

Einfluss von Borkohle auf die Geruchsintensität von Gülle

G. Hampejs¹, A. Jäger¹, S. Steiner¹, K. Steiner²

¹University of Applied Sciences Upper Austria, Faculty of Engineering, Department of Bio & Environmental Technology, Stelzhamerstr. 23, 4600 Wels, Austria

²HBLA Ursprung, Ursprungstraße 4, 5161 Salzburg Austria

Abstract. Gülle setzt verschiedene Gase frei, von denen neben einer Mischung aus verschiedensten organischen Substanzen die folgenden besondere Relevanz haben: Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Ammoniak (NH₃), Lachgas und Schwefelwasserstoff (H₂S). Den unangenehmen Geruch bei der Gülleausbringung verursachen vor allem der Schwefelwasserstoff, Ammoniak sowie die leicht flüchtigen organischen Substanzen. Im Rahmen dieses Projekts wurde die Reduktion geruchsintensiven Inhaltsstoffe der Gülle bei der gemeinsamen Ausbringung von Borkohle und Gülle untersucht. Borkohle wird aus einem Abfallstoff aus dem Bauwesen hergestellt. Um das Risiko eines Brandes zu minimieren, werden Zellulose-Dämmstoffe mit Borsäure, die als natürliches Brandschutzmittel fungiert, versetzt. Wenn verbaute Dämmstoffe auf Zellulosebasis beim Abbruch oder Umbau von Gebäuden ersetzt werden müssen fallen diese als reine Reststofffraktion an. Dazu werden die Zellulosefasern staubfrei abgesaugt und zur Vereinfachung des Transports vor Ort pelletiert. Anschließend werden die Zellulosepellets im Pyrolyseofen verkohlt. Untersucht wurde der Einfluss der zugegeben Menge an Borkohle, der Einwirkdauer der Kohle, der Laufzeit eines Wäschers (als Desorber) sowie die Zeitabhängigkeit bei direktem Auftrag. Es konnte gezeigt werden dass durch die Zudosierung von praxistauglichen Mengen an Kohle zur Gülle eine Reduzierung der Geruchskonzentration um bis zu 85% beobachtet werden konnte. Dies entspricht der Reduktion des Geruchspegels um bis zu 8 dB_{Geruch}. Es hat sich gezeigt, dass eine positive Korrelation der Geruchsreduktion zur zugesetzten Menge an Kohle mit der gemessenen Geruchskonzentration besteht. Dieser Effekt ist bei allen verwendeten Methoden aufgetreten. Zugesetzt wurden Kohlemengen von 5 bis 250 gL⁻¹. Der Einfluss kürzerer Einwirkzeiten der Kohle bis 30 min. scheint vernachlässigbar. Erst Einwirkzeiten von 30 – 60 min. scheinen einen Einfluss auf die Geruchskonzentration zu haben. Dieser Effekt wurde durch die Erhöhung der zugegebenen Kohlenmenge verstärkt. Durch die Arbeit ergaben sich auch Fragen, die für die praktische Anwendung interessant sind und wissenschaftlich untersucht werden sollten.

Keywords: Olfaktometer, Aktivkohle, Dämmstoff, Abbruchmaterial, Gülle.

