu einem kleinen Anteil, eine grosse Auswirkung auf die Geruchsstoffkonzentration haben.

Die Eignung der Testpersonen auch für immissionsseitige Geruchserhebungen wurde anhand dem theoretischen Polaritätenprofil Duft und Gestank geprüft. Weiter wurde die hedonische Geruchswirkung von Biogasgeruch und ausgewählten Geruchsarten bewertet. Die Duft- und Gestankprofile der Testpersonen korrelierten stark mit den repräsentativen Profilen nach der VDI-Richtlinie 3940. Biogasgeruch wurde von allen Testpersonen hedonisch eindeutig als unangenehm bewertet. Auch Schwefelwasserstoff, Rindergülle und Rasenschnitt wurden als eindeutig unangenehm klassifiziert. Heu wurde dagegen als eindeutig angenehm eingestuft. Eine Wiederholung mit dieser Palette an Geruchsproben im folgenden Jahr ergab eine Einstufung mit genau derselben Zuordnung.

Hinweise zur Geruchsminderung setzen vor allem bei geruchsintensiven Flächenquellen an: Emittierende Flächen sind möglichst gering zu halten. Schutz vor Sonne, Regen und Wind ist angezeigt. Flächen mit Sickersaft sind zu vermeiden. Fällt dieser doch an, so sollte er rasch auf möglichst kurzem Weg abgeleitet werden. Neben dem Abdecken des Substratlagers kann auch ein Vermischen mit weniger geruchsintensiven Substraten zu weniger Geruchsfreisetzung führen.

1. Einleitung

Landwirtschaftliche Biogasanlagen in der Schweiz sind meist auf Betrieben mit Tierhaltung ergänzt. Anlagen in der Nähe zu einer Wohnbebauung können zu Geruchsklagen von Anwohnern führen. Eine Befragung bei 38 Anlagenbetreibern zeigte auf den Betrieben eine grosse Heterogenität bei der Anlagen- und Verfahrenstechnik sowie eine grosse Substratvielfalt [1]. Zu den Flächenquellen im Bereich der Biogasanlage zählen Substrat- und Gärrestlager. Aus dem Bereich der Tierhaltung kommen als Geruchsquellen emittierende Stall- und Auslaufflächen, Futter- und Hofdüngerlager hinzu.

Die Erhebung war in ein Projekt eingebettet, in welchem neben den Einzelquellen der Biogasanlagen auch die Quellen der Tierhaltung und die Geruchsimmission von den Gesamtanlagen mit Geruchsfahnenbegehungen erfasst wurden. In diesem Beitrag werden folgende Teilziele vorgestellt:

- Relevante Flächenquellen im Bereich der Biogasanlagen sind identifiziert und deren Geruchsstoffkonzentration quantifiziert.
- Die Eignung der Testpersonen ist anhand dem theoretischen Polaritätenprofil Duft und Gestank geprüft und die hedonische Geruchswirkung von Biogasgeruch und ausgewählten Geruchsarten bewertet.

2. Geruchsstoffkonzentrationen

In der Literatur sind bisher nur wenig systematische Angaben zur Geruchsstoffkonzentration und damit zu Geruchsemissionen von bodennahen Flächenquellen landwirtschaftlicher Biogasanlagen verfügbar. Feistkorn et al. [2] ermittelten bei Ganzpflanzen-, Mais- und Grassilage eine grosse Schwankungsbreite je nach Alter, Verdichtung der Silage und Witterung. Die Ergebnisse waren wesentlich höher als die Konventionswerte gemäss VDI 3894 Bl. 1 [3]. Hunkeler und Stoll [4] untersuchten verschiedene Einzelsubstrate jeweils im Ruhezustand und frisch aufgeworfen. Die Geruchsstoffkonzentration frisch aufgeworfener Substrate war um den Faktor 2 bis 30 höher als im Ruhezustand. Im Folgenden werden die Erhebungen auf den Betrieben in der Schweiz mit Probenahme und Olfaktometrie sowie die Ergebnisse der Geruchsstoffkonzentrationen vorgestellt.

