

**Universität für Bodenkultur Wien**

Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Institut für Ökologischen Landbau

**Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein**

Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere

Verwendung von milchsauren Nebenprodukten  
der Lebensmittelverarbeitung zur Reduktion der  
Ammoniakemissionen während der  
Güllelagerung

**Masterarbeit**

Masterstudium Nutzpflanzenwissenschaften

Vorgelegt von

**Johannes Hämmerle**

Betreuer:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Ing. Bernhard Freyer

DI Walter Starz

Wien

Mai, 2018

## Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich recht herzlich bei meinen beiden Betreuern Herrn Dr. Bernhard Freyer und Herrn DI Walter Starz bedanken.

Ein besonderer Dank für die äußerst konstruktiven Praxisseminare, welche in einer sehr kollegialen und angenehmen Atmosphäre stattgefunden haben, gilt Herrn Dr. Bernhard Freyer und Herrn DI Valentin Fiala von der Universität für Bodenkultur. Die während des Seminars stattgefundenen interdisziplinären Diskussionen haben oft zu neuen Überlegungen und Gedankengängen geführt und mir dadurch den notwendigen Weitblick ermöglicht.

Ein großes Dankeschön gilt Herrn DI Walter Starz vom Bio-Institut der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Seine unkomplizierte und hilfsbereite Betreuung ermöglichte mir das Schreiben der Masterarbeit in einem sehr kollegialen Arbeitsklima. Die zahlreichen konstruktiven Emails, Telefonate und Treffen motivierten mich immer wieder aufs Neue und erleichterten mir das Arbeiten erheblich. Ein besonderer Dank gebührt den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Bio-Instituts Hannes Rohrer und Rupert Pfister, die maßgeblich an der erfolgreichen Versuchsdurchführung beteiligt waren.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir mein Studium ermöglicht und mich stetig unterstützt hat. Die regelmäßigen Kurzurlaube in Vorarlberg haben mich sehr motiviert und mir immer wieder gezeigt, wie das gelernte theoretische Wissen bestmöglich in die Praxis umgesetzt werden kann.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei all meinen Freunden und Studienkollegen bedanken, die meine Studentenzeit zu dem gemacht haben, was sie war – eine lustige, aufregende und vor allem eine wunderschöne Zeit.

## Zusammenfassung

Die während der Güllelagerung entstehenden Ammoniakemissionen führen zu ökologischen sowie zu ökonomischen Schäden und können durch die Senkung des pH-Wertes der Gülle reduziert werden. Deshalb wurden in der folgenden Arbeit die Möglichkeiten zur Lenkung des Gülle-pH-Wertes und die daraus resultierenden Emissionen durch die Zugabe von milchsäurehaltigen Flüssigkeiten untersucht. Der Versuch wurde am Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Dort wurde die hofeigene Rindergülle in drei Versuchsbehältern je einmal mit Sauerkrautsaft, Molke und Wasser in einem Mischungsverhältnis von 1:1 verdünnt. Diese Gülleversuchsbehälter waren mit jeweils drei Sonden ausgestattet, die kontinuierlich Daten über den pH-Wert, das Redox-Potential und die elektrische Leitfähigkeit ermittelten. Um die Nährstoffzusammensetzung der jeweiligen Varianten zu beurteilen, wurden während des Versuches Proben gezogen und diese auf deren Inhaltsstoffe untersucht. Weiter wurden die Kohlenstoff- und Stickstoffemissionen während des Untersuchungszeitraumes ermittelt.

Im Versuch wurde festgestellt, dass der pH-Wert durch die Molkezugabe auf pH 5,5 und durch die Zugabe von Sauerkrautsaft auf pH 5,9 reduziert werden konnte. In der mit Wasser verdünnten Variante hingegen konnte lediglich ein pH-Wert von pH 7,5 erzielt werden. Zudem wurde festgestellt, dass eine signifikante Reduktion der N-Emissionen von  $3,16 \text{ g/m}^3 \text{ FM}$  (Wasser) auf  $0,50 \text{ g/m}^3 \text{ FM}$  (Molke) bzw.  $0,06 \text{ g/m}^3 \text{ FM}$  (Sauerkrautsaft) erreicht wurde, wenn milchsäurehaltige Gülleverdünnungsmittel beigemischt werden. Durch die Zugabe von Sauerkrautsaft und Molke konnte zwar keine signifikante, aber eine tendenzielle Steigerung der C-Emissionen beobachtet werden. Die mit Wasser verdünnte Variante enthielt einen N-Gehalt von  $2,20 \text{ g/kg FM}$ . Wurde Molke hinzugegeben, stieg der N-Gehalt um  $0,59 \text{ g/kg FM}$ , durch die Sauerkrautsaftzugabe gar um  $0,91 \text{ g/kg FM}$ . Der Ammoniumgehalt nahm von  $0,94 \text{ g/kg FM}$  (Wasser) auf  $1,23 \text{ g/kg FM}$  (Molke) bzw.  $1,42 \text{ g/kg FM}$  (Sauerkrautsaft) zu.

Aufgrund der reduzierten N-Emissionen und der effizienteren Verwertung vorhandener Nährstoffe stellt der Einsatz von Molke und Sauerkrautsaft eine sinnvolle Alternative zur herkömmlichen Wasserverdünnung dar. Allerdings entsteht durch die Verwendung der milchsäuren Gülleverdünnungsmittel ein erhöhter Lager-, Logistik- und Arbeitsaufwand. Deshalb ist die Wirtschaftlichkeit dieser Methode für jeden Betrieb individuell zu prüfen.

*Schlagwörter:* Ammoniakreduktion, Güllelagerung, pH-Wert, Sauerkrautsaft, Molke

## Summary

As a by-product of slurry storage, ammonia emissions lead to ecological and financial damage but can be reduced by lowering the pH value of the slurry. Therefore, it was examined how the latter can be influenced by adding liquids containing lactic acid to the slurry. The experiment was conducted at the Institute of Organic Farming and Farm Animal Biodiversity of the AREC Raumberg-Gumpenstein. Three containers were filled with cattle slurry, which was then mixed (in a ratio of 1:1) with water, whey and sauerkraut juice, respectively. The containers were each equipped with three probes that continually collected data about the pH value, redox potential and electrical conductivity of the mixtures. In order to evaluate the nutrient composition of each of the three variants, samples were taken and examined. In addition, the carbon and nitrogen emissions were determined. It was found that the pH value of the slurry could be reduced to pH 5.5 by adding whey and to pH 5.9 by adding sauerkraut juice. In the water-diluted variant, being the standard of comparison, the pH value was 7.5. Mixing the slurry with the liquids containing lactic acid also led to a significant reduction of N emissions from 3.16 g m<sup>-3</sup> FM (water) to 0.50 g m<sup>-3</sup> FM (whey) and 0.06 g m<sup>-3</sup> FM (sauerkraut juice). Adding sauerkraut juice or whey did not result in a significant increase in C emissions; however, an upward trend was observed. The water-diluted slurry variant contained 2.20 g kg<sup>-1</sup> FM nitrogen. By adding whey and sauerkraut juice, the nitrogen level rose to 2.79 g kg<sup>-1</sup> FM and 3.11 g kg<sup>-1</sup> FM, respectively. Also, the ammonium level increased from 0.94 g kg<sup>-1</sup> FM (water) to 1.23 g kg<sup>-1</sup> FM (whey) and 1.42 g kg<sup>-1</sup> FM (sauerkraut juice).

In conclusion, due to the reduction in N emissions and the more efficient use of available nutrients, adding whey or sauerkraut juice to slurry is an attractive alternative to conventional water dilution. However, the use of liquids containing lactic acid is more work intensive and leads to higher storage and logistics costs. Therefore, whether this method is economically viable for a farm should be examined individually.

*Keywords:* ammonia reduction, manure storage, pH-value, sauerkraut juice, whey

## Abkürzungsverzeichnis

C	Kohlenstoff
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Carbonat
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Harnstoff
H <sup>+</sup>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Kohlensäure
H <sub>2</sub> O	Wasser
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Schwefelsäure
N	Stickstoff
N <sub>2</sub>	Gasförmiger Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Ammoniumcarbonat
NaCl	Natriumchlorid
TM	Trockenmasse
FM	Frischmasse
XA	Rohasche
K	Kalium
Ca	Calcium
Mg	Magnesium
P	Phosphor
R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
dt	Dezitonnen
pH-Wert	negativer dekadischer Logarithmus der H <sup>+</sup> -Konzentration

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Forschungsfragen .....	8
2. Literaturübersicht.....	10
2.1 Allgemeine Informationen zur Rindergülle .....	10
2.2 Molke .....	10
2.3 Sauerkrautsaft .....	11
2.5 Pufferwirkung der Gülle .....	13
2.6 Steuerungsmöglichkeiten der Gülleeigenschaften.....	14
2.6.1 <i>pH-Wert</i> .....	14
2.6.2 <i>Gülleverdünnung</i> .....	16
2.7 Physikalische Parameter .....	17
2.7.1 <i>Elektrische Leitfähigkeit</i> .....	17
2.7.2 <i>Redox-Potential</i> .....	17
2.7.3 <i>Temperatur</i> .....	17
2.8 Düngerwirkung und Nährstoffzusammensetzung.....	18
2.9 Emissionen aus Wirtschaftsdüngern .....	19
2.9.1 <i>Ammoniakemissionen</i> .....	19
2.9.2 <i>Lachgasemissionen</i> .....	20
2.9.3 <i>Methanemissionen</i> .....	21
3. Material und Methodik .....	22
3.1 Standort und Betrieb.....	22
3.2 Versuchsdesign .....	22
3.3 Sammlung der Gülle und der Gülleverdünnungsmittel.....	25
3.4 Versuchsanlage.....	26
3.5 Physikalische und chemische Messung.....	27
3.6 Kalkulatorische Ermittlung des Nährstoff- und Emissionspotentials.....	29
3.7 Statistische Auswertung.....	29
4. Ergebnisse .....	31
4.1 Gülleverdünnungsmittel .....	31
4.2 Physikalische Analyse .....	32
4.2.1 <i>Temperatur</i> .....	34
4.2.2 <i>pH-Wert</i> .....	35
4.2.3 <i>Elektrische Leitfähigkeit</i> .....	36
4.2.4 <i>Redox-Potential</i> .....	38
4.3 Chemische Analyse.....	41
4.4 Emissionen .....	47
4.4.1 <i>C-Emissionen</i> .....	47
4.4.2 <i>N-Emissionen</i> .....	48

4.5 Gesamtbetriebliches Nährstoff- und Emissionspotential .....	50
5. Diskussion .....	53
5.1 <i>Physikalische Analyse</i> .....	53
5.2 <i>Chemische Analyse</i> .....	56
5.3 <i>Emissionen</i> .....	58
6. Schlussfolgerung .....	62
I. Abbildungsverzeichnis .....	64
II. Tabellenverzeichnis.....	66
III. Literaturverzeichnis.....	68
IV. Anhang.....	72

## 1. Einleitung und Forschungsfragen

Während der Lagerung und Ausbringung von landwirtschaftlichen Wirtschaftsdüngern kommt es zu einer beträchtlichen Menge stickstoffhaltiger Emissionen, welche sowohl ökologische als auch ökonomische Nachteile mit sich bringen. Die Verflüchtigung, Verfrachtung und Ablagerung von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) in naturnahe Böden führt zu einer Eutrophierung und zur Versauerung, was wiederum zu einem Rückgang der Biodiversität und zum Waldsterben beiträgt (AMON et al., 2001). Es wird angenommen, dass in Europa 80 bis 90 Prozent der Ammoniakemissionen aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung entstehen, wobei 75 Prozent der tierischen Produktion zugeschrieben werden (WEBB et al., 2004). Bei der Güllelagerung und -ausbringung freigesetztes Lachgas trägt wegen seines hohen Treibhauspotentials zur Klimaschädigung bei. Zudem kann sich Lachgas auch indirekt im Boden bilden, wenn eingetragenes Ammoniak mikrobiell umgesetzt wird (LEICK, 2003).

Neben diesen ökologischen Schäden ergeben sich durch die Stickstoffemissionen zusätzlich ökonomische Nachteile für landwirtschaftliche Betriebe, denn es entweicht wertvoller Stickstoff (N) aus der Güllegrube, der für die Pflanzenernährung unentbehrlich ist (FRICK et al., 1996). Um das Ertragsniveau dennoch aufrecht zu erhalten, muss der verlorene Stickstoff durch den Zukauf von Düngern oder durch pflanzenbauliche Maßnahmen kompensiert werden. Damit eine optimale Kreislaufwirtschaft gewährleistet wird, ist der Lagerverlust somit so gering wie möglich zu halten.

Diese Verluste können verringert werden, wenn man verschiedene physikalische Parameter verändert. Als effektivste Maßnahme um diese Emissionen zu reduzieren, gilt die Steuerung des pH-Werts (FRICK et al., 1996). Dies kann unter anderem durch die Verdünnung der Gülle mit Regenwasser oder durch die Zugabe von organischen bzw. anorganischen Säuren gewährleistet werden (SCHRÖPEL et al., s.a.). Da die Zugabe anorganischer Säuren in der ökologischen Landwirtschaft nicht gestattet ist, wird im Zuge dieser Arbeit nicht weiter auf diese Maßnahme eingegangen.

Der für diese Arbeit angelegte Versuch wurde an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Dafür wurde die Rindergülle biologischer Milchkühe im Verhältnis von 1:1 mit Wasser, Molke oder Sauerkrautsaft verdünnt. Während des Versuchsablaufs wurden bei den Varianten der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und das Redox-Potential untersucht. Für die Beurteilung der Düngerwirksamkeit wurden zusätzlich die Inhaltsstoffe der jeweiligen

Varianten bestimmt. Des Weiteren wurden die während der Güllelagerung entstandenen C- und N-Emissionen ermittelt. Aufgrund der derzeitigen Gesetzeslage darf über die Wintermonate keine Gülle ausgebracht werden. Um den Einfluss der Gülleverdünnung während einer verlängerten Lagerdauer bestimmen zu können, wurde im ersten Durchgang die frische und im zweiten Durchgang die zwischengelagerte Gülle untersucht.

In dieser Forschungsarbeit sollte geklärt werden, ob die während der Rindergüllelagerung entstehenden Emissionen durch eine Herabsetzung des pH-Werts reduziert werden können. Da der pH-Wert durch den Einsatz organischer Säuren gelenkt werden kann, sollte die Wirksamkeit dieser geprüft werden. Zusätzlich sollte ermittelt werden, inwiefern die Verwertung der milchsauren Nebenprodukte zu einer Verbesserung der innerbetrieblichen Nährstoffbilanz führen kann. Somit ergaben sich die folgenden Forschungsfragen, welche im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden sollten:

- Kann der pH-Wert in der Rindergülle durch Zugabe von milchsauren Nebenprodukten der Lebensmittelverarbeitung während der Lagerung unter pH 7 gehalten werden
- Wie wirkt sich solch eine Gülleverdünnung auf die innerbetriebliche Nährstoffbilanz aus?
- Welche Auswirkungen hat eine milchsaure Gülleverdünnung auf die gasförmigen C- und N-Emissionen?

## 2. Literaturübersicht

### 2.1 Allgemeine Informationen zur Rindergülle

Als Gülle bzw. Flüssigmist wird das Gemisch aus Kot und Harn bezeichnet, in welchem Futterreste und Einstreuteile enthalten sein können. Abhängig von der Fütterung und Leistung fallen in einem halben Jahr zwischen 11,5 und 12,7 m<sup>3</sup> Gülle pro Milchkuh mit einer durchschnittlichen Trockenmasse (TM) von 8 Prozent an. Dies entspricht einer Stickstoffmenge von 45 bis 50 kg (BMLFUW, 2017). In Österreich fallen jährlich ca. 20.000.000 m<sup>3</sup> Rindergülle an, wobei eine Verdünnung mit Oberflächen- und Waschwasser im Verhältnis von 1:0,5 bereits mitberücksichtigt wurde (PÖLLINGER, 2011).

Der in der Rindergülle enthaltene Gesamtstickstoff wird in Ammonium- (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) bzw. Ammoniakstickstoff und in organisch gebundenen Stickstoff unterteilt. In der von PAULSEN et al. (2013) untersuchten Rindergülle ökologischer Milchkühe wurde ein Stickstoffgehalt von 56 g/kg TM festgestellt, wobei 50 Prozent in Form von Ammonium- bzw. Ammoniakstickstoff und 50 Prozent als organisch gebundener Stickstoff vorlagen. SØRENSEN und ERIKSEN (2008) beobachteten die Zusammensetzung der flüchtigen organischen Fettsäuren in Güllen und stellten fest, dass in einer unbehandelten Rindergülle über 50 Prozent aller organischen Säuren in Form von Essigsäure vorliegen.

### 2.2 Molke

In der Milchwirtschaft fällt Molke als Nebenprodukt der Casein- und Käseherstellung an (SMITHERS, 2008). Grundsätzlich kann Molke aufgrund der Herstellung in Süß- oder Sauermolke unterteilt werden. Als Süßmolke wird das Nebenerzeugnis der Käseherstellung unter dem Einsatz von Lab als Gerinnungsmittel bezeichnet. Hingegen entsteht die Sauermolke durch die Aktivität von Milchsäurebakterien während der Frischkäse- und Joghurtherzeugung. In der Zusammensetzung unterscheiden sich diese beiden Fraktionen hauptsächlich durch den pH-Wert. In der von CHANDRAPA et al. (2016) untersuchten Süßmolke wurde ein pH-Wert von 6 bis 6,5 ermittelt, während bei der untersuchten Sauermolke einen pH-Wert von 3,5 bis 4,5 festgestellt werden konnte.

Die Trockenmasse der Molke setzt sich zu 70 Prozent aus Laktose, 12 bis 15 Prozent aus Rohprotein und abhängig vom Extrahierungsvorgang aus 1 bis 10 Prozent Rohfett zusammen.

Die von BUCHGRABER und RESCH untersuchte Süßmolke wies einen pH-Wert von 4,6 und einen Trockenmassegehalt von 5,5 auf. Die Sauermolke kam auf einen pH-Wert von 4,4 sowie eine Trockenmasse von 5,4. Laut den Autoren unterliegen der pH-Wert und der Trockenmasseanteil jahreszeitlichen Schwankungen. So ist der pH-Wert in der Winterfütterungsperiode niedriger und der Trockenmassegehalt höher (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

### 2.3 Sauerkrautsaft

Sauerkrautsaft fällt während der Verarbeitung von Weißkohl zu Sauerkraut als Nebenprodukt an. Die Sauerkrautgärung wird durch heterofermentative Milchsäurebakterien in Gang gesetzt, welche organische Säuren bilden. Die Zugabe von 0,8 bis 1,8 Prozent Kochsalz (NaCl) führt zum Austreten des Wassers aus den Pflanzenteilen und reduziert dadurch das Risiko einer Fehlgärung (VON WIMPFEN, 1989).

YOON et al. (2006) untersuchten bei einer konstanten Temperatur von 30 °C die Leistungsfähigkeit eines Milchsäurebakterienstamms (*Lactobacillus casei*) für die Herstellung von probiotischem Sauerkrautsaft. Während der 72-stündigen Versuchsdauer sank der pH-Wert unter der Bildung von 0,74 Prozent Milchsäure von 5 auf 3,4. Die stärkste Versauerung mit einer pH-Wert-Senkung um 1,3 wurde dabei innerhalb der ersten 24 Stunden gemessen, gefolgt von einer weiteren Senkung um 0,3 in den darauffolgenden 24 Stunden. RABIE et al. (2011) beobachteten ebenfalls die Aktivität von *Lactobacillus casei* bei einer konstanten Temperatur von 15 °C. Auch hier wurde innerhalb von 48 Stunden eine pH-Wert-Reduktion von 5,0 auf 3,4 und eine anschließende pH-Wert-Stagnation erreicht.

In einem Versuch von JAISWAL et al. (2013) wurde die Bildung organischer Säuren während der Fermentation und die daraus resultierende pH-Wert-Veränderung beobachtet. Innerhalb der ersten vier bis sechs Stunden sank der pH-Wert nur schwach, danach aber rapide, was durch die vermehrte Bildung organischer Säuren erklärt werden konnte. Der niedrigste pH-Wert und die höchste Säurekonzentration wurden nach 32 Stunden ermittelt. Als Hauptprodukt der Fermentation entstand Milchsäure. Abhängig von den verwendeten Milchsäurebakterienstämmen lag ihr Anteil zwischen 6,97 und 12,20 g/l. Zudem entstand zwischen 0,45 und 1,15 g/l Essigsäure.

## 2.4 Ammonium und Ammoniak

Ammonium und Ammoniak fallen durch die Hydrolyse von Harnstoff, Harnsäure und zu einem geringen Anteil aus organisch gebundenen Stickstoffverbindungen des Kotes an. Durch die Aktivität der Urease, ein von Mikroben ausgeschiedenes Enzym, beginnt diese Abbaureaktion. Dabei wird der ausgeschiedene Harnstoff ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) zu Ammoniumcarbonat ( $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ) abgebaut. Die anschließende Decarboxylierung führt zu einer Freisetzung von Ammonium und Ammoniak (LEICK, 2004).



Innerhalb eines wässrigen Milieus befinden sich das gelöste Ammonium und das gelöste Ammoniak in einem Dissoziationsgleichgewicht. An der Grenzfläche zwischen Luft und Flüssigkeit ergibt sich erneut ein Gleichgewicht zwischen dem gelösten und dem gasförmigen Ammoniak (LEICK, 2004).



