

Abschlussbericht zum Projekt

Entwicklung einer Anlage zur Hygienisierung und Trocknung von schlammartigen Biomassen mit Hilfe von Branntkalk

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

AZ 33083-31/1

Laufzeit: 09.12.2015 – 09.10.2017

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

THIEL GmbH – Fördertechnik
Alfred Thiel

FH Münster
Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt
Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Daniel Baumkötter, M.Eng.

Steinfurt, 8. Februar 2018

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	33083	Referat	31	Fördersumme	124.408 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel

Entwicklung einer Anlage zur Hygienisierung und Trocknung von schlammartigen Biomassen mit Hilfe von Branntkalk

Stichworte

Aufbereitung, Branntkalk, Hygienisierung, Ammoniak, Geflügelmist, Gärrest

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
22 Monate	09.12.2015	09.10.2017	1

Zwischenberichte	09.09.2016
------------------	------------

Bevollziehungsempfänger

FH Münster
Fachbereich Energie·Gebäude·Umwelt
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Tel	02551 9-62725
Fax	02551 9-62717

Projektleitung
Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Bearbeiter
M.Eng. Daniel Baumkötter

Kooperationspartner

Alfred Thiel
THiEL GmbH – Fördertechnik
Farwicker Straße 23
49624 Lönningen

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Für die Nutzung von schlammartigen Biomassen zur Düngung auf Ackerflächen ist die Hygienisierung als Maßnahme zur Aufbereitung für die Sicherstellung eines hygienisch einwandfreien Status von besonderem Interesse. Gerade in viehveredlungsstarken Regionen werden technische Lösungen gesucht, die es ermöglichen überschüssige Nährstoffe in Form marktgerechter Düngemittel an Bedarfsregionen abzugeben.

Im Projekt wird eine technische Anlage entwickelt, die mit Hilfe von Branntkalk schlammartige Biomassen sowie deren Produkte aus einer Entwässerung hygienisiert und anschließend trocknet. Für die Temperaturerhöhung wird die Reaktion von zugegebenem Branntkalk mit dem Wasseranteil aus dem zu hygienisierenden Substrat ausgenutzt. Ein weiterer Effekt der Branntkalkzugabe ist das Freisetzen von Ammoniak durch die Erwärmung und die Anhebung des pH-Wertes im Material. Insbesondere bei ammoniakreichen Reststoffen, wie zum Beispiel Geflügelmist, kann so auch ein verstärkter Einsatz in Biogasanlagen ermöglicht werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Wesentliche Herausforderung bei der Entwicklung und Konstruktion einer technischen Anlage stellt die richtige Zusammensetzung und Dimensionierung der Misch- und Fördertechnik für einen zuverlässigen Betrieb dar. Die einzelnen Anlagenkomponenten sind zwar erprobt und vielfach eingesetzt, jedoch noch nie in dieser Zusammenstellung in Kombination mit verschiedenen schlammartigen Biomassen.

Für die Entwicklung des Verfahrens wurden im Labor verschiedene Biomassen und deren Reaktion mit Branntkalk untersucht. Ergänzt wurden diese Untersuchungen um Versuche an einem halbtechnischen Aufbau mit Umsatzmengen von etwa 300 kg Biomasse und am Ende an einer Anlage im großtechnischen Maßstab mit Umsatzmengen von etwa 500 kg Biomasse pro Charge. Dabei wurden vor allem die Erwärmung des Materials und die Freisetzung des enthaltenen Ammonium-Stickstoffs in Form von Ammoniak untersucht. Ergänzt wurden die Untersuchungen mit Betrachtungen zu Stromverbrauch und Biogaspotenzial. Abschließend wurden eine Stoffstrombilanz und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt.

Ergebnisse und Diskussion

Die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Errichtung einer vollautomatischen Versuchsanlage im großtechnischen Maßstab
2. Mit höheren Branntkalkzugaben (bis zu 8 %) sind tendenziell kürzere Behandlungszeiten, höhere Temperaturen im Substrat und höhere Eliminationsraten an Ammoniak möglich (bis zu 70 %)
3. Bei der Zugabe von 8 % Branntkalk erhitzt sich Hühnertrockenkot innerhalb von 5 Minuten auf über 80 °C- danach Abkühlung über 60 Minuten auf 68 °C
4. Erwärmen alleine genügt nicht → nur geringe Ammoniakelimination von weniger als 5 % bei der Erhitzung von separiertem Gärrest auf 70 °C über eine Stunde
5. Schwefelsäurewäscher erreicht einen Eliminationsgrad von über 99 % bei der Abscheidung des Ammoniaks aus der Abluft
6. Produktion eines marktfähigen Düngers (Ammoniumsulfatlösung)
7. Bei Behandlungszeiten ≤ 15 Minuten gibt es keine Veränderung des Biogasertrages bei Geflügelmist; längere Behandlungszeiten reduzieren den Biogasertrag nur geringfügig (ca. 10 %)
8. Stromverbrauch von ca. 3,4 kWh_{el}/t bei einem Durchsatz von 3,2 t/h (ohne Misch- und Vorlagebehälter)
9. Kosten zwischen 13 und 16 €/t (15 min Behandlungszeit, 8 % Branntkalk) - starke Abhängigkeit der Kosten von Behandlungszeit und Branntkalkmenge

Darüber hinaus wurden im Verlauf der Untersuchungen eine Reihe von technischen und verfahrenstechnischen Optimierungen vorgenommen. Wesentlich war dabei die sichere technische Ausführung der Förder- und Mischtechnik für die schwierig zu handhabenden Substrate. Weiterer wichtiger Baustein war die Erweiterung der Anlage um einen Schwefelsäurewäscher zur Rückgewinnung des entweichenden Ammoniaks als wertvolles Ammoniumsulfat.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Von der Fa. Thiel wurde ein Flyer zur Bewerbung der Anlagentechnik erstellt. Darüber hinaus wurde das Projekt und die entwickelte technische Anlage bei folgenden Veranstaltungen und Medien präsentiert:

- Präsentation des Projektes mit einem Poster auf dem FNR/KTBL-Kongress „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ vom 26. bis 27.09.2017 in Bayreuth, Tagungsband: ISBN 978-3-945088-52-4
- „Aufbereitung schon vor der Vergärung“, Top Agrar Energie Magazin 3/2017, S. 24
- „Aus Mist macht er Moneten“, Neue Osnabrücker Zeitung vom 21.12.2017, S. 17

In Vorbereitung:

Präsentation des Projektes und der entwickelten Anlagentechnik im Rahmen des Messestandes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) auf der IFAT 2018, der Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft, vom 14. bis 18. Mai 2018 in München

Fazit

Das Ziel des Projektes, eine Anlagentechnik zu entwickeln, mit der marktfähige und hygienisch einwandfreie Düngemittel aus schlammartigen Biomassen produziert werden können, wurde erreicht. Durch die Erhöhung der Transportwürdigkeit und der Produktion eines Mineraldüngerersatzes kann damit auch eine Nährstoffsенke für die Region gebildet werden. Zusätzlich können mit Hilfe dieses Verfahrens ammoniakreiche Reststoffe, wie zum Beispiel Geflügelmist, auch in größeren Mengen in Biogasanlagen energetisch verwertet werden. Im nächsten Schritt gilt es nun, die erfolgreiche Kooperation weiter zu führen und die entwickelte Anlage zu optimieren, um die Effizienz bei der Ammoniakentfernung bzw. Hygienisierung von verschiedenen Stoffen zu steigern und die wirtschaftlichen Risiken zu senken.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Vorgehensweise	2
3	Projektergebnisse	6
3.1	Versuche im Labor	6
3.2	Versuche an der halbtechnischen Anlage	10
3.3	Ammoniakrückgewinnung durch saure Wäsche	12
3.4	Versuche an der großtechnischen Versuchsanlage	19
3.4.1	Versuchsprogramm	20
3.4.2	Temperaturverlauf	22
3.4.3	Ammoniakreduktion	24
3.4.4	Stromverbrauch	27
3.4.5	Biogasertrag	28
3.4.6	Technische Optimierungen	29
3.5	Stoffstrombilanz	31
3.6	Ökonomische Betrachtung	32
4	Öffentlichkeitsarbeit	35
5	Fazit und Ausblick	36
6	Literaturverzeichnis	37

Anhang

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Ammonium/Ammoniak-Gleichgewicht in Abhängigkeit von Temperatur und pH-Wert [3]	4
Abbildung 2-2:	Fließschema des Anlagenkonzeptes	5
Abbildung 3-1:	Versuchsaufbau Kutter (links) und Versuch mit separiertem Gärrest (rechts)	7
Abbildung 3-2:	Versuchsaufbau Mischer (Eigenkonstruktion)	8
Abbildung 3-3:	Temperaturverlauf in Hühnertrockenkot	9
Abbildung 3-4:	Reduktion von Ammonium-Stickstoff in Hühnertrockenkot	10
Abbildung 3-5:	Halbtechnische Versuchsanlage mit Umwandler und Heizölbrenner (links) sowie Vormischer (rechts)	11
Abbildung 3-6:	Prinzip Stickstoffrückgewinnung mittels Ammoniakwäsche	13
Abbildung 3-7:	Simulationsbericht zur sauren Wäsche von Ammoniak	15
Abbildung 3-8:	Schwefelsäurewäscher an der halbtechnischen Versuchsanlage (linkes Bild im Hintergrund) und Dosierstation für Schwefelsäure (rechtes Bild)	16
Abbildung 3-9:	Maximale Löslichkeit von Ammoniumsulfat in Abhängigkeit von der Temperatur [5]	17
Abbildung 3-10:	Elektrische Leitfähigkeit von Ammoniumsulfatlösung $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_2)$ in Abhängigkeit der Konzentration	17
Abbildung 3-11:	Automatische Dräger-Röhrchen Pumpe X-act 5000 [6]	18
Abbildung 3-12:	Versuchsanlage im großtechnischen Maßstab	19
Abbildung 3-13:	Hähnchenmist unbehandelt (links) und nach der Vermischung mit Branntkalk im Umwandler (rechts)	20
Abbildung 3-14:	Die drei Substrate der abschließenden Versuchsreihe: Putenmist mit Langstroh als Einstreu (links), Putenmist mit Strohpellets als Einstreu (Mitte) und separierter Gärrest (rechts)	21
Abbildung 3-15:	Calciumgehalte in den Proben der abschließenden Versuchsreihe	22

Abbildung 3-16: Temperaturverlauf in Hühnertrockenkot (HTK) in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer	23
Abbildung 3-17: Erreichte Temperaturen in den Proben der abschließenden Versuchsreihe	24
Abbildung 3-18: Reduktion an Ammonium in Hühnertrockenkot (HTK) in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer	25
Abbildung 3-19: Reduktion an Ammonium in Putenmist mit Langstroh als Einstreu	26
Abbildung 3-20: Reduktion an Ammonium in Putenmist mit Strohpellets als Einstreu	26
Abbildung 3-21: Reduktion an Ammonium in separiertem Gärrest	27
Abbildung 3-22: Spezifische Methanerträge von Putenmist und Hühnertrockenkot (HTK) [9]	28
Abbildung 3-23: Thermografie-Aufnahme der Luftschläuche am Kopf des Wäschers	30
Abbildung 3-24: Thermografie-Aufnahme der Vorderseite eines Umwandlers	30
Abbildung 3-25: Thermografie-Aufnahme der Rückseite eines Umwandlers	30
Abbildung 3-26: Stoffstrombilanz für Putenmist mit Pelleteinstreu (8 % Branntkalk und 15 min Verweilzeit)	31
Abbildung 3-27: Verteilung der spezifischen Kosten für Putenmist mit Pelleteinstreu (8 % Branntkalk und 15 min Verweilzeit) und zwei Umwandlern	33
Abbildung 3-28: Spezifische Kosten abzüglich Erlös für Ammoniumsulfat in Abhängigkeit von Kalkmenge und Behandlungsdauer für die Variante mit zwei Umwandlern	34

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1: Trockenrückstandsgehalte der untersuchten Substrate	6
Tabelle 3-2: Ergebnisse der Nährstoff-Analysen für Hähnchenmist	12
Tabelle 3-3: Auslegungsdaten für die Modellierung des sauren Wäschers	14
Tabelle 3-4: Simulationsergebnis für den sauren Wäscher	15

Tabelle 3-5:	Ammoniakkonzentration in der Zu- und Abluft des Wäschers	18
Tabelle 3-6:	Stromverbrauch	27
Tabelle 3-7:	Spezifische Biogas- und Methanerträge	29
Tabelle 3-8:	Kostenbetrachtung für Putenmist mit Pelleteinstreu (8 % Branntkalk und 15 min Verweilzeit)	32

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
ASL	Ammoniumsulfatlösung
BioAbfV	Bioabfallverordnung
CaO	Calciumoxid
FM	Frischmasse
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
HTK	Hühnertrockenkot
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammoniumsulfat
oTR	organischer Anteil des Trockenrückstandes
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TR	Trockenrückstand
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TS	Trockensubstanz

1 EINLEITUNG

Gärreste und tierische Ausscheidungen werden in der Regel zur Düngung auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht. Diese schlammartigen Biomassen enthalten neben Stickstoff noch weitere Nährstoffe, wie Phosphor und Kalium, und sind daher für die Düngung von Bedeutung. In viehveredelungsstarken Regionen mit Nährstoffüberschüssen ist jedoch neben der regionalen Verwertung auch die Aufbereitung in transportwürdige Formen für den Export sinnvoll. Für die hygienische Unbedenklichkeit müssen schlammartige Biomassen in der Regel für die Produktion eines Düngemittels mit geeigneten Verfahren hygienisiert werden.

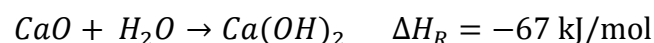
In diesem Projekt wurde eine technische Anlage entwickelt, in der mit Hilfe von Branntkalk schüttfähige und schlammartige Biomassen sowie deren Produkte aus einer Entwässerung hygienisiert und anschließend getrocknet werden können. Für die Temperaturerhöhung wird die Reaktion von zugegebenem Branntkalk mit dem Wasseranteil aus dem zu hygienisierenden Substrat ausgenutzt, wodurch sich die für die Hygienisierung benötigte thermische Energie reduziert. Für eine anschließende Trocknung ist zudem vorteilhaft, dass bei dieser Reaktion bereits Wasser abreagiert und nicht mehr thermisch entfernt werden muss.

Ein weiterer Effekt der Branntkalkzugabe ist das Freisetzen von Ammoniak durch die Erwärmung und die Anhebung des pH-Wertes im Material. Damit besteht die Möglichkeit einer gezielten Abtrennung des Ammoniumstickstoffs und die Produktion eines handelsfähigen Mineraldüngers in Form von Ammoniumsulfat mit Hilfe eines Schwefelsäurewäschers. Insbesondere bei ammoniakreichen Reststoffen, wie zum Beispiel Geflügelmist, kann so auch ein verstärkter Einsatz in Biogasanlagen ermöglicht werden. Aufgrund der hemmenden Wirkung von Ammoniak auf den Biogasprozess, sind bisher größere Mengen solcher Reststoffe nicht zu vergären.

2 VORGEHENSWEISE

In dem von der Firma Thiel entwickelten Anlagenkonzept sollen verschiedene biogene Substrate (z.B. Gülle, Mist, Gärrest aus Biogasanlagen) konditioniert und mit Hilfe der Zugabe von Branntkalk (Calciumoxid – CaO) hygienisiert werden. Ziel ist es, schüttfähige homogene Produkte mit hohen Gehalten an düngerelevanten Nährstoffen zu erzeugen und hierzu Substrate mit überschüssigen Nährstoffen aus der Landwirtschaft zu verarbeiten. Zudem wird der so erzeugte organische Dünger durch die Zugabe des Kalks aufgewertet. Dadurch wird der verwendete Branntkalk nicht nur zur Wärmeenergieerzeugung genutzt, sondern vor allem zur Düngung in der Landwirtschaft. Zentraler Baustein des technischen Anlagenkonzeptes ist der Umwandler, in dem die Vermischung, Reaktion und Hygienisierung erfolgt. Dazu werden alle Zugabemengen über Wägezellen bilanziert und die Temperatur im Umwandler über entsprechende Sensoren überwacht.

Zur Überprüfung der grundsätzlichen Eignung des Konzeptes hat die Firma Thiel bereits eine halbtechnische Versuchsanlage in Teilen errichtet. Im Rahmen einer ersten Beratung samt Auftragsanalytik unterstützte die FH Münster die Firma Thiel bei der Untersuchung ihrer Anlage. Hierbei wurden erste orientierende Vorversuche mit separiertem Gärrest einer Biogasanlage und mit Hühnertrockenkot durchgeführt und der Einfluss der Behandlung auf die enthaltenen Nährstoffe untersucht. Grundlegender Zweck der Anlage ist die Hygienisierung durch Erhitzen der Substrate (70 °C, 1 Stunde, BioAbfV Anhang 2 Nummer 2.2.1). Neben dem Zweck der Abtötung möglicher schädlicher Krankheitserreger dient die Hygienisierung auch der Verhinderung der Keimfähigkeit noch enthaltener Samen landwirtschaftlicher Nebenprodukte sowie des selbstinduzierten biologischen Abbaus der organischen Anteile. Die Energie für das notwendige Aufheizen und Halten der Temperatur wird aus der Reaktion des Wasseranteils und dem zugegebenen Branntkalk genutzt. Die Reaktionsgleichung ist im Folgenden dargestellt.



Bei der Reaktion des Branntkalks mit Wasser, bzw. dem in den Substraten enthaltenem Wasser, wird thermische Energie in Höhe von 0,33 kWh_{th}/kg zugefügten Branntkalks (entspricht 67 kJ/mol) erzeugt. Dies bedeutet, dass für die Erhitzung von 1.000 kg Wasser von 20 °C auf 70 °C eine Zugabe von etwa 230 kg Branntkalk (entspricht 23 %) erforderlich ist. Für die theoretische Verdampfung, bzw. die Trocknung von 1.000 kg Wasser wäre, ohne

Berücksichtigung von Verlusten, eine thermische Energie von 630 kWh_{th} notwendig. Aus Erfahrungen mit vorhergehenden Versuchen ist eine Zugabe von 9 % Branntkalk für das Erreichen eines ausreichenden Temperaturniveaus bei kontinuierlicher Fahrweise der Anlage ausreichend. Offenbar ergibt sich hier ein Optimum zwischen Stoffübergang in einem Schlamm und der Reaktion des Branntkalkes mit dem Wasseranteil des Substrats. Damit gewährleistet ist, dass das behandelte Substrat für eine Stunde über 70 °C erhitzt wurde, kann die Reaktion mit einem Heizöl-Brenner gegebenenfalls zusätzlich unterstützt werden.