Erhebungen auf den Betrieben

Auf acht Betrieben erfolgten Erhebungen von Einzelquellen an jeweils zwei bis vier Erhebungsterminen pro Betrieb. In Tabelle 1 ist die Ausführung der Lager beschrieben. Das Lager für die Festsubstrate war auf vier Betrieben offen, auf zwei Betrieben teilweise überdacht und auf zwei Betrieben vollständig überdacht. Mindestens eine Wand war vorhanden. Die drei Gärrestlager waren überdacht. Der Anteil der Substrat- und Gärrestlager machte auf fünf

Betrieben weniger als zehn Prozent der emittierenden Oberfläche des Gesamtbetriebes aus; bei drei Betrieben war dieser Anteil grösser. Damit waren die Flächen von Substrat-, Hofdünger- und Gärrestlager mit Ausnahme eines Betriebes kleiner als der Bereich Tierhaltung.

Tabelle 1: Ausführung der Substratlagereinrichtungen auf den Betrieben, mit Angaben zur Grösse der emittierenden Oberflächen des Gesamtbetriebes [m²] sowie zum Anteil des Substrat- und Gärrestlagers [%]; Abk. n.v. nicht vorhanden

Betrieb	Ausführung der Lagereinrichtungen		Grösse der emittierenden Oberfläche des Gesamtbetriebs	...davon Anteil Substrate fest und Gärrest
	Abdeckung / Anzahl Fassaden [n]	Substrate fest	Gärrest fest	Min.-Max. [m ²]
A	offen (1)	n.v.	794-1173	2-4
B	offen (1)	n.v.	684-822	6-9
C	Dach; offen (3; 2)	n.v.	1283-1452	8-9
D	Dach (3)	Dach (3)	475-627	13-34
F	Dach; offen (3; 1)	Dach (1)	1222-1269	57-59
G	offen (1)	Dach (3)	1096-1205	16-23
H	offen (1)	n.v.	777-813	5-8
I	Dach (3)	n.v.	1776-1811	5-7

Die Betriebe wiesen eine grosse Vielfalt an Substraten auf. Neben Rindergülle kamen die Substrate Getreideabgang, Gemüserüstabfälle, Rasen- und Wiesenschnitt sowie Festmist häufig vor (Tabelle 2). Bei jeder Probenahme wurden die Temperatur der Luft, des Substrates 20 cm unterhalb der Oberfläche und der Trockensubstanzgehalt bestimmt. Die Lufttemperatur lag im Bereich zwischen 9 und 38°C. Die Substrattemperatur 20 cm unter der Oberfläche war meist deutlich höher als die Lufttemperatur. Sehr ausgeprägt war dies bei Festmist von Rind und Pferd, Wiesenschnitt und festem Gärrest.

Tabelle 2: Übersicht zu den Begleitparametern Luft- und Substrattemperatur [°C] sowie zum Trockensubstanzgehalt [%] der verschiedenen Festsubstrate, des Sickersaftes sowie des festen Gärrestes, dargestellt als Bereich zwischen Minimum und Maximum sowie Einzelwert*)

Substrate	Lufttemperatur [°C]	Substrattemperatur [°C]	Trockensubstanzgehalt [%]
Festmist Rind	14-31	26-61	28-42
Festmist Pferd	16-25	15-73	20-75
Festmist Geflügel	23-26	16-42	51-73
Getreideabgang	9-38	20-48	82-88
Wiesenschnitt	16-20	23-65	38*)
Rasenschnitt	16-28	24-49	21-27
Gemüserüstabfälle	13-25	17-42	16-19
Sickersaft	20-25	11-24	11*)
Gärrest fest	17-25	16-68	31-33