Dieses Dissoziationsgleichgewicht bestimmt das Verhältnis zwischen Ammonium und Ammoniak in der Gülle. Das Gleichgewicht dieser Stickstoffverbindungen wird durch die physikalischen Faktoren pH-Wert, Temperatur und Partialdruck beeinflusst (RINKE, 1999).

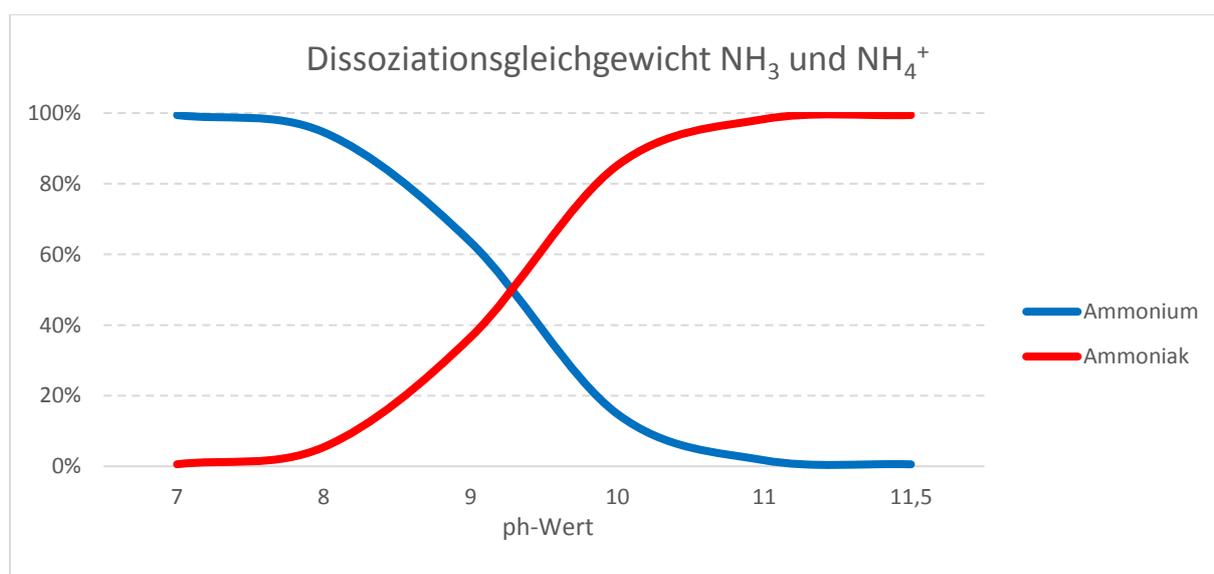


Abbildung 1: Das Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammoniak und Ammonium in Abhängigkeit des pH-Werts

Ab einem pH-Wert von 7 verändert sich das Dissoziationsgleichgewicht in Richtung Ammoniak und resultiert somit in erhöhten Ammoniakemissionen (FRICK et al., 1996). Laut RINKE (1999) verändert sich das Verhältnis bereits ab einem pH-Wert über 8 überproportional in Richtung Ammoniak.

Die Ammoniakverflüchtigungen aus einer flüssigen Lösung werden durch den Partialdruck von Ammoniak in der Flüssigkeit und der angrenzenden Atmosphäre bestimmt. Dieses Gleichgewicht kann mit der Henrykonstante ( $K_h$ ) beschrieben werden.

$$K_h = \frac{\text{Partialdruck von NH}_3 \text{ in der Flüssigkeit}}{\text{Partialdruck von NH}_3 \text{ in der Gasphase}}$$

Das Verschieben dieses Gleichgewichts resultiert entweder in der Verflüchtigung des Ammoniaks aus der Flüssigkeit oder in der Absorption von Ammoniak durch die Flüssigkeit (RINKE, 1999). Da die Henrykonstante stark temperaturabhängig ist, wird das Dissoziationsgleichgewicht bei einer Temperaturerhöhung ebenfalls in Richtung Ammoniak verschoben (HANSEN et al., 2006).

## 2.5 Pufferwirkung der Gülle

Um den pH-Wert der Gülle durch die Zugabe von Säuren kontrolliert zu senken, ist es unvermeidbar, die theoretischen Grundlagen der Pufferwirkung zu verstehen. Der durch die Säurezugabe erhöhte Anteil an Wasserstoff-Protonen ( $H^+$ ) wird durch die Puffermechanismen gebunden und wirkt einer pH-Wert-Absenkung entgegen. Bei einer hohen Pufferfunktion kann somit eine pH-Wert-Absenkung nur mit einer dementsprechend hohen Säurekonzentration erreicht werden (MOOSBRUGGER et al., 1993).

Eine bedeutende Rolle spielt das Hydrogencarbonat-/ Carbonatpuffersystem, welches für die Neutralisierung von flüchtigen organischen Fettsäuren relevant ist. Da in der Reaktion von Carbonat ( $CO_3^{2-}$ ) zu Kohlensäure ( $H_2CO_3$ ) gleich zwei  $H^+$ -Protonen fixiert werden, handelt es sich dabei um einen sehr effektiven Protonenakzeptor (HECHT, 2008).



Zusätzlich nimmt das  $NH_4^+/NH_3$ -Puffersystem eine wichtige Rolle ein. Dabei reagiert das Ammoniak durch die Aufnahme von Wasser ( $H_2O$ ) und Kohlendioxid ( $CO_2$ ) zu Ammonium und

Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) bzw. kann Ammoniumhydrogencarbonat ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) direkt gebildet werden (HECHT, 2008).



Den Phosphaten wird ebenfalls eine pH-Wert stabilisierende Wirkung zugeschrieben. Neben den Magnesium- und Kalziumphosphaten sind auch die Kalziumcarbonate an der  $\text{H}^+$ -Fixierung beteiligt. Den am meisten alkalisierenden Bestandteil der Gülle nimmt laut RINKE (1999) allerdings das aus dem Harnstoff stammende Ammonium ein.

Die Wirksamkeit der Puffersysteme in der Gülle hängt zum einen von der Konzentration der flüchtigen Fettsäuren, zum anderen von dem Ammonium- und Ammoniakgehalt ab. Bei einer hohen Ammonium- bzw. Ammoniakkonzentration spielt das  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ -Puffersystem eine entscheidende Rolle. Je niedriger die Konzentration der flüchtigen Fettsäuren wird, desto größer wird die Bedeutung des Hydrogencarbonat-/ Carbonatpuffersystems (CONN et al., 2007).

## 2.6 Steuerungsmöglichkeiten der Gülleeigenschaften

### 2.6.1 pH-Wert

Durch die Herabsetzung des pH-Werts in den sauren Bereich wird das Dissoziationsgleichgewicht in Richtung Ammonium verschoben. Dies hat zur Folge, dass die in der Gülle gebildeten Ammoniakemissionen reduziert werden (RINKE, 1999).

Dies ist zum einen durch die direkte Zugabe von anorganischen bzw. organischen Säuren möglich. Eine weitere Option liegt in der Selbstversauerung, die durch die Zugabe von organischem Material zustande kommt. Zwar wurden in der Schweiz noch keine Selbstversauerungssysteme für die Zufuhr anorganischer Säuren in die Gülle installiert, jedoch gewinnen diese Systeme europaweit stark an Bedeutung. In Dänemark werden bereits 20 Prozent aller ausgebrachten Güllen mit Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) angesäuert (KUPPER, 2015). Da der Einsatz anorganischer Säuren zur Güllebehandlung in ökologisch wirtschaftenden Betrieben nicht zugelassen ist, wird im Zuge dieser Arbeit ausschließlich auf den Einsatz von organischen Säuren und auf die Selbstversauerung eingegangen.

Eine unbehandelte Rindergülle weist in der Regel einen pH-Wert über 7 auf, in seltenen Fällen liegt er unter 6,5 (SINTERMANN et al., 2012). Setzt man den pH-Wert von 7 auf 5,5 herab, beeinflusst das sowohl das chemische als auch das mikrobielle Gleichgewicht stark (KUPPER, 2015).

Laut BERG W. et al. (1998) konnte durch die Gülleansäuerung mittels Milchsäure der pH-Wert auf 5,0 gesenkt und die Ammoniakemissionen dadurch um 80 bis 90 Prozent reduziert werden. Weiters konnte selbst bei hohen Temperaturen eine Emissionsminderung von über 90 Prozent erreicht werden, in dem die Gülle auf pH 4,5 herabgesetzt wurde. Neben den positiven Effekten auf die Ammoniakemissionen konnten bei einem pH-Wert von 4,5 die Methanemissionen fast vollständig verhindert werden (BERG et al., 1998).

In einem von BUCHGRABER und RESCH (1997) durchgeführten Versuch wurden die Auswirkungen einer Rindergülleverdünnung mit Wasser und Molke im Verhältnis von 1:1 untersucht. Wurde Wasser als Gülleverdünnungsmittel eingesetzt, ergab sich kein Effekt auf den pH-Wert. Durch die Zugabe von Molke dagegen sank der pH-Wert binnen 30 Tagen von 6,5 auf 4,0. Bereits in der ersten 13 Versuchstagen konnte eine pH-Wert-Absenkung auf 4,9 festgestellt werden (Abbildung 2).

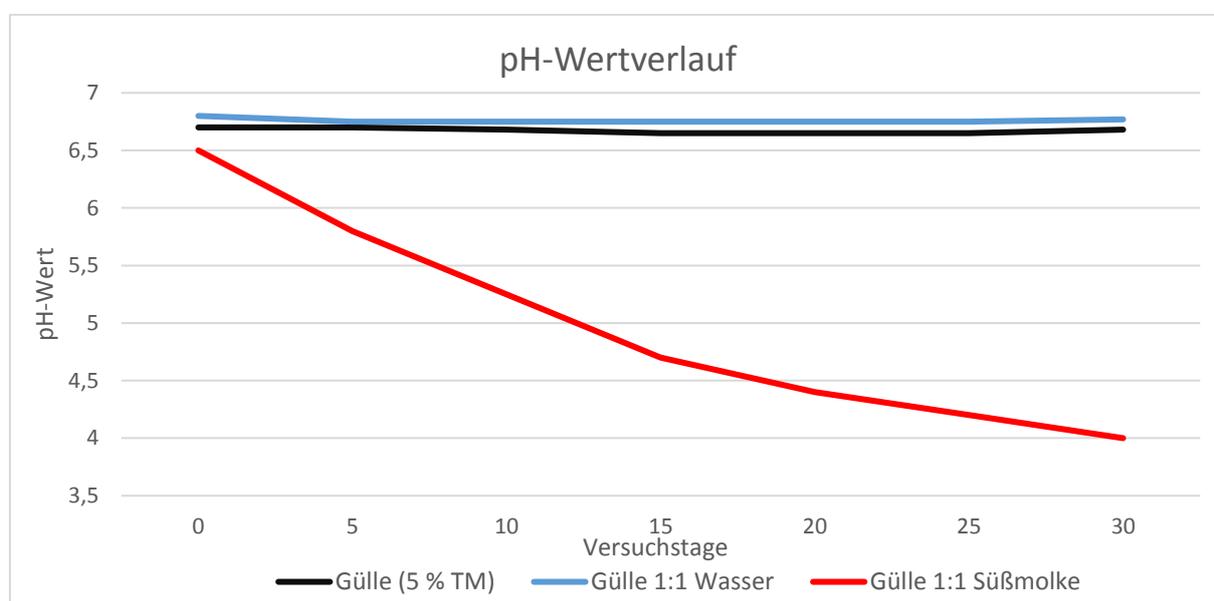


Abbildung 2: Vergleich des pH-Wertverlaufs einer unverdünnten-, einer mit Wasser verdünnten- und einer mit Süßmolke verdünnten Rindergülle innerhalb von 30 Versuchstagen (nach BUCHGRABER & RESCH, 1997)

Eine Alternative zum Einsatz von organischen Säuren ist die Selbstversauerung. Durch die Zugabe von Saccharose und Glukose gelang es CLEMENS et al. (2001), den pH-Wert von 7,2 auf unter 5 zu reduzieren. Allerdings konnte der pH-Wert nicht auf diesem Niveau gehalten werden und bereits nach wenigen Tagen stieg der pH-Wert kontinuierlich zum ursprünglichen Wert an. Als Grund für den Verlauf des pH-Werts nennen die Autoren, dass die zugeführten Kohlenhydrate zuerst in organische Säuren umgewandelt wurden. Anschließend entwichen diese aufgrund der leichten Verflüchtigung bzw. wurden sie von aeroben Mikroorganismen unter dem Verbrauch von H<sup>+</sup>-Protonen zu Kohlendioxid und Wasser umgewandelt. Eine weitere Möglichkeit des pH-Wert-Anstiegs liegt im Zerfall der Essigsäure unter der Freisetzung von Methan und Kohlendioxid (CLEMENS et al., 2001).

### 2.6.2 Gülleverdünnung

Die Verdünnung der Gülle führt zu einer Reduktion des Trockenmassegehalts und zu einer prozentuellen Verringerung des Mineralstoffgehalts. Durch die Verdünnung der Gülle mit Molke im Verhältnis von 1:1 konnte der Trockenmassegehalt von 85 auf 69 g/kg FM gesenkt werden (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

Durch die Herabsetzung der Trockenmasse kann der pH-Wert der Gülle reduziert werden. Die Verdünnung der Rindergülle mit Wasser im Verhältnis von 1:1 führte zu einer pH-Wert-Reduktion und in weiterer Folge zu einer Senkung der Ammoniakemissionen um 40 Prozent. Ab einem Trockenmassegehalt von 40 g/kg FM kann durch eine zusätzliche Verdünnung kein positiver Effekt in Bezug auf die Ammoniakverflüchtigung erzielt werden (FRICK et al., 1997). Durch die Gülleverdünnung ergeben sich aber auch Nachteile, so muss etwa die Lagerkapazität erhöht und die Gülle häufiger ausgebracht werden. Demnach ist laut FRICK et al. (1997) eine Verdünnung zwischen 1:1 und 1:3 ein sinnvoller Kompromiss, da die Vorteile einer sehr starken Verdünnung gering sind und diese den höheren Ausbringungs- und Lagerkosten gegenüberstehen (VAN DER STELT et al., 2005).

Verdünnte Gülle ist zudem für die Pflanzen besser verträglich, da sie schneller von den Pflanzenteilen abfließt, was die Blätter vor Verkrustung und Verätzung bewahrt. Zusätzlich wird durch die Gülleverdünnung ein schnelleres Eindringen in den Boden gewährleistet (FRICK et al., 1997). Die Adsorption der leicht flüchtigen Stickstoffverbindungen findet vorwiegend durch Huminstoffe und Tonminerale statt und wirkt somit den gasförmigen Verlusten entgegen (SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

## 2.7 Physikalische Parameter

### 2.7.1 Elektrische Leitfähigkeit

Mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit können Aussagen über die Inhaltsstoffe von flüssigen Medien, deren Leitfähigkeit und über die Wertigkeit der Ionen getroffen werden. Die durchschnittliche Leitfähigkeit einer Rindergülle mit 5 Prozent Trockenmasse liegt bei 20 mS/cm. Bei einer 1:1 mit Wasser verdünnten Gülle hingegen liegt diese bei 10 mS/cm. Wird die Gülle hingegen 1:1 mit Molke verdünnt, ergibt sich eine Leitfähigkeit von 16-17 mS/cm. Dadurch wird ersichtlich, dass durch die Zugabe von Molke der Gehalt an Mineralstoffen und Säuren erhöht wird (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

### 2.7.2 Redox-Potential

Das Redox-Potential einer Lösung ergibt sich durch das Verhältnis der Aktivitäten reduzierter und oxidierter Substanzen und beschreibt, ob ein Stoff in einer Lösung eher reduziert oder oxidiert wird. Je niedriger das Redox-Potential in einer Lösung ist, desto höher ist die Aktivität der Elektronen und desto eher werden Stoffe, die in Kontakt mit dieser Lösung kommen, reduziert. Somit können unter oxidativen Bedingungen Redox-Reaktionen ablaufen, die zu einer Freisetzung von  $H^+$ -Protonen führen, während unter reduktiven Bedingungen ein Verbrauch von  $H^+$ -Protonen stattfindet. Das Redox-Potential kann durch die Reduktionsprozesse anaerober Mikroorganismen oder durch die Atmungsprozesse aerober Mikroorganismen herabgesetzt werden (SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

### 2.7.3 Temperatur

In einem Versuch von RINKE wurde die Auswirkung der Gülletemperatur auf die Ammoniakverluste untersucht. Nach einer 24-stündigen Versuchsdauer hatten sich 40 Prozent des enthaltenen Ammoniums in der 15 °C warmen Rindergülle verflüchtigt. Lag die Temperatur bei 25 °C betragen die Verluste 60 Prozent. Im Temperaturbereich zwischen 15 und 25 °C kann daher eine Verluststeigerung von zwei Prozent pro Grad Celsius angenommen werden. Je länger beide Varianten beobachtet wurden, desto höher wurde die Emissionsdifferenz zwischen ihnen (RINKE, 1999).

## 2.8 Düngerwirkung und Nährstoffzusammensetzung

Behandelte Gülle weist im Vergleich mit unbehandelter einen höheren Stickstoffgehalt auf. Deshalb verglichen KAI et al. (2008) in einem Versuch die Düngerwirkung einer mit Schwefelsäure behandelten und einer unbehandelten Gülle. Als Vergleichsmaß entschieden sich die Autoren für die Mineraldüngeräquivalenz. Diese gilt als die Menge an Mineraldüngerstickstoff, die benötigt wird, um den gleichen Ertrag zu erzielen, wie durch den Einsatz von 100 kg Wirtschaftsdüngerstickstoff erzielt wird. Im Versuch wurde festgestellt, dass die unbehandelte Gülle eine Mineraldüngeräquivalenz von 60 kg Stickstoff aufwies. In der angesäuerten Gülle hingegen wurde eine Mineraldüngeräquivalenz von 86 kg Stickstoff ermittelt. Dies entspricht einer 43 Prozent höheren Düngerwirkung gegenüber der unbehandelten Gülle (KAI et al., 2008).

Die von BUCHGRABER und RESCH (1997) untersuchte Molke wies ein Gesamtstickstoffgehalt von 1,3 kg/t auf, wobei 6 Prozent des Gesamtstickstoffs in Form von Ammonium vorlagen. Des Weiteren konnte in einer Tonne Molke 1 kg Phosphat ( $P_2O_5$ ), 1,7 kg Kaliumoxid ( $K_2O$ ), 700 g Calciumoxid ( $CaO$ ) und 200 g Magnesiumoxid ( $MgO$ ) ermittelt werden. In dem von BUCHGRABER und RESCH (1997) durchgeführten Versuch wurde die Nährstoffzufuhr einer 1:1 mit Wasser und einer 1:1 mit Molke verdünnten Rindergülle verglichen. Deshalb wurden im Frühjahr und nach dem ersten und zweiten Schnitt jeweils 20 m<sup>3</sup>/ha beider Varianten ausgebracht. Durch die mit Molke verdünnte Variante konnte dem Pflanzenbestand 37 Prozent mehr Stickstoff (50 kg N/ha) zur Verfügung gestellt werden. Neben der verbesserten Stickstoffzufuhr konnte der Phosphorgehalt um 79 Prozent (37,2 kg  $P_2O_5$ /ha) und der Kaliumgehalt um 35 Prozent (88,5 kg  $K_2O$ /ha) erhöht werden. Dies führte zu einer Steigerung des Jahresertrags von 90,4 dt TM/ha auf 95,9 dt TM/ha (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

Durch die Verdünnung der Gülle mit Wasser konnte eine proportionale Abnahme der Einwertigen Kationen Kalium ( $K^+$ ) und Natrium ( $Na^+$ ) beobachtet werden. Hingegen nahm die Konzentration der Zweiwertigen Kationen Magnesium ( $Mg^{2+}$ ) und Calcium ( $Ca^{2+}$ ) in einem kleineren Verhältnis ab. Die höhere Konzentration von Magnesium und Calcium wurde der Nährstofffreisetzung aus den organischen Komponenten zugeschrieben (VAN DER STELT, 2005).

## 2.9 Emissionen aus Wirtschaftsdüngern

### 2.9.1 Ammoniakemissionen

Rund 94 Prozent der österreichischen Ammoniakemissionen werden der Nutztierhaltung zugeschrieben, wobei 43,4 Prozent auf die Wirtschaftsdüngerausbringung und 46,5 Prozent auf Stall-, Hof- und Lagerverluste entfallen (Abbildung 3). Dies entspricht einer jährlichen Emissionsmenge von 63.000 Tonnen Ammoniak in Österreich. Der Emissionstrend von Ammoniak in der Landwirtschaft ist relativ stabil und wurde innerhalb der letzten 24 Jahre um nur ein Prozent reduziert. Als Grund für den leichten Emissionsrückgang wird der abnehmende Viehbesatz beschrieben (UMWELTBUNDESAMT, 2016).