1 Einleitung

Soll ein Gebäude abgerissen oder saniert werden, fallen unweigerlich verschiedene Abfallstoffe an. Ein Beispiel hierfür sind Dämmstoffe aus Zellulosefasern. Um das Risiko eines Brandes zu minimieren, werden sie mit Borsäure, die als natürliches Brandschutzmittel [1] fungiert, versetzt. Werden diese Zellulosefasern nicht mehr benötigt, werden sie staubfrei abgesaugt und zur Vereinfachung des Transports vor Ort pelletiert. In einem weiteren Schritt werden die Pellets in einem technischen Prozess pyrolysiert. Dabei entsteht borhaltige Kohle (biochar), die im weiteren „Borkohle“ (Abk. BC) genannt wird. Um diese aus Abfallstoffen hergestellte Kohle einer Verwendung zuführen zu können müssen die wertgebenden Eigenschaften des Produktes untersucht und nachgewiesen sowie die Einhaltung von relevanten Grenzwerten belegt werden [2]. Die so entstandene borhaltige Biokohle oder ‚Borkohle‘ kann von Landwirten gemeinsam mit Gülle als Bodenverbesserer und als Lieferant für das Spurenelement Bor auf Felder ausgebracht werden [3,4]. Borsäure und Borax findet in größerem Umfang Anwendung in Bioziden als Fungizid und Insektizid, Anwendung [5]. In der Acker- und Grünland- sowie Forstwirtschaft aber auch für den Einsatz im Gartenbau oder bei der Blattdüngung ist der Einsatz von Borverbindungen in Düngemitteln mit Spurennährstoffen von Bedeutung, wobei ein Mindestgehalt von 0,01 % Bor vorgeschrieben ist [6]. Bei den ersten Feldversuchen zur Ausbringung von Borkohle auf Maisfeldern gab es Hinweise darauf, dass sich die Geruchsemissionen von Gülle, die mit Borkohle versetzt ist, auf einem niedrigeren Niveau befinden als die Geruchsemissionen von Gülle die ohne Zusätze ausgebracht wurde [7]. Ziel des Projektes an der FH Wels ist es, das Ausmaß der Geruchsreduktion durch die Kohle und die zugrundeliegenden Wirkmechanismen zu untersuchen. In einem ersten Schritt, über den hier berichtet wird, sollten geeignete Untersuchungsmethoden entwickelt und die Einflüsse wichtiger Randbedingungen, besonders der Kohlemenge und Einwirkzeit untersucht werden. Im Folgenden wird erläutert, wie die Versuche zur Gewinnung von repräsentativen Proben im Labor durchgeführt wurden. Dazu werden die drei angewendeten Versuche näher beschrieben. Des Weiteren werden Ergebnisse der Geruchsmessungen dargestellt und diskutiert. Eine ausführliche Übersicht über Gülle und Geruch bzw. Beurteilung von Geruchsimmissionen findet sich bei Gallmann [8].

2 Material Methoden

2.1 Herstellung der Geruchsproben

Es wurden drei verschiedene Ansätze gewählt um die Geruchswirkung von Gülle im Labor zu simulieren. (1) Direktauftrag auf Wiese (2) Desorption unter Verwendung eines Wäschers (3) Direkter Ansatz in Beutel

(1) Bei diesem Versuch wird die Gülle direkt auf ein in einer Messhaube befindliches Stück Wiese mit den Abmessungen von 0,24 m x 0,24 m aufgebracht. Um eine für z.B. Mais übliche Ausbringungsmenge von 30 m³ Gülle pro ha zu simulieren wird

172 ml Gülle auf die in der Haube befindliche Wiese gegeben. Anschließend wird nach einer bestimmten Einwirkzeit eine Geruchsprobe entnommen. Bevor die Wiese mit Gülle behandelt wird, wird die Intensität ihres Eigengeruchs bestimmt.

(2) Die Simulation der Gülleausbringung erfolgt, indem die Gülle in einem geschlossenen Kreislauf auf einen Füllkörperwäscher gefördert, dort mit der ebenfalls im Kreis geführten Luft in Kontakt gebracht wird und wieder in den Sammelbehälter zurückgeführt wird. Damit wird der intensive Kontakt bei der konventionellen Gülleausbringung durch versprengen nachgebildet. Die mit Geruch beladene Luft wird dabei auch über eine Messhaube geführt, aus der die Luftproben entnommen werden können. Zunächst wird der am Wäscher befindliche Vorratsbehälter mit Gülle befüllt. Dann startet der Prozess wie oben beschrieben. Nach einer bestimmten Laufzeit des Wäschers wird die Probe entnommen.

(3) Bei dieser Methode der Herstellung von Geruchsproben wird die Gülle in einen Probenbeutel aus Nalophan (ca. 15 L) gefüllt. Der Beutel wird mit synthetischer Luft aufgefüllt. Nach einer Verweildauer von fünf Minuten wird die Luft in einen Probenbeutel überführt. Ist die Geruchskonzentration für eine olfaktometrische Untersuchung zu groß, muss die Geruchsprobe vorverdünnt werden. Die Verdünnung erfolgte von Hand im Verhältnis von 1:7,3. Die so gewonnene Geruchsprobe kann im Nachgang problemlos unter Zuhilfenahme des Olfaktometers analysiert werden.

Diese Form der Probenherstellung wurde entwickelt, da die anderen verwendeten Verfahren im Vergleich sehr zeitintensiv und aufwändig sowie gleichzeitig fehleranfällig sind. Es wird weniger Gülle benötigt als bei den Versuchen mit dem Wäscher.