Probenahme und Olfaktometrie

Neben der Grösse der Einzelquellen und beschreibenden Parametern wurde die Geruchsstoffkonzentration am Olfaktometer TO8 bestimmt. Bei passiven Quellen erfolgte die Probenahme mit belüfteten Hauben EVH, ECOMA GmbH, und Probenehmer CSD 30, ECOMA GmbH, zwischen zehn und 30 Minuten [5]. Bei homogenen Quellen wurden Einzelproben, bei heterogenen Quellen Mischproben an jeweils bis zu drei Probenahmeorten genommen. Um die Stabilität der Probe zu gewährleisten und den Gasaustausch mit der Umgebung zu verhindern, wurden Probenahmebeutel aus Nalophan mit einem Bag-in-Bag-System genutzt. Die Geruchsstoffkonzentration wurde noch am selben Tag am Olfaktometer mit jeweils vier Testpersonen in Anlehnung an DIN EN 13725 [6] bewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Geruchsstoffkonzentration der Erhebungen ist in Bild 1 jeweils als Einzelwerte und als Median mit Angabe zum Erhebungsumfang dargestellt. Die Geruchsstoffkonzentration von Getreideabgang war, wie bereits bei Hunkeler und Stoll [4] tief (152-861 GE/m³; Min-Max.). Eine höhere Geruchsstoffkonzentration resultierte bei Festmist von Rind (684 GE/m³; 102-10.321 GE/m³), Pferd (993 GE/m³; 101-7298 GE/m³) und vor allem bei Geflügel (5477 GE/m³; 724-24.548 GE/m³). Bei Gemüserüstabfällen zeigten die Werte der Geruchsstoffkonzentration

eine enorme Streuung (1991 GE/m³; 196-14.597 GE/m³), was auf die Vielfalt der Einzelkomponenten hinweist. Die Werte von Wiesen- und Rasenschnitt lagen mit einem Median von 2178 GE/m³ bzw. 2433 GE/m³ eng beieinander. Beim Rasenschnitt waren jedoch Einzelwerte sehr hoch. Dies zeigte sich auch bei Hunkeler und Stoll [4]. Der Median von Sickersaft lag bei 1448 GE/m³, mit Geruchsstoffkonzentrationen bis zu 4871 GE/m³. Separierter fester Gärrest variierte in der Geruchsstoffkonzentration von 1141-13.777 GE/m³ (Median 789 GE/m³); damit war die Streuung wesentlich grösser als bei den Werten aus der Literatur [7], [4], [2].

Zusätzlich zu dieser systematischen Probenahme wurden zwei ausgewählte Einzelproben dargestellt (Bild 1): Zwiebel und Kräuterextrakt wiesen sehr hohe Geruchsstoffkonzentrationen auf. Weiter kamen die Geruchsstoffkonzentrationen von Biogas, beprobt aus dem Überdruck, von vier verschiedenen Betrieben mit insgesamt 16 Geruchsproben hinzu. Diese variierten nach Vorverdünnung zwischen rund 30.000 und 250.000 GE/m³ (Median 132.500 GE/m³).