Die Hygienisierung/Stabilisierung über das Halten eines pH-Wertes über 12 für mindestens 2 Stunden ist nur für die Stabilisierung von Klärschlämmen zugelassen. Für die Hygienisierung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten sind die Bedingungen wie in der EG-Verordnung 1069/2009 vorgeschrieben [2]. Hier ist der Stand der Technik das Einbringen von pumpbaren Schlämmen in beheizte Behälter und das dortige Halten mit Homogenisierung von 70 °C über zwei Stunden, wobei die Herkunft der Wärmequelle unerheblich ist. Die hier geplante Verfahrenstechnik ist innovativ, da diese sowohl mit pumpbaren Schlämmen als auch mit stichfesten Substraten arbeiten kann. Die Ammoniakrückgewinnung ist integraler Bestandteil. Jegliche Reaktionswärme wird effizient genutzt und zur Hygienisierung und anteilig auch zur Trocknung eingesetzt.

Ein wesentlicher Nebeneffekt der Zugabe von Branntkalk zu den genannten biogenen Substraten ist zusätzlich zur Erwärmung des Materials die Anhebung des pH-Wertes. Dadurch wird bei Substraten die Ammonium (NH_4^+) enthalten, dieses in Form von gasförmigem Ammoniak (NH_3) freigesetzt. Die Abhängigkeit der Konzentrationen an Ammoniak und Ammonium von pH-Wert und Temperatur zeigt Abbildung 2-1. Darin sind die Kurvenverläufe der unterschiedlichen Konzentrationen an Ammoniak und Ammonium über den pH-Wert bei verschiedenen Temperaturen aufgetragen. Zur Bindung der Ammoniak-Emissionen ist somit ein Schwefelsäurewäscher vorzusehen, in dem mit Schwefelsäure der Ammoniak aus der Abluft gebunden wird. Die Schwefelsäure reagiert dabei mit dem Ammoniak zu Ammoniumsulfat, das als Ammoniumsulfatlösung (ASL) einen handelsfähigen Mineraldünger darstellt.

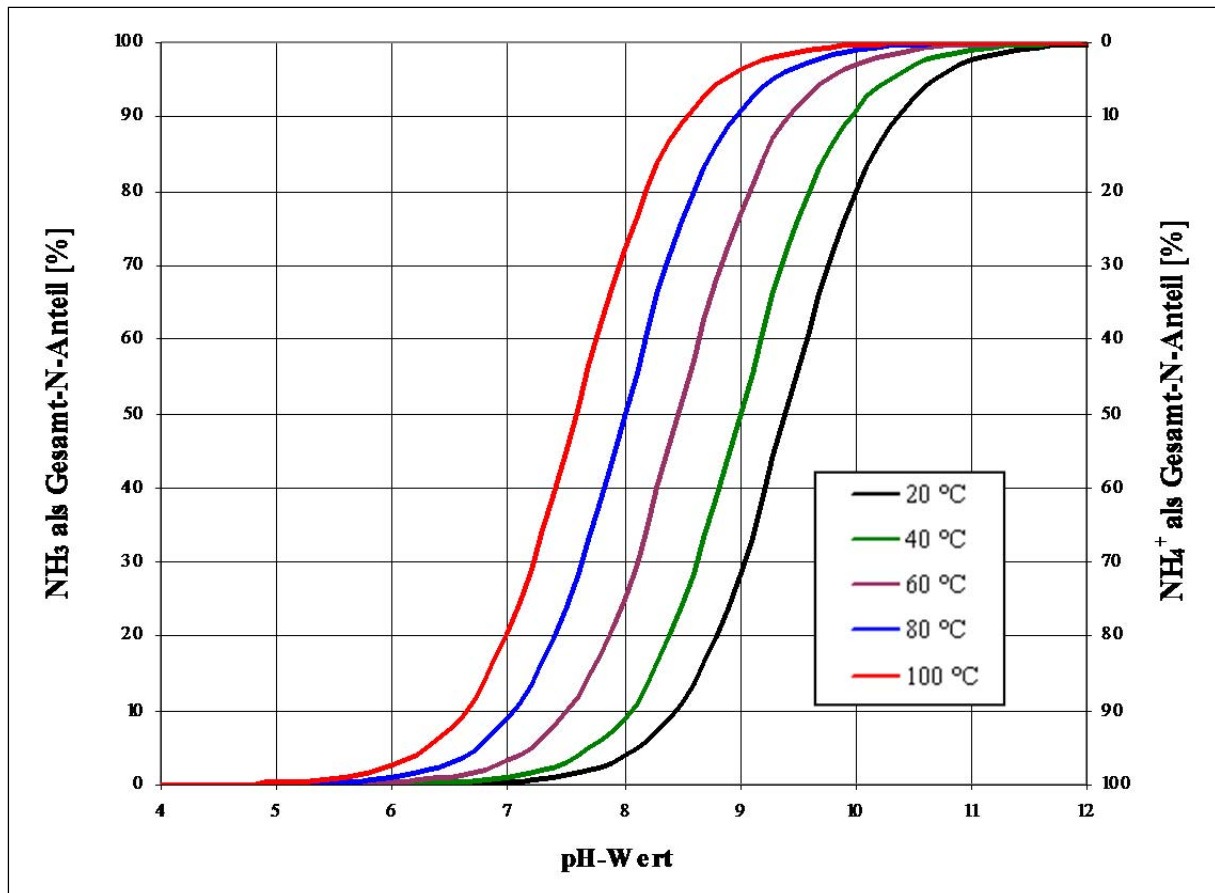


Abbildung 2-1: Ammonium/Ammoniak-Gleichgewicht in Abhängigkeit von Temperatur und pH-Wert [3]

Aufgrund der hemmenden Wirkung von Ammoniak auf den Biogasprozess, sind bisher größere Mengen ammoniakreicher Reststoffe, wie zum Beispiel Geflügelmist, nicht zu vergären. Durch die Behandlung von Geflügelmist mit Branntkalk in der Anlage entsteht ein stickstoffentfrachtetes Produkt das in größerer Menge in Biogasanlagen eingesetzt werden kann und damit Silomais ersetzen kann. Biogasanlagen haben ein großes Interesse daran, dieses als Ersatzsubstrat für Silomais einzusetzen, was die zahlreichen Rückmeldungen und Nachfragen an die Fa. Thiel zeigen. Daraus hat sich mit der gezielten Entfernung von Ammonium-Stickstoff aus Geflügelmist im Projektverlauf ein zweiter Anwendungsfall für die entwickelte Anlage ergeben.

Wesentliche Herausforderung bei der Entwicklung und Konstruktion einer technischen Anlage stellt die richtige Zusammensetzung und Dimensionierung der Misch- und Fördertechnik für einen zuverlässigen Betrieb dar. Die einzelnen Anlagenkomponenten sind zwar erprobt und vielfach eingesetzt, jedoch noch nie in dieser Zusammenstellung in Kombination mit den beschriebenen biogenen Substraten.

Für die Entwicklung des Verfahrens wurden im Labor verschiedene Biomassen und deren Reaktion mit Branntkalk untersucht. Ergänzt wurden diese Untersuchungen um Versuche an einem halbtechnischen Aufbau mit Umsatzmengen von etwa 300 kg Biomasse und am Ende an einer Anlage im großtechnischen Maßstab mit Umsatzmengen von etwa 500 kg Biomasse pro Charge. Dabei wurden vor allem die Erwärmung des Materials und die Freisetzung des enthaltenen Ammonium-Stickstoffs in Form von Ammoniak untersucht. Ergänzt wurden die Untersuchungen mit Betrachtungen zu Stromverbrauch und Biogaspotenzial. Abschließend wurden eine Stoffstrombilanz und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt. Abbildung 2-2 zeigt ein Fließschema mit dem Anlagenkonzept.

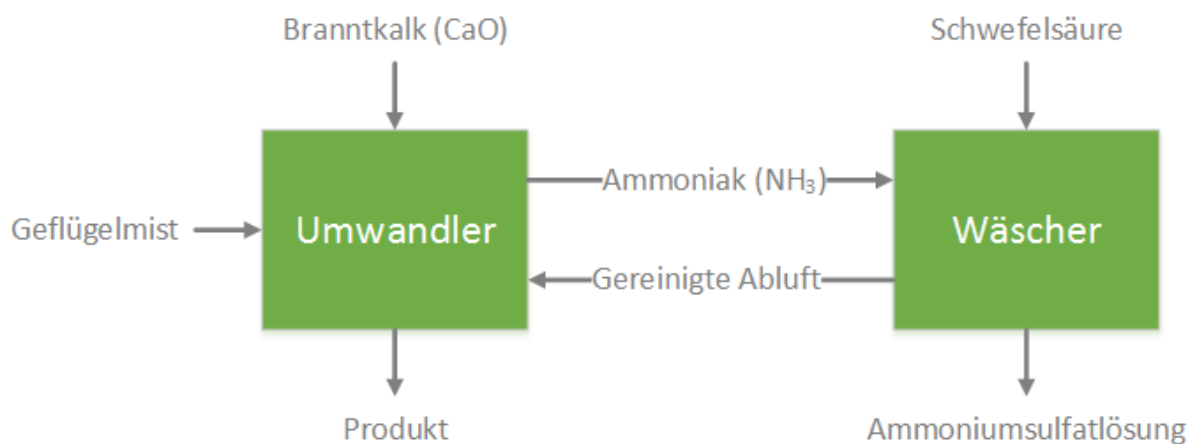


Abbildung 2-2: Fließschema des Anlagenkonzeptes

3 PROJEKTERGEBNISSE

3.1 Versuche im Labor

In den Laborversuchen sollte anhand unterschiedlicher Substrate die Wirkung der Zugabe von Branntkalk im Labormaßstab untersucht werden. Da sich die in Frage kommenden Substrate von der Struktur und dem Wassergehalt sehr stark unterscheiden, wurden dafür stellvertretend die drei Substrate Hühnertrockenkot (HTK), Putenmist und separierter Gärrest ausgewählt. Hühnertrockenkot weist einen hohen Trockenrückstandsgehalt (TR-Gehalt) mit 59 % TR und eine geringe Partikelgröße auf. Demgegenüber besteht der Putenmist zu einem Großteil aus langfaserigem Stroh und der TR-Gehalt liegt mit 45 % TR etwas niedriger. Noch niedriger liegt der TR-Gehalt von separiertem Gärrest aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit 19 % TR, wobei hier die Struktur mit Faserlängen von maximal 30 mm feiner ausfällt. Tabelle 3-1 zeigt die TR- und oTR-Gehalte der drei untersuchten Substrate.

Tabelle 3-1: Trockenrückstandsgehalte der untersuchten Substrate

Substrat	TR-Gehalt	oTR-Gehalt
	[%]	[%]
Hühnertrockenkot (HTK)	59,1%	73,4%
Hähnchenmist	59,0%	88,1%
Putenmist	44,9%	83,5%
Separierter Gärrest	19,2%	70,7%

TR: Trockenrückstand; oTR: organischer Anteil des Trockenrückstands

Für die Auswahl einer geeigneten Versuchsanlage für die Vermischung der ausgewählten Substrate mit Branntkalk wurden folgende Anforderungen gestellt:

- Material: aus Edelstahl oder Kunststoff zur Vermeidung von Korrosion
- Unempfindlich gegen hohe Temperaturen (bis ca. 100 °C)
- Möglichkeit zur Absaugung der entstehenden Gase
- Leicht zu reinigender Aufbau
- Zur Durchmischung einer Materialmenge von etwa 100 bis 500 g

Nach Berücksichtigung der aufgeführten Aspekte fiel die Wahl auf einen Kutter als Tischgerät in Edelstahlausführung mit Deckel und 3,3 l Volumen. Erweitert wurde die Versuchsanlage

mit einer Absaugung der Abluft, die in mit Schwefelsäure gefüllten Waschflaschen gereinigt wird. Zudem wurden an den Behälter zwei Temperatursensoren unter einer Dämmung angebracht, mit denen der Temperaturverlauf aufgezeichnet wird. Abbildung 3-1 zeigt den Versuchsaufbau.



Abbildung 3-1: Versuchsaufbau Kutter (links) und Versuch mit separiertem Gärrest (rechts)

In den Versuchen sollten die drei ausgewählten Substrate mit drei unterschiedlichen Mengen an Branntkalk versetzt werden, der Temperaturverlauf aufgenommen sowie die Reduktion an Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) im Substrat ermittelt werden. Als Branntkalk (CaO) wurde Wülfrather Weißfeinkalk (Neutralac Q 90®) mit 94,6 % CaO verwendet und mit den drei Dosierungen 3 %, 5 % sowie 8 % bezogen auf die Frischmasse zugegeben. Ein Versuch begann mit der Zugabe des Branntkalks und dauerte 60 Minuten, über die die Temperatur aufgenommen wurde. Am Ende wurde der Gehalt an Ammonium-Stickstoff im Substrat bestimmt.

Bei ersten Versuchen zeigte sich recht schnell, dass der Kutter nur für die Behandlung von Hühnertrockenkot geeignet war. Die größte Herausforderung stellte dabei das Vermischen von separiertem Gärrest und Putenmist mit dem Branntkalk dar. Beide Substrate verklumpten und ließen sich nicht mit dem Kalk vermischen. Vor allem bei separiertem Gärrest bereiteten dabei das Anhaften an der Behälterwand und die damit verbundene unzureichende Durchmischung Probleme. Die Zugabe von Sägespänen als Strukturmaterial brachte zwar eine Verbesserung, jedoch nur bei zu geringen Mengen. Dabei nahm zudem die Staubentwicklung zu. Der Staub blieb zusammen mit der kondensierenden Feuchtigkeit an Deckel und Behälterwand haften. Bei Putenmist führten vor allem die langen Strohfasern zu Problemen bei der Durchmischung, indem sie die Rührorgane blockierten oder der Putenmist ohne Durchmischung lediglich im Kreis gefördert wurde.

Aus diesen Erfahrungen heraus wurde ein zweiter Mischer konstruiert (Abbildung 3-2). Dieser verfügt über einen Rührer mit waagerechten Rührblättern auf zwei Ebenen, um einen möglichst geringen Widerstand bei der Durchmischung zu bieten und das „im Kreis fördern“ zu vermeiden. Zudem lässt sich dieser Rührer mit langsameren Geschwindigkeiten betreiben als der Kutter. Auch diese Versuchsanlage wurde mit Temperatureaufnahme und Gaswäsche ausgestattet. Doch bedauerlicherweise konnte auch mit dieser Versuchsanlage Branntkalk nur in Hühnertrockenkot zufriedenstellend eingemischt werden.

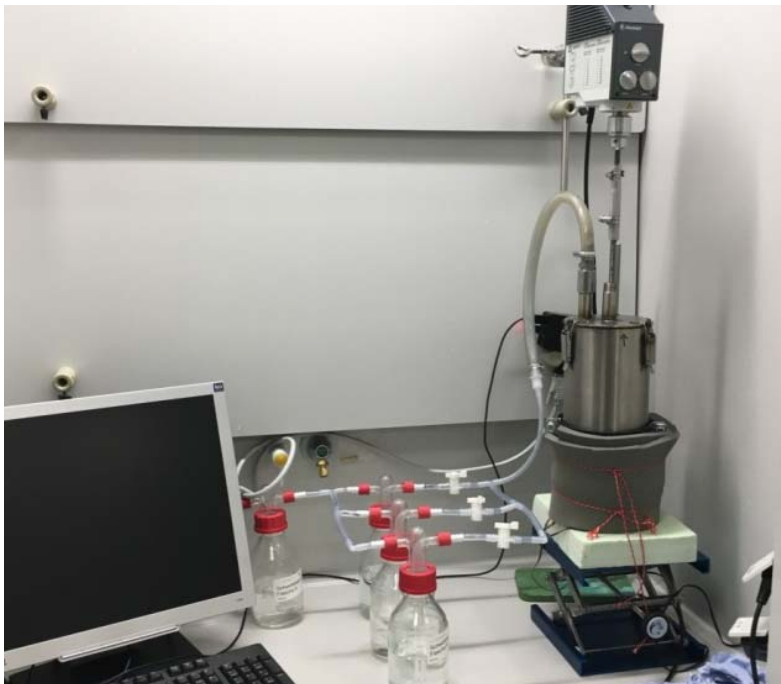


Abbildung 3-2: Versuchsaufbau Mischer (Eigenkonstruktion)

Es zeigte sich, dass vor allem für feuchte und langfaserige Biomassen die Untersuchungen im Labormaßstab mit Hilfe der verwendeten Geräte nicht praktikabel waren. Zudem ist der Aufwand für die Versuche im großtechnischen Maßstab vergleichbar. Gleichzeitig lassen sich aber gut die Herausforderungen an die Misch- und Fördertechnik im großtechnischen Maßstab erkennen. Lediglich mit Hühnertrockenkot konnten belastbare Ergebnisse erzielt werden, die im Folgenden gezeigt werden.

Abbildung 3-3 zeigt die Temperaturverläufe für die drei Versuchsansätze mit Hühnertrockenkot über eine Versuchsdauer von 60 Minuten. Die Temperatur steigt bei allen drei Ansätzen von ca. 20 °C auf bis zu 36 °C nach 60 Minuten. Unabhängig von der zugegebenen Branntkalkmenge ist dabei die jeweilige Temperaturdifferenz zwischen Start- und Endpunkt der Messreihe mit 15,2 °C bis 15,7 °C vergleichbar. Hieraus lässt sich daher der Schluss zie-

hen, dass die Höhe des zugegebenen Anteils Branntkalk keinen Einfluss auf die Temperaturentwicklung hat. Der hier abgebildete Temperaturverlauf weicht jedoch deutlich von den Temperaturmessungen direkt im Substrat bei der Umwandlung im großtechnischen Maßstab ab. Hier wurden bereits nach 5 Minuten Temperaturen von über 80 °C und einer Temperaturdifferenz von bis zu 50 °C erreicht. Zudem wurden in einem weiteren Versuch mit Hühnertrockenkot und 8 % Branntkalk nach 60 Minuten eine Temperatur von 56 °C bei gleicher Ausgangstemperatur von 20 °C erreicht. Daraus muss man schließen, dass die indirekte Messung der Temperaturen über die Behälterwand zu träge und somit keine geeignete Methode zur Erfassung der Erwärmung des Materials aufgrund der Reaktion mit Branntkalk ist.