2.2 Geruchsmessungen mittels Olfaktometer

Es gibt verschiedene Herangehensweisen an die Beurteilung von Gerüchen. Für die Beurteilung von Immissionen, wie sie etwa durch die Ausbringung von Gülle auf landwirtschaftlichen Flächen verursacht werden ist die Bestimmung der Geruchsmengen anzustreben. Daraus kann wiederum die zu erwartende Belästigungshäufigkeit abgeleitet werden. Da diese Mengen aus Menge und Konzentration zu ermitteln sind, kommt der Ermittlung der Geruchskonzentration besondere Bedeutung zu. Die Ermittlung der Geruchskonzentration erfolgt mittels dynamischer Olfaktometrie, in Europa gemäß EN13725 – Geruch [9] mit einem Olfasense Olfaktometer TO8. Dabei wird die Luftprobe mit reiner, nicht geruchsbehafteter Luft so weit verdünnt, dass bei keinem der vier Probanden mehr ein Geruchseindruck auftritt. In mehreren Schritten wird die Konzentration der verdünnt dargebotenen Probe so lange jeweils um den Faktor 2 gesteigert bis die Wahrnehmungsschwelle bei allen Probanden signifikant überschritten wird. Aus den Geruchsschwellen aller Probanden deren Ergebnisse innerhalb der geforderten Toleranz liegen wird rechnerisch die Geruchskonzentration ermittelt. Diese korreliert mit den Konzentrationen der in den Proben enthaltenen Substanzen. Eine weitere Darstellungsform der Geruchskonzentrationen ist die Einheit Dezibel Geruch ($\text{dB}_{\text{Geruch}}$). Aufgrund des logarithmischen Zusammenhanges zwischen Konzentration und Intensität, analog zum Fechnerschen Gesetz beim Schall, eignet sich diese logarithmische Skala besonders zum Vergleichen von Gerüchen untereinander und von Messwerten mit vorgegebenen Grenzwerten [9].

2.3 Vorbereitung der Gülle

Für die Versuche stand Gülle bzw. Jauche aus vier landwirtschaftlichen Betrieben in Österreich zur Verfügung. Gülle A und C stammen von Rindern, Jauche B und Gülle D stammen von Rindern und Schweinen, mit überwiegendem Anteil an Rindern. In der Folge wird der Einfachheit halber Gülle als Überbegriff für die Gülle und die Jauche verwendet.

Bei den Versuchen A, B C und D wurde Gülle A verwendet. Vor den Versuchen wurde sie mithilfe einer Flotten Lotte von Futterresten und sonstigen Fasern und Feststoffen befreit, um keine Störung der Pumpe zu verursachen, wie es noch bei Versuch 1 der Fall war.

2.4 Versuchsaufbau

Versuch A Bei diesem Versuch wurde Gülle A direkt auf die Wiese aufgebracht. Es wurde 0,8 g Borkohle den 172 ml Gülle zugegeben. Dies entspricht einer Menge von 5 kg Borkohle pro m³ Gülle. Die Einwirkdauer der Borkohle in der Gülle betrug vor der Ausbringung vier Stunden.

Versuch B: Im Rahmen von Versuch B wurden Geruchsproben unter Verwendung des Wäschers entnommen. Für den Versuch ohne Borkohle wurde 10 L Gülle A in den Vorratsbehälter gefüllt. Die erste Probe wurde zwei Minuten nach Start des Wäschers entnommen, die zweite nach fünf Minuten. Anschließend wurde der Wäscher gereinigt und der Vorratsbehälter mit 10 l Gülle A befüllt, die fünf Stunden zuvor mit 50 g Borkohle versetzt worden war. Die Probenahme erfolgte analog zu der ohne Kohle. Bei den Messungen lagen sämtliche Proben außerhalb des Messbereichs, d.h. sie hatten jeweils mehr als 72 176 Geruchseinheiten pro m³. Aufgrund dessen konnten sie nicht analysiert werden und es liegen für Versuch B keine gültigen Ergebnisse vor.

Versuch C: In Versuch C wurden die Geruchsproben ebenfalls unter Zuhilfenahme des Wäschers gewonnen. Der Unterschied zu Versuch B lag darin, dass eine größere Menge Borkohle verwendet wurde. So wurden den 10 l Gülle 150 g, bzw. 250 g Kohle zugemischt. Die Einwirkzeit der Borkohle betrug fünf Stunden. Die Proben wurden ebenfalls nach zwei, bzw. fünf Minuten nach Start des Wäschers entnommen.