NH<sub>3</sub>-Emissionsquellen innerhalb der österreichischen Landwirtschaft

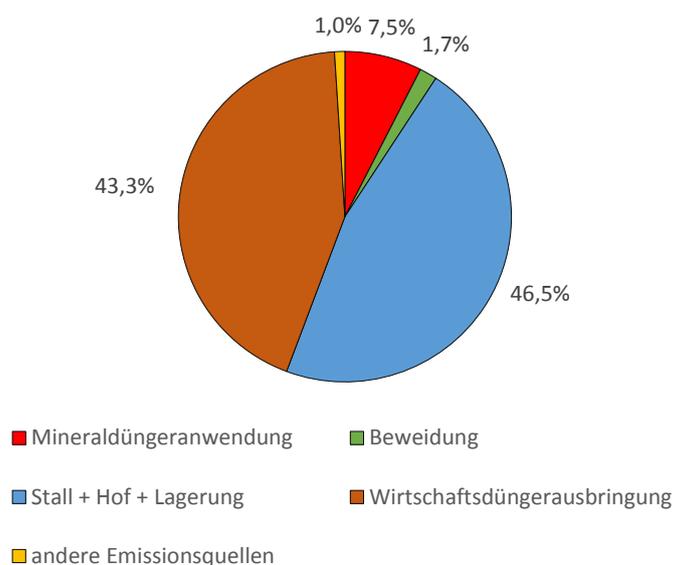


Abbildung 3: Anteile der Ammoniakemissionsquellen innerhalb der österreichischen Landwirtschaft (nach UMWELTBUNDESAMT, 2016).

Ammoniakemissionen entstehen während des Anfallens, der Lagerung und der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Diese können von wenigen Metern bis hin zu mehreren hundert Kilometern mit dem Wind verfrachtet und in Form von Ammoniak, Ammonium und Aerosolen in die Böden eingetragen werden. Aufgrund dieser Verlagerung werden in der Schweiz durchschnittlich 30 kg Stickstoff pro Hektar eingetragen (FRICK et al., 1996). In Österreich hingegen beläuft sich der atmosphärische Stickstoffeintrag auf 15 kg pro Hektar (STATISTIK AUSTRIA, 2008). Auf landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen kann diese Gratisdüngung von Vorteil sein. In naturnahen Gebieten hingegen kann dieser Stickstoffeintrag negative Folgen mit sich bringen.

Durch die pflanzliche Aufnahme von Ammonium werden  $H^+$ -Ionen in den Boden abgegeben. Dies führt zur Versauerung der Böden und zu einer Lösung der Kationen aus deren Bindungsplätzen. Weiters können Stickstoffeintragungen in ungedüngten Böden, welche von einem relativ geschlossenen Stickstoffkreislauf geprägt sind, zu einer Veränderung der Vegetationszusammensetzung in Richtung stickstoffliebende Pflanzen (Nitrophyten) führen. Die Akkumulation von Stickstoff führt zusätzlich zu einer Reduktion der Feinwurzeln und der Mykorrhiza-Symbiose und folglich zu einer Verschlechterung des Nährstoffgleichgewichts und zu einem erhöhten Wasserstress. Diese Beeinflussungen tragen wesentlich zum Waldsterben bei (KATZ et al., 1996).

Neben den umweltrelevanten Schäden entstehen durch die Ammoniakemissionen zusätzlich innerbetriebliche Stickstoffverluste. Aufgrund des limitierenden Stickstoff-Einsatzes ökologischer Betriebe müssen die Ammoniakemissionen besonders geringgehalten werden, damit unerwünschte Ertragseinbußen vermieden werden (FRICK et al., 1996).

### 2.9.2 Lachgasemissionen

In Österreich entfallen 70,1 Prozent der Lachgasemissionen auf die Landwirtschaft. Dies entspricht einer jährlichen Emission von 11.500 Tonnen und einem Anteil von 48 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen der österreichischen Landwirtschaft (BAUMGARTNER et al., 2011; UMWELTBUNDESAMT, 2016). Das Treibhauspotential von einem Molekül Lachgas wird laut IPCC 1995 auf 310-mal so hoch wie die von Kohlendioxid geschätzt und weist eine Verweildauer von 120 Jahren in der Atmosphäre auf (HEDIGER, 2004).

Lachgasemissionen entstehen hauptsächlich während der Lagerung und der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, sowie durch den Abbau von Mineraldüngern. Bei der aeroben Nitrifikation bilden sich Nitrate und Nitrite aus Ammonium und Ammoniak. Die entstandenen Nitrate und Nitrite werden in den strikt anaeroben Denitrifikationsprozessen in Lachgas und Distickstoff umgewandelt. Das Verhältnis von Lachgas zu Distickstoff in der Gülle nimmt mit einer stärkeren Versauerung, einer zunehmenden Nitratkonzentration und mit einer abnehmenden Feuchtigkeit zu (DONG et al., 2014; LEICK, 2003). Weiters unterstützt ein niedriger pH-Wert die Bildung von Lachgas. Durch die Herabsetzung des Gülle-pH-Werts von 7,5 auf 6,5 konnte ein signifikanter Anstieg der Lachgasemissionen festgestellt werden (HANAKI et al., 1992).

### 2.9.3 Methanemissionen

In Österreich werden 68,8 Prozent der Methanemissionen der Landwirtschaft zugeschrieben. Dies entspricht einer Emissionsmenge von 182.300 Tonnen, wobei 85 Prozent durch den mikrobiellen Abbau von Raufutter im Verdauungstrakt von Rindern produziert werden. Als weitere landwirtschaftliche Emissionsquelle wird die Lagerung von Hofdüngern beschrieben (UMWELTBUNDESAMT, 2016; HEDIGER, 2004).

Das Treibhauspotential von einem Molekül Methan wird laut IPCC 1995 auf 21-mal so hoch wie Kohlendioxid eingestuft und weist eine Verweildauer von zwölf Jahren in der Atmosphäre auf (HEDIGER, 2004). Um der Methanfreisetzung während der Hofdüngerlagerung entgegenzuwirken, reduziert man den Trockenmassegehalt und die leicht abbaubaren organischen Substanzen in der Gülle (AMON et al., 2006). Als weitere Maßnahme kann ihr pH-Wert herabgesetzt werden, da der optimale Bereich der methanbildenden Archaeen zwischen pH 6,8 und 7,8 liegt (SCHIEDER et al., 2010).

## 3. Material und Methodik

### 3.1 Standort und Betrieb

Der Versuch wurde am Moarhof, dem Lehr- und Forschungsbetrieb des Instituts für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, durchgeführt. Das Bio-Institut (Breite: 47° 31' 3" N, Länge: 14° 4' 27" E) liegt im Gemeindegebiet von Stainach-Pürgg im mittleren steirischen Ennstal auf einer Seehöhe von 670 m. Der langjährige durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 1.014 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur bei 7,0 °C.

Die untersuchte Rindergülle stammte von den 30 Milchkühen des Moarhofs, die nach den Richtlinien der Biologischen Landwirtschaft gehalten werden. Aufgrund des Vollweidesystems am Bio-Betrieb fällt die Gülle ausschließlich in den Wintermonaten an. Die Futtermittelration der Milchkühe setzte sich in den Wintermonaten 2015/2016 aus 16,6 Prozent Heu, 75,8 Prozent Grassilage und 7,6 Prozent Kraftfutter zusammen.

### 3.2 Versuchsdesign

Der Versuch, der den Kern dieser Arbeit bildete, wurde im Zeitraum von 7. April 2016 bis 28. Juli 2016 im Gülleversuchsraum des Moarhofs durchgeführt. Er setzte sich aus zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen zusammen. Die Anordnung wurde viermal pro Durchgang wiederholt, wobei jede Wiederholung zwei Wochen lang dauerte. Damit ergaben sich in der Gesamtversuchsdauer von 16 Wochen acht Wiederholungen.

Die untersuchten Varianten **(A)** Rindergülle mit Wasser, **(B)** Rindergülle mit Molke und **(C)** Rindergülle mit Sauerkrautsaft wurden jeweils in einem Mischungsverhältnis von 1:1 erstellt. Die drei Varianten wurden zu Beginn jeder Wiederholung den Gülleversuchsbehältern zufällig zugewiesen. Im ersten Durchgang wurden die Varianten direkt in den Gülleversuchsbehältern aus Rohgülle und Gülleverdünnungsmitteln zusammengestellt. Zuerst wurden die Behälter mit 90 kg Rohgülle befüllt (*Abbildung 4*). Daraufhin wurden weitere 90 kg Gülleverdünnungsmittel in die Gülleversuchsbehälter gegeben. Danach wurden die Versuchsbehälter in den Gülleversuchsraum gebracht, wo die Messungen stattfanden (*Abbildung 5*).



Abbildung 4: Befüllung der Gülleversuchsbehälter mit 90 kg Rohgülle für die anschließende Variantenbildung

Nach einem Untersuchungszeitraum von zwei Wochen wurde die Gülle in geschlossene Kunststoffbehälter überführt und zwischengelagert. Für jede Variante stand ein eigener Behälter mit einer Kapazität von einem Kubikmeter zur Verfügung. Dieser Ablauf wurde bei allen vier Wiederholungen des ersten Durchgangs beibehalten.

Nach Beendigung des ersten Durchgangs befand sich in den drei Kunststoffbehältern somit die gesammelte Versuchsgülle aus vier Wiederholungen. Direkt anschließend wurde die zwischengelagerte Versuchsgülle im zweiten Durchgang neuerlich als Testsubstanz für die selbe Variante verwendet. In jeder Wiederholung des zweiten Durchgangs wurden die Varianten den Gülleversuchsbehältern erneut zufällig zugeteilt. Durch diese Zwischenlagerung konnten die Auswirkungen der Aufbewahrung auf die Gülle festgestellt werden. In der *Tabelle 1* ist die Beschreibung der Varianten und der Durchgänge dargestellt.

*Tabelle 1: Zusammenfassung der erstellten Varianten inklusive Mischungspartner und -verhältnis; Beschreibung des Güllezustands in Abhängigkeit der Durchgänge*

		Erläuterung
<b>Variante</b>	A	Rindergülle 1:1 mit Wasser verdünnt
	B	Rindergülle 1:1 mit Süßmolke verdünnt
	C	Rindergülle 1:1 mit Sauerkrautsaft verdünnt
<b>Durchgang</b>	1	frische Rindergülle als Mischungspartner für die drei untersuchten Varianten
	2	bereits untersuchte und zwischengelagerte Rindergülle aus dem ersten Durchgang

Statistisch gesehen handelte es sich beim Versuchsaufbau um eine randomisierte Blockanlage. Da in jeder Wiederholung immer nur drei Varianten geprüft werden konnten, entstanden die Wiederholungs-Blöcke zeitlich versetzt. Um die durch die Versuchsbehälter bedingten Fehlerquellen zu vermeiden, wurden die Varianten nach jeder Wiederholung erneut auf die jeweiligen Gülleversuchsbehälter randomisiert. Der genaue Versuchsablauf wird in der *Tabelle 2* dargestellt. Diese Art der Versuchsanlage wird in der Statistik als einfaktorielle Blockanlage bezeichnet.



*Abbildung 5: Untersuchung der jeweiligen Varianten im Gülleversuchsraum des Moarhofs während des Versuchsablaufs*

Tabelle 2: Probeplan für den Versuchsablauf in Abhängigkeit der Durchgänge, Wiederholungen, Behälter und Varianten (Variante A = Gülle : Wasser, Variante B = Gülle : Molke, Variante C = Gülle : Sauerkrautsaft)

Durchgang	Wiederholung	Behälter	Variante
1	1	1	B
1	1	2	C
1	1	3	A
1	2	1	A
1	2	2	B
1	2	3	C
1	3	1	A
1	3	2	C
1	3	3	B
1	4	1	C
1	4	2	A
1	4	3	B
2	1	1	A
2	1	2	B
2	1	3	C
2	2	1	B
2	2	2	C
2	2	3	A
2	3	1	B
2	3	2	A
2	3	3	C
2	4	1	C
2	4	2	B
2	4	3	A

### 3.3 Sammlung der Gülle und der Gülleverdünnungsmittel

Wie bereits erwähnt stammt die verwendete Rohgülle von den 30 Bio-Milchkühen des Moarhofs. Mit einer Schaufel wurde die frische Gülle im Fressgang des Stallgebäudes gesammelt und in einen Kunststoffbehälter abgefüllt. Dies war nötig, da einerseits die Rindergülle aus der Güllegrube bereits mit Wasser verdünnt war und andererseits so frische Rindergülle zur Verfügung stand.

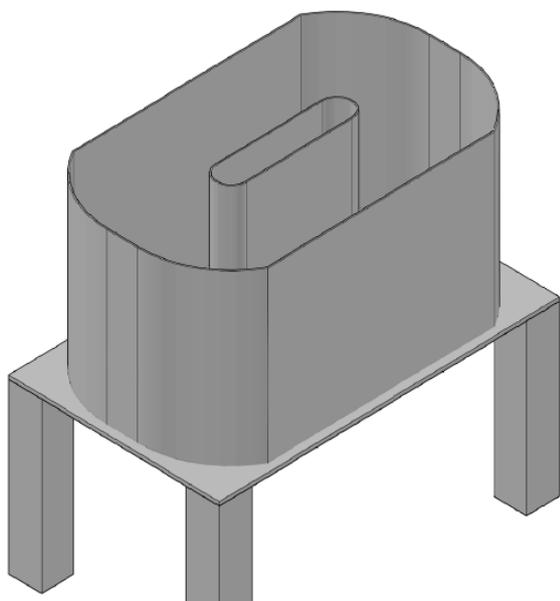
Der verwendete Sauerkrautsaft kam von einem Gemüsebaubetrieb aus dem Vorarlberger Rheintal. Der Betrieb wirtschaftet nach den Richtlinien der integrierten Produktion und produziert in einer Saison ca. 120 Tonnen Sauerkraut. Dabei fallen jährlich 10.000 bis 12.000 Liter Sauerkrautsaft als Nebenprodukt an. Der größte Teil wird ohne wirtschaftlichen Nutzen entsorgt.

Die in diesem Versuch untersuchte Süßmolke stammte aus dem hofeigenen Milchverarbeitungszentrum der Schuleinheit der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und entstand bei der Verkäsung der Milch der oben genannten Bio-Milchkühe des Moarhofs. Jährlich fallen ca. 1.500 Liter Süßmolke an. Diese wird zum größten Teil in der hofeigenen Bio-Schweinemast eingesetzt. Das für die Kontrollvariante verwendete Regenwasser wurde am Moarhof gesammelt.

### 3.4 Versuchsanlage

Die drei Gülleversuchsbehälter wiesen ein Fassungsvermögen von je 200 kg auf und wurden aufgrund der hohen Materialbeanspruchung aus rostfreiem Stahl hergestellt.

In den Behälter tauchte schräg ein elektrisches Rührwerk ein, das für die optimale Durchmischung der Flüssigkeiten sorgte. Die ovale Bauweise der Güllebehälter kombiniert mit einer mittigen, nicht durchgehenden Begrenzung ermöglichte einen gezielten ovalen Fluss der Gülle um die Trennwand. In den *Abbildungen 6* und *7* werden ein schematischer und ein im Versuch verwendeter Gülleversuchsbehälter dargestellt.



*Abbildung 6: Schematische Darstellung eines Gülleversuchsbehälters*



*Abbildung 7: Gülleversuchsbehälter inklusive Messsonden und Rührwerk während des Versuchsablaufs*

Die Versuchsbehälter waren mit drei Messsonden der Firma WTW ausgestattet. Die Sonden wurden zwischen die Trenn- und Außenwand der Behälter angebracht. Durch die Aufhängung der Messsonden tauchten die Sondenspitzen in das Probenmaterial ein. Der pH-Wert und das Redox-Potential konnten mit den zwei SensoLyt® Messsonden (WTW, 2018a) bestimmt werden. Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit einer TetraCon® Messzelle (WTW, 2018b) ermittelt.

Der pH-Wert der Gülleverdünnungsmittel wurde, vor der Vermischung mit der Gülle, mit einem mobilen pH-Meter der Marke WTW bestimmt.

### 3.5 Physikalische und chemische Messung

Die Messsonden lieferten permanent Daten über die physikalischen Eigenschaften der Varianten. Die Messdaten des pH-Werts, der elektrischen Leitfähigkeit, des Redox-Potentials und der Temperatur wurden im 30-Minuten-Intervall aufgezeichnet und an den Datenlogger weitergeleitet. Zur Auswertung der Daten wurden die Messwerte in die einzelnen Tage unterteilt. Anschließend konnte daraus das entsprechende Tagesmittel errechnet werden.

Für die chemische Analyse im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, wurde am ersten, am siebten und am letzten Tag jeder Wiederholung eine Frischprobe aus jedem Gülleveruchsbehälter gezogen. Der Trockenmassegehalt der Gülle wurde durch Trocknung der Probe für 48 Stunden bei 105 °C festgestellt. Anschließend konnte der Rohaschegehalt (XA) durch Veraschen der Probe im Muffelofen bestimmt werden.

Durch die Kjeldahlsche Stickstoffbestimmung wurde der Gesamtstickstoffgehalt (N) der Frischmasse (FM) erhoben. Mittels Neßler-Reagenz wurde der Ammonium-Gehalt in der Trockenmasse photometrisch ermittelt.

Die Gehalte der restlichen Mineralstoffe (Kalium, Calcium, Magnesium und Phosphor) wurden mittels Salzsäurebehandlung aus der Rohasche aufgeschlossen und am ICP (Inductively Coupled Plasma) bestimmt.

Zur Bestimmung der kohlenstoffförmigen Emissionen wurden zu Beginn und am Ende jeder Wiederholung eine zusätzliche Frischprobe gezogen. Die Proben trockneten schonend bei einer Temperatur von 50 °C. Der durch die Verbrennungsmethode nach Dumas freigesetzte Kohlenstoff wurde mit einem CNS-Messgerät erfasst. Mittels Differenzbildung konnten die

Gehaltsabweichungen zwischen dem ersten und letzten Tag der Wiederholung erhoben werden. Dieser Differenzwert entspricht den C- und N-Emissionen. Alle untersuchten Eigenschaften wurden in der *Tabelle 3* zusammengefasst.

Zur indirekten Emissionsbestimmung wurden die Versuchsbehälter zu Beginn und am Ende jeder Wiederholung gewogen. Dazu wurde das Taragewicht der leeren Behälter ermittelt und anschließend das Gewicht der eingefüllten Gülle mit dem Verdünnungsmittel notiert. Am Ende der zweiwöchigen Versuchsdauer einer Wiederholung wurde das Endgewicht des gesamten Behälters ermittelt. Das Gewicht der entnommenen Frischproben wurde notiert und in der Kalkulation berücksichtigt. Mit Hilfe der analysierten Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte wurden die Stickstoff- und Kohlenstoffmengen zu Beginn und am Ende der zweiwöchigen Versuchszeit einer Wiederholung ermittelt und die Differenz errechnet.

Beim Auftreten von kalkulatorischen Kohlenstoff Anreicherungen während einer Wiederholung wurden diese als ungültig erklärt und auf 0 gesetzt. Dies wurde durch das Fehlen von Kohlenstoffquellen gerechtfertigt. Die Kohlenstoffanreicherungen wurden deshalb mit Fehlern in der Messung oder in der Probenahme begründet.

*Tabelle 3: Aufzählung der untersuchten physikalischen- und chemischen Eigenschaften der Rindergülle sowie der ermittelten Emissionen während des Versuchsablaufs*

Physikalische Parameter	Chemische Eigenschaften	Emissionen
Elektrische Leitfähigkeit	Trockenmassegehalt in FM	Kohlenstoffemissionen
pH-Wert	Rohaschegehalt in TM	Stickstoffemissionen
Redox-Potential	Kaliumgehalt in TM	
	Calciumgehalt in TM	
	Magnesiumgehalt in TM	
	Phosphorgehalt in TM	
	Stickstoffgehalt in TM & FM	
	Ammoniumgehalt in TM & FM	

### 3.6 Kalkulatorische Ermittlung des Nährstoff- und Emissionspotentials

Um die effektiven Auswirkungen der Gülleverdünnungsmittel auf den Stickstoffanfall bzw. auf die Emissionsbildung darzustellen, wurde die jährliche Nährstoff- und Gülleanfallsmenge auf Grundlage des Viehbesatzes des Moarhofs kalkulatorisch ermittelt. Als Datengrundlage für die angefallene Menge dienten die Angaben aus der Richtlinie für sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2017). Die variantenabhängigen Daten (N-Gehalt in der FM, C- und N-Emissionen) wurden aus dem vorliegenden Versuch entnommen. Das Produkt aus dem gesamtbetrieblichen jährlichen Gülleanfall und dem Stickstoffgehalt pro Kubikmeter Gülle entspricht dem gesamtbetrieblichen jährlichen Stickstoffgehalt. Die jährlichen Kohlenstoff- und Stickstoffemissionen wurden nach dem gleichen Prinzip ermittelt.

### 3.7 Statistische Auswertung

Die Versuchsdaten wurden mit der Software SAS 9.4 ausgewertet. Dazu wurde das Modell MIXED-Prozedur verwendet. Die Residuen wurden auf Normalverteilung und auf Varianzhomogenität geprüft und erfüllten die Vorgaben für die weitere statistische Auswertung. Als fixe Effekte wurden Variante, Durchgang und Tag bestimmt, sowie die Wechselwirkungen aus Variante\*Durchgang, Variante\*Tag und Variante\*Tag\*Durchgang. Als zufällig (random) galten dagegen Versuchswochen, die Versuchsgüllebehälter und die Wechselwirkung aus Versuchswochen\*Versuchsgüllebehälter. Um die Auswirkung von Temperaturschwankungen abzumildern, wurde diese als Kovariable in das Modell mit aufgenommen. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,05$  festgelegt. Die *Abbildung 8* entspricht einem Auszug aus dem Syntax.