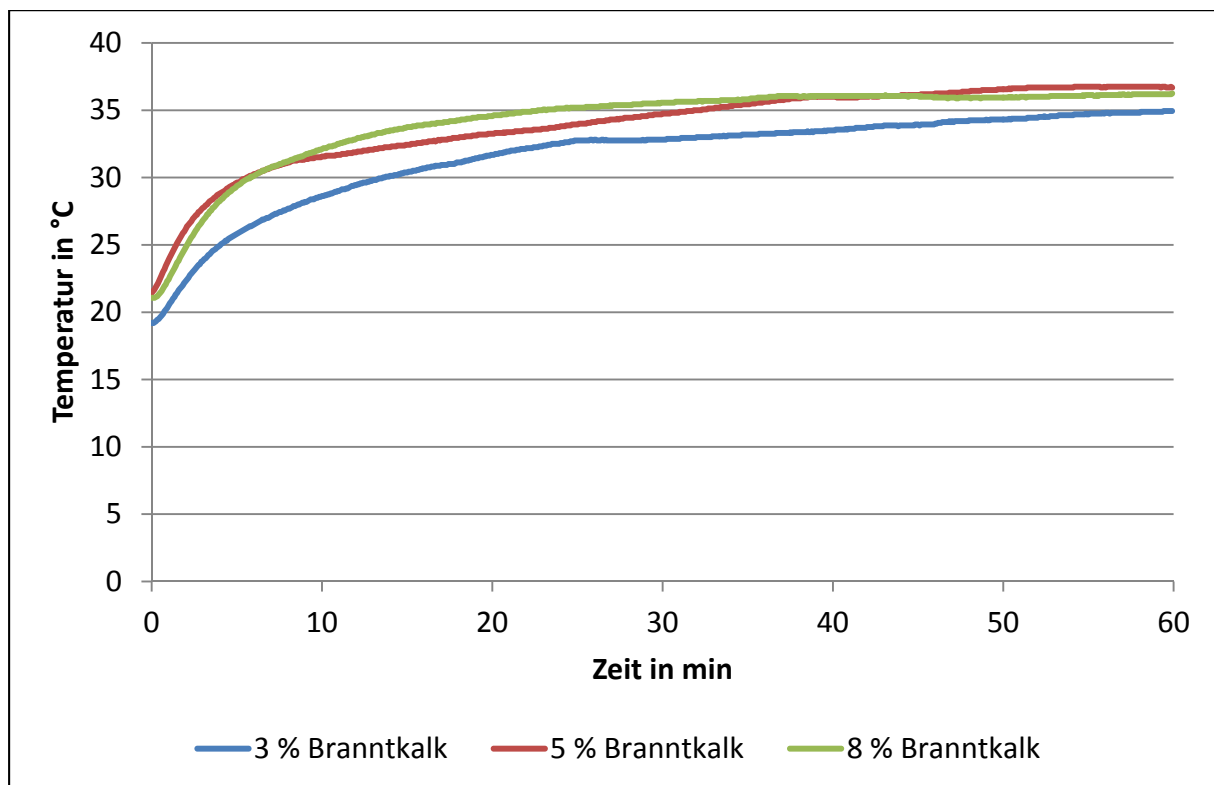


Abbildung 3-3: Temperaturverlauf in Hühnertrockenkot

Abbildung 3-4 zeigt die Reduktion an Ammonium-Stickstoff in Hühnertrockenkot nach der Zugabe von 3 %, 5 % und 8 % Branntkalk. Dazu wurden nach 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45 und 60 Minuten Proben gezogen und analysiert. Mit steigenden Kalkdosen stieg auch die Reduktion von Ammonium-Stickstoff im Substrat auf bis zu 86 % bei der Vermischung mit 8 % Branntkalk.

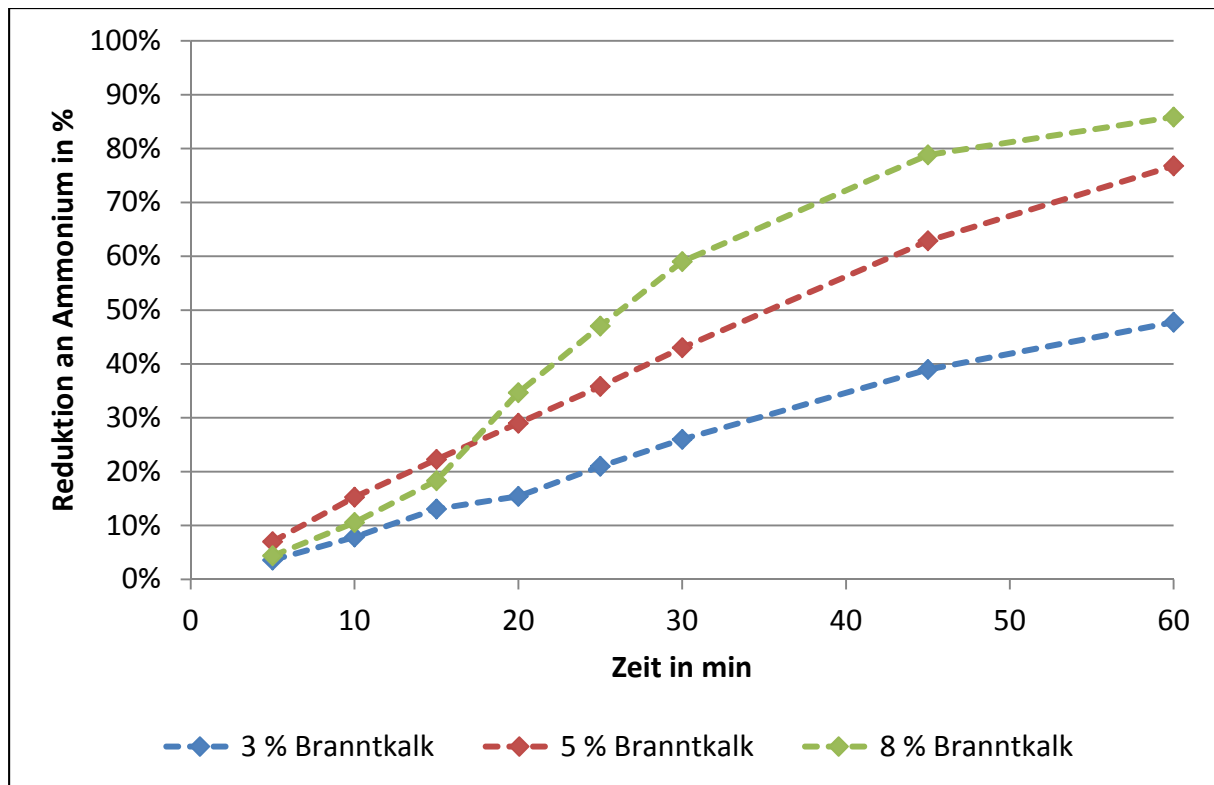


Abbildung 3-4: Reduktion von Ammonium-Stickstoff in Hühnertrockenkot

3.2 Versuche an der halbtechnischen Anlage

Zur Überprüfung der grundsätzlichen Eignung des Konzeptes hat die Fa. THiEL bereits eine halbtechnische Versuchsanlage in Teilen errichtet. Im Rahmen einer ersten Beratung samt Auftragsanalytik unterstützte die FH Münster die Fa. THiEL bei der Untersuchung ihrer Anlage. Hierbei wurden erste orientierende Vorversuche mit separiertem Gärrest einer Biogasanlage und mit Hühnertrockenkot durchgeführt und der Einfluss der Behandlung auf die enthaltenen Nährstoffe untersucht. Grundlegender Zweck der Anlage ist die Hygienisierung durch Erhitzen der Substrate (70 °C, 1 Stunde, BioAbfV Anhang 2 Nummer 2.2.1) [1].

Bei der halbtechnischen Versuchsanlage handelt es sich um einen Reaktor (Umwandler), mit dem pro Charge etwa 200 bis 300 kg Biomasse mit Branntkalk vermischt werden können. Über einen mit Wiegezellen ausgestatteten Vormischer wird das zu behandelnde Material eingewogen und homogenisiert. Die Energie für das notwendige Aufheizen und Halten der Temperatur wird aus der Reaktion des Wasseranteils und dem zugegebenen Branntkalk genutzt. Zur Sicherstellung der Hygienisierung ist die Anlage zusätzlich mit einer heizölbetriebenen Stützfeuerung ausgerüstet. Abbildung 3-5 zeigt die halbtechnische Versuchsanlage.



Abbildung 3-5: Halbtechnische Versuchsanlage mit Umwandler und Heizölbrenner (links) sowie Vormischer (rechts)

Im Rahmen der Versuchsbegleitung wurde die Anlage mit unterschiedlichen Substraten und Fahrweisen testweise betrieben. Hierbei wurden bereits erste verfahrenstechnische Probleme erfasst und gelöst sowie die grundlegenden chemischen und verfahrenstechnischen Zusammenhänge erarbeitet.

Im Folgenden werden beispielhaft die Ergebnisse einer Versuchsreihe mit Hähnchenmist beschrieben, bei der dieser zum einen mit 4 % Branntkalk vermischt und zum Vergleich ausschließlich auf 70 °C erhitzt und durchmischt wurde. Der Versuchsansatz mit Zugabe von 4% Branntkalk wurde ohne zusätzliche Beheizung durchgeführt. Bei beiden Ansätzen betrug die Versuchsdauer eine Stunde. Analysiert wurden nach qualifizierter Probennahme die Parameter Trockensubstanz und die Gehalte an Gesamt-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$), Gesamt-Phosphat (P_2O_5), Kalium (K_2O), Magnesium (MgO), Calcium (CaO) sowie Schwefel (S). In Tabelle 3-2 sind die Ergebnisse der Nährstoff-Analyse für die unbehandelte, die erhitzte und die mit Branntkalk behandelte Probe aufgeführt.

Tabelle 3-2: Ergebnisse der Nährstoff-Analysen für Hähnchenmist

Parameter	Einheit	Unbehandelt	Nach Erhitzung	Nach Branntkalkzugabe	
TS-Gehalt	% FM	59,3	57,6	65,2	+10 %
Stickstoff (N _{ges})	% FM	2,61	2,45	2,17	-17 %
Ammonium-N (NH ₄ -N)	% FM	0,58	0,62	0,19	-67 %
Phosphor (P ₂ O ₅)	% FM	1,68	1,83	1,76	+5 %
Kalium (K ₂ O)	% FM	2,24	2,35	2,40	+7 %
Magnesium (MgO)	% FM	0,76	0,74	0,78	+3 %
Calcium (CaO)	% FM	1,64	1,98	5,83	+255 %
Schwefel (S)	% FM	0,301	0,485	0,304	+1 %

FM: Frischmasse; TS: Trockensubstanz

Während Trockensubstanzgehalt und Nährstoffgehalte bei der ausschließlichen Erhitzung auf 70 °C über eine Stunde nahezu unverändert blieben, sank der Gehalt an Ammonium-Stickstoff deutlich um 67 % bei der mit Branntkalk vermengten Probe. Zudem stieg durch die Zugabe von Branntkalk der Trockensubstanzgehalt und vor allem der Gehalt an Calcium. Dabei fanden sich die zugegebenen 4 % Branntkalk in Form von Calciumoxid in der Probe wieder. Der erhöhte Wert bei Schwefel in der Probe nach Erhitzung hängt vermutlich mit einem schwefelreicheren Teil im Mist zusammen.

3.3 Ammoniakrückgewinnung durch saure Wäsche

Bei der Hygienisierung mit Hilfe der Zugabe von Branntkalk wurde neben dem Eintrag von Reaktionswärme auch eine nicht unerhebliche Menge an Alkalität beigetragen. In Folge dessen stiegen die Temperatur und der pH-Wert des Gemisches im Umwandler, was zu einer vermehrten Ammoniak-Austreibung führte. Ammoniak fand sich als flüchtiges Gas in der Abluft wieder und musste für den sicheren Betrieb der gesamten Anlage aus der Abluft ausgewaschen werden. Dies erfolgte in einer gezielten Abluftabsaugung in Kombination mit einem sauren Wäscher und der Rückführung der dann ammoniakfreien Luft. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 3-6 skizziert.

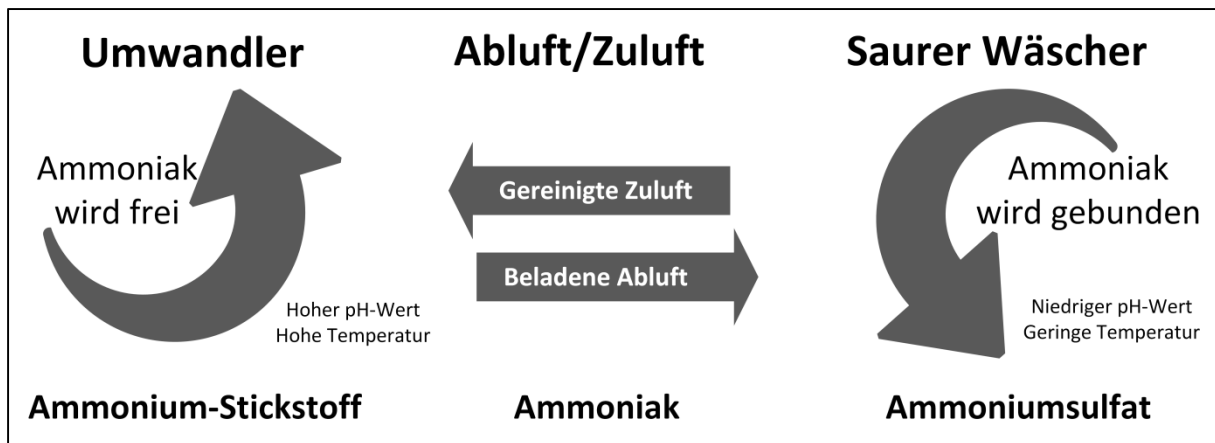


Abbildung 3-6: Prinzip Stickstoffrückgewinnung mittels Ammoniakwäsche

Da Ammoniak ein wertvoller Stickstoffdünger ist, ist die Rückgewinnung des Ammoniaks wesentlicher Bestandteil des Projektes. Ein saurer Wäscher wurde für die Anlage zur Hygienisierung auf sicherer Basis der im Projekt gemachten Erfahrungen in Labor- und halbtechnischen Versuchen ausgelegt. Aufgrund der vergleichsweise alkalischen Ausgangsbedingungen war ein Zurückgreifen auf bestehende Auslegungen und Erfahrung mit der Trocknung von vergleichbaren Substraten nicht möglich. Konventionelle Abluftwäscher sind für vergleichsweise sehr viel höhere Luftdurchsätze ausgelegt und verfügen daher über eine deutlich geringere Effizienz. Der hier ausgelegte und gebaute saure Wäscher entspricht dem Industriestandard chemischer Anlagen.

Die Stickstoffrückgewinnung ist keine als negativ zu bewertende zusätzlich notwendige Maßnahme, sondern ermöglicht vielmehr erst die alkalische Einstellung des zu trocknenden Substrates mit dem Branntkalk eine besonders effiziente und weitgehende Stickstoffrückgewinnung. Vorteilhaft ist insbesondere, dass in einem sauren Wäscher mit Hilfe von Schwefelsäure eine Ammoniumsulfat-Lösung in Mineraldüngerqualität anfällt.

Für die technische Auslegung eines sauren Wäschers ist die Definition der vorliegenden technischen und chemischen Daten der Ströme und der technischen Zielvorgaben des Wäschers von Bedeutung. Die für diese Auslegung definierten Stoffdaten sind in Tabelle 3-3 aufgelistet. Der Wäscher wird für einen Volumenstrom Abluft von insgesamt 200 m³/h ausgelegt. Die Ammoniakbeladung der Abluft wurde aufgrund der an der Anlage durchgeführten Versuche auf 1.800 mg/m³ festgelegt. Zur sicheren Einhaltung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [4] wurde die Austrittsbeladung mit Ammoniak in der Luft nach der sauren Wäsche im Wäscher auf einen Zielwert von 30 mg/m³ gesetzt. Die Vorgaben der TA Luft werden hier aus Sicherheits-Gründen verwendet und gewährleisten einen siche-

ren Betrieb des Wäschers. Durch die Kreislaufführung bzw. Kapselung der beladenen und der gereinigten Luft zwischen den Anlagenteilen könnten auch niedrige Beladungswerte erreicht werden.

Tabelle 3-3: Auslegungsdaten für die Modellierung des sauren Wäschers

Ströme	Flüssigkeit	Gas	Betriebstemperatur 20 C
	Wasser	Luft	Betriebsdruck 1.013 bar
Molmasse	18 kg/kmol	29 kg/kmol	
Dichte	998 kg/m ³	1,21 kg/m ³	
Viskosität	1,04 cP	0,0177 cP	
Oberflächensp.	0,0728 N/m		
Dampfdruck	2,37E3 Pa		
Molbeladung Eintritt	0	0,00245	
Molbeladung Austritt	0,000121	4,16E-5	
Konzentration Eintritt	0 g/m ³	1,77 g/m ³	
Konzentration Austritt	116 g/m ³	0,03 g/m ³	
Diffusionskoeffizient	1,83E-5 cm ² /s	0,223 cm ² /s	
Stoffübergangskoeffizient	1,1E-4 m/s	3,5E-2 m/s	
Molenstrom	1,669E5 mol/h	8344,8 mol/h	
Massenstrom	3004,1 kg/h	242 kg/h	
Volumenstrom	3,0102 m ³ /h	200 m ³ /h	

Aufgrund der Komplexität der verfahrenstechnischen Zusammenhänge erfolgt die technische Auslegung auf Basis einer Simulation mit der Software „Rhapsody“ der Firma Rauschert Verfahrenstechnik. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3-7 dargestellt. Es galt auf Basis der Durchsätze an Luft und Waschflüssigkeit einen optimalen Betriebspunkt in Bezug auf die verwendete regellose Füllkörperschüttung sowie der Kolonnengeometrie zu finden. Dieser Betriebspunkt hängt im Wesentlichen von den geometrischen Eigenschaften der Füllkörper ab. Die hier verwendeten Füllkörper „Hiflow 15-7“ weisen eine besondere Eignung für erhöhte Schmutzfrachten auf und zeichnen sich trotzdem durch einen hohen Lückengrad und eine hohe spezifische Oberfläche aus.

Die grüne Kurve zeigt die Staugrenze. Oberhalb dieser Kurve wird die Waschflüssigkeit von der aufströmenden Luft behindert. Dieser Betriebspunkt ermöglicht ein Maximum an Stoffaustausch. Die rote Kurve zeigt die Flutgrenze. Oberhalb dieser Grenze wird die Waschflüssigkeit von der aufströmenden Luft aufgestaut und der Druckverlust in der Kolonne steigt erheblich. Ein Betrieb oberhalb dieser Grenze ist technisch nicht möglich. Aufgrund der sicheren Auslegung des Wäschers auch für Beladungsspitzen wurde über die Wahl der Füllkörper und dem Kolonnendurchmesser, in diesem Fall 400 mm ein konservativer Betriebs-

punkt unterhalb der Staugrenze bei etwa gleichverteilten Durchsätzen an Waschflüssigkeit und zu waschender Luft gewählt.