Versuch D: Bei Versuch D wurde Gülle A verwendet, die mit einer Passiermühle vorbehandelt wurde. Das Ziel dieses Versuchs war es herauszufinden, ob die Einwirkdauer von Borkohle einen Einfluss auf die geruchsmindernde Wirkung hat. Dazu wurden 10 L Gülle 150 g Kohle zugemischt. So wurden drei Mischungen aus Gülle und Kohle hergestellt. Die unterschiedlichen Einwirkzeiten der Kohle betragen 30 min, 1 h und 2 h. Die Probenahme erfolgte nach der jeweiligen Einwirkzeit im Wäscher. Es wurde pro Mischung zwei Proben entnommen, jeweils zwei, bzw. fünf Minuten nach dem Start des Wäschers. Die Proben BK-D01 und BK-D02 wurden unter Verwendung des direkten Ansatzes hergestellt. Der Grund für diese Variation war der, dass die anderen Methoden der Probengewinnung relativ aufwändig sind. Durch diese Methode wird deutlich weniger Gülle benötigt und die Dauer der Probenherstellung und der Vor- und Nachbereitung kann reduziert werden. Hierzu wurde jeweils 1 L Gülle mit 150 g Borkohle und ohne Borkohle in einem Probenbeutel mit 10 L

synthetischer Luft für 10 Minuten aufbewahrt. Anschließend wurde die Luft in einen frischen Probenbeutel überführt und mittels des Olfaktometers analysiert.

Versuch E: Hier ist zu beachten, dass zwei verschiedene Methoden zur Probenherstellung verwendet wurden. Es kam sowohl der Wäscher, als auch der direkte Ansatz zum Einsatz. In beiden Fällen wurden die Güllesorten B und D verwendet. Bei den Proben, die in diesem Versuch mit dem Wäscher hergestellt wurden, war das Ziel herauszufinden, inwiefern sich eine Variation der Einwirkzeit der Borkohle in der Gülle auf die Geruchskonzentration auswirkt. Beprobte wurden beide Güllesorten (B und D). Hierbei wurden pro Probe jeweils 10 L Gülle verwendet. Die eingesetzte Menge an Borkohle betrug 50 g pro Probe. Eine Ausnahme bilden die Proben mit der Bezeichnung BK E01 und BK-E02, da hier die Geruchskonzentration der Gülle ohne Kohle ermittelt wurde. Die Probennahme erfolgte jeweils fünf Minuten nach Start des Wäschers. Untersucht wurde die Einwirkzeit von einer, bzw. zwei Stunden. Bei den Proben, die nach dem direkten Ansatz hergestellt wurden, wurde der Frage nachgegangen, inwiefern sich eine Erhöhung der zugesetzten Menge an Borkohle auf die Geruchskonzentration auswirkt. Verwendet wurde pro Probe jeweils 1 l der Güllesorten B und D. Die Proben wurden fünf Minuten nach dem Einfüllen der synthetischen Luft in den Mischbeutel entnommen. Die Einwirkzeit der Kohle wurde nicht verändert und betrug für alle Proben in diesem Versuchsaufbau 30 Minuten. Hergestellt wurden Proben mit einer Kohlenmenge von 50, 150 und 250 g/l.

Versuch F: Hier erfolgte die Probenherstellung mit Hilfe der Methode des direkten Ansatzes. Zum Einsatz kamen alle vier verfügbaren Güllesorten. Jeweils 1 L Gülle wurden 15 g Kohle zugemischt. Pro Güllesorte wurden zwei Proben hergestellt, bei denen jeweils eine Einwirkdauer der Kohle von fünf, bzw. zehn min. gewählt wurden.

Versuch G: Die Herstellung der Proben in Versuch G erfolgte nach dem direkten Ansatz. Hierzu wurde 1 l Gülle mit 50, bzw. 150 g Borkohle versetzt. Da durch diesen Versuch die Auswirkung der Einwirkdauer der Kohle auf die Geruchskonzentration näher betrachtet werden sollte, wurde nur diese variiert. Es wurde Proben nach einer Einwirkzeit von 5, 15, 30, 45 und 60 Minuten entnommen. Die Versuche wurden mit Gülle A, nach 6-monatiger Lagerung bei 10°C, durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

In den folgenden Diagrammen werden die Ergebnisse in Form des Geruchspegels zusammengefasst dargestellt. Dadurch wird eine bessere Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Ergebnisse erreicht und Korrelationen können schneller erkannt werden. Auch hier wird eine Messunsicherheit des Geruchspegels von $\pm 2 \text{ dB}_{\text{Geruch}}$ berücksichtigt.

Ergebnisse des direkten Ansatzes: Es wurden zwei Diagramme erstellt, da in den verschiedenen Versuchen zum einen die Menge an zugegebener Kohle (Abb. 1) und die Einwirkdauer der Kohle (Abb. 2) variiert wurden. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Versuche D und E, bei denen die Menge der zugegebenen Kohle variiert wurde. Es ist erkennbar, dass sich der Geruchspegel der Gülle durch die Zugabe der Gülle

verringert. Auch lässt diese Abbildung den Schluss zu, dass die Abnahme des Geruchspegels mit der steigenden Zugabe von Kohle korreliert.