In den Ergebnissen werden die LSMEANS (Least Square Means) und der SEM (Standardfehler) präsentiert. Mittels Tukey-Test erfolgte der paarweise Mittelwertvergleich. Bei signifikanten Unterschieden zwischen den LSMEANS wurden diese mit verschiedenen Kleinbuchstaben kenntlich gemacht.

```
proc mixed data = sasuser.Sensorwerte;

class behaelter wh var tag durchgang;
model ph= var tag durchgang var*durchgang var*tag var*tag*durchgang temp
/ddfm=kr;
lsmeans var var*tag var*durchgang tag durchgang var*tag*durchgang /pdiff
adjust=tukey;
random behaelter wh behaelter*wh;
*ods output diffs=diffs;
*ods output lsmeans=lsmeans;
*%mult(trt=var, alpha=0.05, p=adjp);
run;
```

Abbildung 8: Auszug des Syntax aus dem Programm SAS 9.4 Mixed Prozedur für die Ermittlung des pH-Werts mit den fixen Effekten Variante, Durchgang und Tag sowie den Wechselwirkungen aus Variante\*Durchgang, Variante\*Tag und Variante\*Tag\*Durchgang

Die Abhängigkeit zwischen pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit und Redox-Potential wurde durch die Ermittlung des Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) festgestellt. Dafür wurden über alle Varianten und Wiederholungen hinweg die physikalischen Parameter errechnet. Durch die Anwendung der Bestimmtheitsmaß-Funktion in der Software Microsoft Excel konnte die Korrelation zwischen den jeweiligen physikalischen Parametern hergestellt werden (pH-Wert : elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert : Redox-Potential, elektrische Leitfähigkeit : Redox-Potential).

## 4. Ergebnisse

Um die Ergebnisse dieser Untersuchung besser nachvollziehen und darstellen zu können, werden die in der Methode beschriebenen Variantenbezeichnungen (A, B und C) auf die jeweiligen Gülleverdünnungsmittel (A = Wasser, B = Molke und C = Sauerkrautsaft) reduziert.

### 4.1 Gülleverdünnungsmittel

Vor dem Versuchsbeginn wurden die verwendeten Gülleverdünnungsmittel auf den pH-Wert untersucht (*Tabelle 4*). Der pH-Wert des Wassers befand sich mit pH 7,7 im leicht alkalischen Bereich. Hingegen lagen die Molke mit pH 4,1 und der Sauerkrautsaft mit pH 3,4 im sauren Bereich.

*Tabelle 4: pH-Werte der drei Gülleverdünnungsmittel zu Versuchsbeginn (07.04.2016) des am HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuchs*

Gülleverdünnungsmittel	pH-Wert
Wasser	7,7
Molke	4,1
Sauerkrautsaft	3,4

Die milchsauen Gülleverdünnungsmittel wurden zusätzlich auf deren chemische Zusammensetzung untersucht (*Tabelle 5*). In der Molke lag ein höherer Trockenmasse- (TM) und Phosphorgehalt (P) gegenüber dem Sauerkrautsaft vor. Dagegen enthielt der Sauerkrautsaft mehr Rohasche (XA), Kalium (K), Stickstoff (N) und Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Keinen mengenmäßigen Unterschied zeigten sich bei den Calcium- (Ca) und Magnesiumgehalten (Mg).

*Tabelle 5: TM- und Mineralstoffgehalt der milchsauen Gülleverdünnungsmittel zu Versuchsbeginn (07.04.2016) des am HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuchs*

	TM	XA	P	K	Ca	Mg	N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
	g/kg FM	g/kg TM	g/kg FM	g/kg FM				
Molke	49,9	4,1	0,3	1,1	0,3	0,1	1,0	0,1
Sauerkrautsaft	48,8	14,9	0,2	2	0,3	0,1	1,6	0,2

## 4.2 Physikalische Analyse

Die angeführten Werte setzten sich aus den Mittelwerten über alle Versuchswochen und Durchgänge zusammen (*Tabelle 6*). Zwischen allen Varianten waren signifikante Unterschiede gegeben. Der höchste pH-Wert wurde mit pH 7,5 in der ausschließlich mit Wasser verdünnten Variante festgestellt. Durch die Verdünnung mit Sauerkrautsaft sank der pH-Wert gegenüber der Wasserverdünnung um 1,6 pH-Punkte. Mit pH 5,5 lag der Wert durch die Molkeverdünnung am niedrigsten.

Die mit Wasser verdünnte Variante wies mit 14,1 mS/cm die geringste elektrische Leitfähigkeit auf. Durch die Molkeverdünnung stieg die elektrische Leitfähigkeit um 13 Prozent und bei der Verdünnung mit Sauerkrautsaft um 68 Prozent gegenüber der Wasserverdünnung an.

Das niedrigste Redox-Potential wurde mit -543 mV in der mit Wasser verdünnten Variante gemessen. Durch die Sauerkrautsaftverdünnung erhöhte sich das Redox-Potential um 103 mV gegenüber der Variante mit Wasserverdünnung. Bei der molkeverdünnten Variante wurde das höchste Redox-Potential mit -393 mV ermittelt.

*Tabelle 6: Durchschnittliche physikalische Parameter der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein*

		Variante						p-Wert
		Wasser		Molke		Sauerkrautsaft		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
pH-Wert		7,5 <sup>a</sup>	0,13	5,5 <sup>c</sup>	0,13	5,9 <sup>b</sup>	0,13	<0,0001
Elektrische Leitfähigkeit	mS/cm	14,1 <sup>c</sup>	0,32	15,9 <sup>b</sup>	0,32	23,7 <sup>a</sup>	0,32	<0,0001
Redox-Potential	mV	-543 <sup>c</sup>	12,5	-393 <sup>a</sup>	12,5	-440 <sup>b</sup>	12,6	<0,0001

Im zweiten Durchgang wurde über alle Varianten hinweg eine signifikante Erhöhung der physikalischen Parameter gegenüber dem ersten Durchgang nachgewiesen (*Tabelle 7*). Der pH-Wert und das Redox-Potential erhöhten sich im zweiten Durchgang jeweils um rund 3 Prozent. Die elektrische Leitfähigkeit nahm gegenüber dem ersten Durchgang um 13 Prozent zu.

Tabelle 7: Durchschnittliche physikalische Parameter der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

		Durchgang				p-Wert
		1		2		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
pH-Wert		6,2 <sup>b</sup>	0,13	6,4 <sup>a</sup>	0,13	<0,0001
Elektrische Leitfähigkeit	mS/cm	16,8 <sup>b</sup>	0,33	19,0 <sup>a</sup>	0,33	<0,0001
Redox-Potential	mV	-465 <sup>b</sup>	12,7	-452 <sup>a</sup>	12,7	0,0201

Wie in *Tabelle 8* ersichtlich ergaben sich in der Gegenüberstellung aller Varianten und der jeweiligen Durchgänge signifikante Unterschiede im pH-Wert. Zwischen den beiden Durchgängen wurde in den mit Wasser und Molke verdünnten Varianten jedoch kein signifikanter Unterschied im pH-Wert festgestellt. In der mit Sauerkrautsaft behandelten Variante wurde zwischen den Durchgängen eine signifikante pH-Wert-Erhöhung von pH 0,5 gemessen.

Die mit Wasser verdünnte Variante zeigte in Bezug auf die elektrische Leitfähigkeit keinen signifikanten Unterschied zwischen den Durchgängen. Ansonsten wurden zwischen allen Varianten und Durchgängen signifikante Unterschiede beobachtet. Die stärkste Veränderung zwischen den Durchgängen ergab sich wieder in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante. Hier erhöhte sich die Leitfähigkeit im zweiten Durchgang um 24 Prozent gegenüber dem ersten Durchgang.

Beim Redox-Potential wurden in der wasserverdünnten Variante wiederum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Durchgängen festgestellt. Im ersten Durchgang waren zwischen der Molke- und der Sauerkrautsaftverdünnung keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Im zweiten Durchgang hingegen war das Redox-Potential der molkeverdünnten Variante um 107 mV höher gegenüber der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante. Das Redox-Potential der molkeverdünnten Variante nahm zwischen dem ersten und zweiten Durchgang um 71,7 mV zu. In der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante hingegen sank das Redox-Potential im zweiten Durchgang um 47,6 mV.

Tabelle 8: Durchschnittliche physikalische Parameter der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkungen zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

			Variante						p-Wert
			Wasser		Milke		Sauerkrautsaft		
Durchgang			1	2	1	2	1	2	
Parameter	Einheit								
pH-Wert	LSMEAN		7,5 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	5,4 <sup>d</sup>	5,5 <sup>d</sup>	5,6 <sup>c</sup>	6,1 <sup>b</sup>	<0,0001
	SEM		0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	
Elektrische Leitfähigkeit	mS/cm	LSMEAN	13,7 <sup>e</sup>	14,4 <sup>e</sup>	15,4 <sup>d</sup>	16,5 <sup>c</sup>	21,2 <sup>b</sup>	26,3 <sup>a</sup>	<0,0001
		SEM	0,39	0,37	0,37	0,39	0,37	0,37	
Redox-Potential	mV	LSMEAN	-551 <sup>d</sup>	-535 <sup>d</sup>	-429 <sup>b</sup>	-357 <sup>a</sup>	-416 <sup>b</sup>	-464 <sup>c</sup>	<0,0001
		SEM	13,6	13,3	13,3	13,6	13,2	13,2	

#### 4.2.1 Temperatur

Der Temperaturverlauf setzt sich aus dem Mittel aller Varianten und Wiederholungen des jeweiligen Durchgangs zusammen. Die Temperatur war im ersten Durchgang relativ konstant und lag zwischen 12,3 und 13,2 ° C (Abbildung 9). Ab dem fünften Versuchstag des zweiten Durchgangs konnte ein Temperaturanstieg von 17,6 auf 19,5 ° C beobachtet werden. Im zweiten Durchgang wurde ein signifikant höheres Temperaturniveau gegenüber dem ersten Durchgang festgestellt (Tabelle 28, Anhang).

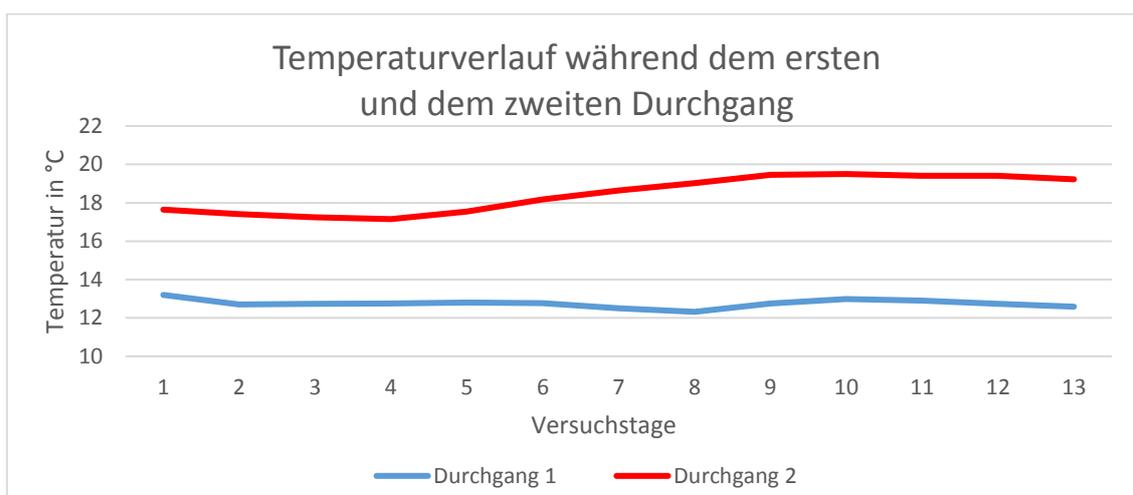
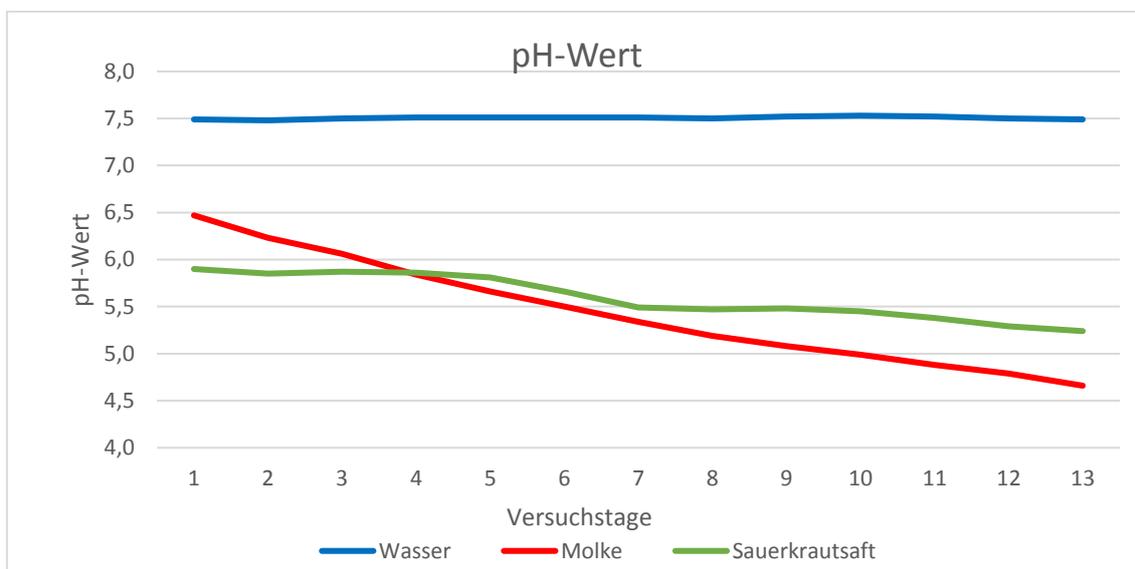


Abbildung 9: Vergleich des Temperaturverlaufs zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang im Mittel über alle Varianten und die vier Wiederholungen des jeweiligen Durchgangs während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

#### 4.2.2 pH-Wert

Die Signifikanz des pH-Wertverlaufs konnte sowohl im ersten, als auch im zweiten Durchgang bestätigt werden (*Tabelle 25, Anhang*). Im ersten Durchgang blieb der pH-Wert der wasserverdünnten Variante konstant bei pH 7,5 (*Abbildung 10*). Die mit Molke verdünnte Variante startete bei pH 6,5 und sank kontinuierlich auf pH 4,7. Ab dem vierten Versuchstag wurden in dieser Variante die niedrigsten pH-Werte festgestellt. Die mit Sauerkrautsaft verdünnte Variante startete mit dem niedrigsten pH-Wert. In den ersten vier Versuchstagen stand der pH-Wert dieser Variante konstant bei pH 5,9. Anschließend nahm der pH-Wert innerhalb von zwei Tagen um pH 0,4 ab und verlief bis zum zehnten Versuchstag auf dem gleichen Niveau. In den letzten drei Versuchstagen wurde erneut ein Abfall auf pH 5,2 beobachtet.



*Abbildung 10: pH-Wertverlauf der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des ersten Durchgangs (07.04.2016 – 02.06.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch*

Im zweiten Durchgang war bei allen Varianten eine Steigerung des pH-Werts während des Untersuchungszeitraums erkennbar (*Abbildung 11*). Die wasserverdünnte Variante startete mit pH 7,4 und stieg während des Durchgangs auf pH 7,8. Der pH-Wert der molkeverdünnten Variante blieb vom ersten bis zum vierten Tag konstant bei pH 5,3 und stieg in den restlichen neun Versuchstagen um pH 0,3. Die mit Sauerkrautsaft behandelte Variante startete bei pH 5,9. Nach einer Erhöhung innerhalb der ersten zehn Versuchstage um pH 0,4 stabilisierte sich der Wert bei pH 6,3.

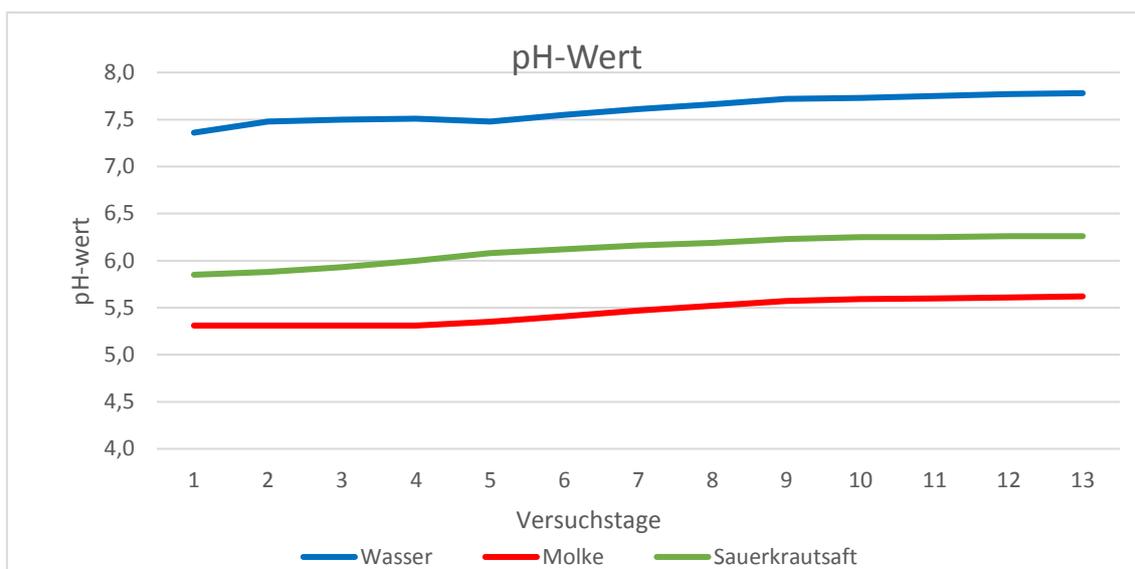


Abbildung 11: pH-Wertverlauf der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des zweiten Durchgangs (02.06.2016 – 28.07.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch

#### 4.2.3 Elektrische Leitfähigkeit

Der signifikante Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit konnte in beiden Durchgängen bestätigt werden (Tabelle 26, Anhang). Diese bleibt in der wasserverdünnten Variante relativ konstant und wies im ersten Durchgang eine Steigerung von 13,5 auf 13,8 mS/cm auf (Abbildung 12). Die molkeverdünnte Variante startete mit 13,2 mS/cm und stieg innerhalb der ersten acht Versuchstage auf 16,2 mS/cm. In der restlichen Durchgangsdauer bewegte sich die Leitfähigkeit im Bereich zwischen 15,5 und 16 mS/cm. Durch die Verdünnung mit Sauerkrautsaft stieg die Leitfähigkeit innerhalb der ersten drei Versuchstage von 18,9 auf 21,7 mS/cm. Am fünften Tag wurde ein Einbruch auf 18,6 mS/cm festgestellt. Mit Ausnahme eines kurzzeitigen Ausreißers am zwölften Versuchstag stieg die Leitfähigkeit ab dem sechsten Tag kontinuierlich auf 22,9 mS/cm an.

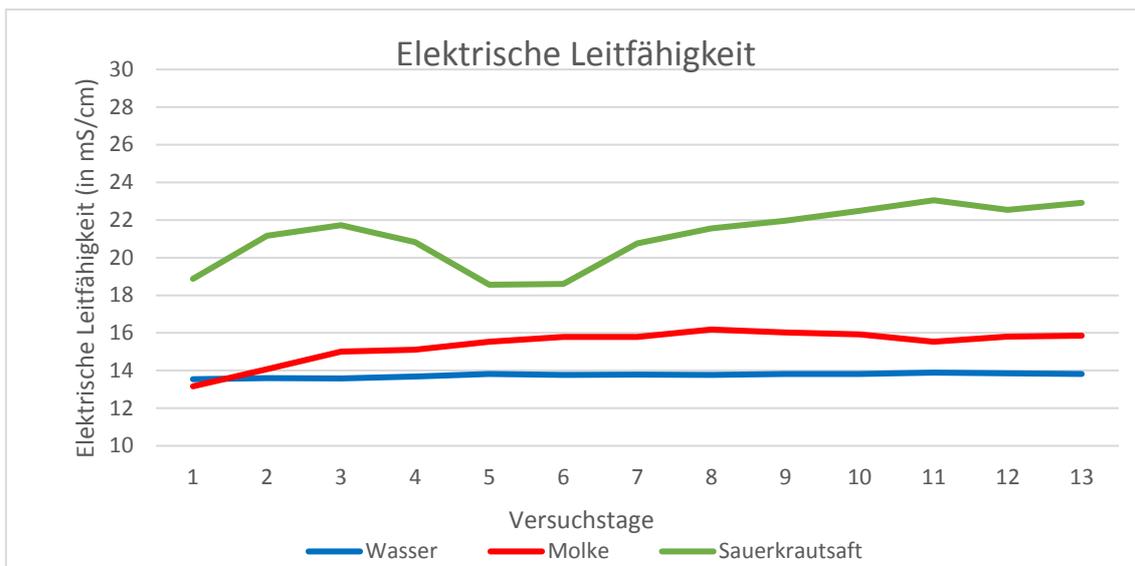


Abbildung 12: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des ersten Durchgangs (07.04.2016 – 02.06.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch

Die Leitfähigkeit der wasserverdünnten Variante blieb während des zweiten Durchgangs relativ konstant und verringerte sich um nur 0,4 mS/cm (Abbildung 13). Der Wert der mit Molke verdünnten Variante stieg lediglich von 15,7 auf 16,4 mS/cm an. Ausschließlich am siebten Tag konnte ein kurzzeitiger Einbruch beobachtet werden. Die höchste Leitfähigkeit wurde erneut bei der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante festgestellt. Innerhalb der ersten acht Versuchstage stieg die Leitfähigkeit dieser Variante um 3,4 mS/cm an. Im restlichen Untersuchungszeitraum sank die Leitfähigkeit von 27,2 auf 25,9 mS/cm.