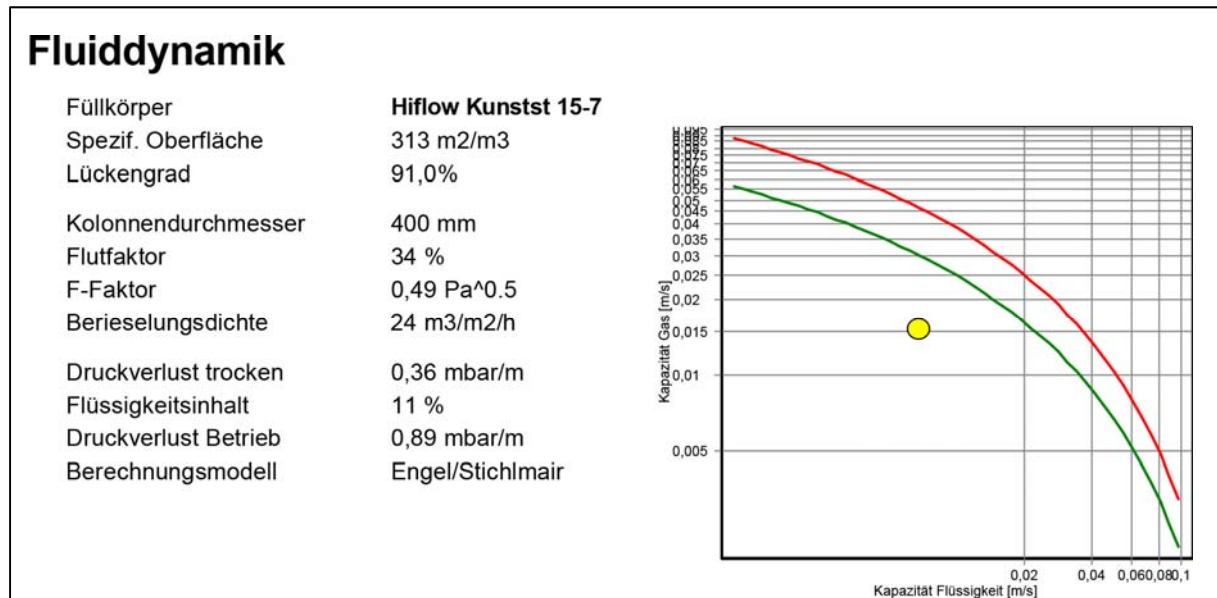


Abbildung 3-7: Simulationsbericht zur sauren Wäsche von Ammoniak

Basierend auf den Stoffdaten, den Zielvorgaben und den technischen Werten ergab sich das Simulationsergebnis in Tabelle 3-4. Mit 4,1 Übergangseinheiten mit einer theoretischen -höhe von 0,09 m ergab sich eine notwendige Füllkörperschüttung von 0,4 m. Für die sichere Verhinderung von Beladungsspitzen wurde daher eine Gesamtschüttungshöhe von 1,5 m angesetzt.

Tabelle 3-4: Simulationsergebnis für den sauren Wäscher

Stoffübergang

Übergangskomponente	Ammoniak
Molmasse	17,3 kg/kmol
Chemische Wäsche	
Effektive Austauschfläche	145 m ² /m ³
Übergangseinheitenzahl (NTU)	4,1
Übergangseinheitshöhe (HTU)	0,09 m
Schüttungshöhe nach Modell	0,4 m
Gewählte Schüttungshöhe	1,5 m
Berechnungsmodell	Onda

Abbildung 3-8 zeigt den Schwefelsäurewäscher mit Dosierstation für Schwefelsäure als erste Optimierungsmaßnahme an der halbtechnischen Versuchsanlage. Mit der Dosierstation wurde kontinuierlich Schwefelsäure (96 %ige) in die Waschflüssigkeit nachdosiert, um einen

pH-Wert von etwa 2 darin zu halten. Die direkte Verwendung hochkonzentrierter Schwefelsäure im Wäscher ist aus Korrosionsgründen nicht empfehlenswert.



Abbildung 3-8: Schwefelsäurewäscher an der halbtechnischen Versuchsanlage (linkes Bild im Hintergrund) und Dosierstation für Schwefelsäure (rechtes Bild)

Sobald die Sättigung bzw. Löslichkeitsgrenze der Waschflüssigkeit an Ammoniumsulfat erreicht wird, muss diese ausgeschleust werden. Dabei hängt die Löslichkeitsgrenze von der Temperatur ab und liegt zwischen 40 und 50 % (siehe Abbildung 3-9). Zur Bestimmung der Konzentration von Ammoniumsulfat in der Waschlösung wird dazu die elektrische Leitfähigkeit als Parameter erfasst. Wie Abbildung 3-10 zeigt, besteht eine Abhängigkeit zwischen der Konzentration und der elektrischen Leitfähigkeit in Ammoniumsulfatlösung. Je nach gewünschter Konzentration kann somit gezielt über die elektrische Leitfähigkeit der Zeitpunkt zur Ausschleusung der Ammoniumsulfatlösung eingestellt werden. Die vier im Praxisbetrieb des Wäschers bestimmten Werte von Ammoniumsulfatkonzentration und elektrischer Leitfähigkeit in der Waschflüssigkeit zeigen die Übereinstimmung mit der theoretischen Kurve.

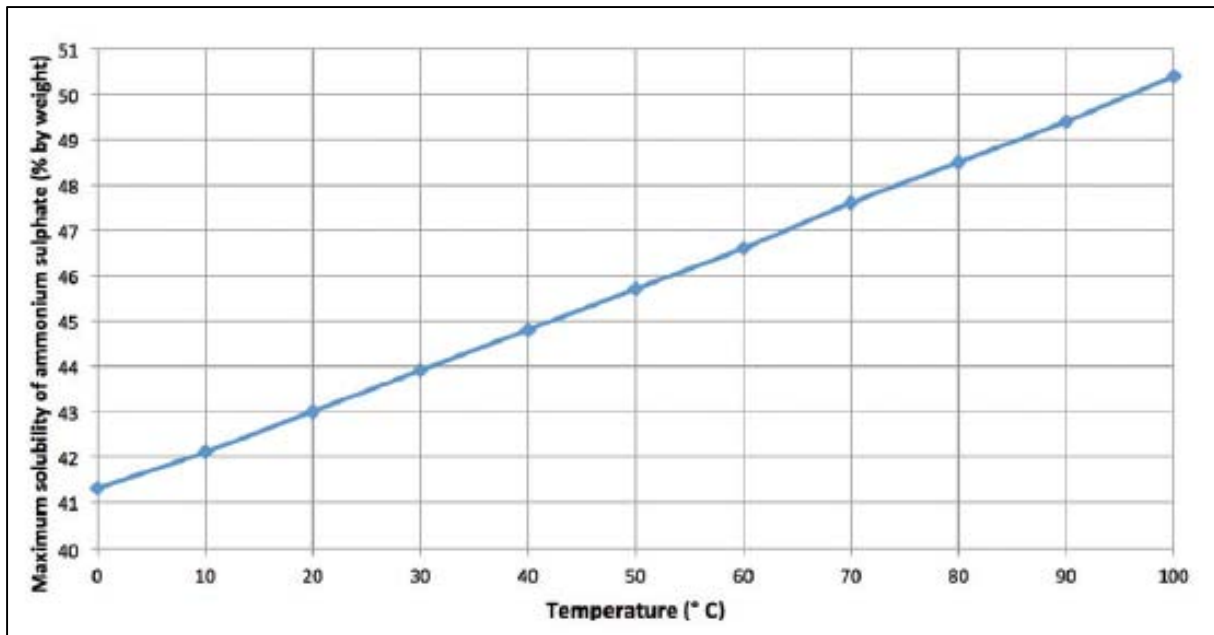


Abbildung 3-9: Maximale Löslichkeit von Ammoniumsulfat in Abhängigkeit von der Temperatur [5]

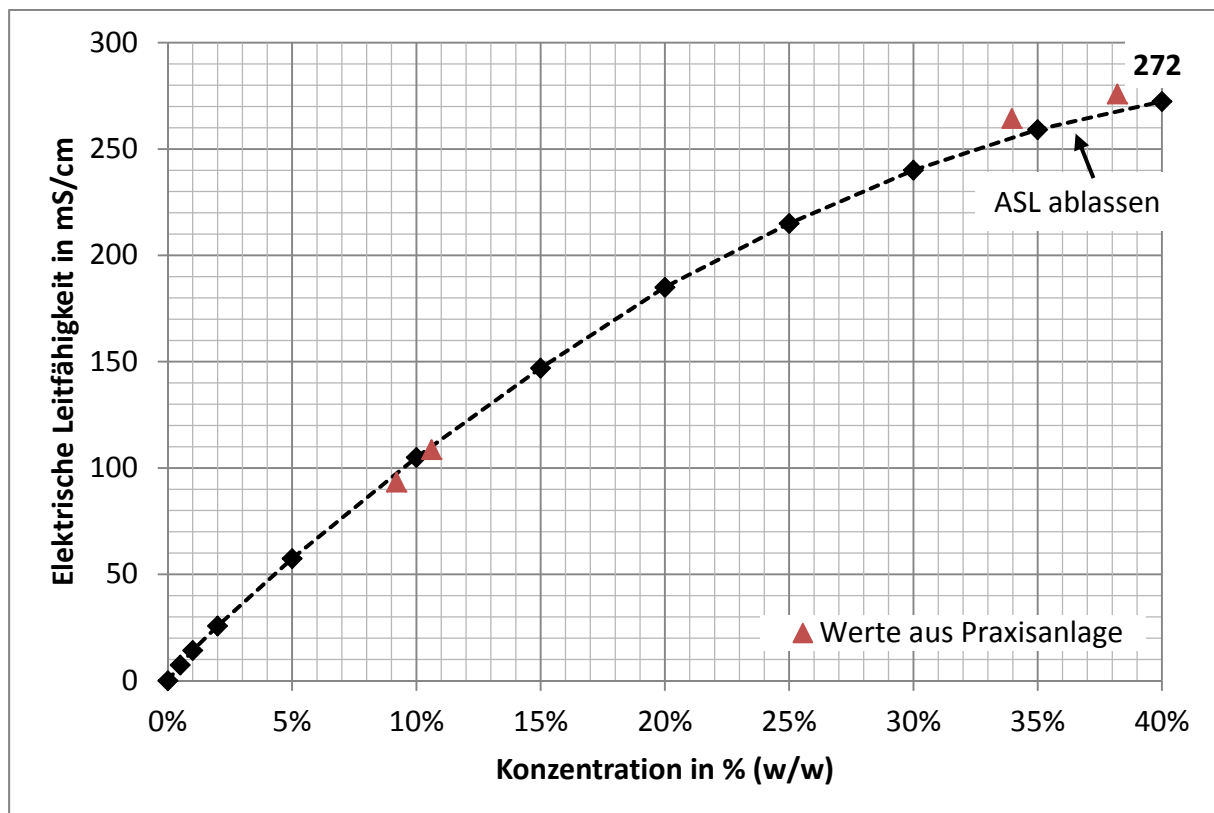


Abbildung 3-10: Elektrische Leitfähigkeit von Ammoniumsulfatlösung ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_2$) in Abhängigkeit der Konzentration

Als Herausforderung beim Betrieb des Wäschers zeigte sich die Staubentwicklung, die sich in der Waschflüssigkeit als störende Feststofffracht niederschlägt. Bei der Weiterentwicklung und Optimierung der Anlage sind daher geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Stau-

beintrags in die Waschflüssigkeit zu ergreifen, z.B. durch Filter oder einen vorgeschalteten Wäscher. Eine Beobachtung in dem Zusammenhang war, dass sich die Partikel in der Waschflüssigkeit gut absetzen.

Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Wäschers an der großtechnischen Versuchsanlage wurden zwei Messungen zur Ammoniakkonzentration in der Zu- und Abluft des Wäschers durchgeführt. Als Messgerät wurden dafür Dräger-Röhrchen mit der automatischen Dräger-Röhrchen Pumpe X-act 5000 (siehe Abbildung 3-11) verwendet. In Tabelle 3-5 sind die Ergebnisse der Messungen aufgeführt. Mit Eliminationsgraden von über 99 % wurde die Funktionsfähigkeit des Schwefelsäurewäschers bestätigt.



Abbildung 3-11: Automatische Dräger-Röhrchen Pumpe X-act 5000 [6]

Tabelle 3-5: Ammoniakkonzentration in der Zu- und Abluft des Wäschers

Messung	Substrat	Zuluft	Abluft	Eliminationsgrad
1	Putenmist mit Strohpelletseinstreu	100.000 ppm	25 ppm	99,9 %
2	Separierter Gärrest	10.000 ppm	30 ppm	99,7 %

Zusätzlich wurden Messungen zur Ammoniakkonzentration am Auslass der Anlage durchgeführt. Dabei wurden in einer Entfernung von 1 m vom Haufen 30 ppm und in 2 m Entfernung vom Haufen 100 ppm Ammoniak gemessen. Damit liegen diese Werte deutlich über dem Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für Ammoniak nach TRGS 900 von 20 ppm als Dauerbelastung und 40 ppm als kurzzeitige Belastung [7]. An dieser Stelle der Anlage sind daher unbedingt Strategien zur Reduzierung der Ammoniakemissionen zu ergreifen, da ein Ausgasen von

Ammoniak auch nach Austrag des behandelten Materials aus der Anlage nicht zu vermeiden ist. Daher ist für die nächsten Anlagen eine geschlossene Zwischenlagerung des Produkts mit gezielter Absaugung und Reinigung der Abluft vorgesehen.

3.4 Versuche an der großtechnischen Versuchsanlage

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse aus den Versuchen im Labor- und halbtechnischen Maßstab, entschloss sich die Fa. Thiel den Bau der großtechnischen Versuchsanlage zu realisieren. Abbildung 3-12 zeigt die Versuchsanlage im großtechnischen Maßstab.



Abbildung 3-12: Versuchsanlage im großtechnischen Maßstab

Die Anlage besteht aus zwei Umwandlern, in denen pro Charge jeweils etwa 500 kg Material verarbeitet werden können. Beide Umwandler stehen auf Wiegezellen und sind jeweils mit einem Heizölbrenner ausgerüstet. Als Vorlagebehälter dient ein Feststoffdosierer, von dem aus beide Umwandler beschickt werden. Der Branntkalk wird aus einem, ebenfalls auf Wiegezellen stehenden, Silo in die Zufuhrschnecke dosiert. Die mit Ammoniak beladene Abluft wird aus den Umwandlern aktiv abgesaugt und durch den Schwefelsäurewäscher im Umluft-

verfahren geleitet. Durch eine entsprechende Steuerungs- und Regelungstechnik wird die gesamte Anlage vollautomatisch betrieben. Herausforderung ist, dass es für einzelne Bausteine und erst recht in dieser Kombination bisher keine Vorlage gibt.

3.4.1 Versuchsprogramm

Im Laufe der Untersuchungen an der großtechnischen Versuchsanlage wurden in einer Reihe von Versuchsansätzen unterschiedliche Substrate, Branntkalkmengen und Behandlungszeiten getestet. Am Ende der Projektlaufzeit wurde dann in einer abschließenden Versuchsreihe der Stand der Leistungsfähigkeit der Anlage dokumentiert. Die Ergebnisse der abschließenden Versuchsreihe werden in den folgenden Kapiteln zusammen mit exemplarischen Ergebnissen aus den Versuchen während der Projektlaufzeit dargestellt.

Zur Inbetriebnahme und Weiterentwicklung der großtechnischen Versuchsanlage wurden vor allem die drei Substrate Hühnertrockenkot (HTK), Putenmist und Hähnchenmist verwendet. Abbildung 3-13 zeigt beispielhaft unbehandelten Hähnchenmist und nach der Vermischung mit Branntkalk im Umwandler. Deutlich ist neben der helleren Färbung auch die feinere Struktur des mit Branntkalk behandelten Hähnchenmistes zu erkennen.



Abbildung 3-13: Hähnchenmist unbehandelt (links) und nach der Vermischung mit Branntkalk im Umwandler (rechts)

In der abschließenden Versuchsreihe wurden die drei Substrate Putenmist mit Langstroh als Einstreu, Putenmist mit Strohpellets als Einstreu und separierter Gärrest aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage verwendet (siehe Abbildung 3-14). Den Substraten wurden 4 % und 8 % Branntkalk zugegeben. Die Verweilzeiten im Umwandler betragen jeweils 5 und 15 Minuten. Alle Versuchsansätze wurden im gleichen Umwandler und ohne zusätzliche Beheizung durchgeführt. Zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit der Anlage wurde der Versuchsansatz von Putenmist und Strohpelletseinstreu mit 8 % CaO und 15 Minuten Verweilzeit in beiden Umwandlern einmal durchgeführt. Und zusätzlich wurde zum Vergleich ein Hygienisierungsversuch mit separiertem Gärrest unter Beheizung auf 70 °C über eine Stunde ohne Zugabe von Branntkalk durchgeführt.

Beim Putenmist mit Langstroh als Einstreu führte das Stroh beim dritten Versuch zu einer Verstopfung der Förderschnecken, weshalb die Versuche mit 8 % Branntkalk nicht mehr durchgeführt werden konnten. In der Praxis wird dieses Material daher mit Materialien ohne langes Stroh, wie z.B. Hühnertrockenkot (HTK), vermischt.



Abbildung 3-14: Die drei Substrate der abschließenden Versuchsreihe: Putenmist mit Langstroh als Einstreu (links), Putenmist mit Strohpellets als Einstreu (Mitte) und separierter Gärrest (rechts)

Wesentlich für die Zuverlässigkeit der Anlage ist die korrekte Dosierung der eingestellten Mengen Branntkalk. Dazu zeigt Abbildung 3-15 die Calciumgehalte in den Proben der abschließenden Versuchsreihe. Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass sich beim Großteil der Proben der zugegebene Branntkalk wieder finden lässt. Trotzdem kommt es punktuell noch zu Abweichungen zwischen eingestellter und tatsächlicher Dosierung. An dieser Stelle besteht somit noch Optimierungspotenzial.

