



**HOCHSCHULE OSNABRÜCK**  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hochschule Osnabrück | Postfach 1940 | 49009 Osnabrück

Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Geschäftsbereich Förderung  
Fachbereich 2.1  
Mars-la-Tour-Str. 1-13  
26121 Oldenburg

Prof. Dr. Hans-Werner Olf

Fachgebiet Pflanzenernährung und Pflanzenbau

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschafts-  
architektur  
Am Krümpel 31 | Raum HC 0003  
49090 Osnabrück

Telefon: +49 541 969-5135

E-Mail: h-w.olf@hs-osnabrueck.de

Osnabrück, 14. August 2022

## Abschlussbericht

### OG AmmonMind

Projektkoordination:

Prof. Dr. Hans-Werner Olf

Hochschule Osnabrück

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

## 1 Kurzdarstellung

### 1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Die Minderung der landwirtschaftlich bedingten  $\text{NH}_3$ -Emission ist dringend erforderlich, um die Eutrophierung naturnaher Ökosysteme, die durch Ammoniak verursachten, indirekten Lachgasemissionen, die Feinstaubbildung und die Bodenversauerung zu verringern. Darüber hinaus muss die vergleichsweise niedrige N-Düngewirkung und -Nutzungseffizienz der eingesetzten Wirtschaftsdünger verbessert werden, denn ohne entsprechende Maßnahmen zur

Minderung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen emittiert ein großer Teil des in der Gülle vorhandenen, pflanzenverfügbaren  $\text{NH}_4$  als  $\text{NH}_3$ . Mögliche Maßnahmen zur Minderung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung fokussieren sowohl auf die Verluste aus dem Stallbereich als auch bei der Gülle-Applikation im Feld.

Durch baurechtliche Vorgaben muss bei Stallneubauten für die Tierarten Schwein und Geflügel die gesamte Stallluft über entsprechende  $\text{NH}_3$ -Wäscher geleitet werden. Die anfallenden N-haltigen Waschwässer weisen relativ geringe N-Konzentrationen auf und werden nach entsprechender Zwischenlagerung auf landwirtschaftlich genutzten Acker- und Grünlandflächen ausgebracht. Mit der neuen Düngeverordnung ist die Applikation im Herbst/Winter sehr stark eingegrenzt worden, sodass zusätzliche Lagerkapazitäten (und damit Investitionen) für diese Waschwässer notwendig sind. Hier ist einer der Ansatzpunkte für das beantragte Projekt AmmonMind.

Mit Blick auf die  $\text{NH}_3$ -Emissionen während der Gülle-Ausbringung werden zurzeit zwei Ansätze verfolgt. Zum einen sollen die Emissionen durch die Absenkung des pH-Werts in der Gülle und zum anderen durch eine schnellstmögliche Einarbeitung der Gülle in den Boden reduziert werden. Diese Ansätze haben sich aber in der landwirtschaftlichen Praxis in Niedersachsen bisher noch nicht umfänglich etabliert. Daher ist die Vermeidung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei der Ausbringung von Gülle der zweite Ansatzpunkt für das Projekt.

## **1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung**

Zielsetzung der OG AmmonMind ist daher die Erarbeitung und Evaluierung einer praxisreifen Strategie zur umfassenden Minderung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen in der Schweineproduktion. Dabei werden die Wirkungen eines  $\text{NH}_3$ -Sorbenten zur Emissionsminderung aus Schweinegülle in der gesamten betrieblichen „Wertschöpfungskette“ von der Mastschweinehaltung im Stall (inkl. der Effekte auf die Schlachtleistung der Schweine) über die Ausbringung der anfallenden Schweinegülle auf dem Acker bis hin zur Beurteilung des produzierten Weizens als Futtergrundlage in der Schweineproduktion betrachtet. Entsprechend der thematischen Schwerpunkte ist das Projekt in 4 Teilprojekte untergliedert:

- Teilprojekt 1: Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Emissionen im Stall (TP1)
- Teilprojekt 2: Beurteilung der N-Verfügbarkeit von sorbiertem Stickstoff (TP2)
- Teilprojekt 3: Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei der Gülle-Applikation (TP3)
- Teilprojekt 4: Projektkoordination und Praxistransfer (TP4)

### **1.3 Mitglieder der OG AmmonMind**

- Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR (DMKA)
- Hochschule Osnabrück (HsOs)
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK-BOS)
- Plantus GbR (Plantus)

### **1.4 Projektgebiet**

Verbesserte Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft, Entwicklung nachhaltiger Produktionssysteme in der Tierhaltung und im Ackerbau im Intensivveredlungsgebiet Niedersachsens.

### **1.5 Projektlaufzeit und Dauer**

05.02.2019 – 15.08.2022

### **1.6 Budget**

Gesamt- und Fördervolumen: 488.883,49 € (Stand Auszahlungsmitteilung 6. April 2022)

### **1.7 Ablauf des Verfahrens**

Das Projekt begann mit dem Erhalt des Zuwendungsbescheids am 04.02.2019. Jedoch wurden die beim OG-Mitglied Hochschule Osnabrück ausgeschrieben Stellen als wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in verspätet erst zum 01.03.2019 (Nils Ellersiek) und als Projektkoordinator/in verspätet erst zum 01.04.2019 (Anne Borchert) besetzt. Die tatsächliche Durchführung des Projektes begann daher mit dem Kick-Off-Meeting am 22.03.2019.

Im Teilprojekt 1 wurde der Versuchsstall umgebaut und zunächst einige Testläufe zur Überprüfung der Funktionalität der eingebauten Technik absolviert. Nachdem der autonome Betrieb der Sprühanlage geprüft war, wurde der Versuchsaufbau optimiert und verschiedene Einstellungen der Sprühkühlung getestet. Letztendlich wurde in einem Aufzeichnungszeitraum über 33 Stunden hinweg eine durchschnittliche Minderung der  $\text{NH}_3$ -Konzentration in der Abluft von über 90 % erreicht. Vom Februar 2020 bis Juli 2020 erfolgte die Behandlung im Versuchsabteil permanent mit dem  $\text{NH}_3$ -Sorbenten. Da der zu Beginn der Versuche verwendete  $\text{NH}_3$ -Sorbent „NH3relief“ einige Probleme mit sich bringt, wurde auf ein Ersatzprodukt basierend auf Zitronensäure umgestellt. Der technische Betrieb der Sprühanlage lief danach weitestgehend störungsfrei und wurde in 3 Mastdurchgängen (01 – 03) optimiert. Im Zeitraum von Januar 2021

bis August 2021 wurde der Durchgang 04 im Schweinemaststall eingestallt und abgeschlossen. Für die Durchgänge 05, 06 und 07 wurde die laufende Versuchsanordnung aus Durchgang 04 fortgeführt. Diese Durchgänge verliefen dann ohne technische Probleme. Die Ergebnisse aus den Schlachtabrechnungen konnten mit der Futteraufnahme und den Einzeltierwiegun-gen in Bezug gesetzt werden. Abschließend wurde eine ökonomische Auswertung des Verfahrens durchgeführt.

Im Teilprojekt 2 wurde ein Versuchsdesign für einen Inkubationsversuch entworfen, um klare Dosis-Wirkungsbeziehungen für den Einsatz des  $\text{NH}_3$ -Sorbent ableiten zu können. Das Versuchsdesign ist jedoch auf Grund einer zu kleinen Fläche in den Behältern nicht geeignet, um die Wirksamkeit des Sorbenten bei breitflächig verteilter Gülle wie bei der Gülleapplikation bzw. auf den Spaltenböden im Mastschweinestall zu beurteilen. Daher wurde ein neues Versuchsdesign entworfen. Dazu wurde eine Apparatur gebaut, die aus zwölf Behältern mit jeweils zugehöriger Waschflasche besteht. Das in den Behältern emittierte  $\text{NH}_3$  wird in der Waschflasche gesammelt und kann quantitativ bestimmt werden. Der Bau der Apparatur wurde im Herbst 2020 abgeschlossen und erste Probeläufe zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Systems durchgeführt. Daraufhin mussten noch ein paar Anpassungen an der Methodik vorgenommen werden. Im Herbst 2021 wurde die Apparatur für einen Versuch zum Einfluss des pH-Wertes der Gülle auf die  $\text{NH}_3$ -Emissionen genutzt. Im Frühjahr 2022 wurde die Apparatur dann für einen Vergleich der Emissionsreduktion bei der Ansäuerung von Gülle mit Zitronensäure bzw. Schwefelsäure genutzt, um zu prüfen, ob die Emissionsreduktion bei der Gülleansäuerung nur vom pH-Wert oder auch vom Additiv zur Einstellung des pH-Werts abhängt.