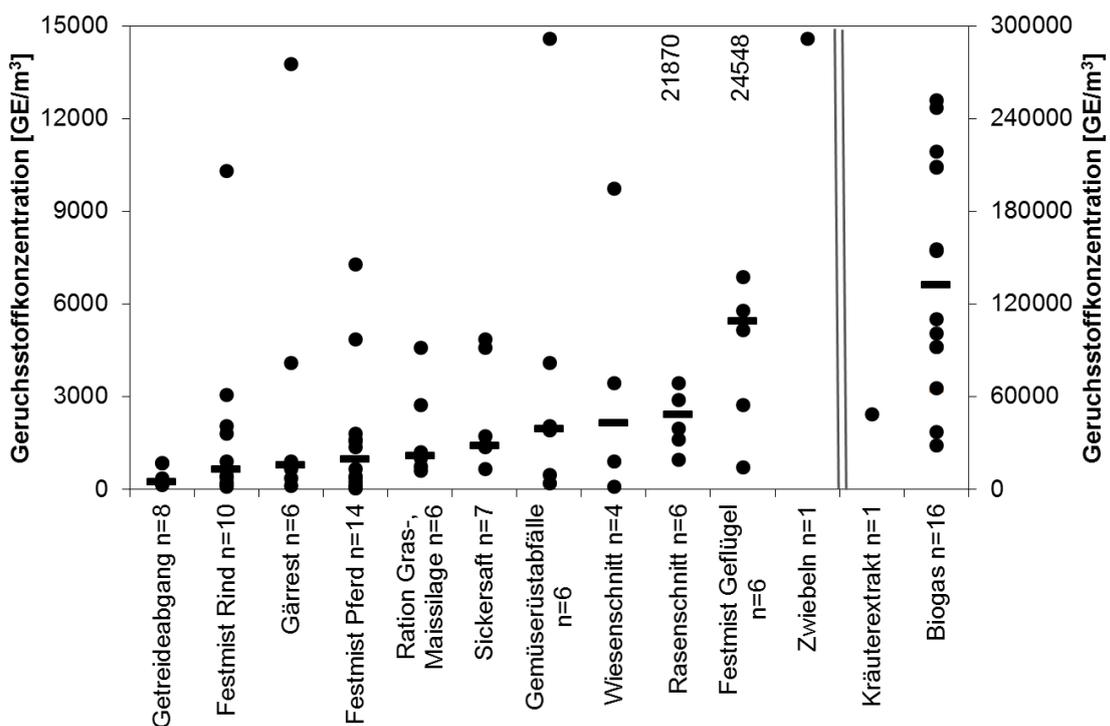


Bild 1: Geruchsstoffkonzentration [GE/m³] von verschiedenen Substraten, Sickersaft und festem Gärrest als Einzelwerte (•), rangiert als Median (—) sowie Anzahl Proben (n); Einzelproben von Zwiebeln und Kräuterextrakt sowie 15 Biogasproben

Zu den geruchsintensiven Quellen zählten Festmist von Geflügel, Rind und Pferd, Rasenschnitt, Gemüserüstabfälle, Sickersaft und Gärrest sowie Biogas direkt von der Anlage. Anhand der Einzelproben Zwiebel und Kräuterextrakt wird ersichtlich, dass bei Gemischen wie zum Beispiel Gemüserüstabfällen das Vorkommen besonders geruchsintensiver Einzelkomponenten, auch bereits in kleinem Anteil, eine grosse Auswirkung auf die Geruchsstoffkonzentration haben kann. Bei Festmist von Rind und Pferd wurde deutlich, dass bei einem Temperaturniveau unter 40°C in 20 cm Tiefe keine höheren Geruchsstoffkonzentrationen vorkamen.

3. Ausgewählte Polaritätenprofile

Um die Eignung der Testpersonen auch für die immissionsseitigen Geruchserhebungen mit Mischgerüchen zu bewerten, wurde die Methode der Polaritätenprofile genutzt. Weiter war zu ermitteln, wie ausgewählte Einzelquellen von Biogasanlagen nach ihrer hedonischen Geruchswirkung bewertet werden und ob Hinweise auf die Abschätzung der Belästigungswirkung vorliegen.

Polaritätenprofil der Konzepte Duft und Gestank

In drei aufeinanderfolgenden Jahren haben 18, 19 und zehn Testpersonen jeweils das Polaritätenprofil der Konzepte Duft und Gestank in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3940, Blatt 4 [8] bewertet (Tabelle 3). Im Labor haben die Testpersonen zunächst die Konzepte Duft und Gestank ausgehend von ihrer Erfahrung und Vorstellung mit vorgegebenen Wortpaaren zwischen den Merkmalspolen „äusserst angenehm“ und „äusserst unangenehm“ beschrieben. Die theoretischen Polaritätenprofile Duft und Gestank wurden jeweils als Mittelwerte über die Testpersonen dargestellt. Die Duft- und Gestankprofile der Testpersonen korrelierten stark mit den repräsentativen Profilen nach der VDI-Richtlinie 3940, Blatt 4 [8]. Von den Testpersonen haben im ersten Jahr 72 % die Anforderungen erfüllt, in den beiden Folgejahren waren es 89 % bzw. 90 %. Die Eignung der Testpersonen für immissionsseitige Erhebungen konnte damit aufgezeigt werden.