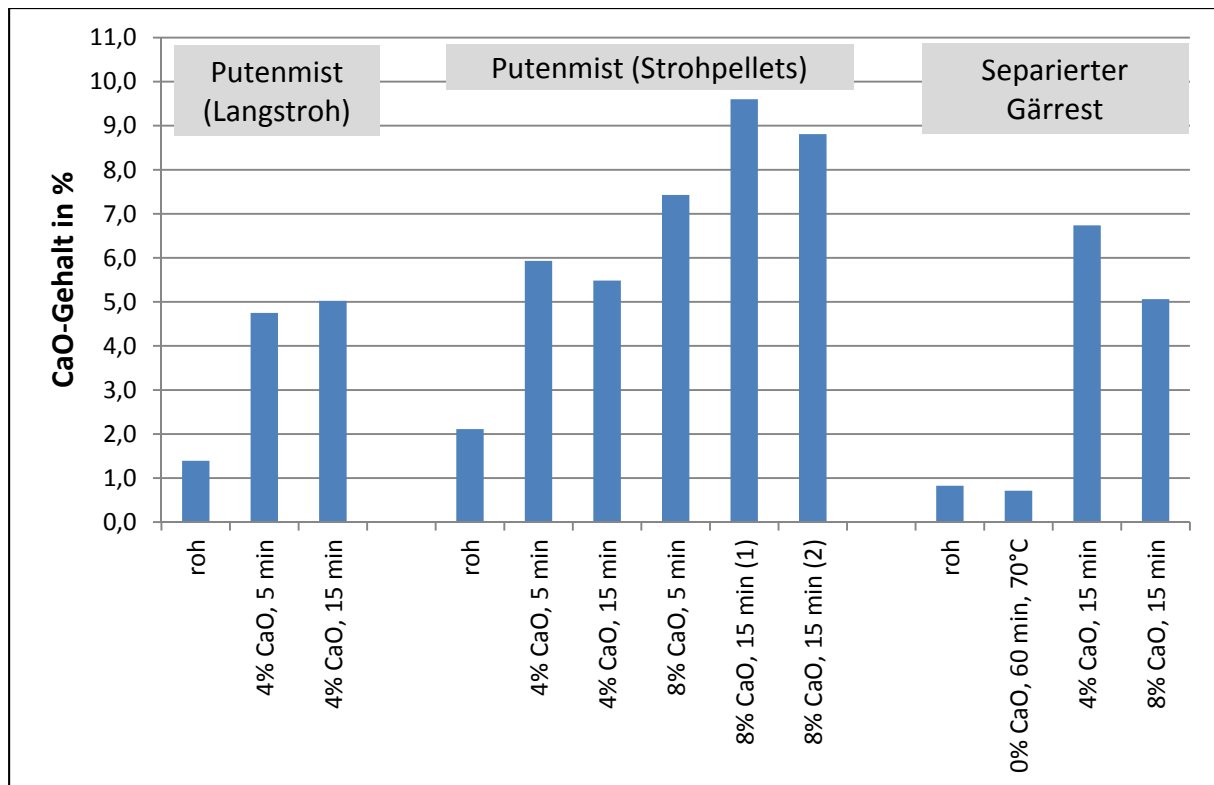


Abbildung 3-15: Calciumgehalte in den Proben der abschließenden Versuchsreihe

3.4.2 Temperaturverlauf

Vor allem im Hinblick auf eine Hygienisierung sind die erreichbaren Temperaturen in den Materialien durch die Reaktion mit Branntkalk entscheidend. Zudem ist bei höheren Temperaturen auch eine höhere Ausgasung an Ammoniak zu erwarten. Abbildung 3-16 zeigt dazu als Beispiel die Temperaturverläufe in Hühnertrockenkot mit 3 % und 8 % Branntkalk über den Zeitraum von einer Stunde.

Die Temperaturen wurden dabei mit einem Einstichthermometer direkt nach der Probenahme im Substrat und über direkt im Umwandler verbaute Sensoren gemessen. Dabei zeigten sich große Abweichungen bei der fest installierten Messtechnik gegenüber den tatsächlichen Werten. Aufgrund dessen wurde die Temperaturmessung überarbeitet und wird in zukünftigen Anlagen kontaktlos durchgeführt.

Bereits bei der ersten Probenahme nach 5 Minuten wurde beim Versuch mit 8 % Branntkalk die höchste Temperatur mit 81 °C im Material gemessen. Dies zeigt die direkte Erwärmung des Materials durch Reaktion des Branntkalks mit dem im Substrat enthaltenen Was-

sers. Selbst durch die Zugabe von lediglich 3 % Branntkalk wurde eine Temperatur von etwa 53 °C im Material erzeugt.

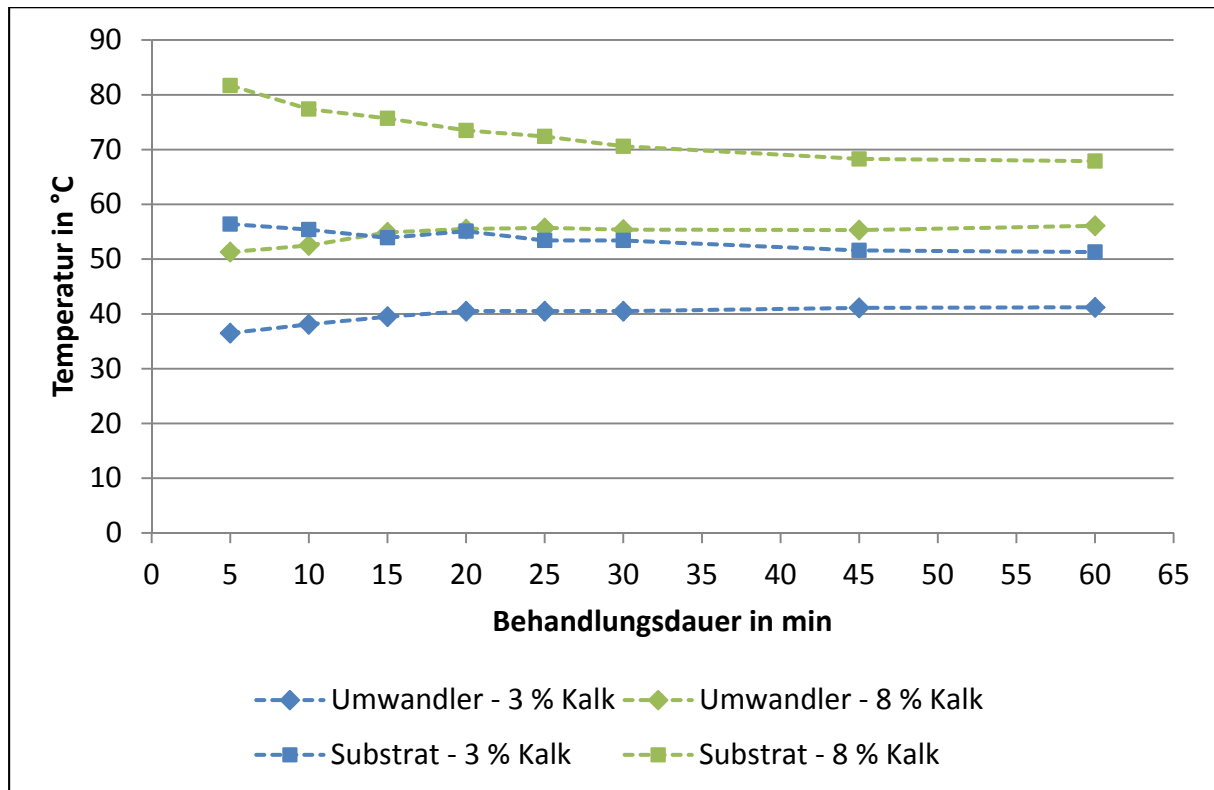


Abbildung 3-16: Temperaturverlauf in Hühnertrockenkot (HTK) in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer

Auch für die Versuchsreihe mit Putenmist und separierten Gärresten wurde die im Substrat erreichte Temperatur bestimmt (siehe Abbildung 3-17). Dabei zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der erzielbaren Temperaturen vom Substrat. Ebenso werden, mit Ausnahme des separierten Gärrestes, bei höheren Branntkalkmengen höhere Temperaturen erzielt und mit längerer Verweilzeit kühlt das Material ab.

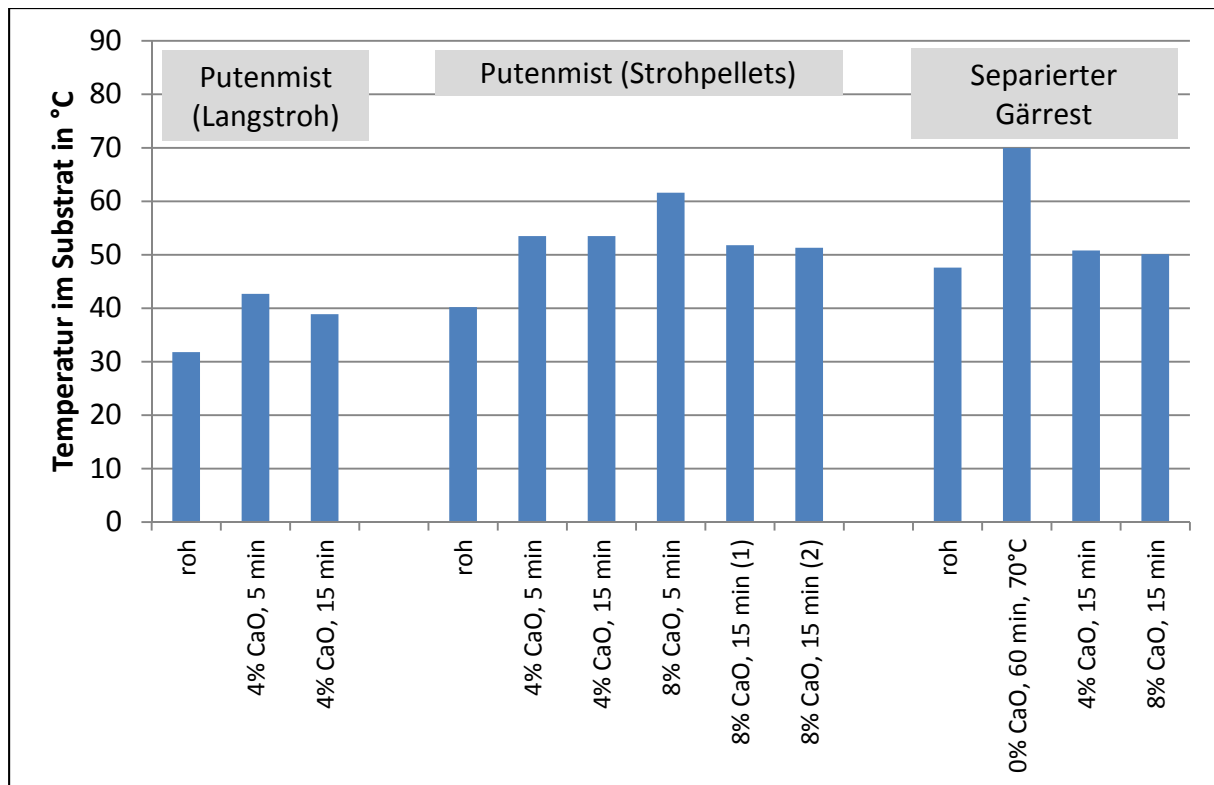


Abbildung 3-17: Erreichte Temperaturen in den Proben der abschließenden Versuchsreihe

3.4.3 Ammoniakreduktion

Der Anteil des ausgetriebenen Ammoniaks durch die Vermischung mit Branntkalk ist neben dem Substrat von der zugegebenen Menge Branntkalk und der Mischzeit abhängig. Mit steigenden Mengen Branntkalk und längerer Mischzeit werden größere Anteile des enthaltenen Ammonium-Stickstoffs in Form von Ammoniak freigesetzt. Abbildung 3-18 zeigt dazu beispielhaft den zeitlichen Verlauf der Ammoniumreduktion in Hühnertrockenkot nach der Zugabe von 3 % und 8 % Branntkalk. Mit einer Branntkalkmenge von 8 % werden demnach bis zu 70 % des enthaltenen Ammoniaks innerhalb einer Stunde ausgetrieben. Bereits nach 10 Minuten wurden dabei 61 % des enthaltenen Ammoniaks freigesetzt. Dagegen wurde durch die Zugabe von 3 % Branntkalk der Ammoniumgehalt um lediglich 42 % reduziert. Zudem geschah dies zeitlich weniger dynamisch.

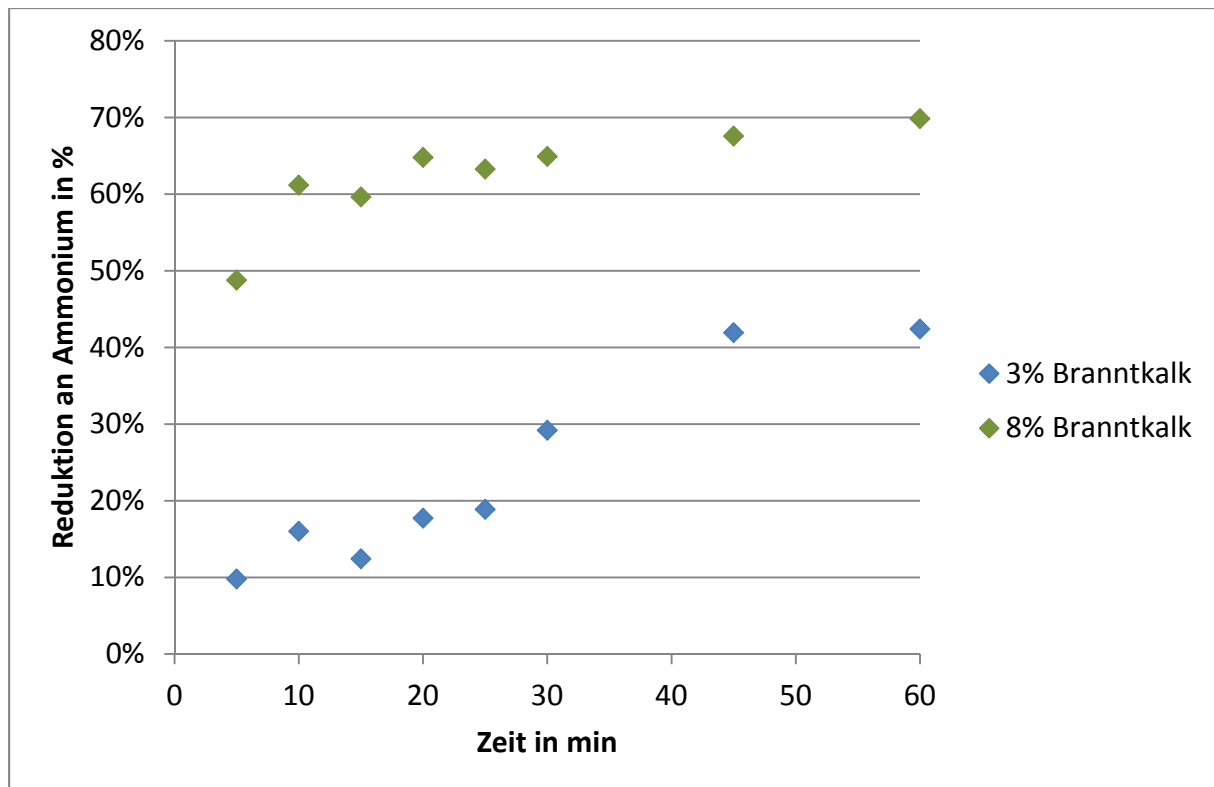


Abbildung 3-18: Reduktion an Ammonium in Hühnertrockenkot (HTK) in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer

Die Ergebnisse zur Reduktion der Ammoniumgehalte der abschließenden Versuchsreihe mit Putenmist und separierten Gärresten zeigen Abbildung 3-19, Abbildung 3-20 und Abbildung 3-21. Im Vergleich der Einstreuvarianten beim Putenmist werden beim Langstroh mit etwa 46 % gegenüber ca. 30 % bei den Strohpellets höhere Ammoniumreduktionen in den Ansätzen mit 4 % Branntkalk erzielt. Die höchste Reduktion wurde mit 69 % bei Putenmist mit Strohpellets als Einstreu und 8 % Branntkalk nach 15 Minuten erzielt.

Bei den Ergebnissen in separiertem Gärrest fällt die mit 45 % höhere Reduktion an Ammonium-Stickstoff bei der Probe mit 4% Branntkalk auf. Dies ist wohl auf eine fehlerhafte Dosierung oder Rückstände an Branntkalk in der Anlage zurück zu führen, worauf auch die abweichenden Gehalte an Calcium in Abbildung 3-15 hinweisen. Durch die reine Erwärmung des Materials auf 70 °C über eine Stunde wurden mit 5 % nur geringe Mengen Ammoniak ausgetrieben.