Zusätzlich zu den Inkubationsversuchen wurde im Frühjahr 2021 ein Gefäßversuch mit Sommerweizen angelegt, um die N-Verfügbarkeit der mit Zitronensäure behandelten Gülle beurteilen zu können. Durch diese Ergebnisse wurden die Daten aus dem Inkubationsversuch ergänzt und somit eine Beurteilung der N-Verfügbarkeit der mit dem Sorbenten behandelten Gülle ermöglicht. Um weitere Erkenntnisse zu sammeln, wurde im Herbst 2021 ein Gefäßversuch mit Weidelgras angelegt und dabei die N-Verfügbarkeit von durch Zitronensäure angesäuerter Gülle im Vergleich mit durch Schwefelsäure angesäuerter Gülle verglichen.

Im Teilprojekt 3 wurde im ersten Projektjahr ein erster Feldversuch durchgeführt. Ein Versuchsbeginn zur 1. N-Düngung war aus zeitlichen Gründen (verzögerte Einstellung des wissenschaftlichen Mitarbeiters) nicht möglich. Daher wurden am 16.04.2019 zur 2. N-Düngung

sechs Varianten mit je vier Wiederholungen angelegt (Variante 1: Kontrolle, Variante 2: mineralische Düngung (AHL), Variante 3: Gülle ohne Zusatz, Variante 4: Gülle + 50 % NH<sub>3</sub>-Sorbent, Variante 5: Gülle + 100 % NH<sub>3</sub>-Sorbent und Variante 6: Gülle + 150 % NH<sub>3</sub>-Sorbent). Im zweiten Projektjahr 2020 wurde ein weiterer Feldversuch mit zwei Applikationsterminen durchgeführt. Dabei wurden am 17.03.2020 zur 1. N-Düngung sechs Varianten mit je vier Wiederholungen angelegt (Variante 1: Kontrolle, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3: Gülle aus Stallversuch, Variante 4: Gülle + NH<sub>3</sub>-Sorbent aufgesprüht, Variante 5: Gülle + NH<sub>3</sub>-Sorbent eingemischt und Variante 6: Gülle + Schwefelsäure eingemischt). Am 15.04.2020 zur zweiten N-Düngung wurden noch einmal Gülle in denselben Varianten ausgebracht. Im dritten Projektjahr 2021 wurde ein weiterer Feldversuch angelegt. Da eine wissenschaftlich belastbare Auswertung der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus den Jahren 2019 und 2020 mit den ausgewählten Messtechniken Dräger-Tubes und Passivsammlern nicht gegeben war, wurde auf die Messung der NH<sub>3</sub>-Emissionen in diesem Feldversuch verzichtet. Als Sorbent wurde Zitronensäure als Güllezusatz eingesetzt. Die Varianten im Feldversuch 2021 waren: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3: Gülle + Zitronensäure und Variante 4: Gülle + Schwefelsäure. Im vierten Projektjahr 2022 wurde ein weiterer Feldversuch angelegt. Auch hier wurde auf die Messung der NH<sub>3</sub>-Emissionen verzichtet. Die Varianten im Feldversuch 2022 waren: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Mineralische Düngung, Variante 3: Gülle ohne Zusatz, Variante 4: Gülle + Zitronensäure (pH 6,0), Variante 5: Gülle + Schwefelsäure (pH 6,0) und Variante 6: Gülle + Schwefelsäure nach S-Pflanzenbedarf (pH 6,3).

Im Rahmen von Teilprojekt 4 wurde eine Projekthomepage erstellt (<https://www.hs-osnabrueck.de/ammonmind>). Die Öffentlichkeitsarbeit wurde über die Projekthomepage auf den Internetseiten der Hochschule Osnabrück von der Projektkoordinatorin kontinuierlich sichergestellt. Weiterhin wurde zu Projektbeginn eine Pressemitteilung verfasst und sowohl in der allgemeinen Press als auch der Fachpresse veröffentlicht. Das OG-Mitglied Landwirtschaftskammer Niedersachsen hat im Rundschreiben Herbst/Winter 2019/20 der LWK Niedersachsen Bezirksstelle Oldenburg-Süd das Projekt AmmonMind den ca. 5.600 Beratungsbetrieben in den Landkreisen Cloppenburg, Vechta und Oldenburg mit einem Kurzbeitrag vorgestellt. Weiterhin wurde das Projekt AmmonMind auf dem Stand der Hochschule Osnabrück bei der „Agritechnica 2019“ in Hannover mit einem Poster präsentiert. Im Herbst 2021 wurden auf der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Pflanzenernährung in Kiel die Ergebnisse aus den Feldversuchen 2020 auf einem Poster vorgestellt und im Oktober 2021 stellte die OG Kreye

einige Ergebnisse aus dem Versuchsstall beim Landkreis Oldenburg vor. Am 19.05.2022 fand dann der AmmonMind-Feldtag zum Thema "Einsatz von Zitronensäure im Stall und auf dem Feld: Stallklima verbessern und Dünger sparen" auf der Feldversuchsfläche in Großenkneten statt. Hierzu kamen rund 25 interessierte Landwirte\*innen, Studierende und Berater, um sich über das Projekt "AmmonMind" und das Thema "Reduktion von Ammoniak-Emissionen" zu informieren.

## **1.8 Zusammenfassung der Ergebnisse**

### **Teilprojekt 1**

Bei den Stallversuchen wurden insgesamt 7 Mastdurchgänge realisiert. Die  $\text{NH}_3$ -Reduktion lag, je nach Durchgang zwischen 61 und 84 %. Insgesamt konnte bestätigt werden, dass der Einsatz des Sorbenten auf Basis von Zitronensäure den  $\text{NH}_3$ -Gehalt in der Stallluft im Versuchsabteil um durchschnittlich 73 % reduziert. Dadurch wurden im gesamten Versuchszeitraum sowohl die Minderungsvorgaben aus der TA-Luft als auch die Vorgaben der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung erfüllt. Auch für die in der TA-Luft vorgeschriebene Geruchsminde- rung ließ sich eine positive Tendenz erkennen.

Die Produktkosten für das Verfahren betragen etwa 20 € je Tierplatz und die direktkostenfreie Leistung (Dkfl) beträgt je Mastplatz und Jahr 67,62 €. So ergibt sich nach Abzug der Produktkosten von der Dkfl für das Projekt eine Dkfl von 47,60 € pro Tierplatz und Jahr. Die Dkfl der herkömmlichen Anlagen liegen zwischen 23,20 € und 45,70 €. Auch wenn im Projekt keine Gesamtkosten berechnet werden konnten, scheint das System der  $\text{NH}_3$ -Reduktion mittels Zitronensäure im Vergleich mit anderen Verfahren ökonomisch gesehen in etwa im gleichen Bereich zu liegen. Entscheidend sind hier v.a. die Kosten für das Produkt. Gerade für den Fall, dass kleine Betriebe eine Abluftreinigung nachrüsten müssten, können herkömmliche Abluftreinigungsanlagen mit hohen Gesamtkosten je Tierplatz nicht favorisiert werden. An dieser Stelle kann die Abluftreinigung, wie sie im Projekt getestet wurde, eine entscheidende Hilfeleistung bieten. Ziel des Projektes war die Entwicklung einer praxisreifen Anwendung zur umfassenden Minderung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen in der Schweineproduktion. Die sieben Mastdurchgänge konnten zeigen, dass ein funktionsfähiges System gefunden wurde, mit dem sich die  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus dem Schweinestall effektiv reduzieren lassen.

## Teilprojekt 2

In den Gefäßversuchen konnte gezeigt werden, dass mit Schwefelsäure angesäuerte Gülle eine etwas höhere Düngewirkung aufweist als mit Zitronensäure angesäuerte Gülle. Die Unterschiede lassen sich auf eine unterschiedliche N-Verfügbarkeit aus der Gülle mit Zitronensäure und der Gülle mit Schwefelsäure zurückführen.

Bei den Inkubationsversuchen hat sich gezeigt, dass das  $\text{NH}_4\text{-N}$  in den Waschflaschen und damit die  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der aufgetragenen Gülle umso niedriger sind, desto niedriger der pH-Wert der Gülle eingestellt wird. Weiterhin waren die  $\text{NH}_3$ -Emissionen beim Vergleich von mit Zitronensäure bzw. Schwefelsäure angesäuerten Gülle bei allen pH-Wert-Stufen in der gleichen Größenordnung.

Insgesamt lässt sich also feststellen, dass die Emissionsreduktion durch pH-Wert-Absenkung bei gleichem pH-Wert mit Zitronensäure genauso gut funktioniert, wie mit Schwefelsäure. Es wird jedoch im Vergleich mit Schwefelsäure deutlich mehr Zitronensäure benötigt, um den gleichen pH-Wert bei einer Gülle zu erreichen. Da die Zitronensäure zusätzlich noch deutlich mehr kostet und (durch die fehlende Schwefelzufuhr) eine etwas schlechtere Düngewirkung der Gülle bedingt, ist es wirtschaftlich betrachtet uninteressant, Schwefelsäure bei der Gülleansäuerung durch Zitronensäure zu ersetzen.