Polaritätenprofil ausgewählter Einzelquellen

Rasenschnitt, Rindergülle, Kaffeesatz und Gemüserüstabfälle wurden den Testpersonen im Jahr 2011 vorgelegt. Für die beiden Folgejahre wurde mit 19 bzw. zehn Testpersonen Biogas, Schwefelwasserstoff, Nelke und Heu ausgewählt. Nelke und Heu wurden zusätzlich herangezogen, um mit den Testpersonen auch allenfalls angenehme Einstufungen erkennen zu können. Mit den Probenehmern (Typ CSD 30, ECOMA GmbH) wurde von den einzelnen Flächenquellen Probenluft in Nalophanbeutel gezogen, Biogas und Schwefelwasserstoff strömte direkt

mit Überdruck in den Probenahmebeutel. Anschliessend wurden den Testpersonen die verschiedenen Geruchsproben im Labor aus dem Beutel vorgelegt. Nelke wurde mit Sniffing Sticks präsentiert. Die Testpersonen konnten während der Aufnahme des Polaritätenprofils im Labor entscheiden, ob sie die Geruchsproben bei Bedarf erneut einatmen wollten.

Tabelle 3: Übersicht zum Erhebungsumfang der Duft-Gestank-Profile und zur hedonischen Bewertung von ausgewählten Geruchsproben während der Starterhebung im Jahr 2011 und den beiden Folgejahren 2012 und 2013

Jahr	2011	2012	2013
Duft-Gestank-Profil			
Anzahl Personen [n]	18	19	10
..davon Anforderungen erfüllt [%]	72	89	90
Geruchsproben Art;	Rasenschnitt	(12) Biogas	Biogas
Anzahl Personen [n]	Rindergülle	(12) Schwefelwasserstoff	Schwefelwasserstoff
	Kaffeesatz	(8) Nelke	Nelke
	Gemüserüstabfälle	(6) Heu	Heu
		je (19)	je (10)

Ergebnisse und Diskussion

Biogasgeruch wurde von allen Testpersonen hedonisch eindeutig als unangenehm bewertet (Tabelle 4). Der Mittelwert von Biogasgeruch über alle Eigenschaften und Testpersonen ergab -1.5, lag mit einer Korrelation von 0.9 deutlich im Bereich des Gestanks. Auch Schwefelwasserstoff, Rindergülle und Rasenschnitt wurden als eindeutig unangenehm klassifiziert. Heu wurde dagegen als eindeutig angenehm bewertet. Eine Wiederholung mit dieser Palette an Geruchsproben im folgenden Jahr ergab eine Einstufung mit genau derselben Zuordnung. Bei Kaffeesatz und Gemüserüstabfällen war keine eindeutige Zuordnung möglich. Die kleinere Anzahl an Testpersonen, mit nur sechs bzw. acht Personen, wie auch die heterogene Zusammensetzung der Gemüserüstabfälle können zu diesem Ergebnis geführt haben.

Heu konnten alle Testpersonen korrekt benennen, während Geruch von Nelke, Biogas und Rindergülle nicht alle Testpersonen eindeutig erkannten, auch wenn ihnen der Geruch grundsätzlich bekannt war. Eine Differenzierung zwischen Rindergülle, Biogas und Schwefelwasserstoff war nicht eindeutig möglich.