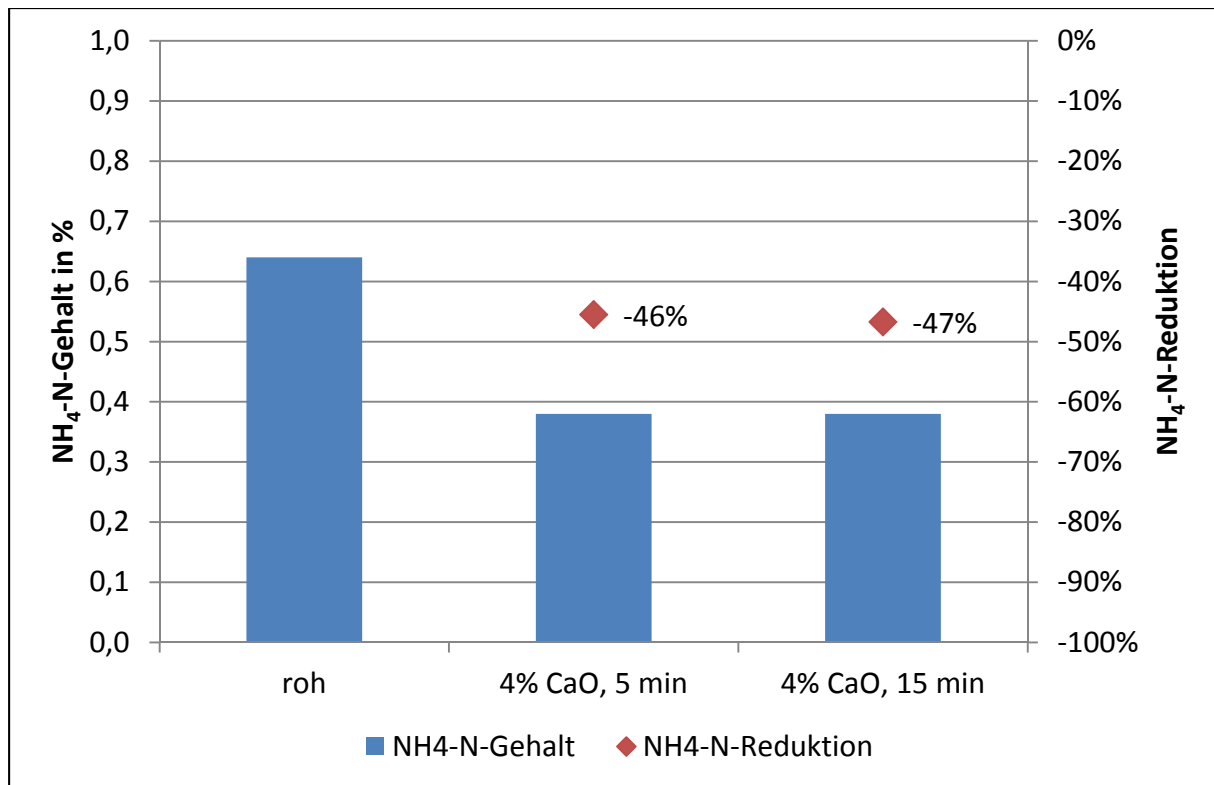


Abbildung 3-19: Reduktion an Ammonium in Putenmist mit Langstroh als Einstreu

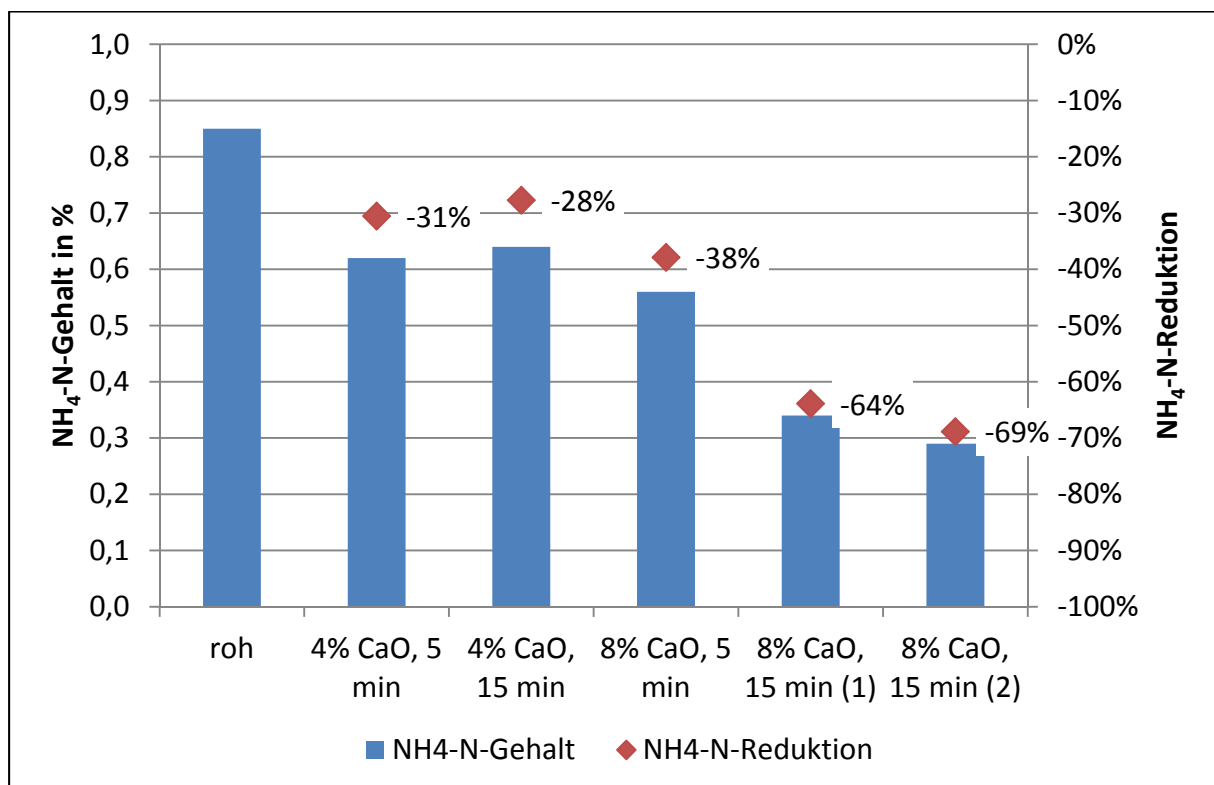


Abbildung 3-20: Reduktion an Ammonium in Putenmist mit Strohpellets als Einstreu

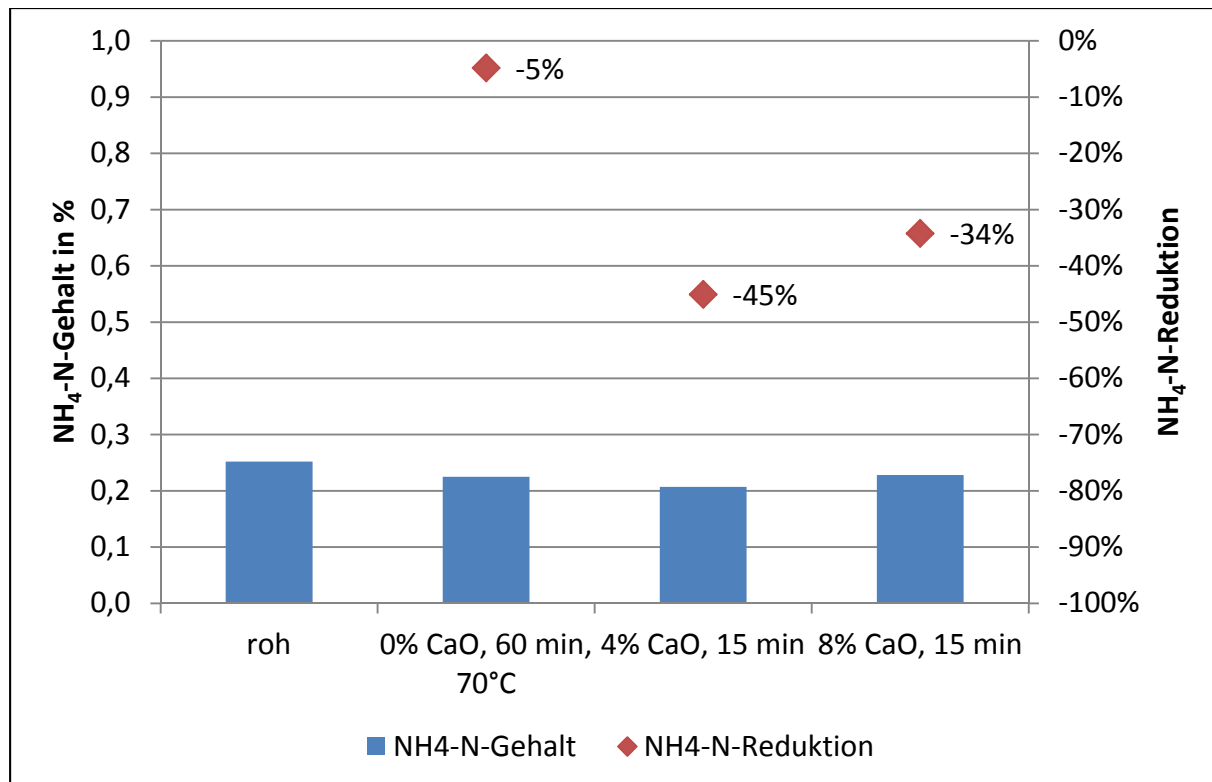


Abbildung 3-21: Reduktion an Ammonium in separiertem Gärrest

3.4.4 Stromverbrauch

Für die Ermittlung des Stromverbrauchs wurden zwei Messungen zum elektrischen Energiebedarf an der großtechnischen Versuchsanlage durchgeführt. Dazu wurde der Stromverbrauch der Anlage über einen geeichten Stromzähler für einen definierten Zeitraum ermittelt. Dabei wurde die Anlage ohne den Futtermischwagen als Misch- und Vorlagebehälter erfasst, da dieser nicht elektrisch betrieben wurde. In Tabelle 3-6 sind die Ergebnisse der beiden Messungen zum Stromverbrauch aufgeführt.

Tabelle 3-6: Stromverbrauch

	Stromverbrauch [kWh _{el}]	Zeitraum [hh:mm]	Leistung [kW _{el}]	Durchsatz [t/h]	spez. Stromverbrauch [kWh _{el} /t]
Messung 1	5,36	00:32	10,05	3,2	3,14
Messung 2	10,84	01:00	10,84	3,2	3,39

Es ergibt sich bei einer elektrischen Leistung zwischen 10 und 11 kW_{el} und einem Durchsatz von 3,2 t/h ein spezifischer Stromverbrauch von etwa 3,1 bis 3,4 kWh_{el}/t. Bei Betrieb eines

Vertikalmischers mit einer vergleichbaren Wirkleistung von $26 \text{ kW}_{\text{el}}$ erhöht sich der spezifische Stromverbrauch unter den zugrunde liegenden Randbedingungen um $8,2 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{t}$ auf ca. 11 bis $12 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{t}$.

3.4.5 Biogasertrag

Aufgrund der hemmenden Wirkung von Ammoniak auf den Biogasprozess, können bisher größere Mengen ammoniakreicher Reststoffe, wie zum Beispiel Geflügelmist, nicht vergoren werden. Durch die Behandlung solcher Reststoffe mit Branntkalk in dieser Anlage kann ein Großteil des enthaltenen Ammoniaks entfernt werden. Zur Überprüfung des Einflusses der Behandlung von Geflügelmist mit Branntkalk auf den Biogasertrag, wurden von ausgewählten Proben die Methanertragspotenziale mit einem Eudiometer-Versuchsstand nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“ [8] bestimmt. Abbildung 3-22 zeigt die spezifischen Methanerträge für Putenmist und Hühnertrockenkot (HTK) jeweils unbehandelt und nach Zugabe von 5 % Branntkalk (CaO) bei einer Behandlungszeit von 15 und 60 Minuten.

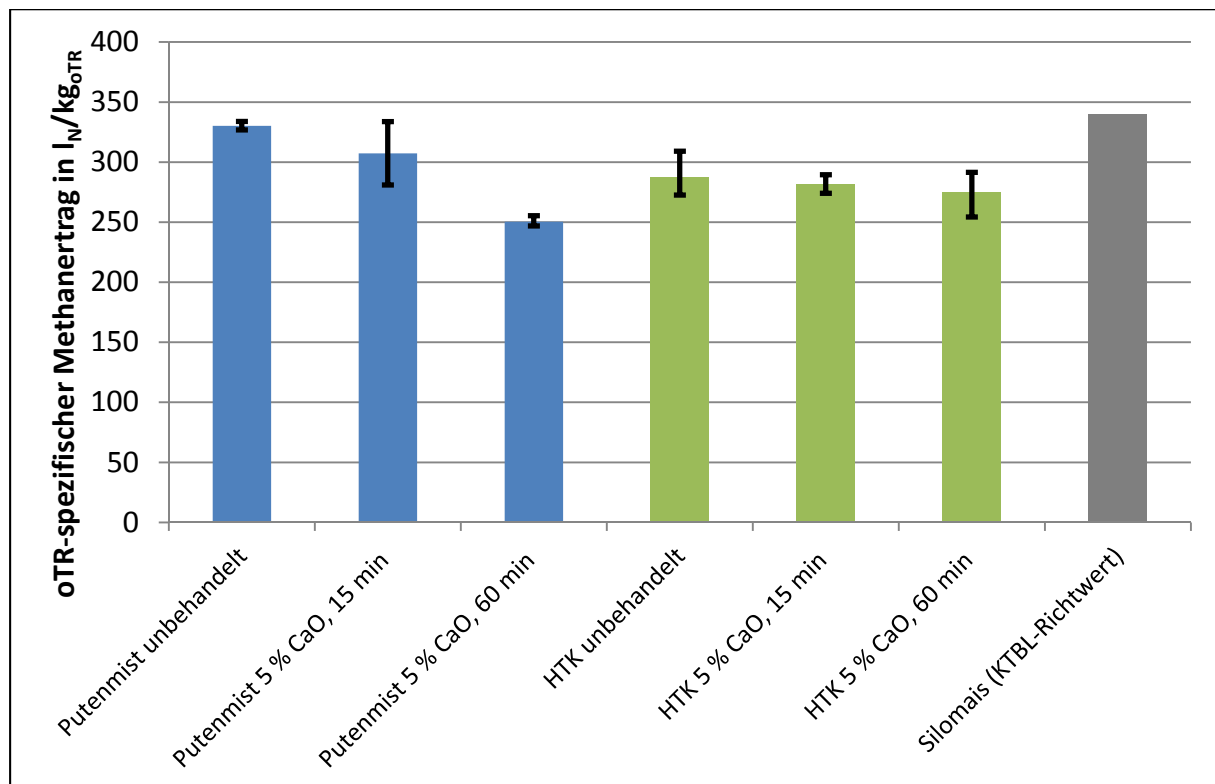


Abbildung 3-22: Spezifische Methanerträge von Putenmist und Hühnertrockenkot (HTK) [9]

Die Ergebnisse zeigen bei kürzerer Verweilzeit nur geringe Einflüsse auf den Biogasertrag der mit Branntkalk versetzten Substrate. Dagegen führen längere Verweilzeiten von bis zu 60 Minuten zu Mindererträgen an Methan von bis zu 24 % bei Putenmist.

Zur Einschätzung der Mengen an Geflügelmist für den Ersatz von Silomais sind in Tabelle 3-7 die auf den organischen Anteil des Trockenrückstandes und die auf die Frischmasse bezogenen spezifischen Biogas- und Methanerträge aufgeführt. Demnach kann zum Beispiel beim Einsatz von Putenmist mit einem Methanertrag von $125 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{t}_{\text{FM}}^{\text{a}}$ Silomais ($112 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{t}_{\text{FM}}^{\text{b}}$) etwa eins zu eins ersetzt werden.

Tabelle 3-7: Spezifische Biogas- und Methanerträge

Substrat	TR	davon oTR	Biogasertrag		Methanertrag	
	%	%	$\text{m}^3_{\text{N}}/\text{t}_{\text{oTR}}$	$\text{m}^3_{\text{N}}/\text{t}_{\text{FM}}$	$\text{m}^3_{\text{N}}/\text{t}_{\text{oTR}}$	$\text{m}^3_{\text{N}}/\text{t}_{\text{FM}}$
Silomais ^a	35	95	650	216	340	112
Putenmist ^b	45	84	490	185	330	125
Hühnertrockenkot ^b	59	88	413	214	287	149

FM: Frischmasse; TR: Trockenrückstand; oTR: organischer Trockenrückstand

^a: KTBL Faustzahlen [9]

^b: Untersuchungen der FH Münster nach VDI 4630

3.4.6 Technische Optimierungen

Im Verlauf der Untersuchungen wurde eine Reihe von technischen und verfahrenstechnischen Optimierungen vorgenommen, die an folgenden Anlagenbauteilen durchgeführt wurden:

- Schwefelsäurewäscher zur Gewinnung von Ammoniumsulfat (Dünger) aus der Abluft
- Fördertechnik für das Substrat
- Mischtechnik (Konstruktion des Mischorgans im Umwandler)
- Kalkdosierung (richtige Menge zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle)
- Luftführung und -steuerung
- Messtechnik (Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit)
- Steuerungs- und Regelungstechnik

Darüber hinaus wurden mit einer Wärmebildkamera Thermografie-Aufnahmen von der Anlage gemacht, mit deren Hilfe die Dämmung zur Vermeidung von Wärmeverlusten opti-

miert wird. Abbildung 3-23, Abbildung 3-24 und Abbildung 3-25 zeigen eine Auswahl der Thermografie-Aufnahmen.

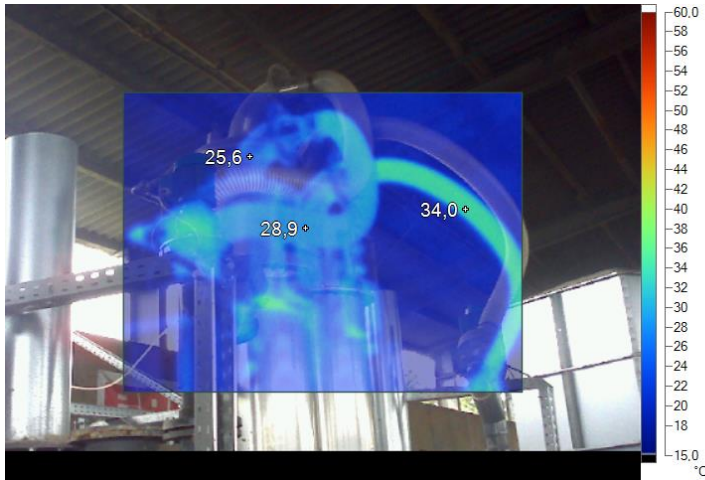


Abbildung 3-23: Thermografie-Aufnahme der Luftschläuche am Kopf des Wäschers

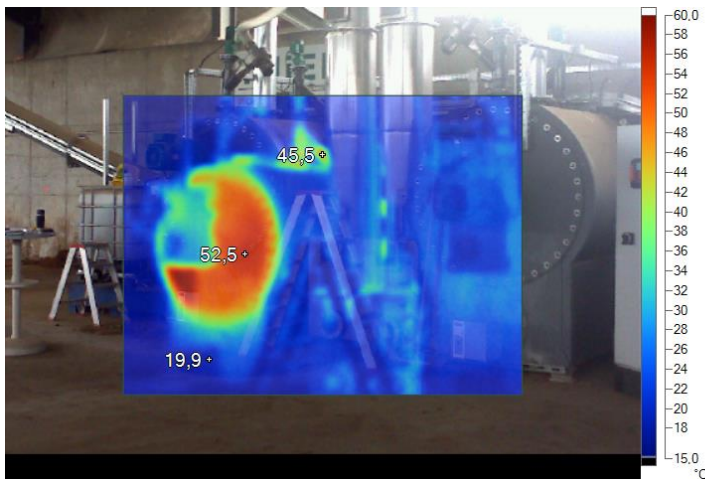


Abbildung 3-24: Thermografie-Aufnahme der Vorderseite eines Umwandlers

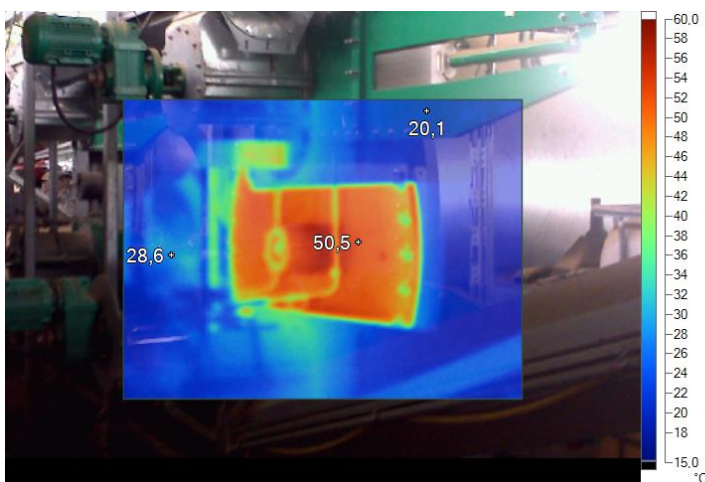


Abbildung 3-25: Thermografie-Aufnahme der Rückseite eines Umwandlers

3.5 Stoffstrombilanz

Zur Ermittlung der Mengen an Produkten und benötigten Hilfsstoffen wurde am Beispielsubstrat Putenmist mit Pelleteinstreu eine Stoffstrombilanz aufgestellt (siehe Abbildung 3-26). Alle Zahlen wurden dabei anhand einer Charge in einem Umwandler mit 600 kg Putenmist berechnet. Die farblich hinterlegten Zellen kennzeichnen darin die Werte aus dem zugrundeliegenden Versuch von Putenmist mit Pelleteinstreu unter Zugabe von 8 % Branntkalk bei 15 Minuten Verweilzeit aus der abschließenden Versuchsreihe.