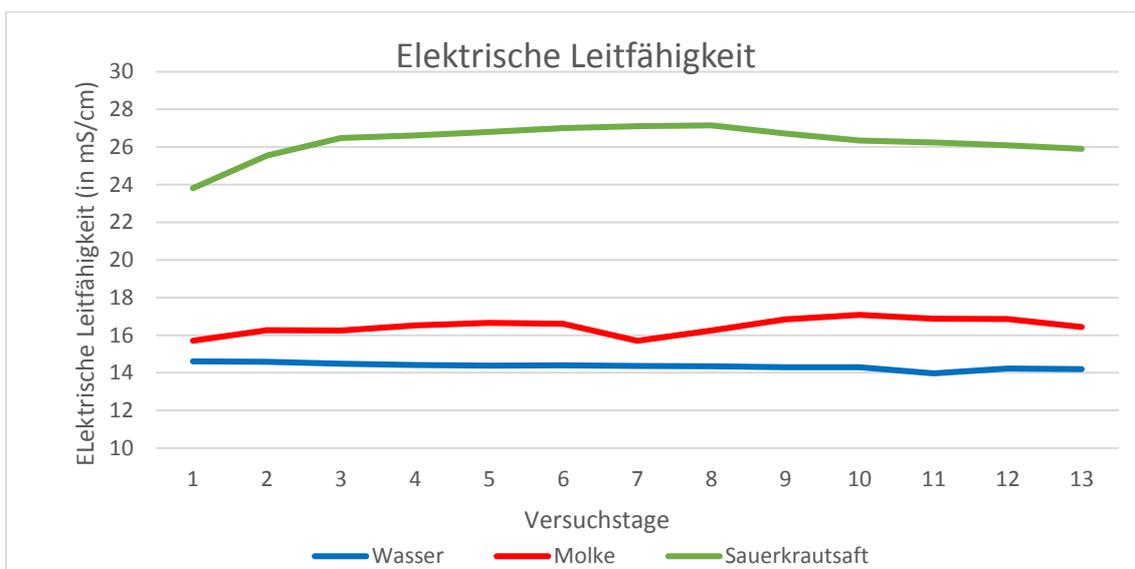


Abbildung 13: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des zweiten Durchgangs (02.06.2016 – 28.07.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch

Alle physikalischen Parameter wurden zusätzlich durch das Errechnen des Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) auf die Korrelation zueinander geprüft. Durch die Gegenüberstellung der elektrischen Leitfähigkeit und dem pH-Wert wurde eine Abhängigkeit ( $R^2=0,6838$ ) zwischen den Parametern festgestellt (Abbildung 14).

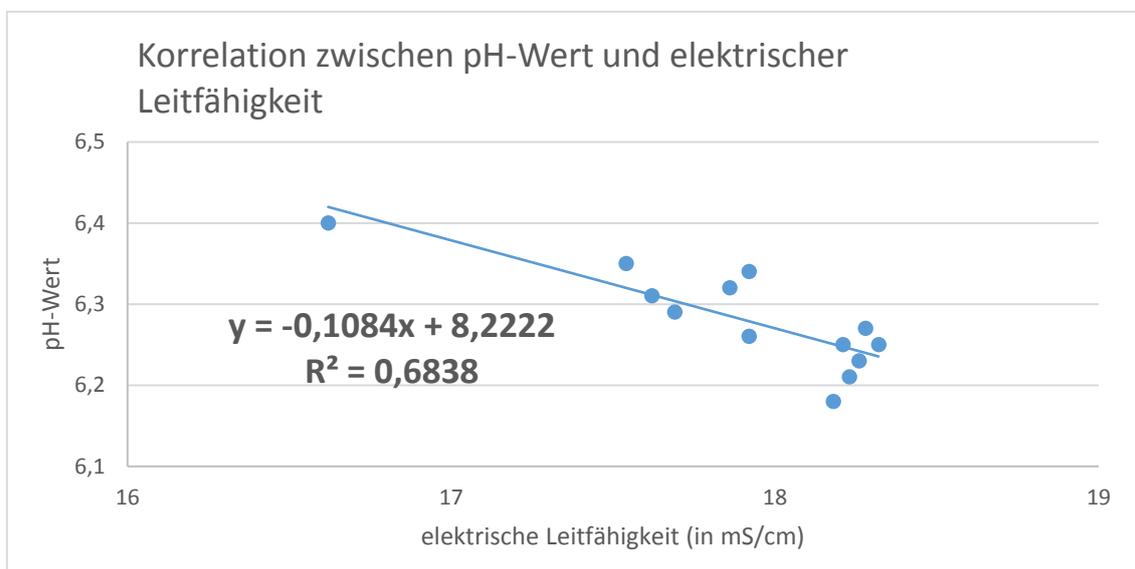


Abbildung 14: Gegenüberstellung des pH-Wertverlaufs und des Verlaufs der elektrischen Leitfähigkeit im Mittel aller Varianten und Wiederholungen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

#### 4.2.4 Redox-Potential

Der Verlauf des Redox-Potentials konnte ebenfalls in beiden Durchgängen signifikant bestätigt werden (Tabelle 27, Anhang). Das niedrigste Redox-Potential wurde im ersten Durchgang bei der wasserverdünnten Variante gemessen, wobei die Werte relativ konstant im Bereich zwischen -558 und -545 mV blieben (Abbildung 15). Der Wert der Molkegülle startete bei -496 mV und stieg während des ersten Durchgangs auf -372 mV an. Die mit sauerkrautsaftverdünnte Variante begann mit einem Redox-Potential von -431 mV. Der Verlauf ihres Redox-Potentials schwankte und lag im Bereich zwischen -396 und 429 mV. Am Ende des ersten Durchgangs wurde ein Redox-Potential von -423 mV festgestellt.

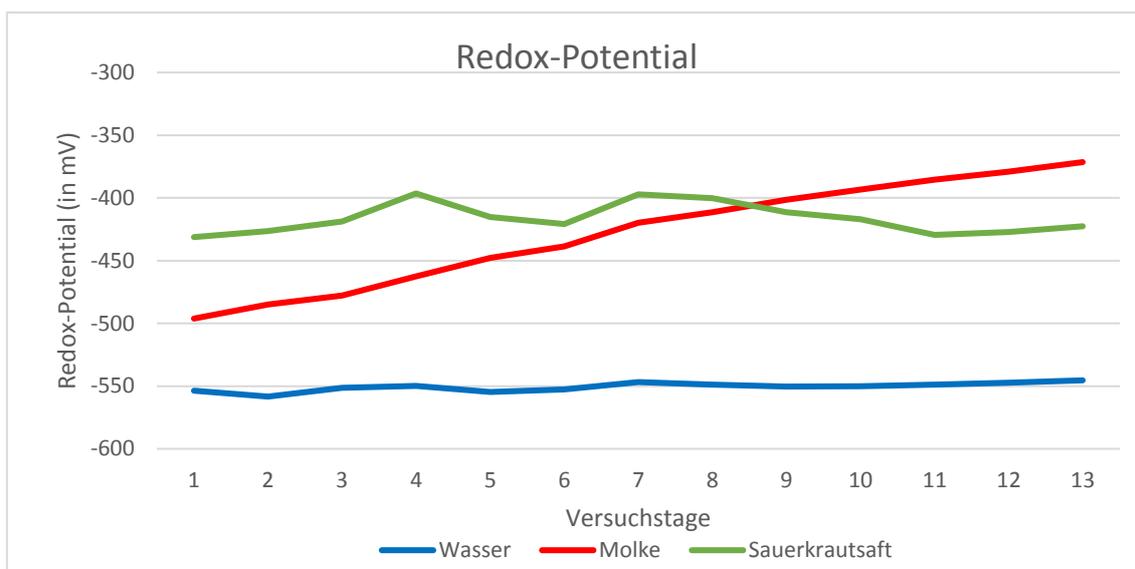


Abbildung 15: Verlauf des Redox-Potentials der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des ersten Durchgangs (07.04.2016 – 02.06.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch

Während des zweiten Durchgangs ergab sich bei allen Varianten eine kontinuierliche Reduktion des Redox-Potentials (Abbildung 16). Das niedrigste Redox-Potential wurde erneut bei der mit Wasser verdünnten Variante beobachtet. Beginnend mit einem Redox-Potential von -511 mV sank der Wert kontinuierlich auf -550 mV. Das höchste Redox-Potential wurde in der mit Molke verdünnten Variante gemessen. Hier wurde mit Ausnahme einer Schwankung am siebten Tag ein kontinuierlicher Abfall des Redox-Potentials von -338 auf -379 mV ermittelt. Die mit Sauerkrautsaft verdünnte Variante startete im zweiten Durchgang mit einem um 15 mV höheren Redox-Potential gegenüber dem ersten Durchgang. Mit Ausnahme eines kurzen Anstiegs am siebten Tag sank das Redox-Potential dieser Variante stetig von -446 auf -478 mV.

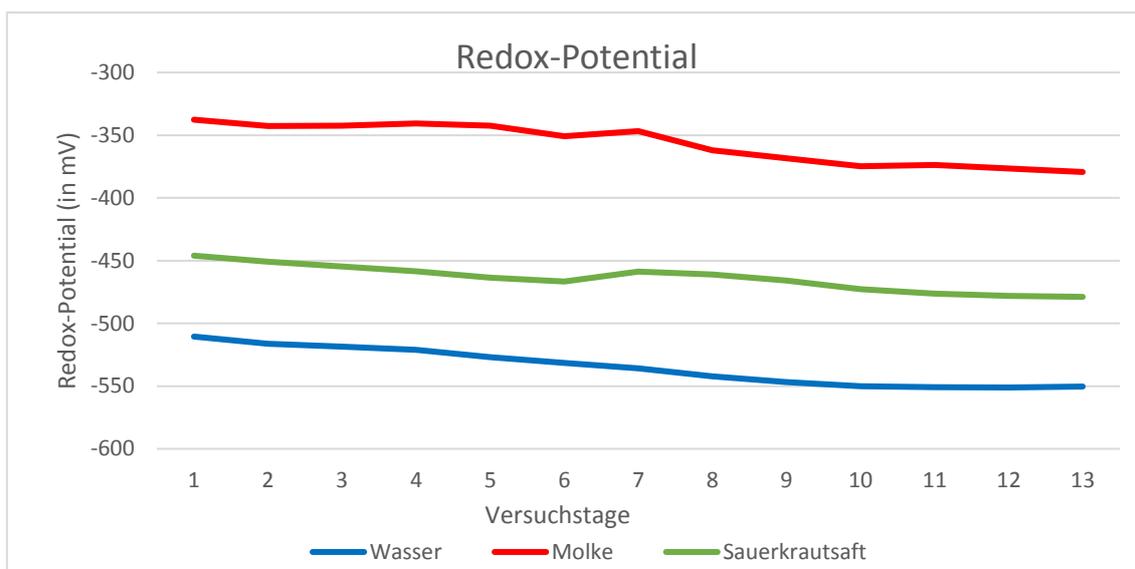


Abbildung 16: Verlauf des Redox-Potentials der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des zweiten Durchgangs (02.06.2016 – 28.07.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch

Durch die Gegenüberstellung des Redox-Potentials und dem pH-Wert konnte keine erkennbare Korrelation ( $R^2=0,1253$ ) zwischen den beiden Parametern festgestellt werden (Abbildung 17).

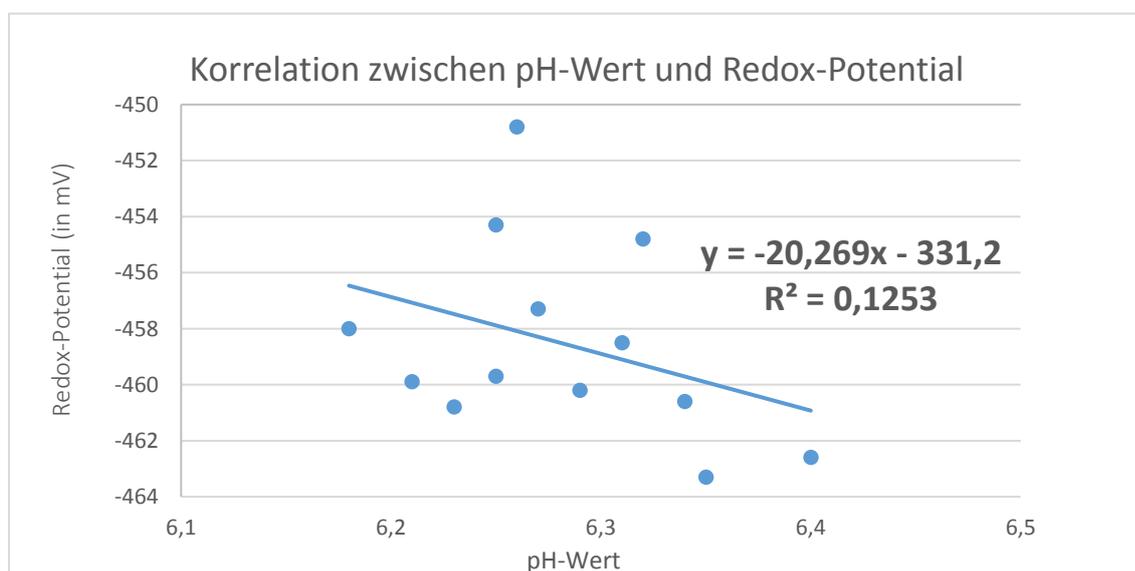


Abbildung 17: Gegenüberstellung des pH-Wertverlaufs und des Verlaufs des Redox-Potentials im Mittel aller Varianten und Wiederholungen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Zudem war ebenfalls keine Abhängigkeit zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem Redox-Potential ( $R^2=0,1407$ ) nachweisbar (Abbildung 18).

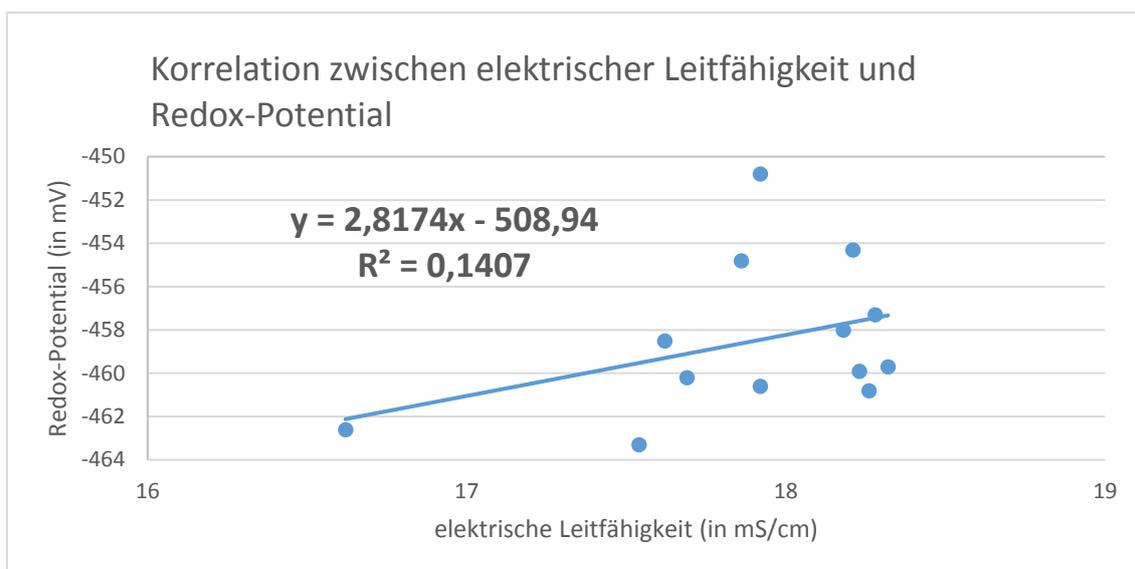


Abbildung 18: Gegenüberstellung des Verlaufs der elektrischen Leitfähigkeit und des Verlaufs des Redox-Potentials im Mittel aller Varianten und Wiederholungen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

### 4.3 Chemische Analyse

Die variantenabhängigen Ergebnisse setzen sich aus den Mittelwerten über alle Versuchswochen und Durchgänge zusammen (Tabelle 9). Die Trockenmassegehalte werden in g/kg Frischmasse (FM) angegeben. Alle anderen Parameter werden in g/kg TM dargestellt. Lediglich der N- und  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt sind sowohl in der TM als auch in der FM angegeben.

Die mit Sauerkrautsaft behandelte Variante wies mit einem TM-Gehalt von 40,3 g/kg FM mit Abstand den niedrigsten TM-Gehalt auf. Durch die Molkeverdünnung erhöhte sich der TM-Gehalt um 49 Prozent, durch die Sauerkrautsaftverdünnung um 55 Prozent. Alle Unterschiede waren signifikant.

In Bezug auf den Rohaschegehalt (XA) wurde der niedrigste Gehalt in der mit Molke verdünnten Variante beobachtet. In der mit Wasser verdünnten Variante erhöhte sich der XA-Gehalt signifikant um 25 Prozent, in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante signifikant um 33 Prozent gegenüber der Molkeverdünnung.

Der niedrigste Kaliumgehalt (K) wurde mit 56,8 g/kg ebenfalls in der molkeverdünnten Variante festgestellt. Die wasserverdünnte Variante enthielt einen 20 Prozent höheren, die mit Sauerkrautsaft verdünnte Variante einen 7 Prozent höheren K-Gehalt als die mit Molke verdünnte Variante. Die Unterschiede waren ebenfalls signifikant.

Der höchste Calciumgehalt (Ca) wurde mit 23,4 g/kg in der mit Wasser verdünnten Variante beobachtet. Keine signifikanten Unterschiede im Ca-Gehalt ergaben sich zwischen der Molke- und der Sauerkrautsaftverdünnung.

Mit 7,7 g/kg enthielt die mit Wasser verdünnte Variante am meisten Magnesium (Mg). Die mit Molke verdünnte Variante wies 26 Prozent und die mit Sauerkrautsaft verdünnte Variante 29 Prozent weniger Mg als die mit Wasser verdünnte Variante auf. Die Unterschiede waren signifikant.

Keine signifikanten Unterschiede wurden im Phosphorgehalt (P) zwischen der Wasser- und Molkeverdünnung festgestellt. Lediglich in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante wurde ein signifikant niedrigerer P-Gehalt verzeichnet.

Der höchste N-Gehalt in TM wurde in der wasserverdünnten Variante mit 54,6 g/kg gemessen. In der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante war der N-Gehalt um 9 Prozent, in der mit Molke verdünnten Variante um 14 Prozent niedriger. Hingegen wies die wasserverdünnte Variante mit 2,2 g/kg den niedrigsten N-Gehalt in der Frischmasse auf. Hier wurden durch die Sauerkrautsaftverdünnung 3,1 g/kg und durch die Molkeverdünnung 2,8 g/kg gemessen. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren sowohl in der TM als auch in der FM signifikant.

Der höchste  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt wurde mit 23,3 g/kg TM ebenfalls in der mit Wasser verdünnten Variante beobachtet. Die mit Molke verdünnte Variante wies einen um 2,8 g/kg TM signifikant geringeren  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt auf. Ansonsten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In der FM wurde in der wasserverdünnten Variante mit 0,9 g/kg der niedrigste  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt gemessen. In der mit Molke verdünnten Variante wurde ein 33 Prozent höherer, in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante ein um 56 Prozent höherer  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt ermittelt. Die Unterschiede im  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt in der FM waren zwischen allen Varianten signifikant.