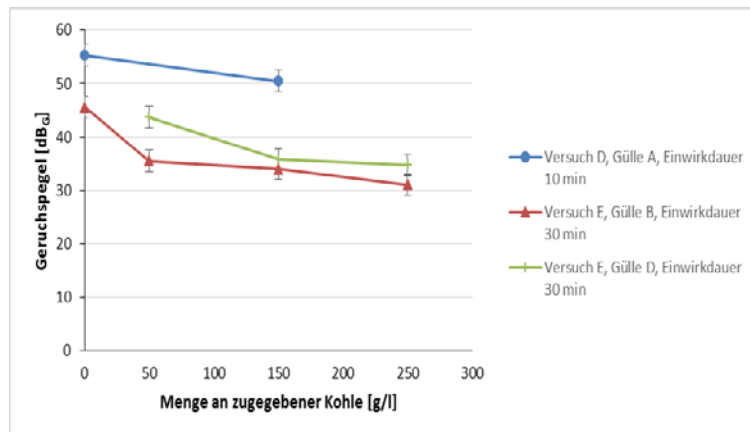


Abb. 1. Ergebnisse Versuch D und E

Abb. 2 zeigt die Ergebnisse der Versuche F und G, bei denen die Einwirkdauer der Kohle variiert wurde. Aufgrund der vorliegenden Daten liegt der Schluss nahe, dass sich bei einer Erhöhung der Einwirkdauer von fünf auf zehn Minuten kaum eine Veränderung des Geruchspegels ergibt. Wird die Einwirkdauer jedoch auf bis zu eine Stunde erhöht, sinkt auch der Geruchspegel ab. Es ist wahrscheinlich, dass die Kombination aus erhöhter Menge an zugegebener Kohle und erhöhter Einwirkdauer für diesen Effekt verantwortlich ist. Dies wird deutlich, wenn man die Ergebnisse des Versuchs G vergleicht. Es wurde jeweils Gülle A verwendet. Die Einwirkdauer der Kohle war ebenfalls identisch. Die Kurve, die den Geruchspegel der Proben mit 150 gL⁻¹ zugegebener Kohle beschreibt, liegt ständig unter der, die eine Kohlenkonzentration von 50 gL⁻¹ angibt.

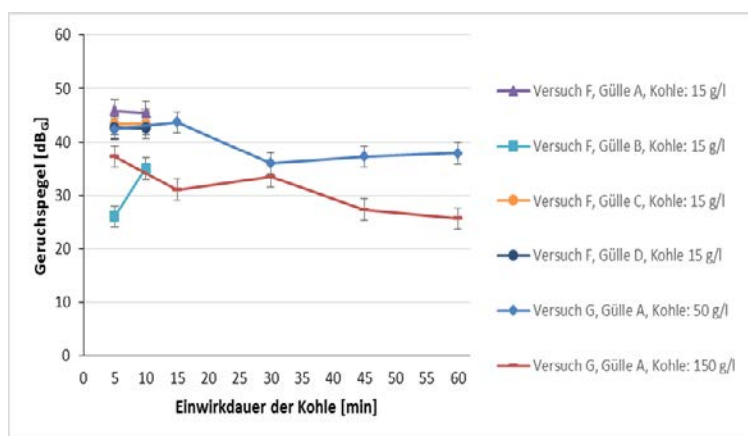


Abb.2. Ergebnisse Versuch F und G

Ergebnisse unter Verwendung des Wäschers: In Abb. 3 und 4 sind die Ergebnisse dargestellt, die unter Verwendung des Wäschers erzielt wurden. Abb. 3 zeigt den Einfluss der Laufzeit des Wäschers, Abb. 4 die Einwirkdauer der Kohle.

Es wurde gezeigt, dass die Laufzeit des Wäschers einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Geruchspegel hat. Hauptfaktor ist hier wiederum die zugegebene Menge an Kohle. Betrachtet man nur die Ergebnisse des Versuchs D, scheint auch die Einwirkdauer keinen großen Einfluss auf den Geruchspegel zu haben.