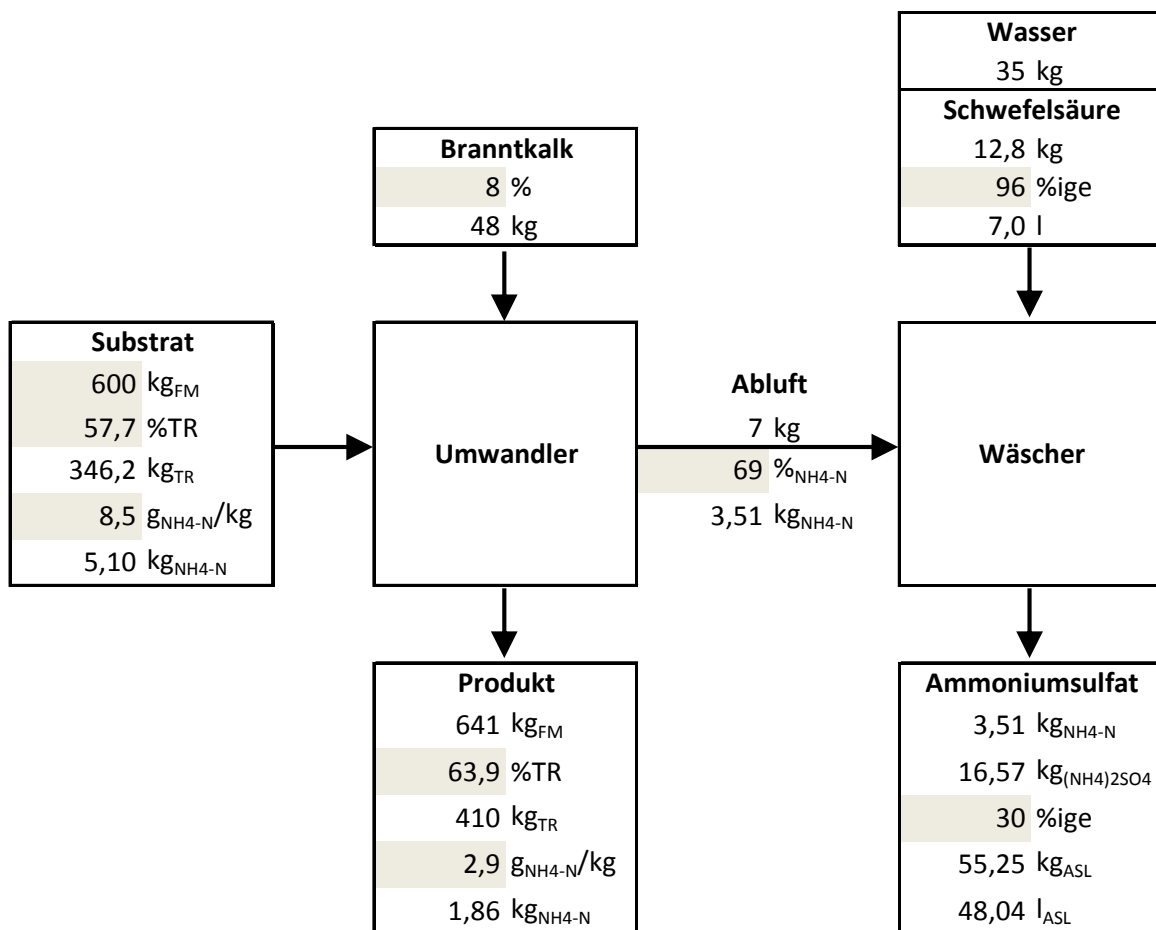


Abbildung 3-26: Stoffstrombilanz für Putenmist mit Pelleteinstreu (8 % Branntkalk und 15 min Verweilzeit)

Im Wesentlichen werden der Anlage das Ausgangssubstrat Putenmist und 8 % Branntkalk (48 kg) zugeführt. Die im Umwandler freigesetzten 3,5 kg des enthaltenen Ammoniumstickstoffs in Form von Ammoniak (69 % des enthaltenen Ammoniumstickstoffs) werden im Wäscher mit einer Waschlösung aus Schwefelsäure und Wasser gebunden. Dazu werden 12,8 kg Schwefelsäure (96 %ige) und 35 kg Wasser benötigt. Als Produkte verlassen die Anlage demnach 641 kg Ammoniakentfrachteter Putenmist und 55,3 kg Ammoniumsulfatlösung (30 %ige) aus dem Wäscher.

3.6 Ökonomische Betrachtung

In Tabelle 3-8 werden die Kosten für die Behandlung von Putenmist mit Pelleteinstreu (8 % Branntkalk und 15 min Verweilzeit) basierend auf den Ergebnissen aus der Stoffstrombilanz in Kapitel 3.5 für drei Anlagenvarianten mit einem, zwei und vier Umwandlern berechnet. Je nach Größe der Anlage betragen die Kosten zur Behandlung mit Branntkalk abzüglich der Erlöse für die Ammoniumsulfatlösung unter diesen Annahmen zwischen 13 und 16 €/t Mist.

Tabelle 3-8: Kostenbetrachtung für Putenmist mit Pelleteinstreu (8 % Branntkalk und 15 min Verweilzeit)

Beschreibung		Ein Umwandler	Zwei Umwandler	Vier Umwandler
Investitionskosten	€	430.000,00	650.000,00	1.300.000,00
Abschreibung (6 Jahre)	€/a	71.666,67	108.333,33	216.666,67
Zinsen (2 %/a)	€/a	1.433,33	2.166,67	4.333,33
Anzahl Umwandler	Stück	1	2	4
Behandlungszeit	min	15	15	15
Zeit zum Befüllen und Leeren	min	5	5	5
Betriebsstunden	h/d	24	24	24
	h/a	8.000	8.000	8.000
Substratmenge	kg/Charge	600	600	600
	t/d	43	86	173
	t/a	14.400	28.800	57.600
Summe Fixkosten	€/a	73.100,00	110.500,00	221.000,00
	€/t	5,08	3,84	3,84
Wartung und Instandhaltung	€/a	716,67	1.083,33	2.166,67
(1 % Afa/a)	€/t	0,05	0,04	0,04
Arbeitszeit	h/d	2	4	8
Arbeitskosten (15 €/h)	€/t	0,69	0,69	0,69
Stromverbrauch	kWh _{el} /t	10,00	7,22	4,44
Stromkosten	€/kWh _{el}	0,20	0,20	0,20
	€/t	2,00	1,44	0,89
Verbrauch Branntkalk	t CaO/t	0,08	0,08	0,08
Kosten Branntkalk	€/t CaO	80,00	80,00	80,00
	€/t	6,40	6,40	6,40
Verbrauch Schwefelsäure	kg H ₂ SO ₄ /t	14,00	14,00	14,00
Kosten Schwefelsäure	€/t H ₂ SO ₄	290,00	290,00	290,00
	€/t	4,06	4,06	4,06
Gesamtkosten	€/t	18,28	16,47	15,92
	€/a	263.240,67	474.431,33	916.862,67
Produzierte ASL	kg _{ASL} /t	92,00	92,00	92,00
Erlös ASL	€/t _{ASL}	25,00	25,00	25,00
	€/t	2,30	2,30	2,30
Gesamtkosten abzgl. Erlös	€/t	15,98	14,17	13,62
	€/a	230.120,67	408.191,33	784.382,67

ASL: Ammoniumsulfatlösung

Zur besseren Beurteilung der einzelnen Kostenblöcke zeigt Abbildung 3-27 die prozentuale Verteilung der spezifischen Kosten für die Variante mit zwei Umwandlern. Bei dieser Betrachtung wird der große Einfluss der Ausgaben für Branntkalk mit 39 % und Schwefelsäure mit 25 % deutlich. Ziel für folgende Untersuchungen muss es daher sein, vor allem die Kosten für diese beiden Betriebsmittel durch Optimierungen zu senken. Konkret sollten z.B. mit dem Erlös aus dem Verkauf der Ammoniumsulfatlösung die Kosten für die Schwefelsäure gedeckt werden können. Geringere Kosten beim Einkauf der Schwefelsäure aufgrund entsprechender Abnahmemengen und höhere Erlöse durch eine optimierte zeitliche Platzierung der Ammoniumsulfatlösung in hoher Qualität beim Verkauf zur Erzielung eines maximalen Erlöses sollten hierbei positiv wirken.

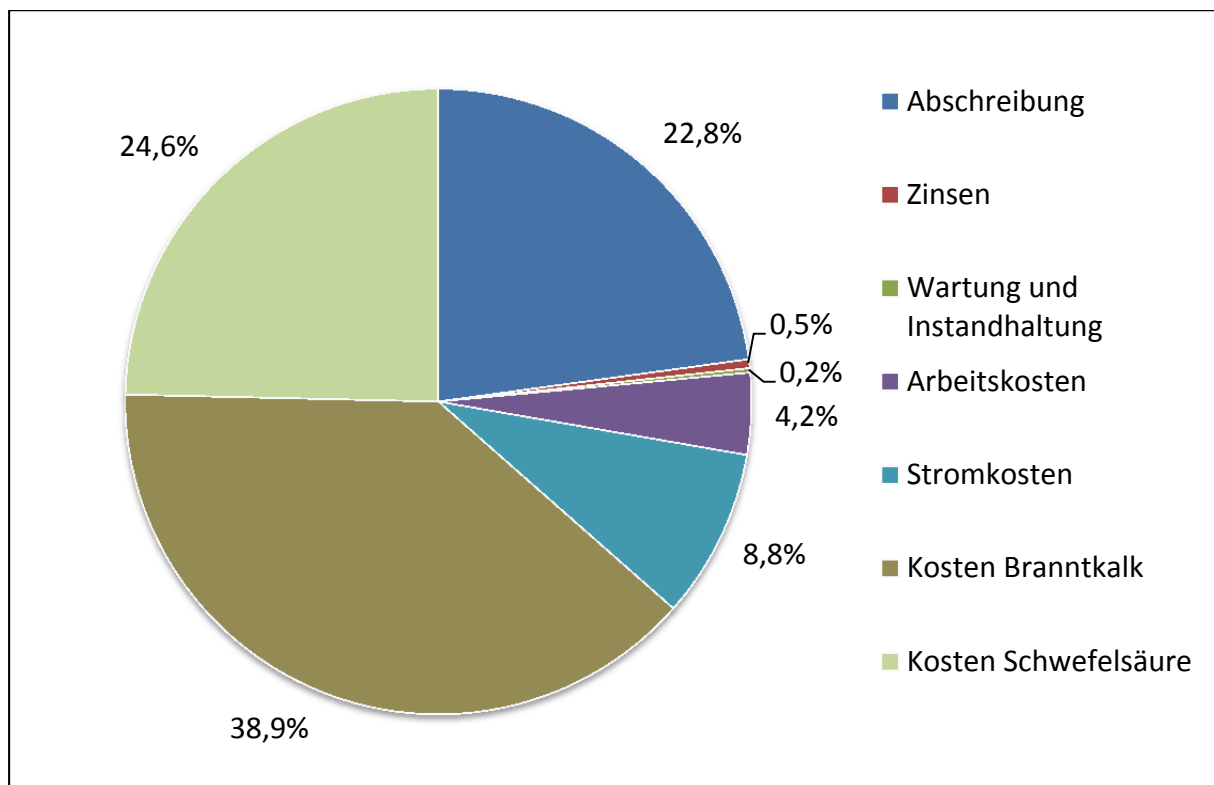


Abbildung 3-27: Verteilung der spezifischen Kosten für Putenmist mit Pelleteinstreu (8 % Branntkalk und 15 min Verweilzeit) und zwei Umwandlern

Auch beim Branntkalk besteht durch die Abnahme größerer Mengen und den Einsatz geringerer Qualitäten noch Potenzial zur Kostensenkung. Darüber hinaus sind die Kosten für die Behandlung vom Substrat und der angestrebten Reduktion an Ammoniak abhängig, woraus sich wiederum optimierte Einsatzmengen an Branntkalk ergeben. Dazu sind in Abbildung 3-28 die spezifischen Kosten abzüglich Erlös für Ammoniumsulfat in Abhängigkeit von Branntkalkzugabe und Behandlungsdauer für die Variante mit zwei Umwandlern dargestellt.

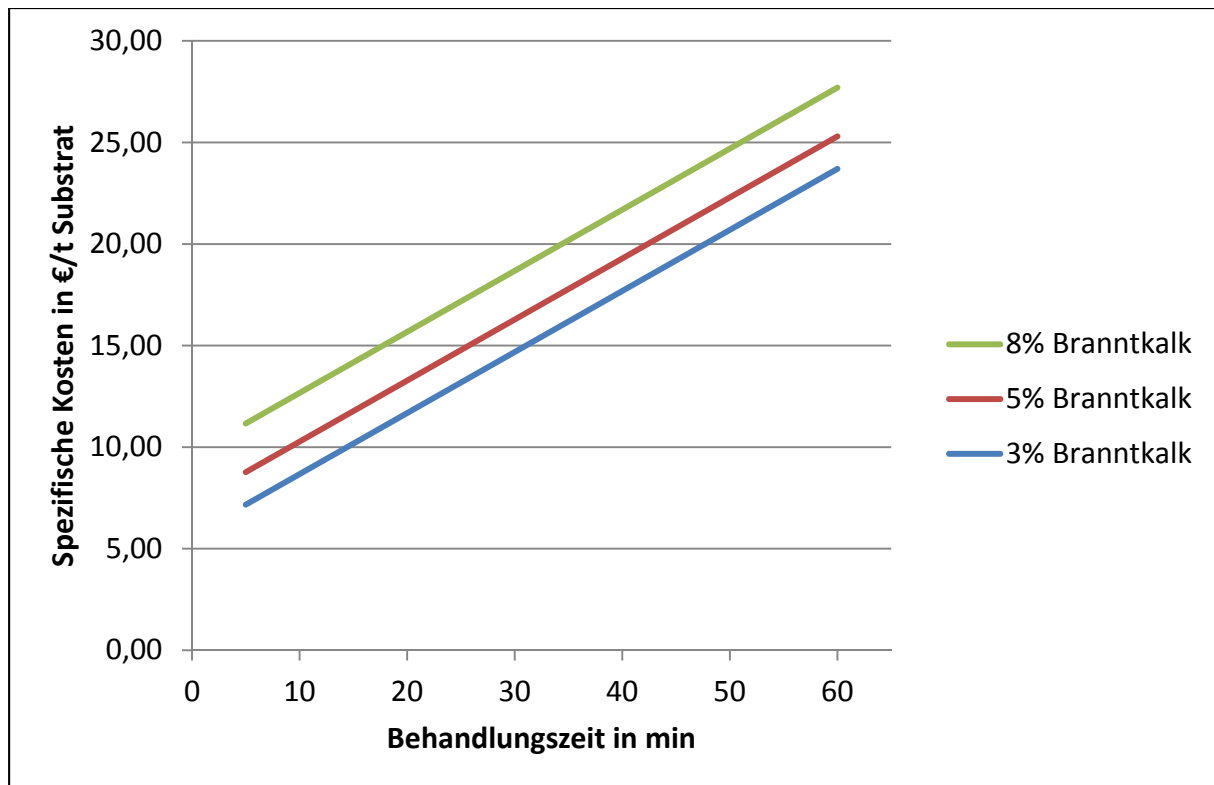


Abbildung 3-28: Spezifische Kosten abzüglich Erlös für Ammoniumsulfat in Abhängigkeit von Kalkmenge und Behandlungsdauer für die Variante mit zwei Umwandlern

Mit Branntkalk behandelter Geflügelmist als Ersatzsubstrat für Biogasanlagen

Mit Branntkalk behandelter Geflügelmist kann aufgrund der Ammoniakentfrachtung nun in größeren Mengen in Biogasanlagen als Substrat eingesetzt werden. Bei kostenloser Annahme von Geflügelmist fallen dafür nur die Kosten für die Behandlung mit Branntkalk an. Demgegenüber stehen bei einer Substitution von Silomais als Substrat Kosten von etwa 40 €/t_{FM} Silomais frei Anlage. Im Vergleich wird der wirtschaftliche Vorteil der Anlage deutlich.

4 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Von der Fa. Thiel wurde ein Flyer zur Bewerbung der Anlagentechnik erstellt (siehe Anhang). Darüber hinaus wurden das Projekt und die entwickelte technische Anlage bei folgenden Veranstaltungen und Medien veröffentlicht:

- Präsentation des Projektes mit einem Poster auf dem FNR/KTBL-Kongress „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ vom 26. bis 27.09.2017 in Bayreuth, Tagungsband: ISBN 978-3-945088-52-4
- „Aufbereitung schon vor der Vergärung“, Top Agrar Energie Magazin 3/2017, Seite 24
- „Aus Mist macht er Moneten“, Neue Osnabrücker Zeitung vom 21.12.2017, Seite 17

Aufgrund der positiven Ergebnisse dieser ersten Projektphase ist eine zweite Projektphase beantragt, in der die Anlage weiterentwickelt und optimiert werden soll. Im Rahmen dieser zweiten Projektphase ist eine verstärkte Verbreitung der Projektergebnisse vorgesehen.