## Teilprojekt 3

Die Ernteergebnisse des im Parzellenversuch 2019 angebauten Winterweizens haben ergeben, dass der Einsatz des Sorbenten bei der Gülleausbringung keine Effekte auf die Erntemenge des Weizens hatte.

Die Ernteergebnisse des Feldversuchs 2020 ließen sich wegen der extremen Trockenheit im Frühjahr/Sommer 2020 und des Zwiewuchses im Bestand nur bedingt auswerten. Die Ernte fiel mit Erträgen zwischen 14 und 22 dt/ha sehr gering aus, wobei bei der Variante mit Zusatz von Schwefelsäure der signifikant höchste Ertrag als auch der höchste Proteingehalt erzielt werden konnte. Der Zusatz des Sorbenten zur Gülle hat im Vergleich mit unbehandelter Gülle keinen nachhaltigen Effekt gezeigt.

Beim Feldversuch 2021 wiesen die mit Schwefelsäure behandelten Varianten einen signifikant höheren N-Entzug als die Variante mit Gülle ohne Zusatz auf. Die Ansäuerung der Gülle mit Zitronensäure hatte verglichen mit der Schwefelsäure bezogen auf den Ernteertrag weder einen Vorteil noch einen Nachteil. Die volle Düngewirkung der mit Zitronensäure behandelten

Gülle setzt jedoch erst später ein als bei der mit Schwefelsäure behandelten Gülle. Die Zitronensäure bedingte also eine verzögerte Düngewirkung. Weiterhin zeigte sich, dass die deutlich höhere S-Düngung durch die Schwefelsäure sich nicht auf den Ertrag oder die S-Aufnahme des Weizens ausgewirkt hat. Die hohen S-Gehalte im Boden konnten nicht vom Weizen genutzt werden und wurden im Herbst in die unteren Bodenschichten verlagert, sodass sie wahrscheinlich ins Grundwasser ausgewaschen werden.

Die Ergebnisse des Feldversuch 2022 zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen unbehandelter Gülle, mit Zitronensäure oder mit Schwefelsäure angesäuerter Gülle. Dies liegt wohl daran, dass die Gülle schon einen vergleichsweise niedrigen pH-Wert hatte und nicht viel Säure benötigt wurde, um den Ziel-pH-Wert von 6,0 zu erreichen. Dagegen konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass auch eine angesäuerte Gülle eine deutlich schlechtere Düngewirkung erzielt als eine rein mineralische Düngung.

## **2 Eingehende Darstellung**

### **2.1 Verwendung der Zuwendung**

#### **2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit der OG**

Das Projekt begann mit dem Erhalt des Zuwendungsbescheids am 04.02.2019. Jedoch konnten die beim OG-Mitglied Hochschule Osnabrück ausgeschriebenen Stellen als wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in verspätet erst zum 01.03.2019 (Nils Ellersiek) und als Projektkoordinator/in verspätet erst zum 01.04.2019 (Anne Borchert) besetzt. Die tatsächliche Durchführung des Projektes begann daher mit dem Kick-Off-Meeting am 22.03.2019.

#### **Teilprojekt 1: Reduktion der NH<sub>3</sub>-Emissionen im Stall**

Beteiligte OG-Mitglieder: Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hochschule Osnabrück

#### **Im Rahmen von TP1 sollten folgende Arbeiten durchgeführt werden**

Der NH<sub>3</sub>-Sorbent NH<sub>3</sub>relief soll in der Schweinemastproduktion unter Stallbedingungen eingesetzt werden (Nutzung der Stallanlage von OG DMKA und Erledigung der Arbeiten durch OG DMKA). Dazu wird der Schweinemaststall in der Mitte durch eine Leichtbau-Trennwand in zwei identische Abteile mit gleicher Tierzahl unterteilt. Während die Zuluft über einen zentralen Lüf-



tungsschacht für beide Abteile gemeinsam erfolgt, wird für jedes Stallabteil eine separate Abluftführung eingebaut, die eine getrennte Messung der  $\text{NH}_3$ -Konzentration für das jeweilige Abteil ermöglicht. Abluftmenge und Temperaturen sollen zeitgleich ermittelt und aufgezeichnet werden. Dazu ist der Einbau von neuer Lüftungstechnik erforderlich. Die beiden Abteile werden weiterhin mit  $\text{NH}_3$ -Sensoren ausgerüstet. Bei diesen Messungen soll der Sensor „Polytron C 300“ der Firma Dräger, der mit einem „Fancom F17 Lumina“ Lüftungscomputer verbunden ist, zum Einsatz kommen. Mit einer entsprechenden Software zur Datenerfassung und Archivierung kann sowohl eine exakte Steuerung der Lüftungsanlage als auch die Aufzeichnung der Messparameter sichergestellt werden.

In einem der beiden Stallabteile wird der  $\text{NH}_3$ -Sorbent NH3relief appliziert und parallel wird in der anderen Stalleinheit jeweils ohne  $\text{NH}_3$ -Sorbent gearbeitet. Im 1. Projektjahr werden unter Praxisbedingungen 10 Versuchsreihen (Dauer jeweils 2 Wochen) durchgeführt (DMKA+HsOs). Dazu wird der  $\text{NH}_3$ -Sorbent in unterschiedlichen Aufwandmengen, -formen (fest/flüssig) und -häufigkeiten auf die Stallflächen in den Schweinebuchten aufgebracht (DMKA), so dass Dosis-Wirkungsbeziehungen abgeleitet werden können (HsOs). In beiden Stallabteilen (+/-  $\text{NH}_3$ -Sorbent) werden die Veränderungen der  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen erfasst (DMKA+HsOs). Am Ende der jeweiligen Versuchsreihe werden Gülleproben entnommen (DMKA) und für die spätere Laboranalyse (HsOs) tiefgefroren. Eine erste Kostenschätzung für das Verfahren wird durchgeführt (LWK-BOS).

Aufbauend auf diesen Daten soll eine erste Applikationsempfehlung (Menge, Form, Häufigkeit, Applikationssystem) für den Einsatz des Produktes in der Mastschweineproduktion unter Praxisbedingungen abgeleitet werden (DMKA+LWK-BOS+HsOs). Diese Applikationsempfehlungen werden im 2. Projektjahr im selben Stall unter gleichen Bedingungen evaluiert. Durch Verlängerung der jeweiligen Versuchsreihen von 2 auf 4 Wochen soll dann auf unterschiedliche Mastabschnitte fokussiert werden. Das Arbeitsprogramm wird entsprechend der Aktivitäten wie im 1. Projektjahr durchgeführt (s.o.). Zusätzlich soll der Masterfolg zwischen den beiden Stallabteilen (+/-  $\text{NH}_3$ -Sorbent) verglichen und eine weitere Kostenschätzung vorgenommen werden (DMKA+LWK-BOS).

Im 3. Projektjahr wird die Praxistauglichkeit überprüft (DMKA). Dabei wird durch regelmäßige Erfassung der Ammoniakkonzentration (DMKA) der Einsatzzeitpunkt des Ammoniak-Sorbenten festgelegt. Am Ende der Mastperiode werden die Mastleistungen erfasst (DMKA+LWK-BOS) und eine ökonomische Bewertung des Gesamtverfahrens vorgenommen (LWK-BOS).

## **Im Rahmen von TP1 wurden folgende Arbeiten tatsächlich durchgeführt**

Vom Februar 2019 bis Februar 2020 wurde die Technikinstallation vorläufig abgeschlossen und erste Testläufe absolviert. Dabei wurde der autonome Betrieb der Sprühanlage und die notwendige Menge an Flüssigkeit geprüft und dokumentiert, da die eingebrachten Flüssigkeiten verschiedene Viskositäten mit sich brachten. Dann wurde der Versuchsaufbau optimiert und verschiedene Einstellungen der Sprühkühlung getestet. Letztendlich wurde in einem Aufzeichnungszeitraum über 33 Stunden hinweg eine durchschnittliche Minderung der  $\text{NH}_3$ -Konzentration in der Abluft von über 90 % erreicht. Aufgrund der notwendigen Techniküberprüfung konnten die ursprünglich geplanten 10 Versuchsserien mit unterschiedlichen Aufwandmengen nicht durchgeführt.

Um auszuschließen, dass die reduzierte  $\text{NH}_3$ -Konzentration in der Abluft nicht auf den Wasseranteil des im Stall vernebelten Gemisches ( $\text{NH}_3$ relief+Wasser) zurückzuführen ist, wurde eine 14-tägige Testperiode durchgeführt, in dem die Sprühkühlung allein mit Wasser, ohne Zusatz des  $\text{NH}_3$ reliefs, betrieben wurde. Der Betrieb mit Wasser erfolgte mit der gleichen Menge wie im Regelbetrieb mit  $\text{NH}_3$ relief. Dabei betrug die durchschnittliche Minderung der  $\text{NH}_3$ -Konzentration in der Abluft etwa 25 % im Vergleich zum Kontrollabteil und war somit verglichen mit dem  $\text{NH}_3$ relief/Wasser-Gemisch deutlich geringer. Das erste Teilziel wurde somit erreicht, da ein vollfunktionsfähiges System gefunden wurde, mit dem sich  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus dem Schweinestall effektiv reduzieren lassen.