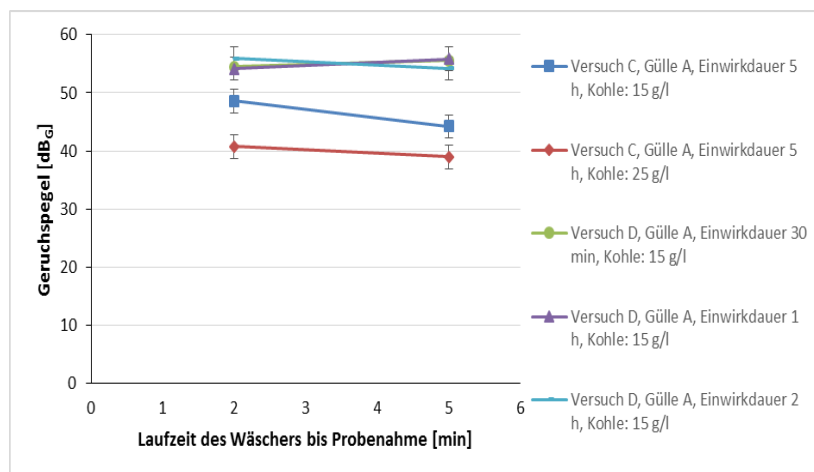


Abb.3. Ergebnisse Versuch C und D

Vergleicht man jedoch Versuch C mit Versuch D kommt man zu dem Schluss, dass die Einwirkdauer doch einen Einfluss auf den Geruchspegel hat. Hierbei ist zu bedenken, dass eine Einwirkdauer von fünf Stunden relativ hoch gegriffen ist. In der Praxis ist angedacht, die Kohle erst unmittelbar vor der Ausbringung auf das Feld mit der Gülle zu vermischen. Somit ergäbe sich eine realistische Einwirkdauer, die in der Praxis zwischen 30 Minuten bis einer Stunde schwankt. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse von Versuch E. Da dies der einzige Versuch war, in dem die Laufzeit des Wäschers konstant war, konnte er nicht zusammen mit den anderen Werten in einem Diagramm dargestellt werden. Die Ergebnisse lassen keinen konkreten Schluss zu. Bei den beiden verwendeten Güllesorten ist der Verlauf des Geruchspegels unterschiedlich. Das könnte daher kommen, dass Gülle D aktiver ist und schneller, bzw. mehr geruchsintensive Stoffe nachbildet als Gülle B. Ebenfalls könnten bei Gülle D die Verdrängungs- und Überlagerungseffekte eine größere Rolle spielen als bei Gülle B. Es kann daher nicht keine Annahme darüber getroffen werden, ob sich die Einwirkzeit der Kohle mindernd auf die Geruchskonzentration auswirkt. Es ist lediglich ersichtlich, dass sich der Geruchspegel nach einer Einwirkzeit der Kohle von zwei Stunden im Vergleich zu dem Startpegel ohne Kohle verringert hat. Da diese Veränderung aber zumindest bei Gülle D innerhalb der Messunsicherheit von ± 2 dB_{Geruch} liegt, ist dieser Unterschied nicht signifikant.

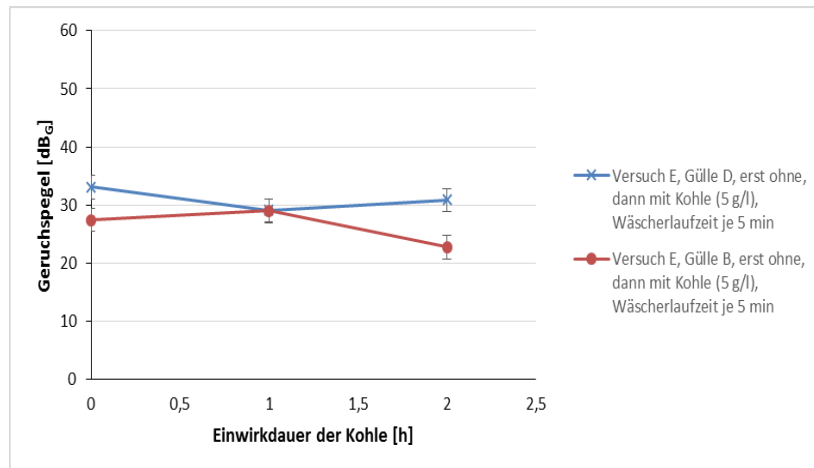


Abb.4. Ergebnisse Versuch E G

Ergebnisse des direkten Auftrags: Abbildung 5 stellt die Ergebnisse des Versuchs A grafisch dar. Es ist ersichtlich, dass der Geruchspegel mit zugesetzter Kohle mit fortschreitendem zeitlichem Ablauf stetig abnimmt. Im Gegensatz dazu steigt der Geruchspegel der Kohle ohne Zusätze mit steigender Laufzeit zuerst an und fällt dann gegen Ende des betrachteten Zeitraums wieder. Allerdings auf ein Niveau, das höher ist, als es zu Beginn der Messung war. Auch ist die Geruchskonzentration der mit Kohle behandelten Gülle durchweg auf einem niedrigeren Niveau als der Gülle ohne Kohlezusatz. Die Ergebnisse dieser Messung sind ein weiteres Indiz dafür, dass die Zumischung von Kohle einen mindernden Einfluss auf die Geruchsintensität von Gülle hat.