Unabhängig davon sind die folgenden Messeauftritte und Tagungsbeiträge bereits in Vorbereitung:

- Präsentation des Projektes und der entwickelten Anlagentechnik im Rahmen des Messestandes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) auf der IFAT 2018, der Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft, vom 14. bis 18. Mai 2018 in München
- Bewerbung für einen Tagungsbeitrag beim 11. Biogas-Innovationskongress vom 29. bis 30. Mai 2018 in Osnabrück
- Bewerbung für einen Tagungsbeitrag bei der internationalen Konferenz Fortschritt Gülle und Gärrest 2018 vom 16. bis 18. Oktober in Schwäbisch Hall

5 FAZIT UND AUSBLICK

Das Ziel des Projektes, eine Anlagentechnik zu entwickeln, mit der marktfähige und hygienisch einwandfreie Düngemittel aus schlammartigen Biomassen produziert werden können, wurde erreicht. Durch die Erhöhung der Transportwürdigkeit und der Produktion eines Mineraldüngerersatzes kann damit auch eine Nährstoffsänke für die Region gebildet werden. Zusätzlich können mit Hilfe dieses Verfahrens ammoniakreiche Reststoffe, wie zum Beispiel Geflügelmist, auch in größeren Mengen in Biogasanlagen energetisch verwertet werden. Die erarbeiteten Projektergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Errichtung einer Versuchsanlage im großtechnischen Maßstab
2. Mit höheren Branntkalkzugaben (bis zu 8 %) sind tendenziell kürzere Behandlungszeiten, höhere Temperaturen im Substrat und höhere Eliminationsraten an Ammoniak möglich (bis zu 70 %)
3. Bei der Zugabe von 8 % Branntkalk erhitzt sich Hühnertrockenkot innerhalb von 5 Minuten auf über 80 °C- danach Abkühlung über 60 Minuten auf 68 °C
4. Erwärmen alleine genügt nicht → nur geringe Ammoniakelimination von weniger als 5 % bei der Erhitzung von separiertem Gärrest auf 70 °C über eine Stunde
5. Der Schwefelsäurewäscher erreicht einen Eliminationsgrad von über 99 % bei der Abscheidung des Ammoniaks aus der Abluft
6. Produktion eines marktfähigen Düngers (Ammoniumsulfatlösung)
7. Bei Behandlungszeiten ≤ 15 Minuten gibt keine Veränderung des Biogasertrages bei Geflügelmist; längere Behandlungszeiten reduzieren den Biogasertrag nur geringfügig (ca. 10 %)
8. Stromverbrauch von ca. 3,4 kWh_{el}/t bei einem Durchsatz von 3,2 t/h (ohne Misch- und Vorlagebehälter)
9. Kosten zwischen 13 und 16 €/t (15 min Behandlungszeit, 8 % Branntkalk) - starke Abhängigkeit der Kosten von Behandlungszeit und Branntkalkmenge

Nun gilt es, die erfolgreiche Kooperation fortzusetzen und im Rahmen eines Folgeprojektes die Anlage weiter zu entwickeln, um die Effizienz bei der Ammoniakentfernung bzw. Hygienisierung von verschiedenen Stoffen zu steigern und die wirtschaftlichen Risiken zu senken.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Bioabfallverordnung (BioAbfV) (1998)** „Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden“ vom 21. September 1998
- [2] **Verordnung (EG) Nr. 1069/2009** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte)
- [3] **Wetter, C., Tiemann, M., Brüggling, E., Bruns, A., Kerkerling, M. (2008)**: Optimierte Nutzung von Gärresten aus Biogasanlagen durch Ammoniakstrippung und Gärrestaufbereitung, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
- [4] **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft (2002)**, Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 24. Juli 2002
- [5] **Byosis (o.J.)**: Maximale Löslichkeit Ammoniumsulfat, <http://byosis.com/de/slider-de/byoscrub.html>, letzter Zugriff am 07.02.2018
- [6] **Dräger (o.J.)**: Dräger X-act 5000, https://www.draeger.com/de_de/Applications/Products/Mobile-Gas-Detection/Draeger-Tubes-and-CMS/Draeger-Tube-Pumps/X-act-5000, letzter Zugriff am 07.02.2018
- [7] **Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900) (2006)**: Arbeitsplatzgrenzwerte https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf?__blob=publicationFile, letzter Zugriff am 07.02.2018
- [8] **VDI-Gesellschaft Energietechnik (2016)**: VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. In VDI-Handbuch Energietechnik. Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) (Hrsg.). Beuth Verlag. Düsseldorf
- [9] **Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (2013)**: Faustzahlen Biogas. 3. Ausgabe. ISBN 978-3-941583-85-6. Darmstadt

ANHANG



Biomasseaufbereitung

Zukunftsweisendes Verfahren zur Aufwertung ammoniumreicher Rückstände

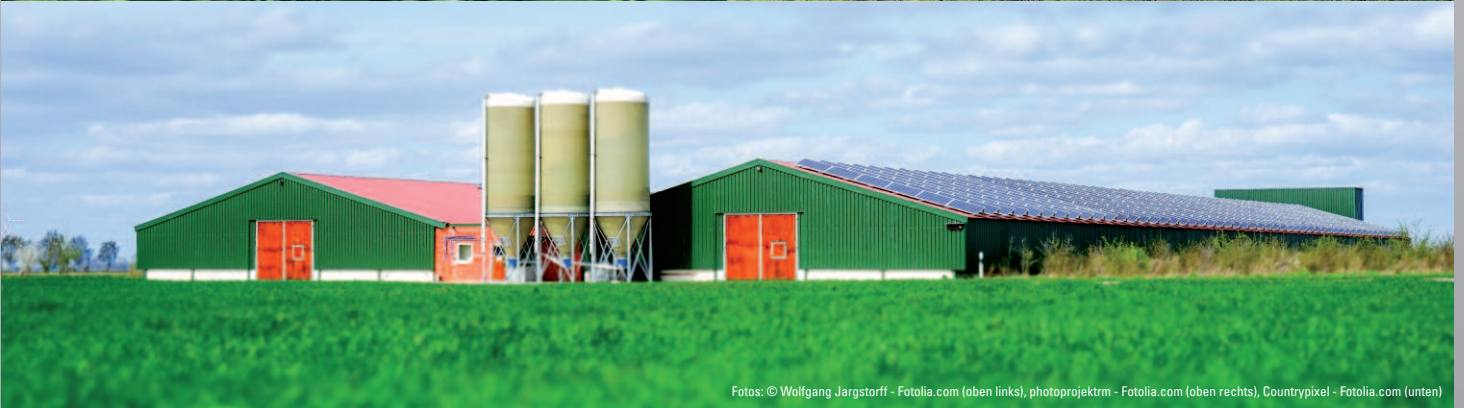


- **Nutzbarmachung bislang nur eingeschränkt in Biogasanlagen verstoffwechselbarer Materialien**
- **Reduzierung des Einsatzes von Energiepflanzen**
- **Eindämmen der Nitratproblematik**
- **Ressourcen- und umweltschonend**
- **Höchste Wirtschaftlichkeit**

Ausgangslage

In Deutschland werden auf rund 1,4 Mio. Hektar Energiepflanzen für den Einsatz in Biogasanlagen angebaut – hauptsächlich Mais. Hiermit verbunden sind stark anwachsende Monokulturen, schwindende Biodiversität und steigende Flächenkonkurrenz.

Demgegenüber wird nur ein Viertel des in großen Mengen vorhandenen Wirtschaftsdüngers als Substrat für die Biogaserzeugung verwendet. Da Ammoniak die Fermentiervorgänge hemmt oder gar zum Erliegen bringt, fungieren Mist, Gülle etc. oftmals nur als Beimischungen. Ein Großteil der Bestände landet direkt und unbehandelt auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen. Eine derartige Überdüngung wirkt sich negativ auf Gewässer, Grund- und Trinkwasser aus. Dies belegt auch der aktuelle Nitratbericht der Bundesregierung.



Fotos: © Wolfgang Jargstorff - Fotolia.com (oben links), photoprojektm - Fotolia.com (oben rechts), Countrypixel - Fotolia.com (unten)

Das Forschungsprojekt

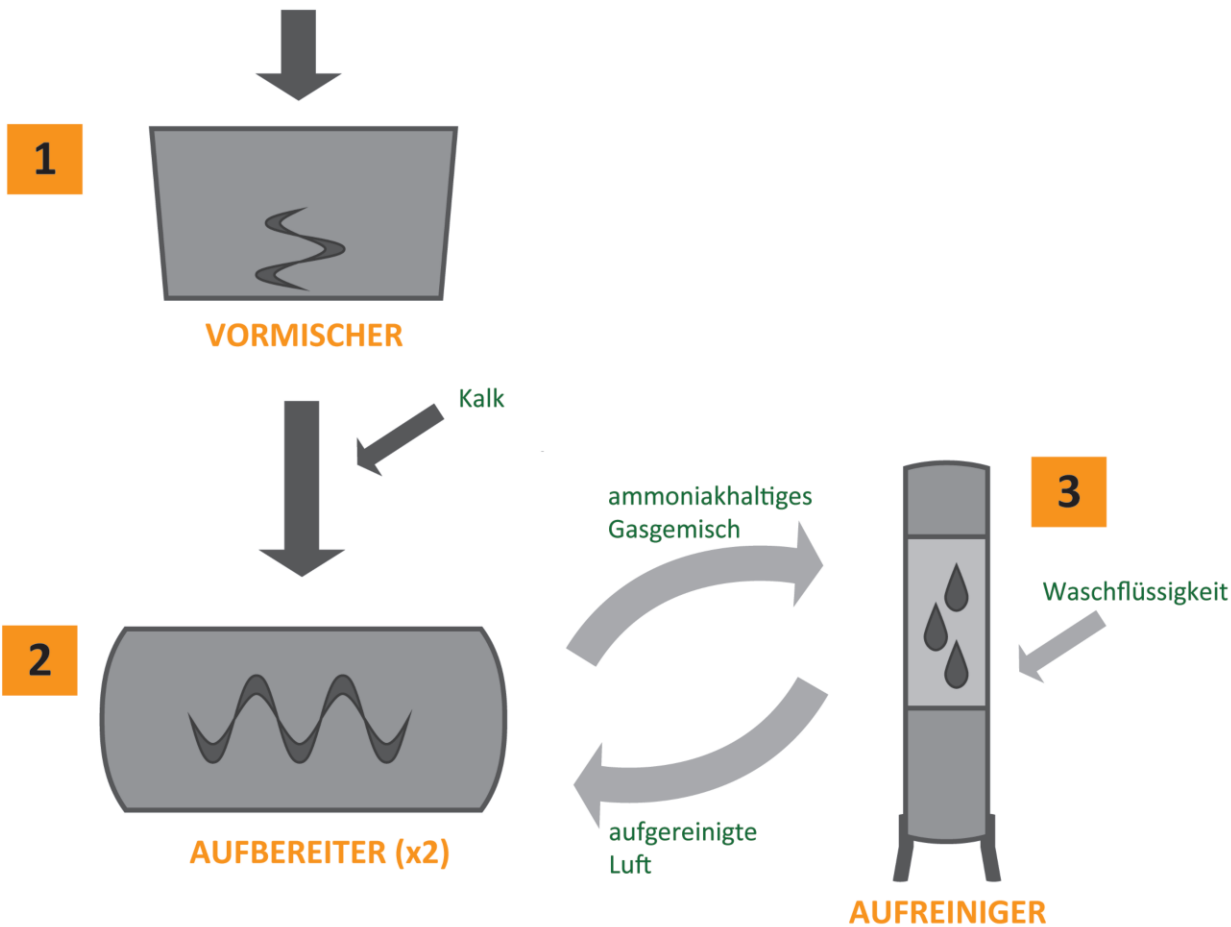
Im Rahmen eines DBU getragenen Forschungsprojektes hat das Unternehmen MTL Anlagentechnik zusammen mit der FH Münster ein zum Patent angemeldetes Verfahren samt Anlagentechnologie zur Aufbereitung von Biomassen entwickelt.

Dieses zukunftsweisende Verfahren ermöglicht es, biologisch abbaubarem Material wie z. B. Gülle und Geflügelkot, das enthaltene Ammonium sehr effektiv zu entziehen. Somit ist es erstmals möglich, ammoniumreiche Stoffe nach einer entsprechenden Aufbereitung nun auch im großen Maßstab in Biogasanlagen zu verstoffwechseln und energetisch zu nutzen. Zusätzlich werden wertvolle Düngekomponenten gewonnen, die gezielt eingesetzt werden können und dadurch eine Nährstoffüberlastung von Böden und Gewässern verhindern.

Aufbereitung schlammartiger Biomassen Prozessschema

SUBSTRAT/SUBSTRATMIX

z.B. Geflügeltrockenkot, Hühner- und Putenmist, Rinder- und Schweinegülle, Pferde- und Schafmist



Das Verfahren

Ein mehrstufiger Prozess wertet schlammartige Biomassen äußerst effektiv auf:

Das zuvor zerkleinerte und aufgeschlossene Substrat (**1**) wird zusammen mit Kalk in einem geschlossenen Behälter aufbereitet (**2**). Durch die Erhöhung des pH-Wertes sowie eine Wärme freisetzende, chemische Reaktion werden folgende Effekte erzielt:

- Das Ammonium wird dem Substrat in Form von Ammoniak ausgetrieben.
- Pathogene Keime werden stark reduziert.
- Das Ausgangsmaterial wird getrocknet.

Bei Bedarf verstärkt die vorhandene Heizeinrichtung die Effekte zusätzlich.

Ein geschlossener Kreislauf führt das ammoniakhaltige Gasgemisch emissionsfrei der Waschkolonne zu (**3**). Hier kann in saurer Wäsche das Ammoniak in Form von Ammoniumsulfat zurückgewonnen werden. Die aufgereinigte Luft wird in den Aufbereiter zurückgeleitet, wo sie sich erneut anreichern kann.

Die Anlage

Mit der Anlagenlösung sind Umsätze von 1,5 t/h bis 12 t/h sehr effizient realisierbar. Das Anbinden von jeweils zwei Aufbereitern an eine Aufreinigung erzielt eine besonders gute Auslastung. Folgende Merkmale zeichnen die Anlage aus:

- Höchste Flexibilität bzgl. Substrate und Prozessparameter
- Kontinuierlicher Lauf und große Prozesssicherheit
- Vollautomatische Steuerung; durchgängige Kontrolle und Dokumentation; Fernüberwachung möglich
- Keine Emissionen, da geschlossene Kreisläufe
- Bedienerfreundlich, wartungsfreundlich, gut zugänglich
- Sehr geringer Bedarf an Fremdenergie

Resultate

Aus dem Aufbereitungsprozess gehen hervor:

- Die um bis zu 70–90% ammoniumreduzierte Biomasse: Sie zeichnet sich überdies durch einen niedrigen Wassergehalt, eine stark verminderte Keimbelastung und Geruchsentwicklung aus, sowie einen höheren pH-Wert und wertvolle organische Inhaltsstoffe. Sie kann z. B. einer Fermentierung zur Energiegewinnung zugeführt werden.
- Das bei der Aufreinigung anfallende Ammoniumsulfat: Es kann z. B. als handelsüblicher flüssiger Stickstoffdünger einen energieintensiv produzierten Mineraldünger direkt ersetzen.



Ihre Vorteile

Sie profitieren vielfach von dieser zukunftsweisenden Innovation:

- Entschärfen der Entsorgungsproblematik tierischer Exkremente
- Gewinn einer stark aufgewerteten, weiter nutzbaren Biomasse
- Gewinn eines stickstoffreichen Flüssigdüngers
- Gezielte Nährstoffrückführung für bodenverbessernde Effekte ohne Überdüngung
- Erhöhte Transportwürdigkeit durch größere Wertigkeit, geringere Masse sowie Transportaufwand
- Neue Vermarktungschancen
- Reduzierte Substratpreise in Biogasanlagen durch den stark verringerten Maiseinsatz

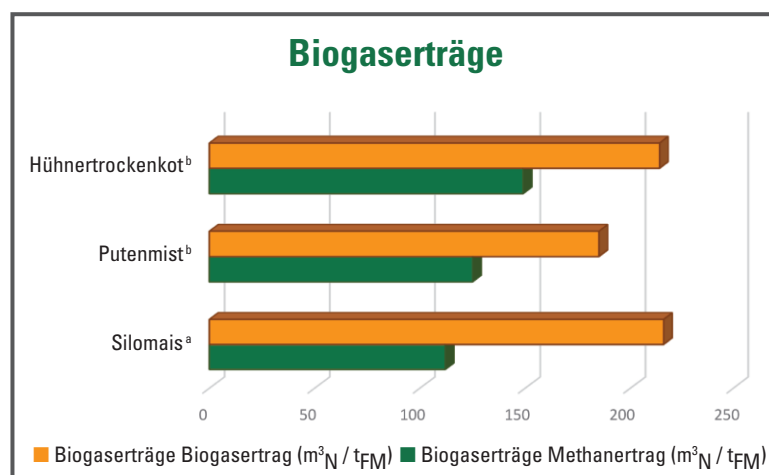
Der Biomasse-liefernde Betrieb profitiert somit von der Nutzbarmachung, der Aufwertung und dem möglichen Absatz großer Vorkommen an Rückständen aus der Tierhaltung. Die einzelne Biogasanlage erzielt eine gravierende Kostensenkung bei gleichzeitiger Steigerung des Ertrags.

Somit handelt es sich nicht nur um eine ressourcen- und umweltschonende, sondern gleichzeitig auch wirtschaftlich sehr attraktive Investition.

Tragweite

Die Auswirkungen eines solchen Verfahrens zur Aufwertung ammoniumreicher Biomassen sind weitreichend – dieses umso mehr als die Ausgangsstoffe in großen Mengen vorliegen:

- Wertvolle Reststoffpotentiale werden genutzt und Emissionen vermieden
- Der Einsatz von Energiepflanzen in Biogasanlagen kann drastisch reduziert werden – mit Vorteilen für Landschaftsbild, Biodiversität und die Entspannung des Pachtmarktes
- Eine derartig gewonnene Energie spielt eine große Rolle beim Erreichen der Klimaziele
- Durch gezielte Düngung kann die Nitratproblematik entschärft werden
- Auch die erhöhte Transportwürdigkeit und verbesserten Absatzchancen verhindern regionale Nährstoffüberangebote
- Schließen natürlicher Stoffkreisläufe



FM: Frischmasse

^a: Untersuchungen der FH Münster nach VDI4630 (2017)

^b: KTBL Faustzahlen Biogas, 3. Auflage (2013)



Zielgruppe

Diese innovative Entwicklung ist insbesondere für folgende Gruppen interessant:

- Betreiber von Biogasanlagen
- Betreiber landwirtschaftlicher Betriebe
- Geflügelindustrie
- Landwirtschaftliche Dienstleister
- Landhandelsunternehmen

Über MTL

Die MTL Anlagentechnik GmbH aus Lönningen im Oldenburger Münsterland (Niedersachsen) entwickelt und projiziert Maschinen und komplette technische Anlagen zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern und biologisch abbaubaren Reststoffen.

Die Projektarbeiten finden in enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Thiel Fördertechnik statt. Somit profitieren die Kunden von einer breiten Kompetenz in Sachen Materialhandling und Erfahrung in Branchen wie Agrar, Lebensmittel, Futtermittel, Chemie, Aufbereitung, Grundstoffe etc.

MTL Anlagentechnik GmbH

Farwicker Straße 23

D-49624 Lönningen/Bunnen

Telefon: +49 5434 8080-200

Telefax: +49 5434 8080-250

E-Mail: info@mtl-anlagentechnik.de