Tabelle 9: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM))

		Variante						p-Wert
		Wasser		Milche		Sauerkrautsaft		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
TM-Gehalt	g/kg FM	40,3 <sup>c</sup>	0,97	60,1 <sup>b</sup>	0,97	62,6 <sup>a</sup>	0,98	<0,0001
XA-Gehalt	g/kg TM	274 <sup>b</sup>	6,5	220 <sup>c</sup>	6,5	292 <sup>a</sup>	7,2	<0,0001
K-Gehalt	g/kg TM	68,2 <sup>a</sup>	1,43	56,8 <sup>c</sup>	1,43	60,7 <sup>b</sup>	1,43	<0,0001
Ca-Gehalt	g/kg TM	23,4 <sup>a</sup>	0,31	19,1 <sup>b</sup>	0,31	18,4 <sup>b</sup>	0,32	<0,0001
Mg-Gehalt	g/kg TM	7,7 <sup>a</sup>	0,14	5,7 <sup>b</sup>	0,14	5,5 <sup>c</sup>	0,14	<0,0001
P-Gehalt	g/kg TM	9 <sup>a</sup>	0,17	9,2 <sup>a</sup>	0,17	7,2 <sup>b</sup>	0,18	<0,0001
N-Gehalt	g/kg TM	54,6 <sup>a</sup>	1,32	46,8 <sup>c</sup>	1,32	49,9 <sup>b</sup>	1,32	<0,0001
N-Gehalt	g/kg FM	2,20 <sup>c</sup>	0,034	2,79 <sup>b</sup>	0,034	3,11 <sup>a</sup>	0,034	<0,0001
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg TM	23,3 <sup>a</sup>	0,86	20,5 <sup>b</sup>	0,86	22,7 <sup>ab</sup>	0,86	<0,0358
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg FM	0,94 <sup>c</sup>	0,046	1,23 <sup>b</sup>	0,046	1,42 <sup>a</sup>	0,046	<0,0001

In *Tabelle 10* sind die Mittelwerte aller Wiederholungen und Varianten des jeweiligen Durchgangs dargestellt. Eine signifikante Abnahme zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang konnte ausschließlich im TM-Gehalt verzeichnet werden, welche sich auf 6,6 Prozent belief. Beim N- und NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Gehalt in der FM und beim NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Gehalt in der TM wurden keine signifikanten Veränderungen zwischen den Durchgängen festgestellt. Bei allen anderen Parametern ergab sich ein signifikanter Anstieg zwischen den Durchgängen. Der XA-Gehalt erhöhte sich um 8,5 Prozent und der K-Gehalt um 10,5 Prozent gegenüber dem ersten Durchgang. Eine Zunahme im zweiten Durchgang konnte ebenfalls im Mg-Gehalt um 6,6 Prozent, im P-Gehalt um 7,3 Prozent und im N-Gehalt in der TM um 6,7 Prozent festgestellt werden.

Tabelle 10: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM))

		Durchgang				p-Wert
		1		2		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
TM-Gehalt	g/kg FM	56,2 <sup>a</sup>	0,90	52,5 <sup>b</sup>	0,90	0,0003
XA-Gehalt	g/kg TM	251 <sup>b</sup>	6,4	272 <sup>a</sup>	6,4	<0,0001
K-Gehalt	g/kg TM	58,8 <sup>b</sup>	1,38	65 <sup>a</sup>	1,38	<0,0001
Ca-Gehalt	g/kg TM	19,3 <sup>b</sup>	0,27	21,3 <sup>a</sup>	0,27	<0,0001
Mg-Gehalt	g/kg TM	6,1 <sup>b</sup>	0,13	6,5 <sup>a</sup>	0,13	0,0013
P-Gehalt	g/kg TM	8,2 <sup>b</sup>	0,16	8,8 <sup>a</sup>	0,16	0,0004
N-Gehalt	g/kg TM	48,8 <sup>b</sup>	1,30	52,1 <sup>a</sup>	1,30	<0,0001
N-Gehalt	g/kg FM	2,71	0,033	2,70	0,033	0,7403
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg TM	21,2	0,79	23,1	0,79	0,0888
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg FM	1,18	0,042	1,21	0,042	0,7324

Bei der Wechselwirkung der Varianten und der Durchgänge ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die untersuchten Inhaltstoffe (Tabelle 11).

Tabelle 11: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM))

			Variante						p-Wert
			Wasser		Molke		Sauerkrautsaft		
Durchgang			1	2	1	2	1	2	
Parameter	Einheit								
TM-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	41,7	39,0	61,9	58,2	64,9	60,2	0,6869
		SEM	1,28	1,26	1,23	1,28	1,24	1,22	
XA-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	264	284	211	228	278	306	0,3867
		SEM	7,2	7,2	7,1	7,2	7,1	7,0	
K-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	65,4	71,0	54	59,6	57	64,4	0,6690
		SEM	1,71	1,68	1,66	1,71	1,66	1,65	
Ca-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	22,6	24,2	18	20,2	17,3	19,5	0,7793
		SEM	0,47	0,46	0,44	0,47	0,44	0,44	
Mg-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	7,5	7,9	5,5	6,0	5,3	5,7	0,9782
		SEM	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
P-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	8,6	9,4	8,9	9,6	7,0	7,4	0,7291
		SEM	0,24	0,23	0,23	0,24	0,22	0,22	
N-Gehalt	g/kg TM	LSMEAN	53,8	55,5	44,9	48,8	47,7	52,1	0,1923
		SEM	1,44	1,43	1,42	1,44	1,42	1,41	
N-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	2,24	2,17	2,78	2,81	3,10	3,12	0,1256
		SEM	0,040	0,040	0,039	0,040	0,039	0,039	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg TM	LSMEAN	23,3	23,3	19,6	21,4	20,8	24,6	0,2587
		SEM	1,24	1,20	1,18	1,24	1,18	1,16	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	0,98	0,91	1,22	1,23	1,36	1,48	0,3596
		SEM	0,070	0,068	0,067	0,070	0,066	0,065	

In den folgenden Tabellen werden die variantenabhängigen Analyseergebnisse der zeitlich getrennten Probennahmen dargestellt. Es konnte weder in der mit Wasser verdünnten Variante (Tabelle 12), noch in der mit Molke (Tabelle 13) und in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante (Tabelle 14) ein statistisch signifikanter Unterschied im zeitlichen Versuchsablauf festgestellt werden.

Tabelle 12: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in der mit Wasser verdünnten Variante während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM))

Wasser		Tag						p-Wert
Variante 1		1		7		13		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
TM-Gehalt	g/kg FM	40,9	1,39	40,3	1,36	39,9	1,35	0,9453
XA-Gehalt	g/kg TM	271	7,2	274	7,2	277	7,2	0,8454
K-Gehalt	g/kg TM	67,3	1,88	67,6	1,84	69,6	1,83	0,8767
Ca-Gehalt	g/kg TM	23,3	0,49	23,1	0,48	23,7	0,48	0,9671
Mg-Gehalt	g/kg TM	7,6	0,19	7,7	0,18	7,7	0,18	0,8896
P-Gehalt	g/kg TM	9,0	0,24	8,9	0,23	9,1	0,23	0,8766
N-Gehalt	g/kg TM	55,2	1,47	54,1	1,46	54,5	1,46	0,1434
N-Gehalt	g/kg FM	2,25	0,044	2,18	0,043	2,17	0,043	0,2020
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg TM	23,7	1,45	23,3	1,40	22,9	1,40	0,7976
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg FM	0,98	0,083	0,94	0,080	0,92	0,080	0,8613

Tabelle 13: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in der mit Molke verdünnten Variante während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM))

Molke		Tag						p-Wert
Variante 2		1		7		13		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
TM-Gehalt	g/kg FM	60,4	1,38	60,9	1,36	58,9	1,37	0,9453
XA-Gehalt	g/kg TM	217	7,2	217	7,2	225	7,2	0,8454
K-Gehalt	g/kg TM	57,1	1,86	55	1,84	58,3	1,85	0,8767
Ca-Gehalt	g/kg TM	19,1	0,49	18,6	0,48	19,6	0,48	0,9671
Mg-Gehalt	g/kg TM	5,6	0,18	5,7	0,18	6,0	0,18	0,8896
P-Gehalt	g/kg TM	9,2	0,24	9,0	0,23	9,5	0,23	0,8766
N-Gehalt	g/kg TM	45,9	1,47	46,1	1,46	48,6	1,46	0,1434
N-Gehalt	g/kg FM	2,76	0,043	2,80	0,043	2,82	0,044	0,2020
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg TM	19,4	1,42	20,7	1,40	21,4	1,41	0,7976
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg FM	1,17	0,081	1,26	0,080	1,25	0,080	0,8613

Tabelle 14: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM))

Sauerkrautsaft		Tag						p-Wert
Variante 3		1		7		13		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
TM-Gehalt	g/kg FM	63,4	1,36	62,4	1,36	61,9	1,36	0,9453
XA-Gehalt	g/kg TM	286	7,2	293	7,2	297	7,2	0,8454
K-Gehalt	g/kg TM	61,2	1,83	59,7	1,83	61,2	1,83	0,8767
Ca-Gehalt	g/kg TM	18,5	0,48	18,1	0,48	18,6	0,48	0,9671
Mg-Gehalt	g/kg TM	5,4	0,18	5,5	0,18	5,6	0,18	0,8896
P-Gehalt	g/kg TM	7,2	0,24	7,1	0,24	7,2	0,24	0,8766
N-Gehalt	g/kg TM	48,6	1,46	50,1	1,46	51	1,46	0,1434
N-Gehalt	g/kg FM	3,07	0,043	3,12	0,043	3,14	0,043	0,2020
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg TM	21,3	1,39	23,5	1,39	23,3	1,39	0,7976
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Gehalt	g/kg FM	1,35	0,080	1,46	0,080	1,44	0,080	0,8613

## 4.4 Emissionen

### 4.4.1 C-Emissionen

Bei den C-Emissionen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten, den Durchgängen und der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen festgestellt werden. Allerdings ergaben sich in jeder Kategorie numerische Unterschiede.

Die geringsten C-Emissionen wurden in der mit Wasser behandelten Variante beobachtet (Tabelle 15). Die mit Molke verdünnte Variante wies einen erhöhten C-Verlust gegenüber der Wasserverdünnung auf. Durch die Verdünnung mit Sauerkrautsaft erhöhte sich der C-Verlust stark gegenüber der Wasserverdünnung.

Tabelle 15: Die C-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

		Variante						p-Wert
		Wasser		Molke		Sauerkrautsaft		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
C-Emissionen	g/m <sup>3</sup> FM	8,47	22,725	35,43	22,725	53,97	22,725	0,3828

Im zweiten Durchgang erhöhten sich die C-Emissionen im Mittel aller drei Varianten um 77,7 Prozent gegenüber dem ersten Durchgang (Tabelle 16).

Tabelle 16: Die C-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

		Durchgang				p-Wert
		1		2		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
C-Emissionen	g/m <sup>3</sup> FM	23,50	18,555	41,75	18,555	0,4956

Im ersten Durchgang wurden in der wasserverdünnten Variante keine C-Emissionen festgestellt (Tabelle 17). Im zweiten Durchgang betrug dieser 16,95 g/m<sup>3</sup> FM. In der mit Molke verdünnten Variante betrug die C-Verluste im ersten Durchgang 12,58 g/m<sup>3</sup> FM. Im zweiten Durchgang erhöhten sich diese um rund 463 Prozent gegenüber dem ersten Durchgang. Durch die Verdünnung mit Sauerkrautsaft betrug die Kohlenstoffverluste im ersten Durchgang 57,92 g/m<sup>3</sup> FM. Im zweiten Durchgang war ein Rückgang der C-Emissionen erkennbar.

Tabelle 17: Die C-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

			Variante						p-Wert
			Wasser		Molke		Sauerkrautsaft		
Durchgang			1	2	1	2	1	2	
Parameter	Einheit								
C-Emissionen	g/m <sup>3</sup> FM	LSMEAN	0,00	16,95	12,58	58,28	57,92	50,03	0,7107
		SEM	32,138	32,138	32,138	32,138	32,138	32,138	

#### 4.4.2 N-Emissionen

In der mit wasserverdünnten Variante wurden mit 3,16 g/m<sup>3</sup> FM die höchsten N-Emissionen nachgewiesen (Tabelle 18). Durch die Molkebehandlung konnten die N-Emissionen signifikant um 84,2 Prozent und durch die Sauerkrautsaftbehandlung signifikant um 98,1 Prozent gegenüber der Wasserverdünnung reduziert werden. Zwischen der Molke- und Sauerkrautsaftbehandlung konnte kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die N-Emissionen nachgewiesen werden.

Tabelle 18: Die N-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

		Variante						p-Wert
		Wasser		Molke		Sauerkrautsaft		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
N-Emissionen	g/m <sup>3</sup> FM	3,16 <sup>a</sup>	0,953	0,50 <sup>b</sup>	0,954	0,06 <sup>b</sup>	0,997	0,0155

Zwischen den Durchgängen konnte kein signifikanter Unterschied ermittelt werden (Tabelle 19). Die N-Emissionen betragen über alle Varianten und Wiederholung betrachtet 1,23 g/m<sup>3</sup> FM im ersten Durchgang und 1,25 g/m<sup>3</sup> FM im zweiten Durchgang.

Tabelle 19: Die N-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

		Durchgang				p-Wert
		1		2		
Parameter	Einheit	LSMEAN	SEM	LSMEAN	SEM	
N-Emissionen	g/m <sup>3</sup> FM	1,23	0,851	1,25	0,851	0,9816

Bei der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede, sehr wohl aber Tendenzen beobachtet werden (Tabelle 20).

Die höchsten N-Emissionen wurden im ersten Durchgang der wasserverdünnten Variante verzeichnet. Mit einer Reduktion um 17,6 Prozent wurden die zweit höchsten N-Emissionen im zweiten Durchgang derselben Variante festgestellt. In der mit Molke verdünnten Variante wurde im ersten Durchgang eine N-Emission von 0,65 g/m<sup>3</sup> FM beobachtet. Im zweiten Durchgang nahm diese um 46,2 Prozent ab. Durch die Behandlung mit Sauerkrautsaft konnten im ersten Durchgang keine N-Emission ermittelt werden. Im zweiten Durchgang hingegen beliefen sich die N-Emissionen auf 0,53 g/m<sup>3</sup> FM.

Tabelle 20: Die N-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

			Variante						p-Wert
			Wasser		Molke		Sauerkrautsaft		
Durchgang			1	2	1	2	1	2	
Parameter	Einheit								
TM-Gehalt	g/kg FM	LSMEAN	3,47	2,86	0,65	0,35	0,00	0,53	0,7823
		SEM	1,280	1,259	1,267	1,299	1,237	1,242	

#### 4.5 Gesamtbetriebliches Nährstoff- und Emissionspotential

In *Tabelle 21* werden die Gülle- und Stickstoffmengen dargestellt, die binnen eines Jahres am Moarhof anfallen. Der größte Teil der anfallenden Gülle und des Stickstoffs entfällt auf den Milchkuhbestand, der im Stalldurchschnitt 6.000 kg Milch je Tier liefert.

Tabelle 21: Die kalkulatorisch ermittelte jährliche Gülle- und Stickstoffanfallsmenge des Moarhofs

Tierart	Anzahl	N/Tier	N/Tierart	Gülle/Tier	Gülle/Tierart
Milchkühe (6000 kg Milch)	30 Stk.	95,2 kg	2856 kg	23,4 m <sup>3</sup>	702 m <sup>3</sup>
Kälber (0 - ½ Jahr)	10 Stk.	14,6 kg	146 kg	2,6 m <sup>3</sup>	26 m <sup>3</sup>
Jungvieh (½-1 Jahr)	7 Stk.	39,6 kg	277,2	6,8 m <sup>3</sup>	47,6 m <sup>3</sup>
Jungvieh (1-2 Jahre)	9 Stk.	52,4 kg	471,6 kg	11,6 m <sup>3</sup>	104,4 m <sup>3</sup>
Kalbinnen	6 Stk.	67,7 kg	406,2 kg	15,4 m <sup>3</sup>	92,4 m <sup>3</sup>
<b>Gesamtbetriebliche N-Anfallsmenge / Jahr</b>					<b>4.157 kg</b>
<b>Gesamtbetriebliche Gülleanfallsmenge / Jahr</b>					<b>972,4 m<sup>3</sup></b>

Mit einer jährlichen N-Emission von 6,15 kg wurde in der mit Wasser verdünnten Variante das größte N-Emissionspotential während der untersuchten Lagerdauer von 16 Wochen festgestellt. (*Tabelle 22*). In der mit Molke verdünnten Variante konnte gegenüber der Wasserverdünnung eine Reduktion um 84,2 Prozent erzielt werden. Die höchste Reduktion wurde durch die Sauerkrautsaftverdünnung festgestellt, mit welcher eine um 96,9 Prozent geringere N-Emission gegenüber der mit Wasser verdünnten Variante erreicht werden konnte.

Tabelle 22: Die kalkulatorisch ermittelten jährlichen N-Emissionen der verschiedenen Rindergüllevarianten bezogen auf den Viehbesatz des Moarhofs

	Variante		
	Wasser	Molke	Sauerkrautsaft
Gesamtbetrieblicher Gülleanfall (1:1 verdünnt)	1.945 m <sup>3</sup>	1.945 m <sup>3</sup>	1.945 m <sup>3</sup>
N-Emissionen	3,16 g/m <sup>3</sup>	0,50 g/m <sup>3</sup>	0,06 g/m <sup>3</sup>
Gesamtbetriebliche N-Emissionen / Jahr	6,15 kg	0,97 kg	0,19 kg

In der mit Wasser verdünnten Variante wurde ein C-Emissionspotential von 16,27 kg ermittelt (Tabelle 23). Durch den Einsatz von Molke stiegen die C-Emissionen um 52,44 kg. Die höchsten C-Emissionen ergaben sich aus der Sauerkrautsaft-Variante. Gegenüber der gewässerten Gülle lag ihr C-Emissionspotential um 88,5 kg höher.

Tabelle 23: Die kalkulatorisch ermittelten jährlichen C-Emissionen der verschiedenen Rindergüllevarianten bezogen auf den Viehbesatz des Moarhofs

	Variante		
	Wasser	Molke	Sauerkrautsaft
Gesamtbetrieblicher Gülleanfall (1:1 verdünnt)	1.945 m <sup>3</sup>	1.945 m <sup>3</sup>	1.945 m <sup>3</sup>
C-Emissionen	8,47 g/m <sup>3</sup>	35,43 g/m <sup>3</sup>	53,97 g/m <sup>3</sup>
Gesamtbetriebliche C-Emissionen / Jahr	16,47 kg	68,91 kg	104,97 kg

Bezogen auf den Viehbesatz des Moarhofs wurde ein jährlicher N-Anfall von 4.157 kg errechnet (Tabelle 24). In der mit Wasser verdünnten Variante wurde mit 4.279 kg eine leicht höhere N-Anfallsmenge ermittelt. Durch die Verdünnung mit Molke wurde eine N-Anreicherung um 26,8 Prozent gegenüber der Wasserverdünnung erzielt. In der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante wurde ein um 41,4 Prozent höherer N-Gehalt als in der mit Wasser verdünnten Variante festgestellt.

Bei einer jährlichen Gülleanfallsmenge von 972 m<sup>3</sup> benötigt der Betrieb mindestens eine Lagerkapazität von 486 m<sup>3</sup> für sechs Monate. Durch die Verdünnung im Verhältnis von 1:1 wird mit 972 m<sup>3</sup> demnach die doppelte Lagerkapazität für eine Lagerung von sechs Monaten benötigt.

Tabelle 24: Die kalkulatorisch ermittelte jährliche N-Anfallsmenge der verschiedenen Rindergüllevarianten bezogen auf den Viehbesatz des Moarhofs

	Variante		
	Wasser	Molke	Sauerkrautsaft
Gesamtbetrieblicher Gülleanfall (1:1 verdünnt)	1.945 t	1.945 t	1.945 t
N-Gehalt	2,20 g/kg	2,79 g/kg	3,11 g/kg
Gesamtbetrieblicher N-Anfall / Jahr	4.279 kg	5.427 kg	6.049 kg

## 5. Diskussion

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit den Auswirkungen der Gülleverdünnung auf die Eigenschaften der Rindergülle. Dabei wurde untersucht, ob der pH-Wert der Gülle durch die Zugabe von milchsauren Gülleverdünnungsmitteln während der Lagerung unter pH 7 gehalten werden kann und inwieweit sich eine solche pH-Wert-Absenkung auf die gasförmigen Kohlenstoff- und Stickstoffemissionen auswirkt. Ein weiterer wesentlicher Betrachtungspunkt ist die Verwertung der milchsauren Nebenprodukte Molke und Sauerkrautsaft, die die innerbetriebliche Nährstoffbilanz verbessern könnte. Im Zuge dieses Kapitels sollen die eingangs formulierten Forschungsfragen beantwortet werden.

### 5.1 Physikalische Analyse

Der hohe pH-Wert in der mit Wasser verdünnten Variante wurde der Alkalinität des verwendeten Wassers zugeschrieben. Zusätzlich war dies die einzige Variante, in der die Rindergülle nicht mit Milchsäurebakterien enthaltene Flüssigkeiten behandelt wurde. Die daraus resultierende schwächere mikrobiologische Aktivität war im nahezu unveränderten Verlauf des pH-Werts während des ersten Durchgangs ersichtlich (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

In der mit Molke- und Sauerkrautsaft verdünnten Variante wurde eine signifikante pH-Wert-Reduktion erzielt. Diese Versauerung konnte zum einen durch die Aktivität der Milchsäurebakterien während des Versuchsablaufs stattgefunden haben. Diese wandelten die vorhandenen Kohlenhydrate in Milchsäure um und setzten dadurch den pH-Wert herab (CLEMENS et al., 2001). Zum anderen wurde bereits durch die Zufuhr der sauren Gülleverdünnungsmittel eine pH-Wert-Absenkung erreicht. Der pH-Wert des verwendeten Sauerkrautsafts lag mit pH 3,4 bei den herkömmlichen Werten einer abgeschlossenen Sauerkrautfermentation (YOON et al., 2006; RABIE et al., 2011). Die verwendete Molke hingegen lag mit einem pH-Wert von 4,1 unter den klassischen Molke-pH-Werten (BUCHGRABER & RESCH, 1997; CHANDRAPA et al., 2016). Diese Abweichungen könnten in jahreszeitlichen Schwankungen begründet liegen. Die verwendete Molke stammte aus Milch, die während der Winterfütterungsperiode anfiel. Diese weist grundsätzlich einen geringeren pH-Wert auf als während der Sommerfütterung gegebene Milch (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

Die sofort beginnende und kontinuierlich anhaltende pH-Wert-Reduktion in der mit Molke verdünnten Variante wurde durch den hohen Laktosegehalt der Molke und der daraus

gebildeten Milchsäure gewährleistet (BUCHGRABER & RESCH, 1997). In der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante wurde hingegen ein flacherer pH-Wertverlauf festgestellt. Dies ließ sich darauf zurückführen, dass der in dieser Variante vorhandene Kohlenhydratanteil zu gering war, als dass mit der daraus entstandenen Milchsäureproduktion eine sofortige Sättigung des Puffersystems erzielt werden konnte (CLEMENS et al., 2001; MOOSBRUGGER et al., 1993).