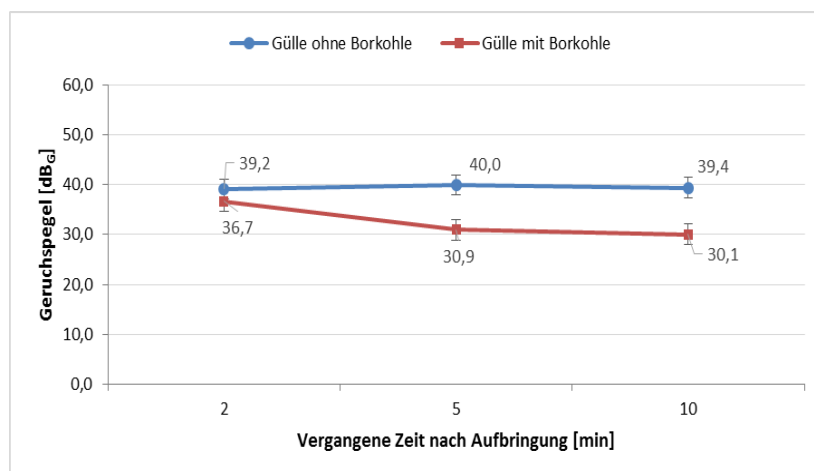


Abb. 5. Ergebnis des direkten Auftrags auf Wiese Versuch A

Relative Änderung des Geruchspegels: In Tabelle 1 ist die relative Änderung des Geruchspegels innerhalb der verschiedenen Versuche dargestellt. Es ist zu beachten, dass es sich bei der angegebenen Änderung um die durchschnittliche Änderung innerhalb der jeweiligen Messreihe handelt. Daher ist der Ausgangswert nicht in allen Fällen mit dem Geruchspegel der unbehandelten Gülle gleichzusetzen. Er kann auch von bereits mit Kohle vorbehandelter Gülle stammen. Aufgrund dessen ist es möglich, dass es sich bei der relativen Änderung auch um eine Erhöhung des Geruchspegels handeln kann.

Tabelle 1. Relative Änderungen des Geruchspegels.

	Versuchsansatz	Variable	Geruchsänderung
A	Direktauftrag auf Wiese, 4 h Einwirkdauer, 5 g L ⁻¹	Kohlemenge	- 17.5 %
C	Wäscher, Einwirkdauer 5 h, 15 g L ⁻¹	Kohlemenge	- 9.1 %
	Wäscher, Einwirkdauer 5 h, 25 g L ⁻¹	Kohlemenge	- 4.2 %
D	Wäscher, Einwirkdauer 30 min, 15 g L ⁻¹	Einwirkdauer	+ 2 %
	Wäscher, Einwirkdauer 1 h, 15 g L ⁻¹	Einwirkdauer	+ 3.3 %
	Wäscher, Einwirkdauer 2 h, 15 g L ⁻¹	Einwirkdauer	- 3.2 %
	direkter Ansatz, Einwirkdauer 10 min, 150 g L ⁻¹	Kohlemenge	- 8.7 %
E	Wäscher, Gülle D, Einwirkdauer 1 und 2 h, 5 g L ⁻¹	Einwirkdauer	- 9.7 %
	Wäscher, Gülle B, Einwirkdauer 1 und 2 h, 5 g L ⁻¹	Einwirkdauer	- 5.8 %
	direkter Ansatz, Gülle B, Einwirkdauer 30 min, 50, 150 und 250 g L ⁻¹	Kohlemenge	- 26.5 %
	direkter Ansatz, Gülle D, Einwirkdauer 30 min, 50, 150 und 250 g L ⁻¹	Kohlemenge	- 19.3 %
F	direkter Ansatz, Gülle A, Einwirkdauer 5 und 10 min, 15 g L ⁻¹	Einwirkdauer	- 0.9 %
	direkter Ansatz, Gülle B, Einwirkdauer 5 und 10 min, 15 g L ⁻¹	Einwirkdauer	+ 34.6 %
	direkter Ansatz, Gülle C, Einwirkdauer 5 und 10 min, 15 g L ⁻¹	Einwirkdauer	+ 0.2 %
	direkter Ansatz, Gülle D, Einwirkdauer 5 und 10 min, 15 g L ⁻¹	Einwirkdauer	0 %
G	direkter Ansatz, Einwirkdauer 5, 15, 30, 45 und 60 min, 50 g L ⁻¹	Einwirkdauer	- 8.7 %
	direkter Ansatz, Einwirkdauer 5, 15, 30, 45 und 60 min, 150 g L ⁻¹	Einwirkdauer	- 21.2 %