Vom Februar 2020 bis Juli 2020 erfolgte die Behandlung im Versuchsabteil permanent mit dem Produkt  $\text{NH}_3$ relief. Alle relevanten Stallparameter wurden kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet. Von besonderem Interesse war es den Wirkungsgrad des Produktes  $\text{NH}_3$ relief zu verbessern und Wirkungsmechanismen im Stall zu untersuchen.

Die Schlachtdaten konnten für diesen Durchgang leider nicht ausgewertet werden, da die eindeutig gekennzeichneten Schlachtschweine der beiden Gruppen in der Schlachtereie am Schlachtband, entgegen klarer Absprache mit der Schlachtereie, nicht getrennt weiterverarbeitet wurden.

Da das Produkt  $\text{NH}_3$ relief einige Probleme mit sich brachte (hartnäckige Ablagerungen, Verstopfung der Düsen, ungenügende Verfügbarkeit und schlechtes Kosten-/Wirkungsverhältnis), wurde nach Alternativen gesucht. In sehr kurzer Zeit konnte ein Ersatzprodukt zum  $\text{NH}_3$ relief, basierend auf Zitronensäure im laufenden Betrieb eingesetzt werden. Das Ersatzprodukt zeigt sich von der Wirkung im Stall gleichwertig, wobei die Produktkosten wesentlich gesenkt werden konnten. Die durch das ursprünglich eingesetzte  $\text{NH}_3$ relief auftretenden Probleme an der

Stalleinrichtung und dessen Ablagerungen konnten durch den Einsatz von Zitronensäure verringert werden. Die Ablagerungen im Stall, deren Reinigung nach dem Mastdurchgang erheblichen Aufwand erforderten, konnten durch die Verwendung des aktuell verwendeten Produkts so weit reduziert werden, dass es kaum zusätzlichen Reinigungsaufwand gibt. Der technische Betrieb der Sprühanlage lief nachfolgend weitestgehend störungsfrei. Es kam kaum noch zu Verstopfungen an den Sprühdüsen, die beim Einsatz von NH<sub>3</sub>relief auftraten. Auch ließ sich der dann verwendete Sorbent mit der eingesetzten Hochdruck-Pumpe ohne Probleme im Stall verteilen. Der anschließend erfolgte Einbau einer Dosierpumpe für das Produkt ermöglichte ein kurzfristiges Reagieren auf veränderte Stallluftparameter. Es wurde angestrebt den Einsatz der Dosierpumpe und der Hochdruckpumpe zu automatisieren, um die Effektivität des eingesetzten Produkts auf hohem Niveau zu halten.

Ende Oktober 2020 traten Probleme bei den NH<sub>3</sub>-Messungen in der Stallabluft auf. Ab der sechsten Woche des Durchgangs 03 zeigten die NH<sub>3</sub>-Messungen eine geringere Effektivität des Produkts an, obwohl Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Luftgeschwindigkeit in einem Bereich lagen, der nach Erkenntnis aus allen bisher durchgeführten Messungen als optimal bezeichnet werden konnte. Die OG HSOS und die OG DMKA haben daher Kontrollmessungen mit Dräger-Tubes und einem nasschemischen Verfahren durchgeführt, die ergaben, dass die Messergebnisse der Sensoren im behandelten Abteil zu hoch waren. Dies deutete auf Fehlmessungen bei den verbauten NH<sub>3</sub>-Sensoren im Abluftschacht hin.

Im Zeitraum von Januar 2021 bis August 2021 wurde der Durchgang 04 im Schweinemaststall eingestellt und abgeschlossen. Die zwischenzeitlich aufgetretenen Probleme mit den NH<sub>3</sub>-Sensoren wurden behoben. Der eingesetzte Sorbent auf Basis von Zitronensäure erwies sich als zuverlässig und problemlos in der Anwendung. Der komplette Durchgang 04 verlief ohne relevante technische Probleme. Alle Kontrollwiegungen und Schlachtauswertungen erfolgten gemäß Plan. Mit den Daten des Durchgangs 04 sowie den Ergebnissen einer Beprobung der Gülle aus den beiden Abteilen im Herbst 2020 wurde eine erste ökonomische Einschätzung des Verfahrens erstellt.

Eine genaue Ermittlung der Kosten und Vorteile des Betriebes der NH<sub>3</sub>-Reduktion war jedoch noch nicht möglich, da keine Möglichkeit bestand, die eingesetzten Futtermengen für die beiden Gruppen getrennt zu ermitteln. Das Problem bestand darin, dass für beide Gruppen nur eine Futterkette installiert war, die alle Breiautomaten in Reihe nacheinander befüllt. Die Messung der Laufzeiten der Futterkette als Maßstab für die zugeteilte Futtermenge wurde Ende

des Durchganges 04 getestet und erwies sich als praktikabel. Ab dem Durchgang 05 wurden die Laufzeiten der Futterkette für das jeweilige Abteil erfasst und protokolliert.

Für die Durchgänge 05, 06 und 07 wurde die laufende Versuchsanordnung aus Durchgang 04 fortgeführt. Die Durchgänge verliefen ohne technische Probleme. Die Gewichte der Schweine wurden in ausgewählten Kontrollbuchten in je drei Zwischenwiegungen pro Durchgang erfasst. Außerdem wurde die Futtermenge pro Abteil ermittelt und dokumentiert. Die Ergebnisse aus den Schlachtabrechnungen konnten daher mit der Futteraufnahme und den Einzeltierwiegungen in Bezug gesetzt werden. Am Ende der einzelnen Mastdurchgänge wurden Gülleproben aus beiden Abteilen entnommen und zur Analyse auf Inhaltsstoffe an die LUFA Nord-West übergeben. Im Durchgang 06 wurden nicht mehr nur nach dem Ausstallen, sondern auch schon während der Mastperiode Gülleproben entnommen.

Um Anhaltspunkte für den Einfluss des Versuchsaufbaues auf die Geruchsemissionen zu bekommen, wurden am 08.11.2021, 20.12.2021 und 21.03.2022 von der LUFA Nord-West Geruchsproben entnommen und untersucht. Nach noch nicht zufriedenstellenden Messungen wurde der Versuchsaufbau noch einmal optimiert und am 05.05.2022 erneut eine Beprobung durchgeführt. So wurden unter anderem die Einstellungen der Luftmengensteuerung für den kompletten Messzeitraum auf eine zu Beginn der Messungen anliegenden Luftmenge fest eingestellt, so dass sich der Volumenstrom im Messzeitraum nicht verändern konnte.

### **Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR**

Das OG-Mitglied Detlef und Marvin Kreye GbR hat die Applikations- und Messtechnik betrieben und gewartet. Weiterhin wurden die Versuchsreihen vom OG-Mitglied geplant und durchgeführt. Eine direkte Kontrolle der Tiere und der beiden Stallabteile erfolgte mehrfach täglich durch Kontrollgänge in beiden Abteilen. Weiterhin wurden Schweine zu Beginn und zum Ende eines Mastdurchgangs sowie zwischendurch gewogen. Zusätzlich wurden die Laufzeiten der Futterkette durch das OG-Mitglied gemessen und protokolliert, sowie Gülleproben entnommen.

### **Hochschule Osnabrück**

Das OG-Mitglied Hochschule Osnabrück war in diesem Teilprojekt für die Analyse der Proben via nasschemischer Messungen im Labor der Hochschule, die Datenauswertung und die Interpretation der Ergebnisse zuständig.

## **Landwirtschaftskammer Niedersachsen**

Das OG-Mitglied Landwirtschaftskammer Niedersachsen führte die ökonomischen Auswertungen durch. Das OG Mitglied war beteiligt an der Literaturrecherche, der Planung sowie Begleitung der Anlage, der Datenauswertung und der Erstellung von Beiträgen und Berichten. Die tatsächlich durchgeführten Arbeiten unterschieden sich dabei nicht von der Planung.

Veranschlagter Zeitraum für den ersten Abschnitt von TP1: April 2019 – Januar 2020.

Tatsächlicher Beginn: April 2019; Tatsächliches Ende: Dezember 2019.

Veranschlagter Zeitraum für den zweiten Abschnitt von TP1: Februar 2020 – Oktober 2020.

Tatsächlicher Beginn: Januar 2020; Tatsächliches Ende: Januar 2021.

Veranschlagter Zeitraum für den dritten Abschnitt von TP1: Februar 2021 – Oktober 2021.

Tatsächlicher Beginn: Januar 2021; Tatsächliches Ende: August 2021.

Veranschlagter Zeitraum für den vierten Abschnitt von TP1: August 2021 – Februar 2022.

Tatsächlicher Beginn: August 2021; Tatsächliches Ende: Januar 2022.