Die im zweiten Durchgang verzeichnete pH-Wert-Erhöhung der milchsauren Varianten konnten unter anderem durch die Verflüchtigung organischer Säuren erklärt werden, welche zusätzlich zu einer verstärkten Geruchsbelastung führten (SØRENSEN et al, 2008; BUCHGRABER & RESCH, 1997). In dem aktuellen Versuch wurde die Auswirkung der Gülleverdünnung auf die Geruchsentwicklung zwar nicht explizit untersucht, allerdings konnte in den milchsauren Varianten eine besonders starke Geruchsentwicklung festgestellt werden.

Eine weitere Möglichkeit für den Anstieg des pH-Werts im zweiten Durchgang könnte an der höheren Temperatur liegen. Aufgrund des Temperaturanstiegs kann eine verstärkte Aktivität aerober Mikroorganismen stattgefunden haben, welche organische Säuren unter dem Verbrauch von  $H^+$ -Protonen zu Kohlendioxid und Wasser umwandelten (CLEMENS et al., 2001). Da die Milchsäure in der mit Molke und Sauerkrautsaft verdünnten Variante als die dominante organische Säure galt, spielte der Essigsäurezerfall in Bezug auf die pH-Wert-Erhöhung wahrscheinlich eine untergeordnete Rolle. Die Essigsäure nimmt in einer unbehandelten Rindergülle mit über 50 Prozent den höchsten Anteil der organischen Säuren ein (SØRENSEN & ERIKSEN, 2008). Deshalb konnte in der mit Wasser verdünnten Variante dem Zerfall der Essigsäure und der daraus resultierenden pH-Werterhöhung eine höhere Bedeutung zugeschrieben werden (CLEMENS et al., 2001).

Eine weitere mögliche Beeinflussung des pH-Werts könnte in den Pufferfunktionen der Rindergülle liegen, welche unter der Fixierung von  $H^+$ -Protonen einer Versauerung entgegenwirken kann (RINKE, 1999; CONN et al., 2007). Diese Aufnahme von  $H^+$ -Protonen durch Carbonate tragen zu einem Anstieg des pH-Werts bei und konnte auch bei HECHT (2008) beobachtet werden.

Das unterschiedliche Volumen der Gülleversuchsbehälter und der betrieblichen Güllelagerstätten kann ebenfalls einen Einfluss auf den pH-Wert haben. Je tiefer ein Güllebehälter ist, desto höher ist der vorhandene hydrostatische Druck und desto einfacher wird die Löslichkeit von Kohlendioxid, was wiederum in einer Herabsetzung des pH-Werts

resultiert (PATNI & JUI, 1985). Wegen der flachen Bauweise der Gülleversuchsbehälter lag die Kohlendioxidfreisetzung niedriger, dadurch könnten sich Abweichungen gegenüber Messungen in betrieblichen Güllelagerstätten ergeben. Aufgrund der selben Bedingungen aller Varianten ist der Vergleich zwischen den Gülleverdünnungssystemen definitiv Aussagekräftig.

Die schwache elektrische Leitfähigkeit in der mit Wasser verdünnten Variante zeigte, dass durch den Einsatz von Molke und Sauerkrautsaft eine Anreicherung der Rindergülle mit Mineralstoffen bzw. mit Säuren erreicht werden konnte (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

In der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante wurde eine äußerst starke elektrische Leitfähigkeit festgestellt. Dies kann zum Teil durch die Mineralstoff- und Säurezufuhr erklärt werden. Ein weiterer Grund für den Anstieg der Leitfähigkeit kann in der Zufuhr von Kochsalz während der Sauerkrautverarbeitung liegen (VON WIMPFEN, 1989).

Die signifikante Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit der milchsauren Varianten im zweiten Durchgang deutete auf den Abbau der organischen Substanzen und auf die dabei in Lösung gegangenen Ionen hin (LEICK, 2004). Diese verstärkte Abbaurate kann ebenfalls auf den Temperaturanstieg zurückgeführt werden. Die innerhalb und zwischen den Durchgängen gleichgebliebene elektrische Leitfähigkeit in der mit Wasser verdünnten Variante deutete auf eine begrenzte Abbaurate der organischen Substanz hin, wodurch die geringe mikrobiologische Aktivität in dieser Variante bestätigt werden konnte.

Der Anstieg des Redox-Potentials in der mit Molke verdünnten Variante während des ersten Durchgangs wurde durch die stattgefundenen Oxidationsprozesse begründet. Innerhalb des zweiten Durchgangs war bei beiden milchsauren Varianten ein Abfall des Redox-Potentials festzustellen. Dieser dürfte durch den erhöhten Sauerstoffverbrauch mikrobiologischer Aktivitäten und durch Reduktionsprozesse anaerober Mikroorganismen bedingt sein. Aufgrund der reduktiven Bedingungen wurden durch die Redox-Reaktionen  $H^+$ -Protonen verbraucht, was wiederum den pH-Wert-Anstieg erklären könnte (SCHACHTSCHABEL et al., 2002).

In der mit Wasser verdünnten Variante wurden keine signifikanten Unterschiede im Redox-Potential zwischen den beiden Durchgängen festgestellt. Dieses Ergebnis bestätigte die geringe mikrobiologische Aktivität in dieser Variante erneut.

Sowohl durch die Molke- als auch durch die Sauerkrautsaftzugabe im Verhältnis 1:1 konnte eine Herabsetzung des Gülle-pH-Werts unter pH 7 erreicht und während der gesamten

Versuchsdauer gehalten werden. Somit konnte die anfangs aufgestellte Forschungsfrage beantwortet und mit einem positiven Ergebnis bestätigt werden.

## 5.2 Chemische Analyse

Der höhere Trockenmassegehalt in den milchsauren Varianten wurde durch die Zufuhr von Molke und Sauerkrautsaft erreicht, welche jeweils eine höhere Trockenmasse als Wasser aufwiesen. In der mit Molke verdünnten Variante wurde ein geringerer Trockenmassegehalt als in dem von BUCHGRABER & RESCH (1997) untersuchten Güllegemisch beobachtet, was auf die jahreszeitlichen Schwankungen zurückzuführen war (BUCHGRABER & RESCH, 1997).

Mit einer Trockenmasse von 40,3 g/kg FM konnte in der mit Wasser verdünnten Variante eine sehr starke Gülleverdünnung erzielt werden, welche laut VAN DER STELT et al. (2005) und AMON et al. (2006) einen positiven Einfluss auf die Reduktion der Ammoniak- und Methanemissionen hat. Eine noch stärkere Verdünnung hätte zu keiner zusätzlichen Reduktion der Ammoniakemissionen geführt (FRICK et al., 1997). In den milchsauren Varianten wurde über alle Varianten hinweg ein durchschnittlicher Trockenmassegehalt zwischen 60,1 und 62,6 g/kg FM erzielt, was ebenfalls als günstiges Verdünnungsverhältnis angesehen werden kann (FRICK et al., 1997). Der hohe XA-Gehalt in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante ließ sich ebenfalls durch die Zugabe von Kochsalz während der Sauerkrautherstellung erklären (VON WIMPFEN, 1989).

Durch die Zufuhr der milchsauren Gülleverdünnungsmittel konnte keine Verbesserung des K-, Ca-, Mg-, P-, N- und  $\text{NH}_4^+$ -Gehalts in der Trockenmasse gegenüber der mit Wasser verdünnten Variante festgestellt werden. Allerdings gilt zu beachten, dass in den milchsauren Varianten ein höherer Trockenmassegehalt als in den mit Wasser verdünnten Varianten nachgewiesen wurde und die Nährstoffe in den milchsauren Varianten deshalb verhältnismäßig niedriger ausgefallen sind.

Der Anstieg des Mineralstoffgehalts im zweiten Durchgang ließ sich durch den Abbau von organischen Substanzen und Carbonaten sowie durch die daraus resultierende Nährstofffreisetzung erklären (LEICK, 2004). Für den Rückgang der Trockenmasse zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang dürfte unter anderem der Carbonat-Abbau verantwortlich sein, welcher zu einer Freisetzung von Wasser führt (HECHT, 2008).

Eine frische Rindergülle enthält laut PAULSEN et al. (2013) einen Stickstoffgehalt von 56 g/kg TM. Bezogen auf die gesamtbetriebliche Stickstoffbilanz des Moarhofs konnte durch die Verwertung von Molke und Sauerkrautsaft ein erheblicher Stickstoffanstieg festgestellt werden. Die Verdünnung der Rindergülle mit Molke im Verhältnis von 1:1 führte zu einer Stickstoffanreicherung der Gülle um 1.167 kg. Durch die Verdünnung mit Sauerkrautsaft, ebenfalls im Verhältnis von 1:1, konnte aufgrund des höheren Stickstoffgehalts ein Anstieg um 1.759 kg ermittelt werden.

Bezogen auf die Düngung einer vierschnittigen Grünlandfläche durch ein fünfmaliges Ausbringen von je 10 m<sup>3</sup>/ha Rindergülle ergibt sich in der mit Wasser verdünnten Variante eine Stickstoffzufuhr von 110 kg/ha. Durch den Einsatz von Molke anstelle von Wasser kann durch die gleiche Ausbringungsmenge und -intensität mit einer Stickstoffzufuhr von 140 kg/ha, durch die Verdünnung mit Sauerkrautsaft mit 155 kg/ha, gerechnet werden. Da die empfohlene Stickstoffdüngung einer vierschnittigen Wiese bei einer mittleren Ertragserwartung zwischen 140 und 160 kg/ha liegt, erfüllt die milchsaurer Gülle die Stickstoffanforderungen optimal (BMLUFW, 2017). Die positiven Auswirkungen auf den Ertrag durch Einsatz von Molke als Gülleverdünnungsmittel wurde von BUCHGRABER und RESCH (1997) bestätigt. Eine weitere wichtige Voraussetzung für ein effizientes Wirtschaftsdüngermanagement liegt in der verlustarmen Ausbringung der Gülle (FRICK et al., 1997). Dies trifft insbesondere auf eine Gülle mit hoher Stickstoffkonzentration zu, da hier die Gefahr von gasförmigen Stickstoffverlusten ebenfalls erhöht ist.

Die Hauptursache für den verbesserten Stickstoffgehalt in den milchsaurer Varianten lag in der Zufuhr des in den Gülleverdünnungsmittel enthaltenen Stickstoffs (BUCHGRABER & RESCH, 1997). Ein weiterer Grund für den erhöhten Stickstoffgehalt der milchsaurer Varianten wurde der Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichts mittels pH-Wert-Absenkung und der daraus resultierenden Emissionseinsparung zugeschrieben (RINKE, 1999; FRICK et al., 1996). Im Vergleich zum Stickstoffimport aus den Gülleverdünnungsmittel trug die Emissionseinsparung jedoch nur geringfügig zu einer Verbesserung der gesamtbetrieblichen Stickstoffbilanz bei.

Durch die Zufuhr der milchsaurer Gülleverdünnungsmittel konnte eine signifikantere Verbesserung der Stickstoff- und Ammoniumgehalte erreicht werden. In Bezug auf die weiteren Mineralstoffe wurde jedoch keine Verbesserung nachgewiesen. Somit konnte eine

weitere Forschungsfrage beantwortet werden, indem lediglich ein Anstieg in den Stickstoff- und Ammoniumgehalten in der FM festgestellt werden konnte.

### 5.3 Emissionen

Die Auswirkungen der Gülleverdünnung auf das Treibhauspotential setzen neben den mengenmäßigen Emissionen eine Klassifizierung der jeweiligen chemischen Verbindungen voraus (HEDIGER, 2004). Aufgrund des Versuchsaufbaus war eine direkte Zuordnung der Emissionen nicht möglich. Somit mussten diese anhand von physikalischen und chemischen Parametern abgeschätzt werden.

Bezogen auf das Emissionspotential wurde ausschließlich bei den Stickstoffemissionen ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten beobachtet. Bei den Kohlenstoffemissionen wurde weder zwischen den Varianten noch zwischen den Durchgängen eine signifikante Abweichung festgestellt. Aufgrund der niedrigen Probenanzahl und des deutlich erkennbaren Anstiegs der Kohlenstoffemissionen in den milchsauen Varianten wurden die fehlenden Signifikanzen dem geringen Stichprobenumfang zugeschrieben.

Durch die flache Bauweise der Gülleversuchsbehälter konnte sich eine reduzierte Kohlendioxidemission ergeben haben (PATNI & JUI, 1985). In einem Gülleversuchsbehälter ist die Oberfläche im Verhältnis zum Volumen viel größer als in einer herkömmlichen Güllelagerstätte. Deshalb besteht die Möglichkeit, dass die Diffusion von Ammoniak erleichtert wurde, was wiederum in einer erhöhten Ammoniakemission resultierte (LEICK, 2003). Diese Abweichungen gilt es beim Vergleich mit praxisüblichen Güllebehältern zu berücksichtigen.

Die erhöhten Kohlenstoffemissionen in den milchsauen Varianten wurden der Zufuhr und in weiterer Folge dem Abbau organischer Substanzen zugeschrieben. Die mikrobiologische Zusammensetzung von Molke und Sauerkrautsaft ließ auf eine verstärkte Abbaurate durch die Milchsäurebakterien schließen (JAISWAL et al., 2013). Eine zusätzliche Kohlenstoffemissionsquelle könnte im Abbau der verschiedenen Carbonate liegen. Diese wurde durch eine erhöhte Säurekonzentration gewährleistet und könnte somit ebenfalls durch verstärkte Aktivität der Milchsäurebakterien erklärt werden (MOOSBRUGGER et al., 1993; LEICK, 2004; RINKE, 1999).

Die geringen Kohlenstoffemissionen in der mit Wasser verdünnten Variante wurden der schwachen mikrobiologischen Aktivität zugeschrieben. Als Erklärungsversuch für die

ausgebliebenen Kohlenstoffemissionen im ersten Durchgang galt die Fixierung von Kohlendioxid unter der Bildung von Carbonaten, welche zusätzlich zu einer Verstärkung des Puffersystems beitrug (HECHT, 2008).

Der optimale Bereich der Methanbildenden Archaeen liegt zwischen pH 6,8 und 7,8 (SCHIEDER et al., 2010). Eine fast vollständige Unterbindung der Methanemissionen soll erst ab einem pH-Wert von 4,5 stattfinden (BERG et al., 1998). Der pH-Wert der milchsäuren Varianten befand sich zwar unter dem genannten Optimum, hatte aber dennoch einen zu hohen pH-Wert für eine komplette Unterbindung der Methanemissionen. Dies führte zur Annahme, dass die Kohlenstoffemissionen sowohl in Form von Kohlendioxid als auch Methan stattfanden.

Der pH-Wert der mit Wasser verdünnten Variante lag im optimalen Bereich der methanbildenden Archaeen. Zusätzlich wurde in dieser Variante der höchste pH-Wert und das niedrigste Redox-Potential festgestellt, was ebenfalls für eine erhöhte Methanproduktion sprach (SCHIEDER et al., 2010). Deshalb konnte in dieser Variante von einem höheren Anteil an Methan, bezogen auf die gesamten Kohlenstoffemissionen ausgegangen werden. Über alle Varianten hinweg konnte ein Anstieg der Kohlenstoffemissionen zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang beobachtet werden. Dieser wurde wiederum durch den Temperaturanstieg und der daraus resultierenden erhöhten mikrobiellen Abbaurate organischer Substanzen und Carbonaten erklärt (LEICK 2004, HECHT 2008).

In der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante wurde mit 105 kg/Jahr die höchste gesamtbetriebliche Kohlenstoffemission ermittelt, gefolgt von der mit Molke verdünnten Variante mit 68,9 kg/Jahr. Hingegen wurde in der mit Wasser verdünnten Variante die niedrigste gesamtbetriebliche Kohlenstoffemission mit 16,5 kg/Jahr errechnet.

Durch den Anstieg des pH-Werts und der Temperatur kann von einer stärkeren Ammoniakemission ausgegangen werden (RINKE, 1999). Bereits ab einem pH-Wert von pH 7 verändert sich das Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammoniak und Ammonium zugunsten von Ammoniak, was wiederum in einer verstärkten Ammoniakmission resultiert (FRICK et al., 1996). Da sich der pH-Wert ausschließlich in der mit Wasser verdünnten Variante in einem alkalischen Bereich befand und dieser wesentlich über dem pH-Wert der milchsäuren Varianten lag, wurde in dieser Variante von einer höheren Stickstoffemission ausgegangen. Diese Annahme konnte durch die Ermittlung der Stickstoffemissionen bestätigt werden. Die signifikante Reduktion der Stickstoffemissionen durch den Einsatz von Sauerkrautsaft und

Molke wurde somit der Herabsetzung des pH-Werts und infolgedessen der Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichts ins Richtung Ammonium zugeschrieben (RINKE, 1996; LEICK, 2004).

In der mit Wasser und Molke verdünnten Variante wurde im zweiten Durchgang eine tendenzielle Abnahme, in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante ein tendenzieller Anstieg der Stickstoffemissionen verzeichnet. Grund für diese Entwicklung lieferte die pH-Wert-Veränderung, da ausschließlich in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante ein signifikanter Anstieg des pH-Werts innerhalb der beiden Durchgänge festgestellt wurde. Dies bestätigte erneut den Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und den Ammoniakemissionen (BERG et al., 1998; FRICK et al., 1996; KUPPER, 2015).

Neben der Veränderung des Dissoziationsgleichgewichts führt eine Reduktion des pH-Werts zu einer verstärkten Bildung von Lachgas. Aufgrund der Herabsetzung des pH-Werts auf 5,9 bzw. 5,5 war in den milchsauen Varianten mit einer erhöhten Lachgasfreisetzung zu rechnen. Hingegen dürfte aufgrund des vergleichsweise höheren pH-Werts in der mit Wasser verdünnten Variante kaum eine Lachgasbildung stattgefunden haben (HANAKI, 1992).

Die während der Wirtschaftsdüngerlagerung entstandenen jährlichen Stickstoffemissionen des Moarhofs konnten durch die Verwendung von milchsauen Gülleverdünnungsmitteln reduziert werden. Die jährliche gesamtbetriebliche Stickstoffemissionsmenge in der mit Wasser verdünnten Variante wurde durch die Molkezufuhr von 6,15 kg auf 0,97 kg und durch die Sauerkrautsaftzufuhr auf 0,19 kg herabgesetzt. Somit konnte durch den Molkeinsatz eine jährliche Stickstoffeinsparung um 5,18 kg und durch den Sauerkrautsafteinsatz um 5,96 kg erzielt werden. Allerdings gilt es zu beachten, dass die Güllelagerung in der Praxis üblicherweise länger Dauert. Als Konsequenz ergeben sich dadurch erhöhte Stickstoffemissionen und in weiterer Folge eine verstärktes Einsparungspotential durch den Einsatz von milchsauen Gülleverdünnungsmitteln. Neben den Verhältnismäßig geringen Stickstoffeinsparung durch die Reduktion der Stickstoffemissionen konnte allerdings eine erhebliche Menge an Stickstoff durch die Molke- und Sauerkrautsaftverdünnung zugeführt werden.

Die Zugabe der milchsauen Gülleverdünnungsmittel führte zu einem Anstieg der Kohlenstoffemissionen. Allerdings muss für eine zielführende Bewertung der Klimawirksamkeit der vermeintlich höhere Methananteil in der mit Wasser verdünnten Variante mitberücksichtigt werden (HEDIGER, 2004). Durch den Einsatz von Molke und Sauerkrautsaft konnte eine Reduktion der Stickstoffemissionen nachgewiesen werden. Aufgrund des hohen

Treibhauspotentials von Lachgas und des wahrscheinlich höheren Lachgasanteils an den Stickstoffemissionen der milchsauen Varianten, gilt es dies ebenfalls in der Bewertung der Klimawirksamkeit zu berücksichtigen (HEDIGER, 2004).

Die Antwort der letzten Forschungsfrage lautet somit, dass eine Gülleverdünnung mittels Sauerkrautsaft und Molke zu einem Anstieg der Kohlenstoff- und einer Reduktion der Stickstoffemissionen führte. Des Weiteren wurden die stärksten Stickstoffeinsparungen und Kohlenstoffverluste in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante festgestellt.