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass die Einwirkdauer der Kohle vor allem dann einen Einfluss auf den Geruchspegel und somit auf die Geruchskonzentration hat, wenn diese im Bereich von etwa 30 – 60 min. liegt. Dieser Effekt wird vermutlich durch die Erhöhung der zugegebenen Kohlenmenge verstärkt.

Die Frage, ob durch die Zugabe von Borkohle eine Geruchreduzierung bei der Gülle erreicht werden kann, wurde im Rahmen dieser Arbeit geklärt. Es ergaben sich jedoch auch Fragen, die für die praktische Anwendung noch interessant sein können.

Eine Frage stellt sich bezüglich der Homogenisierung der Gülle und der Kohle vor der Ausbringung. Vorversuche im Labormaßstab ergaben eine erhöhte Geruchminderung durch Homogenisierung von Gülle und Kohle vor der Ausbringung. Der Frage, ob eine solche Homogenisierung auch innerhalb eines mobilen Güllefasses möglich ist, sollte nachgegangen werden. Ebenfalls interessant ist die Frage, bis zu welchem Feststoffgehalt der Gülle die handelsüblichen Ausbringergerätschaften arbeiten. Legt man zum Beispiel die getestete Konzentration von 250 g Kohle pro L Gülle zugrunde, dann ergibt sich eine deutlich höhere Feststoffbeladung, als dies bei der Rohgülle der Fall ist. Es könnte durchaus sein, dass die gängigen Gerätschaften Probleme mit einem erhöhten Feststoffgehalt haben und zu Verstopfungen neigen.

Für die Messungen stand Gülle aus wenigen Quellen zur Verfügung und wurde unter kontrollierten Bedingungen im Labor gelagert. Es ergaben sich Hinweise darauf, dass die Wirkung auf verschiedene Güllen unterschiedlich ist. Die Untersuchung dieses Aspektes wird eine wesentliche Aufgabe für die Zukunft sein.

References

1. Wieland H, Bockisch, F.J. Insulating materials produced from renewable raw materials. In: Landtechnik 4/2006 pp 218-219 (2006)
2. Hornboden E., Bode R., Donner P. Edts. Recycling: materials science aspects, Springer Verlag Heidelberg ISBN-10: 354056408X, pp 118 -122 (1993)
3. Glaser, B.; Wiedner K., Seelig S., Schmidt, HP. Gerber H.: Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for organic fertilizers. In Agron. Sustain. Dev. **35** pp. 667-678 (2015)
4. Schulz H., Dunst G., Glaser, B.: No Effect Level of Co-Composted Biochar on Plant Growth and Soil Properties in a Greenhouse Experiment. In Agronomy 4 (1), pp. 34–51. DOI: 10.3390/agronomy4010034. (2014):
5. Bundesinstitut für Risikobewertung: Zusatz von Borsäure oder Borax in Nahrungsergänzungsmitteln http://www.bfr.bund.de/cm/343/zusatz_von_borsaere_oder_borax_in_nahrungs_ergaenzungsmitt.pdf Nr. 005/2006 (2006)
6. Bundesministeriums der Justiz. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) https://www.thueringen.de/imperia/md/content/lwa-som/d__ngeverordnung.pdf (2007) Accessed 17.2.2018 (2015)
7. Isocell: DER PERFEKTE KREISLAUF. <http://www.isocell.com/de/news/77/der-perfekte-kreislauf/> Accessed 26.1.2018 (2017)
8. Gallmann E., Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung, Habilitationsschrift Fak. Agrarwissenschaften Uni. Hohenheim http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2014/996/pdf/Habil_Eva_Gallmann.pdf Accessed 21.1.2018 (2011)
9. Hauschildt H., Mannebeck B. Measuremen, analysis and assessment of environmental odours. http://www.vivis.de/phocadownload/Download/015_is/2015_IS_131-150_Hauschildt.pdf Accessed 17.2.2018 (2015)
10. Forrest W.: Weber-Fechner Law. In Plant Pathology and Microbiology Publications. https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1070&context=plantpath_pubs Accessed 17.2.2018 (2010)