Veranschlagter Zeitraum für den fünften Abschnitt von TP1: Februar 2022 – Mai 2022.

Tatsächlicher Beginn: Februar 2022; Tatsächliches Ende: Mai 2022.

## **Teilprojekt 2: Beurteilung der N-Verfügbarkeit von sorbiertem Stickstoff**

Beteiligte OG-Mitglieder: Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR, Plantus GbR, Hochschule Osnabrück

### **Im Rahmen von TP2 sollten folgende Arbeiten durchgeführt werden**

Durch den Einsatz des  $\text{NH}_3$ -Sorbenten  $\text{NH}_3\text{relief}$  wird  $\text{NH}_3\text{-N}$  als  $\text{NH}_4$  an die Carboxyl-Gruppen der Carbonsäurederivate gebunden. Über die Bindungsstärke und die dadurch bedingte Pflanzenverfügbarkeit dieses Stickstoffs liegen keine Erkenntnisse vor. Daher sollen die im TP1 im 1. Projektjahr eingesammelten Güllen (+/-  $\text{NH}_3$ -Sorbent) in Inkubationsversuchen eingesetzt werden, um auf diese Weise die N-Freisetzung aus den Güllen beurteilen zu können. Dazu werden die unterschiedlichen Güllen aus den 10 Versuchsserien mit Boden von einer Ackerfläche des OG Mitglieds DMKA vermischt und in einem aeroben Bebrütungsversuch wird anhand der  $\text{NO}_3$ -Bildung die N-Mineralisation geprüft. Aus dem Vergleich +/-  $\text{NH}_3$ -Sorbent kann

eine erste Ableitung der Pflanzenverfügbarkeit des sorbierten Stickstoffs vorgenommen werden, die eine Grundlage für die spätere Beratung von landwirtschaftlichen Betrieben bei der Planung des Einsatzes von behandelten Güllepartien bildet.

Gülleproben aus dem 2. Versuchsjahr in den Stallungen des OG Mitglieds DMKA werden in der Versuchsstation der Hochschule Osnabrück für die Durchführung eines Gefäßversuches mit Weizen eingesetzt (HsOs). Dazu werden unterschiedliche Gülle-Applikationsmengen im Boden (entnommen von einer Ackerfläche des OG Mitglieds DMKA) eingemischt. Im Verlauf der Vegetation wird die Entwicklung der Pflanzen durch 2 Zwischenernten sowie die finale Ernte (getrennt Korn/Stroh) erfasst. Die N-Aufnahme wird aus der Trockenmasseproduktion und den analysierten N-Konzentrationen im Pflanzenmaterial errechnet (HsOs). Durch diese Ergebnisse können die Daten aus dem Inkubationsversuch ergänzt werden und somit eine praxisnahe Beurteilung der N-Verfügbarkeit der mit Ammoniak-Sorbenten behandelten Güllen erreicht werden.

### **Im Rahmen von TP2 wurden folgende Arbeiten tatsächlich durchgeführt**

Um klare Dosis-Wirkungsbeziehungen für den Einsatz des NH<sub>3</sub>relief ableiten zu können, wurde ein Versuchsdesign für einen Inkubationsversuch entworfen. Dabei wurden verschiedene Mengen des NH<sub>3</sub>relief zur Gülle gegeben und die NH<sub>3</sub>-Emissionen in einem geschlossenen Behälter mit definiertem Volumen mithilfe einer Säurefalle erfasst. In diesem Versuch sollte weiterhin die Wirkung des NH<sub>3</sub>relief gegen die Wirkung einer Ansäuerung der Gülle mit Schwefelsäure abgegrenzt werden. Außerdem wurden in Anlehnung an den Stallversuch (TP1) weitere Applikationsformen, wie z.B. das oberflächliche Besprühen der Gülle mit dem NH<sub>3</sub>relief, getestet. Aus diesen Versuchen konnten wichtige Erkenntnisse über die prinzipielle Wirkungsweise gewonnen werden. Das Versuchsdesign ist jedoch auf Grund einer zu kleinen Fläche in den Behältern nicht geeignet, um die Wirksamkeit des Sorbenten bei breitflächig verteilter Gülle wie bei der Gülleapplikation bzw. auf den Spaltenböden im Mastschweinestall zu beurteilen.

Daher wurde ein neues Versuchsdesign entworfen. Dabei werden luftdicht verschließbare Behälter mit einer Fläche von 600 cm<sup>2</sup> eingesetzt. In diese Behälter wird behandelte oder nicht behandelte Gülle eingebracht. Die Behälter haben einen Lufteinlass und werden über einen Luftauslass an eine Vakuumpumpe angeschlossen. Zwischen Behälter und Vakuumpumpe werden jeweils Waschflaschen installiert. So kann mit Hilfe der Vakuumpumpe Luft aus den

Behältern durch die jeweils zugehörige Waschflasche gepumpt werden. Das im Behälter emittierte  $\text{NH}_3$  wird so in der Waschflasche gesammelt und kann quantitativ bestimmt werden. Die ganze Apparatur, die aus zwölf Behältern mit zugehöriger Waschflasche besteht, wird in einer Klimakammer installiert, um kontrollierte Umgebungsbedingungen zu schaffen.

Der Bau der Apparatur wurde im Herbst 2020 abgeschlossen und Probeläufe zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Systems wurden durchgeführt. Daraufhin mussten noch einige Anpassungen an Versuchstechnik vorgenommen werden. Durch die Einschränkungen im Laborbetrieb aufgrund der Corona-Pandemie musste der Einsatz der Apparatur aber verschoben werden.

Im Herbst 2021 wurde die Apparatur in Betrieb genommen. Es wurde ein Versuch zum Einfluss des pH-Wertes der Gülle auf die  $\text{NH}_3$ -Emissionen durchgeführt. Dazu wurde je eine Schweine- und eine Rindergülle mit Zitronensäure auf verschiedene pH-Werte (Ausgangs-pH (pH 8,0 bei der Schweinegülle und pH 7,3 bei der Rindergülle); pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0 und pH 5,5) angesäuert und mit der Apparatur die entstehenden  $\text{NH}_3$ -Emissionen gemessen. Es wurde 500 g Boden in Aluschalen eingewogen, mit 60 g Wasser angefeuchtet und angedrückt. Dann wurde 100 g der jeweiligen Güllen in ca. 3 cm breiten Streifen auf den Boden aufgebracht (Simulation der Schleppschlauchapplikation), die Aluschalen in die luftdichten Behälter gestellt und die Messung bei 20 °C im Klimaschrank gestartet. Nach zwei, vier, sechs und acht Stunden wurden die Waschlösungen in den Waschflaschen getauscht und anschließend im Labor analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Apparatur technisch ohne Einschränkungen funktioniert und die Emissionsniveaus der verschiedenen Varianten klar differenziert werden können.

Im Frühjahr 2022 wurde diese Apparatur für einen Vergleich der Emissionsreduktion bei der Ansäuerung von Gülle mit Zitronensäure bzw. Schwefelsäure genutzt, um zu prüfen, ob die Emissionsreduktion bei der Gülleansäuerung nur vom pH-Wert oder auch vom Additiv zur Einstellung des pH-Werts abhängt. Dazu wurde die gleiche Schweinegülle wie beim vorherigen Versuch je mit Zitronensäure und Schwefelsäure auf verschiedene pH-Werte (Ausgangs-pH (pH 8,0 bei der Schweinegülle); pH 7,5; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0 und pH 5,5) angesäuert und mit der Apparatur die entstehenden  $\text{NH}_3$ -Emissionen gemessen. Anschließend wurden die Emissionsraten beider Säurevarianten bei jeder pH-Wert-Stufe verglichen.

Zusätzlich zu den Inkubationsversuchen wurde im Frühjahr 2021 ein Gefäßversuch mit Sommerweizen angelegt, um die N-Verfügbarkeit der mit Zitronensäure behandelten Gülle beurteilen zu können. Als Substrat wurde Boden von der Versuchsfläche des Feldversuchs 2021

eingesetzt. Es wurden vier Varianten in je vier Wiederholungen mit je sechs Gefäßen (insgesamt 96 Gefäße) angesetzt. Die Varianten waren dabei: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3: Gülle + Zitronensäure und Variante 4: Gülle + Schwefelsäure. Im Verlauf der Vegetation wurde die Entwicklung der Pflanzen durch drei Zwischenschnitte (oberirdische Pflanze) und die Ernte (getrennt Korn/Stroh) erfasst. Bei jeder Beprobung wurden 16 Gefäße, also ein Gefäß pro Variante und Wiederholung, beprobt. Außerdem wurden bei jeder Beprobung aus jedem beprobtem Gefäß Bodenproben genommen, um den  $N_{\min}$ -Gehalt zu analysieren. Die N-Aufnahme der Weizenpflanzen zum jeweiligen Beprobungstermin wurde aus dem Biomasse-Aufwuchs und den analysierten N-Konzentrationen im Pflanzenmaterial errechnet. Weiterhin wurden wöchentlich Messungen mit dem Chlorophyll-Messgerät „N-Tester“ durchgeführt. Durch diese Ergebnisse wurden die Daten aus dem Inkubationsversuch ergänzt und es konnte somit eine Beurteilung der N-Verfügbarkeit der mit dem Sorbenten behandelten Gülle erreicht werden.