## 6. Schlussfolgerung

Durch den Einsatz von Molke und Sauerkrautsaft konnte eine Versauerung der Gülle erreicht und während der Güllelagerung unter pH 7 gehalten werden. Die Zufuhr der milchsäuren Gülleverdünnungsmittel führte zu einer Herabsetzung der Stickstoffemissionen und zu einem Anstieg der Kohlenstoffemissionen. Unter Berücksichtigung der physikalischen Parameter wurde auf die Zusammensetzung der jeweiligen Emissionen geschlossen. So ließen die milchsäuren Varianten auf einen erhöhten Lachgasanteil bei den Emissionen schließen, welche einen Anstieg des Treibhausgaspotentials mit sich bringen. Allerdings kann bei diesen Varianten von einem niedrigeren Anteil an Methanemissionen ausgegangen werden, was wiederum zu einer Verringerung des Treibhausgaspotentials führt.

Der Einsatz der milchsäuren Gülleverdünnungsmittel führte zu einer verbesserten Stickstoff- und Ammoniumbilanz. In Bezug auf die anderen Mineralstoffe wurde allerdings keine Verbesserung festgestellt. Der gesamtbetriebliche Gülleanfall des Moarhofs beträgt 972,4 m<sup>3</sup>/Jahr. Durch eine Verdünnung der Rindergülle mit Molke im Verhältnis von 1:1 konnte eine Steigerung des Stickstoffgehalts um 1.167 kg und durch Sauerkrautsaft um 1.750 kg gegenüber der Wasserverdünnung erzielt werden. Allerdings ist in der Praxis, aufgrund der limitiertem Verfügbarkeit von Molke und Sauerkrautsaft, mit einem geringeren Verdünnungsgrad zu rechnen. Als Konsequenz ergibt sich daraus eine geringere Stickstoffzufuhr und eine relativ geringere Absenkung des pH-Wertes in der Gülle.

Grundsätzlich bietet sich die Verwendung von Molke und Sauerkrautsaft als Gülleverdünnungsmittel als sinnvolle Alternative zur Wasserverdünnung an. Die Reduktion der Stickstoffemissionen wirkt der Eutrophierung naturnaher Gebiete und den daraus resultierenden ökologischen Nachteilen entgegen. Zusätzlich werden die in der Molke und Sauerkrautsaft enthaltenen Nährstoffe sinnvoll verwertet und führen zu einer verbesserten Kreislaufwirtschaft der nutztierhaltenden Betriebe. Allerdings gilt es zu beachten, dass der durch die Molke- und Sauerkrautsaftzufuhr verbesserte Stickstoffgehalt mit einem erhöhten Arbeitsaufwand einhergeht, da die milchsäuren Verdünnungsmittel in die Güllegrube transportiert und dadurch die doppelte Menge an Gülle ausgebracht werden muss. Andererseits treten durch die Düngung mit einer verdünnten Gülle geringere Ausbringungsverluste auf. Zusätzlich wird die Fließbarkeit der Gülle verbessert, was wiederum die Pflanzenverträglichkeit erhöht und ein schnelleres Eindringen in den Boden gewährleistet.

Aufgrund der derzeitigen Gesetzeslage darf über die Wintermonate keine Gülle ausgebracht werden. Deshalb wird für die Gülleverdünnung eine größere Lagerkapazität benötigt, was wiederum zu höheren Lagerkosten führt. Ob und in welchem Verdünnungsverhältnis die Verwendung von milchsauren Gülleverdünnungsmittel zu einem wirtschaftlichen Vorteil landwirtschaftlicher Betriebe führt, hängt neben deren Verfügbarkeit von den zusätzlichen Kosten durch Logistik, Lagerung und Arbeitsaufwand ab und gilt es für jeden Betrieb individuell zu überprüfen.

In Bezug auf die Gülleverdünnung ergeben sich aus dieser vorliegenden Arbeit weitere Forschungsansätze. So steht etwa die Ermittlung der Zusammensetzung der entstandenen Emissionen noch aus. Nur durch die genaue Bestimmung der Emissionen ließen sich die tatsächlichen Auswirkungen der milchsauren Gülleverdünnungsmittel in Hinblick auf ihr Treibhausgaspotential zielführend bewerten.

Des Weiteren konnte während des Versuchsablaufs eine verstärkte Geruchsbildung bei den milchsauren Varianten festgestellt werden. Als besonders auffallend galt die intensive Geruchsbelastung in der mit Sauerkrautsaft verdünnte Variante während des zweiten Durchgangs. Die Ausbringung von Gülle kann das Wohlbefinden der Anrainer insbesondere in Siedlungsgebiete erheblich beeinflussen. Deshalb ist es unentbehrlich, dass die Auswirkungen einer milchsauren Güllebehandlung auf die Geruchsentwicklung untersucht werden.

## I. Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Das Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammoniak und Ammonium in Abhängigkeit des pH-Werts.....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 2: Vergleich des pH-Wertverlaufs einer unverdünnten-, einer mit Wasser verdünnten- und einer mit Süßmolke verdünnten Rindergülle innerhalb von 30 Versuchstagen (nach BUCHGRABER &amp; RESCH, 1997).....</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 3: Anteile der Ammoniakemissionsquellen innerhalb der österreichischen Landwirtschaft (nach UMWELTBUNDESAMT, 2016). ....</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 4: Befüllung der Gülleversuchsbehälter mit 90 kg Rohgülle für die anschließende Variantenbildung.....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 5: Untersuchung der jeweiligen Varianten im Gülleversuchsraum des Moarhofs während des Versuchsablaufs.....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 6: Schematische Darstellung eines Gülleversuchsbehälters .....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 7: Gülleversuchsbehälter inklusive Messsonden und Rührwerk während des Versuchsablaufs .....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 8: Auszug des Syntax aus dem Programm SAS 9.4 Mixed Prozedur für die Ermittlung des pH-Werts mit den fixen Effekten Variante, Durchgang und Tag sowie den Wechselwirkungen aus Variante*Durchgang, Variante*Tag und Variante*Tag*Durchgang .....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 9: Vergleich des Temperaturverlaufs zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang im Mittel über alle Varianten und die vier Wiederholungen des jeweiligen Durchgangs während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein.....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 10: pH-Wertverlauf der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des ersten Durchgangs (07.04.2016 – 02.06.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch .....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 11: pH-Wertverlauf der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des zweiten Durchgangs (02.06.2016 – 28.07.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch .....</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 12: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des ersten Durchgangs (07.04.2016 – 02.06.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 13: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des zweiten Durchgangs (02.06.2016 – 28.07.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 14: Gegenüberstellung des pH-Wertverlaufs und des Verlaufs der elektrischen Leitfähigkeit im Mittel aller Varianten und Wiederholungen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 15: Verlauf des Redox-Potentials der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des ersten Durchgangs (07.04.2016 – 02.06.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch.....</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 16: Verlauf des Redox-Potentials der drei Varianten im Mittel über die vier Wiederholungen des zweiten Durchgangs (02.06.2016 – 28.07.2016) in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuch.....</i>	<i>40</i>

- Abbildung 17: Gegenüberstellung des pH-Wertverlaufs und des Verlaufs des Redox-Potentials im Mittel aller Varianten und Wiederholungen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ..... 40*
- Abbildung 18: Gegenüberstellung des Verlaufs der elektrischen Leitfähigkeit und des Verlaufs des Redox-Potentials im Mittel aller Varianten und Wiederholungen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ..... 41*

## II. Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Zusammenfassung der erstellten Varianten inklusive Mischungspartner und -verhältnis; Beschreibung des Güllezustands in Abhängigkeit der Durchgänge .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 2: Probeplan für den Versuchsablauf in Abhängigkeit der Durchgänge, Wiederholungen, Behälter und Varianten (Variante A = Gülle : Wasser, Variante B = Gülle : Molke, Variante C = Gülle : Sauerkrautsaft) .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 3: Aufzählung der untersuchten physikalischen- und chemischen Eigenschaften der Rindergülle sowie der ermittelten Emissionen während des Versuchsablaufs .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 4: pH-Werte der drei Gülleverdünnungsmittel zu Versuchsbeginn (07.04.2016) des am HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuchs .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 5: TM- und Mineralstoffgehalt der milchsäuren Gülleverdünnungsmittel zu Versuchsbeginn (07.04.2016) des am HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführten Versuchs .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 6: Durchschnittliche physikalische Parameter der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 7: Durchschnittliche physikalische Parameter der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 8: Durchschnittliche physikalische Parameter der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkungen zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 9: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM)) .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 10: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM)) .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 11: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM)) .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 12: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in der mit Wasser verdünnten Variante während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM)) .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 13: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in der mit Molke verdünnten Variante während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM)) .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 14: Die chemischen Eigenschaften der Rindergülle in der mit Sauerkrautsaft verdünnten Variante während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (angegeben in der Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM)) .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 15: Die C-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>47</i>

<i>Tabelle 16: Die C-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 17: Die C-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 18: Die N-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Varianten während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 19: Die N-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 20: Die N-Emissionen der Rindergülle in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen den Varianten und den Durchgängen während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 21: Die kalkulatorisch ermittelte jährliche Gülle- und Stickstoffanfallsmenge des Moarhofs .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 22: Die kalkulatorisch ermittelten jährlichen N-Emissionen der verschiedenen Rindergüllevarianten bezogen auf den Viehbesatz des Moarhofs .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 23: Die kalkulatorisch ermittelten jährlichen C-Emissionen der verschiedenen Rindergüllevarianten bezogen auf den Viehbesatz des Moarhofs .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 24: Die kalkulatorisch ermittelte jährliche N-Anfallsmenge der verschiedenen Rindergüllevarianten bezogen auf den Viehbesatz des Moarhofs .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 25: Verlauf des pH-Werts aller Varianten in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen Varianten und Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 26: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit aller Varianten in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen Varianten und Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 27: Verlauf des Redox-Potentials aller Varianten in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen Varianten und Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 28: Verlauf der Temperatur aller Varianten im Mittel über alle Wiederholungen und Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 29: Verlauf der Temperatur im ersten und dem zweiten Durchgang im Mittel über alle Varianten und Wiederholungen des jeweiligen Durchgangs während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 30: Verlauf der Temperatur aller Varianten in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen Varianten und Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein .....</i>	<i>74</i>

### III. Literaturverzeichnis

AMON, B., AMON, T., BOXBERGER, J., & ALT, C. (2001): Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 60(1-3), 103-113.

AMON, B., KRYVORUCHKO, V., AMON, T., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. (2006): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, ecosystems & environment*, 112(2), 153-162.

BAUMGARTEN, A., DERSCH, G., HÖSCH, J., SPIEGEL, H., FREUDENSCHUSS, A., & STRAUSS, P. (2011): Bodenschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft. In 3. Umweltökologisches Symposium.

BERG, W., HÖRNIG, G., & TÜRK, M. (1998): Güllebehandlung mit Milchsäure. *Landtechnik–Agricultural Engineering*, 53(6), 378-379.

BMLUFW (2017): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Geschäftsstelle: Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Institut für Bodenwirtschaft. Wien.

BUCHGRABER K. & RESCH R. (1997): Molke als Gülleverdünnungsmittel und Düngermittel für das Dauergrünland. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

BUSSINK, D. W., VAN ROTTERDAM, A. M. D., WENZL, W. (2012): Potential of Biologically Acidifying Cow Slurry to Reduce NH<sub>3</sub> Emissions. Nutrient Management Institute.

CHANDRAPALA, J., DUKE, M. C., GRAY, S. R., WEEKS, M., PALMER, M., & VASILJEVIC, T. (2016): Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature. *Separation and Purification Technology*, 160, 18-27.

CONN, K. L., TOPP, E., & LAZAROVITS, G. (2007): Factors influencing the concentration of volatile fatty acids, ammonia, and other nutrients in stored liquid pig manure. *Journal of environmental quality*, 36(2), 440-447.

CLEMENS, J., BERGMANN, S., & VANDRE, R. (2002): Reduced ammonia emissions from slurry after self-acidification with organic supplements. *Environmental technology*, 23(4), 429-435.

DONG, H., MANGINO, J., McALLISTER, T., & HAVE, D. (2006): Emissions from livestock and manure management. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

FANGUEIRO, D., HJORTH, M., & GIOELLI, F. (2015): Acidification of animal slurry – a review. *Journal of environmental management*, 149, 46-56.

FRICK, R., MENZI, H., & KATZ, P. (1996): Ammoniakverluste nach der Hofdüngeranwendung. *FAT Berichte*, (486).

FRICK, R. UND MENZI H. (1997): Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern? Auch einfache Maßnahmen wirken. FAT-Berichte 496.

HANSEN, M. N., HENRIKSEN, K., & SOMMER, S. G. (2006): Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmospheric Environment*, 40(22), 4172-4181.

HECHT, M. (2009): Die Bedeutung des Carbonat-Puffersystems für die Stabilität des Gärprozesses landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz.

HEDIGER, W. (2004): Bestimmungsgründe und Entwicklung der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen und Kohlenstoff-Senken in der Schweiz.

JAISSWAL, A. K., & ABU-GHANNAM, N. (2013): Kinetic studies for the preparation of probiotic cabbage juice: Impact on phytochemicals and bioactivity. *Industrial Crops and Products*, 50, 212-218.

KAI, P., PEDERSEN, P., JENSEN, J. E., HANSEN, M. N., & SOMMER, S. G. (2008): A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*, 28(2), 148-154.

KUPPER, T. (2015): Beurteilung der Ansäuerung von Gülle als Massnahme zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Schweiz Evaluation de l'acidification du lisier comme mesure pour réduire.

LEICK, B. C. E. (2004): Emission von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen.

MOOSBRUGGER, R. E., WENTZEL, M. C., EKAMA, G. A., & MARAIS, G. (1993): Weak acid/bases and pH control in anaerobic systems- A review. *WATER SA-PRETORIA*, 19, 1-1.

PAULSEN, H. M., BLANK, B., SCHAUB, D., AULRICH, K., & RAHMANN, G. (2013): Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen. *Landbauforsch Appl Agric For Res*, 63(1), 29-36.

PETERSEN, S. O., ANDERSEN, A. J., & ERIKSEN, J. (2012): Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *Journal of environmental quality*, 41(1), 88-94.

PÖLLINGER, A., KROPSCH, M., LEITHOLD, A. & HUBER, G. (2011): Evaluierung der ÖPUL-Maßnahme „Verlustarme Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern und Biogasgülle“.

RABIE, M. A., SILIHA, H., EL-SAIDY, S., EL-BADAWY, A. A., & MALCATA, F. X. (2011): Reduced biogenic amine contents in sauerkraut via addition of selected lactic acid bacteria. *Food chemistry*, 129(4), 1778-1782.

RINKE, G. (1999): Verminderung von Ammoniakemissionen aus Gülle durch Zumischung von milchsäurehaltigem Restwasser aus der mechanischen Entwässerung feucht-konservierter Biomasse als regenerativer Energieträger. Shaker Verlag, Aachen.

SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H. P., BRÜMMER, G., HARTGE, K. H., & SCHWERTMANN, U. (2002): Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde, 15th edn. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

SCHIEDER, D., GRONAUER, A., LEBUHN, M., BAYER, K., BECK, J. HIEPP, G. BINDER, S. (2010): Prozessmodell Biogas. Bayern Biogas Forum 2010 – 3. Online: ([http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell\\_Biogas.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell_Biogas.pdf)) (16.01.2017).

SCHRÖPEL, R., HENKELMANN, G. (s.a.): Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Präparate auf Rindergülle. Bayerische Landesdesanstalt für Landwirtschaft.

SINTERMANN, J., NEFTEL, A., AMMANN, C., HÄNI, C., HENSEN, A., LOUBET, B., & FLECHARD, C. R. (2012): Are ammonia emissions from field-applied slurry substantially over-estimated in European emission inventories? *Biogeosciences*, 9(5), 1611.

SMITHERS, G. W. (2008): Whey and whey proteins—from ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704.

SØRENSEN, P., & ERIKSEN, J. (2009): Effects of slurry acidification with sulphuric acid combined with aeration on the turnover and plant availability of nitrogen. *Agriculture, ecosystems & environment*, 131(3), 240-246.

STATISTIK AUSTRIA (2008): Regionale Nährstoffbilanzen in Österreich für NUTS 3-Gebiete. Eurostat Grant.

UMWELTBUNDESAMT (2016): Emissionstrends 1990 – 2014. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich (Datenstand 2016). Online:(<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0574.pdf>) (26.04.2017)

VAN DER STELT, B., TEMMINGHOFF, E. J. M., & VAN RIEMSDIJK, W. H. (2005): Measurement of ion speciation in animal slurries using the Donnan Membrane Technique. *Analytica chimica acta*, 552(1), 135-140.

VON WIMPFEN, H. H. (1989): Das Grosse Buch von Sauerkraut. Vienna, Austria: ORAC, Buch und Zeitschriften.

WEBB, J., MENZI, H., PAIN, B. F., MISSELBROOK, T. H., DÄMMGEN, U., HENDRIKS, H., & DÖHLER, H. (2005): Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. *Environmental pollution*, 135(3), 399-406.

WTW (2018a): SensoLyt® pH-Messtechnik. Online: (<https://www.wtw.com/de/produkte/produktklassen/sensorik/analoge-sensoren-on-line/ph-redox-einstabmessketten.html>) (06.02.2018).

WTW (2018b): Leitfähigkeitsmesszellen. Online:  
(<https://www.wtw.com/de/produkte/produktklassen/sensorik/analoge-sensoren-online/leitfaehigkeitsmesszellen.html>) (06.02.2018).

YOON, K. Y., WOODAMS, E. E., & HANG, Y. D. (2006): Production of probiotic cabbage juice by lactic acid bacteria. *Bioresource technology*, 97(12), 1427-1430.

## IV. Anhang

Tabelle 25: Verlauf des pH-Werts aller Varianten in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen Varianten und Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Tag		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	p-wert
<b>Durchgang 1</b>															<0,0001
<b>Wasser</b>	LSMEAN	7,49	7,48	7,50	7,50	7,51	7,51	7,51	7,50	7,52	7,53	7,52	7,50	7,49	
	SEM	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	
<b>Molke</b>	LSMEAN	6,47	6,23	6,06	5,84	5,66	5,50	5,34	5,19	5,08	4,99	4,88	4,79	4,66	
	SEM	0,155	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,157	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	
<b>Sauer- krautsaft</b>	LSMEAN	5,90	5,85	5,87	5,86	5,81	5,66	5,49	5,47	5,48	5,45	5,38	5,29	5,24	
	SEM	0,156	0,156	0,156	0,156	0,155	0,156	0,156	0,156	0,156	0,155	0,155	0,156	0,156	
<b>Durchgang 2</b>															
<b>Wasser</b>	LSMEAN	7,36	7,38	7,40	7,43	7,48	7,55	7,61	7,66	7,82	7,73	7,75	7,77	7,78	
	SEM	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	
<b>Molke</b>	LSMEAN	5,31	5,31	5,31	5,31	5,35	5,41	5,47	5,52	5,57	5,59	5,60	5,61	5,62	
	SEM	0,157	0,156	0,156	0,156	0,156	0,157	0,157	0,158	0,158	0,158	0,158	0,158	0,158	
<b>Sauer- krautsaft</b>	LSMEAN	5,85	5,88	5,93	6,00	6,08	6,12	6,16	6,19	6,23	6,25	6,25	6,26	6,26	
	SEM	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	

Tabelle 26: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit aller Varianten in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen Varianten und Durchgänge während dem Versuch vom 07.04.2016 – 28.07.2016 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Tag		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	p-wert
<b>Durchgang 1</b>															<0,0001
<b>Wasser</b>	LSMEAN	13,54	13,59	13,58	13,68	13,81	13,79	13,79	13,76	13,82	13,81	13,89	13,86	13,81	
	SEM	0,616	0,616	0,614	0,614	0,614	0,614	0,616	0,618	0,614	0,613	0,613	0,614	0,615	
<b>Molke</b>	LSMEAN	13,16	14,08	15,01	15,10	15,53	15,78	15,79	16,18	16,03	15,92	15,53	15,81	15,85	
	SEM	0,598	0,604	0,606	0,607	0,606	0,607	0,609	0,61	0,607	0,605	0,606	0,607	0,608	
<b>Sauer- krautsaft</b>	LSMEAN	18,87	21,16	21,73	20,83	18,56	18,60	20,76	21,56	21,96	22,48	23,05	22,54	22,92	
	SEM	0,605	0,604	0,602	0,601	0,600	0,600	0,602	0,604	0,600	0,599	0,600	0,601	0,603	
<b>Durchgang 2</b>															
<b>Wasser</b>	LSMEAN	14,61	14,58	14,48	14,41	14,38	14,4	14,37	14,34	14,3	14,29	13,97	14,23	14,19	
	SEM	0,602	0,601	0,601	0,600	0,601	0,604	0,607	0,61	0,614	0,615	0,615	0,315	0,613	
<b>Molke</b>	LSMEAN	15,71	16,27	16,24	16,52	16,65	16,60	15,70	16,25	16,85	17,09	16,88	16,86	16,43	
	SEM	0,609	0,608	0,607	0,607	0,608	0,612	0,616	0,62	0,624	0,623	0,622	0,622	0,62	
<b>Sauer- krautsaft</b>	LSMEAN	23,81	25,55	26,48	23,61	26,80	26,99	27,11	27,15	26,71	26,34	26,24	26,09	25,90	
	SEM	0,605	0,604	0,602	0,601	0,600	0,600	0,603	0,605	0,609	0,610	0,609	0,609	0,608	