Tabelle 4: Mittelwerte der Bewertung durch die Testpersonen und Korrelation mit den in der VDI-Richtlinie genannten repräsentativen Duft- und Gestank-Profilen sowie Zuordnung

Jahr	Geruchsproben	Mittelwert	Korrelation Duft	Korrelation Gestank	Zuordnung
2011	Rasenschnitt	-1.2	-0.8	0.9	Gestank
	Rindergülle	-1.0	-0.8	0.9	Gestank
	Kaffeesatz	-0.2	0.1	0.3	keine
	Gemüserüstabfälle	-0.5	-0.4	0.6	keine
2012	Biogas	-1.5	-0.7	0.9	Gestank
	Schwefelwasserstoff	-1.2	-0.7	0.9	Gestank
	Nelke	0.0	0.5	-0.1	keine
	Heu	1.1	1.0	-0.8	Duft
2013	Biogas	-1.5	-0.7	0.9	Gestank
	Schwefelwasserstoff	-1.1	-0.7	0.9	Gestank
	Nelke	0.0	0.3	-0.1	keine
	Heu	0.9	0.8	-0.6	Duft

Während gemäss der VDI-Richtlinie 3940, Blatt 4 [8] der Anlagengeruch in der Geruchsfahne bestimmt werden soll, hat sich in der vorliegenden Erhebung mit einer Vielfalt an Einzelquellen innerhalb eines Betriebs zur Bestimmung der Hedonik die Trennung zwischen dem Probenahmeort und der Bestimmung im Labor bewährt. Damit kann eine Gewöhnung der Testpersonen an den Geruchsreiz vermieden werden. Weiter kann so einer allfälligen zeitlichen Variation von einzelnen Anlagengerüchen besser Rechnung getragen werden, indem den Testpersonen dieselben Geruchsproben vorgelegt werden. Im Gegensatz zur Bewertung von Anlagemischgerüchen in der Geruchsfahne liegt auf diese Art eine differenzierte Bewertung der Einzelquellen vor und gibt Hinweise, bei welchen Einzelquellen eine Geruchsminderung von besonderer Bedeutung ist. Bei heterogen zusammengesetzten Einzelquellen, wie Gemüserüstabfällen, kann einerseits eine grössere Anzahl Testpersonen erforderlich sein, andererseits kommt der einzelnen Geruchsprobe eine grosse Bedeutung zu. Die Variation in der Zusammensetzung, je nach Charge, Saison und Lagerdauer, sollte wesentlich differenzierter betrachtet werden.

4. Folgerungen

Zur Geruchsminderung gilt es, vor allem bei geruchsintensiven Flächenquellen anzusetzen: Emittierende Flächen sind möglichst gering zu halten. Schutz vor Sonne, Regen und Wind ist angezeigt. Flächen mit Sickersaft sind zu vermeiden; fällt dieser doch an, so sollte er rasch auf möglichst kurzem Weg abgeleitet werden. Neben dem Abdecken des Substratlagers kann auch ein Vermischen mit weniger geruchsintensiven Substraten zu weniger Geruchsfreisetzung führen.

5. Literatur

- [1] Mager K., Keck M. u. Schrade S: Geruchserhebungen bei Betrieben mit landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. KTBL-Schrift 488, 2011, 372–373
- [2] Feistkorn C., Al-Shorachi G. u. Kost W.-J.: Bestimmung von Geruchsemissionen aus Biogasanlagen – Emissionen von Biogasmotoren und Silagen. Gerüche in der Umwelt. VDI-Berichte 2195, 2013, 183-200
- [3] VDI 3894 Blatt 1: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Berlin: Beuth 2011
- [4] Hunkeler J. u. Stoll J.-M.: Geruchsemissionen aus Biogasanlagen – Geruchsmessungen mittels dynamischer Olfaktometrie. Rapperswil: Hochschule für Technik Rapperswil, UMTEC 09/030, 2011
- [5] VDI 3880: Olfaktometrie - Statische Probenahme. Berlin: Beuth 2011
- [6] DIN EN 13725: Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie. Kommission Reinhaltung der Luft 2003
- [7] Plätzer M.: Gutachtliche Stellungnahme zu Geruchsemissionen und nachbarschaftlichen -immissionen im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb der Biogasanlage der Bioenergie Sittensen GmbH & Co. KG Standort Freetz. Hannover: TÜV Nord 2010
- [8] VDI 3940 Blatt 4: Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile. Berlin: Beuth 2010