Um weitere Erkenntnisse zu sammeln, wurde im Herbst 2021 ein Gefäßversuch mit Weidelgras angelegt und dabei die N-Verfügbarkeit von durch Zitronensäure angesäuerter Gülle im Vergleich mit durch Schwefelsäure angesäuerter Gülle verglichen. Dieser Versuchsansatz hat den Vorteil, dass man beim Weidelgras mehrere Schnitte durchführen kann, sodass man den Versuch so lange fortgesetzt werden kann, bis der N-Vorrat im Gefäß erschöpft ist um so beurteilen zu können, in welcher Variante (und in welchem zeitlichen Verlauf der Vegetationsperiode wie viel N für die Pflanzen zur Verfügung steht. Es wurden vier Varianten in je vier Wiederholungen (insgesamt 16 Gefäße) angesetzt. Die Varianten waren dabei: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3: Gülle + Zitronensäure und Variante 4: Gülle + Schwefelsäure. Im Verlauf der Vegetation wurden vier Schnitte durchgeführt. Bei jeder Beprobung wurden alle 16 Gefäße beprobt und dabei jeweils die gesamte oberirdische Biomasse geerntet, getrocknet und das Pflanzenmaterial im Labor analysiert. Die N-Aufnahme des Weidelgrases zum jeweiligen Beprobungstermin kann dann aus dem Biomasse-Aufwuchs und den analysierten N-Konzentrationen im Pflanzenmaterial errechnet werden.

### **Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR**

Das OG-Mitglied Detlef und Marvin Kreye GbR hat die Gülle für die Inkubations- und Gefäßversuche zur Verfügung gestellt.



## **Plantus GbR**

Das OG-Mitglied Plantus GbR hat den Boden für den Gefäßversuch entnommen und diesen zur Hochschule Osnabrück transportiert.

## **Hochschule Osnabrück**

Das OG-Mitglied Hochschule Osnabrück hat die Inkubations- und Gefäßversuche durchgeführt, alle anfallenden Boden- und Pflanzenproben analysiert und die Daten statistisch ausgewertet.

Veranschlagter Zeitraum für den ersten Abschnitt in TP2: Januar 2020 - September 2020.

Tatsächlicher Beginn: Januar 2020; Tatsächliches Ende: Dezember 2020.

Veranschlagter Zeitraum für den zweiten Abschnitt in TP2: Februar 2021 - September 2021.

Tatsächlicher Beginn: Januar 2020; Tatsächliches Ende: Dezember 2020.

Veranschlagter Zeitraum für den dritten Abschnitt in TP2: Februar 2021 - September 2021.

Tatsächlicher Beginn: März 2021; Tatsächliches Ende: Oktober 2021.

Veranschlagter Zeitraum für den vierten Abschnitt in TP2: August 2021 - Februar 2022.

Tatsächlicher Beginn: August 2021; Tatsächliches Ende: Januar 2021.

Veranschlagter Zeitraum für den fünften Abschnitt in TP2: März 2022 - Juli 2022.

Tatsächlicher Beginn: April 2022; Tatsächliches Ende: Juli 2022.

## **Teilprojekt 3: Reduktion der NH<sub>3</sub>-Emissionen bei der Gülle-Applikation**

Beteiligte OG-Mitglieder: Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR, Plantus GbR, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hochschule Osnabrück

### **Im Rahmen von TP3 sollten folgende Arbeiten durchgeführt werden**

Die Wirksamkeit der Ammoniak-Sorbenten bei Zumischung zur Gülle direkt vor der Ausbringung im Feld wird in 3-jährigen Exaktversuchen zu Winterweizen (Flächen des OG-Mitglieds DMKA in Großenkneten; Versuchsanlage und -betreuung OG-Mitglied Plantus) geprüft.

Im 1. Versuchsjahr stehen wiederum Fragen zu Dosis-Wirkungsbeziehungen im Vordergrund. Dazu werden in einem Parzellenversuch (vier Wiederholungen) bei der Applikation von Mastschweine-Gülle des OG DMKA bei der 1. N-Düngung zu Vegetationsbeginn (Feb./März 2019) sowie zur 2. N-Düngung zum Entwicklungsstadium EC 32 des Winterweizens (April 2019) je-

weils 3 unterschiedliche Aufwandmengen des  $\text{NH}_3$ -Sorbenten zudosiert. Als Vergleichsvariante wird jedes Mal eine unbehandelte Gülle eingesetzt (DMKA+Plantus+HsOs). Direkt nach der Gülle-Applikation und in den folgenden 8 – 10 Tagen werden  $\text{NH}_3$ -Emissionsmessungen mittels der sogenannten „Dräger-Tube-Methode“ durchgeführt. Dazu werden in allen Parzellen Sammelhauben aufgesetzt, über eine Pumpe (Dräger X-act 500) eine definierte Luftmenge entnommen und über ein  $\text{NH}_3$ -Sorptionsmaterial geleitet. An der Verfärbung des Indikators kann die  $\text{NH}_3$ -Konzentration abgelesen werden und daraus die emittierte  $\text{NH}_3$ -Emission errechnet werden. Aufgrund der starken Wirkung von Umweltfaktoren (insbesondere Temperatur) und der zeitlichen Dynamik der  $\text{NH}_3$ -Entgasung muss diese Messung nahezu zeitgleich auf allen Versuchspartellen durchgeführt werden (d.h. für jeden Messtermin ist entsprechende Unterstützung durch studentische Hilfskräfte erforderlich). Ergänzend werden auf den Versuchspartellen sogenannte „Passivsammler“ zur Erfassung der  $\text{NH}_3$ -Ausgasung unter den gegebenen Witterungsbedingungen aufgestellt (HsOs). Im weiteren Verlauf der Vegetationszeit des Winterweizens wird zu zwei Entwicklungsstadien (EC 32 und EC 49) der oberirdische Biomasse-Aufwuchs erfasst und die N-Konzentration ermittelt, um die N-Aufnahme ermitteln zu können (Plantus+HsOs). Aus diesen Daten kann die N-Verfügbarkeit des am  $\text{NH}_3$ -Sorbenten festgelegten Stickstoffs unter Praxisbedingungen abgeleitet werden. Die pflanzenbauliche Betreuung der Partellenversuche inklusive der Beerntung erfolgt durch Plantus. Die Ernteproben (Korn/Stroh) werden im Labor der Hochschule Osnabrück auf die N-Gehalte analysiert und abschließend wird die N-Effizienz kalkuliert.

Im 2. und 3. Projektjahr werden (wiederum auf Ackerflächen von DMKA) Partellenversuche (4 Wiederholungen) zu Winterweizen angelegt (Plantus+HsOs) mit dem Fokus die  $\text{NH}_3$ -Emissionsminderung des eingesetzten  $\text{NH}_3$ -Sorbenten im Vergleich zu unbehandelter Gülle sowie zu alternativen  $\text{NH}_3$ -Minderungsstrategien (direkte Einarbeitung mittels Schlitztechnik bzw. Ansäuerung mittels Schwefelsäurezugabe) zu ermitteln. Im Rahmen dieser Feldversuche ist auch der Einsatz von Gülle aus dem Stallabteil mit Applikation des  $\text{NH}_3$ -Sorbenten (s. Teilprojekt 1 Proben aus dem 1. bzw. 2. Projektjahr) zur Ergänzung der Arbeiten im Teilprojekt 2 unter praxisnahen Bedingungen vorgesehen. Auch in diesen Versuchspartellen ist die Messung der  $\text{NH}_3$ -Verflüchtigung mittels „Dräger-Tubes“ sowie die Erfassung der N-Aufnahme (s. 1. Versuchsjahr Teilprojekt 3) vorgesehen (DMKA+Plantus+HsOs).

Anhand der Daten aus dem 2. und 3. Projektjahr ist weiterhin eine ökonomische Bewertung der Verfahrenskosten für die verschiedenen Strategien zur  $\text{NH}_3$ -Emissionsminderung vorgesehen (LWK-BOS). Dabei wird ein Upscaling für die Verfahrensschritte anhand von Angaben

aus der KTBL-Datenbank durchgeführt, um eine direkte Aussage für Praxisbetriebe zu ermöglichen.

### **Im Rahmen von TP3 wurden folgende Arbeiten tatsächlich durchgeführt**

Im ersten Projektjahr wurde der erste Feldversuch durchgeführt. Ein Versuchsbeginn zur 1. N-Düngung war aus zeitlichen Gründen (Einstellung des Wissenschaftlichen Mitarbeiters Nils Ellersiek konnte erst am 01.03.2019 erfolgen) nicht möglich. Daher wurden am 16.04.2019 zur 2. N-Düngung sechs Varianten mit je vier Wiederholungen angelegt (Variante 1: Kontrolle, Variante 2: mineralische Düngung (AHL), Variante 3: Gülle ohne Zusatz, Variante 4: Gülle + 50 % NH<sub>3</sub>relief, Variante 5: Gülle + 100 % NH<sub>3</sub>relief und Variante 6: Gülle + 150 % NH<sub>3</sub>relief). Direkt im Anschluss wurde mit der Messung der NH<sub>3</sub>-Emissionen mit Hilfe der „Dräger-Tube-Methode“ und den „Passivsammlern“ begonnen. Die Messungen wurden bis zum 18.04.2019 durchgeführt. Im Anschluss wurden die Proben im Labor analysiert. Zum Entwicklungsstadium EC55 des Weizens wurde ein Zwischenschnitt durchgeführt und der oberirdische Biomasse-Aufwuchs erfasst. Am 25.07.2019 wurde der Versuch dann beerntet und dabei der Ertrag und die Kornfeuchte ermittelt. Weiterhin wurde der Versuch nach der Ernte mit einem GPS-System eingemessen und am 03.09.2019 die eingesäte Zwischenfrucht mit N-Sensoren (ISARIA-Sensor und GreenSeeker) beprobt. Mit diesen Sensoren konnten der Biomasse-Aufwuchs und die N-Gehalte (per Chlorophyllmessung/Grünfärbung) der Zwischenfrucht beurteilt werden. So sollten eventuelle Nachwirkungen der verschiedenen Düng-Varianten auf die Entwicklung der Zwischenfrucht erkannt werden.

Im zweiten Projektjahr 2020 wurde der zweite Feldversuch mit zwei Applikationsterminen durchgeführt. Dabei wurden am 17.03.2020 zur 1. N-Düngung sechs Varianten mit je vier Wiederholungen angelegt (Variante 1: Kontrolle, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3: Gülle aus Stallversuch, Variante 4: Gülle + NH<sub>3</sub>relief aufgesprüht, Variante 5: Gülle + NH<sub>3</sub>relief eingemischt und Variante 6: Gülle + Schwefelsäure eingemischt). Direkt im Anschluss wurde mit der Messung der NH<sub>3</sub>-Emissionen mit Hilfe der „Dräger-Tube-Methode“ und den „Passivsammlern“ begonnen. Die Messungen wurden bis zum 19.03.2020 durchgeführt. Am 15.04.2020 zur zweiten N-Düngung wurden noch einmal Gülle in denselben Varianten ausgebracht und die NH<sub>3</sub>-Emissionen bis zum 17.04.2020 mit Hilfe der beiden Methoden erfasst. Zu drei Entwicklungsstadien des Weizens wurde jeweils der oberirdische Biomasse-Aufwuchs erfasst. Die Ernte des Versuchs erfolgte verspätet, da im Bestand Zwiewuchs auftrat. Der Ernteertrag fiel durch die extreme Trockenheit im Frühjahr/Sommer 2020 sehr gering aus.

Bei der Datenauswertung der NH<sub>3</sub>-Emissionen wurde festgestellt, dass sich die Daten durch die eingesetzte Methodik nicht korrekt auswerten lassen. Durch den hohen Aufwand bei der Gülleapplikation in den Parzellen entsteht eine große zeitliche Differenz zwischen den Applikationszeitpunkten der verschiedenen Güllevarianten. Diese zeitliche Differenz und die unterschiedlichen Umweltbedingungen zu den jeweiligen Applikationszeitpunkten (Luft-/Bodentemperatur, Luftschichtung, Windgeschwindigkeit, etc.) lassen sich im Nachhinein nicht mehr korrigieren. So lässt sich nicht genau bestimmen, ob Unterschiede zwischen den NH<sub>3</sub>-Emissionen der verschiedenen Varianten auf die unterschiedlichen Güllevarianten oder Applikationszeitpunkte zurückzuführen sind. Somit kann hierzu kein valides Ergebnis präsentiert werden.

Im dritten Projektjahr 2021 wurde ein weiterer Feldversuch angelegt. Da eine wissenschaftlich belastbare Auswertung der NH<sub>3</sub>-Emissionen nicht gegeben war, wurde auf die Messung der NH<sub>3</sub>-Emissionen mittels Dräger-Tubes und Passivsammlern verzichtet. Der Versuch wurde auf einer Fläche der Plantus GbR angelegt, da dort die Möglichkeit besteht, den Bestand bei starker Trockenheit zu berechnen und somit die erfolgreiche Durchführung des Versuchs sicherzustellen. Weiterhin wurde als Sorbent nach dem Wegfall des Produktes NH<sub>3</sub>relief Zitronensäure als Güllezusatz eingesetzt. Dabei wurde analog zur Variante mit Schwefelsäure die Gülle auf den pH-Wert 6,0 eingestellt, um die Vergleichbarkeit beider Varianten sicherzustellen. Die Varianten im Feldversuch 2021 waren: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3: Gülle + Zitronensäure und Variante 4: Gülle + Schwefelsäure. Dabei wurden je Variante vier Wiederholungen randomisiert als Blockanlage angelegt (Parzellengröße: war 3 m x 20 m). In jeder Parzelle wurden drei Zwischenbeprobungen durchgeführt, bei denen sowohl Pflanzen- als auch Bodenproben entnommen wurden. Beim zweiten und dritten Zwischenschnitt wurden auch Chlorophyll-Messungen mit dem N-Tester durchgeführt. Die Bodenproben wurden zu Versuchsbeginn in drei Schichten (0 – 30 cm; 30 – 60 cm; 60 – 90 cm) entnommen, nachfolgende Proben in den Schichten 0 – 30 cm und 30 – 60 cm. Dabei wurde die Schicht 0 – 30 cm einmal exakt unter dem Gülleband und einmal zwischen den Güllebändern beprobt, die Schicht 30 – 60 cm dann ohne Beachtung der Güllebänder. Die Proben wurden an die LUFA Nord-West geschickt und dort die N<sub>min</sub>- und S<sub>min</sub>-Gehalte analysiert. Die Pflanzenproben wurden gewogen, getrocknet und gemahlen. Am 05.08.2021 wurde der Versuch beerntet und die Ernteproben anschließend getrocknet, gemahlen und alle Pflanzenproben im Labor der Hochschule Osnabrück analysiert (N- und S-Konzentration). Nach der Ernte wurden außerdem noch zwei Mal N<sub>min</sub>/S<sub>min</sub>-Beprobungen durchgeführt.

Im vierten Projektjahr 2022 wurde ein weiterer Feldversuch angelegt. Auch hier wurde auf die Messung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen mittels Dräger-Tubes und Passivsammlern verzichtet. Die Varianten im Feldversuch 2022 waren: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Mineralische Düngung, Variante 3: Gülle ohne Zusatz, Variante 4: Gülle + Zitronensäure (pH 6,0), Variante 5: Gülle + Schwefelsäure (pH 6,0) und Variante 6: Gülle + Schwefelsäure nach S-Pflanzenbedarf (pH 6,3). Dabei wurden je Variante vier Wiederholungen randomisiert als Blockanlage angelegt (Parzellengröße 3 m x 20 m). Um valide Messdaten zu erhalten, wurde der Pflanzenbestand engmaschig mittels N-Tester beprobt. In jeder Parzelle wurden drei Zwischenbeprobungen durchgeführt, bei denen sowohl Pflanzen- als auch Bodenproben entnommen wurden. Zusätzlich wurden gut vier Wochen nach der Gülleapplikation, also vor dem ersten Zwischenschnitt, Bodenproben in drei Schichten (0 – 30 cm; 30 – 60 cm; 60 – 90 cm) entnommen und an die LUFA Nord-West zur Ermittlung der  $N_{\min}$ - und  $S_{\min}$ -Gehalte geschickt. Die Pflanzenproben wurden gewogen, getrocknet und gemahlen und alle Pflanzenproben im Labor der Hochschule Osnabrück analysiert (N- und S-Konzentration). Am 29.07.2022 wurde der Versuch beerntet und die Ernteproben zur Analyse der N- und S-Konzentration an die LUFA Nord-West geschickt.

#### **Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR**

Das OG-Mitglied Detlef und Marvin Kreye GbR hat in den ersten beiden Jahren die Fläche als Versuchsfeld zur Verfügung gestellt. Weiterhin stammt die im Feldversuch eingesetzte Gülle von der Detlef und Marvin Kreye GbR, die die Gülle auch mit einem Güllefass zum Acker transportiert hat.

#### **Plantus GbR**

Das OG-Mitglied Plantus GbR hat jeweils die Fläche für den Versuch ausgewählt, das Versuchsdesign entworfen und die Parzellen eingemessen sowie abgesteckt. Weiterhin hat das OG-Mitglied die Bodenproben genommen und an die LUFA Nord-West geschickt. Im Jahr 2022 hat die Plantus GbR außerdem die N-Tester-Messungen durchgeführt. Es wurde engmaschig (N-Tester-Messungen wöchentlich,  $N_{\min}$  ca. im 3-wöchentlichen Abstand) beprobt, sodass sich die Personalkosten deutlich erhöht haben. Außerdem haben sich die Aufwendungen für die Aufwandsentschädigungen aufgrund der generellen Preiserhöhungen für Produktionsmittel erhöht. Personalkosten und Aufwandsentschädigung (5.3.1 und 5.3.3) sind damit höher als laut Zuwendungsbescheid zugeteilt. Diese Überschreitung kann jedoch durch nicht

verausgabte Mittel aus wissenschaftlichen Studien 5.3.2 ausgeglichen werden. Auch die weitere pflanzenbauliche Betreuung (Düngung vor dem Versuch, Pflanzenschutz etc.) inklusive der Ernte des im Versuch angebauten Winterweizens erfolgte durch die Plantus GbR.

### **Hochschule Osnabrück**

Das OG-Mitglied Hochschule Osnabrück hat zunächst die Messtechnik (Wetterstation etc.) vorbereitet und installiert sowie die Versuchsplanung (Berechnung der Düngermenge, Bestimmung der Zugabemenge der Additive) übernommen. Dann hat die Hochschule Osnabrück die Gülle mit Zitronen- bzw. Schwefelsäure angesäuert. Weiterhin erfolgte die Gülleausbringung und die Entnahme von Pflanzenproben zur Erfassung des Biomasse-Aufwuchses durch die Hochschule Osnabrück. Die Gülle wurde mit einem Parzellengüllefass der Hochschule Osnabrück ausgebracht. Dazu wurde das Fass mit Gülle der Detlef und Marvin Kreye GbR befüllt und dann je nach Variante die Gülle in der entsprechenden Parzelle appliziert. Außerdem war die Hochschule Osnabrück für die Analyse der Ernteproben im Labor und die Auswertung der Biomasse-Beprobung und Haupternte zuständig.

### **Landwirtschaftskammer Niedersachsen**

Das OG-Mitglied Landwirtschaftskammer Niedersachsen war in diesem Teilprojekt für die betriebswirtschaftliche Auswertung zuständig. Da das Produkt NH<sub>3</sub>relief jedoch nicht mehr eingesetzt wurde und der Einsatz von Gülle aus dem Teilprojekt 1 zu keinem Ergebnis geführt hat, wurde keine detaillierte ökonomische Bewertung durchgeführt.

Veranschlagter Zeitraum für den ersten Abschnitt von TP3: April 2019 - Dezember 2019.

Tatsächlicher Beginn: April 2019; Tatsächliches Ende: Juli 2020.

Veranschlagter Zeitraum für den zweiten Abschnitt von TP3: Februar 2020 - August 2020.

Tatsächlicher Beginn: März 2020; Tatsächliches Ende: Dezember 2020.

Veranschlagter Zeitraum für den dritten Abschnitt von TP3: Februar 2021 - August 2021.

Tatsächlicher Beginn: März 2021; Tatsächliches Ende: Oktober 2021.

Veranschlagter Zeitraum für den vierten Abschnitt von TP3: Februar 2022 - August 2022.

Tatsächlicher Beginn: März 2022; Tatsächliches Ende: August 2022.

## **Teilprojekt 4: Projektkoordination und Praxistransfer**

Beteiligte OG-Mitglieder: Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR, Plantus GbR, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hochschule Osnabrück

### **Im Rahmen von TP4 sollten folgende Arbeiten durchgeführt werden**

Die Projektleitung obliegt der Hochschule Osnabrück. Hier ist die Budgetverantwortung und Berichterstattung gegenüber dem Projektträger angesiedelt. Weiterhin wird die Hochschule Osnabrück die inhaltliche Projektkoordinierung (u.a. abgleichen Ist-Soll der Projektplanung, initiieren notwendiger Aktivitäten bei Abweichungen vom Planungsstand oder bei unerwarteten Ergebnissen). Dazu zählen weiterhin die Durchführung eines Kickoff-Meetings der OG zu Projektbeginn, um einen reibungslosen Start des Projektes sicherzustellen, die Organisation der vierteljährigen OG Treffen zur Abstimmung der Detailarbeitsschritte und zur Diskussion des erzielten Ergebnisses sowie einer öffentlichen Vortragsveranstaltung zum Abschluss des Projektes. Im Rahmen der Koordinierungstätigkeit wird durch den OG-Partner HsOs bereits in der Startphase des Projektes eine Projekt-Homepage aufgebaut und über ein kontinuierliches Update sichergestellt, dass die Projektergebnisse frühzeitig für die landwirtschaftliche Beratung und Praxis verfügbar sind.

In enger Abstimmung mit den OG-Mitgliedern werden weiterhin Felddemonstrationen für Landwirte und Berater angeboten. Ziel dieser Aktivität ist es direkt bei der Anlage des Feldversuches Interesse für die Thematik „NH<sub>3</sub>-Emissionen“ zu initiieren. Anhand von zusätzlichen Demo-Parzellen kann den Teilnehmern an diesen Felddemonstrationen die Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen (in 2019 der Einsatz des NH<sub>3</sub>-Sorbenten und zusätzlich in den beiden Folgejahren 2020 und 2021 die alternativen NH<sub>3</sub>-Minderungsstrategien „direkte Einarbeitung mittels Schlitztechnik“ und „Ansäuerung mittels Schwefelsäurezugabe“ im Vergleich zur praxisüblichen „Schleppschlauchtechnik“) gezeigt werden. Unterschiede in der NH<sub>3</sub>-Verflüchtigung sind mit den Dräger-Tubes sofort visualisierbar und die Effekte auf die verbesserte Ausnutzung des Gülle-N können direkt diskutiert werden.

### **Im Rahmen von TP4 wurden folgende Arbeiten tatsächlich durchgeführt**

Am 22.03.2019 wurde ein Kick-Off-Meeting bei der Detlef und Marvin Kreye GbR in Großenkneten durchgeführt. Die wichtigsten Punkte des Treffens waren der Ist-Soll-Abgleich der Projektplanung, die Vorbereitung der Stall- und Feldversuche, Absprachen zur finanziellen Ab-

wicklung, die Öffentlichkeitsarbeit sowie die Einrichtung eines gemeinsamen Netzwerk-Orders für den Austausch von Projektergebnissen und finanzierungsrelevanten Formularen (Rechnungen, Zeitaufwände, Reisekostenbelegen, etc.).

Außerdem wurde eine Projekthomepage erstellt (<https://www.hs-osnabrueck.de/ammonmind>).

Die Öffentlichkeitsarbeit wurde über die Projekthomepage auf den Internetseiten der Hochschule Osnabrück von der Projektkoordinatorin kontinuierlich sichergestellt. Weiterhin wurde eine Pressemitteilung zu Projektbeginn verfasst und sowohl in der allgemeinen Presse als auch der Fachpresse veröffentlicht.

Am 10.07.2019 fand dann bei der Detlef und Marvin Kreye GbR in Großenkneten das 2. Projekttreffen statt. Dabei wurde rückblickend die Zusammenarbeit im Zuge des Feldversuchs und das weitere Vorgehen in TP3 sowie die Stallversuche in TP1 besprochen. Weiterhin wurden zusätzliche Absprachen zur finanziellen Abwicklung und zur Öffentlichkeitsarbeit getroffen.

Am 22.11.2019 fand an der Hochschule Osnabrück das 3. Projekttreffen statt. Dabei wurde der jeweilige aktuelle Stand in den Teilprojekten sowie das weitere Vorgehen besprochen.

Am 04.02.2020 fand bei der Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR in Großenkneten das 4. Projekttreffen statt, in Zuge dessen vor allem der anstehende Feldversuch 2020 geplant wurde.

Am 19.05.2020 fand das 5. Projekttreffen Corona-bedingt in Form einer Online-Konferenz statt. Bei diesem Projekttreffen wurde das weitere Vorgehen und eventuelle Änderungen durch die Einschränkungen im Zuge der Corona-Pandemie besprochen.

Am 11.11.2020 fand das 6. Projekttreffen in Form einer Online-Besprechung statt. Dabei wurde das weitere Vorgehen bei den Stallversuchen, die Ergebnisse der Feldversuche 2020 sowie die kommenden Öffentlichkeitsaktivitäten besprochen. Weiter wurde beschlossen, eine Projektverlängerung zu beantragen, um alle geplanten Versuche erfolgreich durchführen zu können.

Am 03.02.2021 fand das 7. Projekttreffen in Form einer Online-Besprechung statt, bei dem vor allem der anstehende Feldversuch, der Gefäßversuch im Gewächshaus und die Mittelabrufung 15.02.2021 thematisiert wurden.

Zum 8. Projekttreffen kamen am 28.04.2021 alle OGs per Zoom zusammen. Dabei wurde nochmal ein Rückblick auf die Anlage des Feldversuches im März 2021 geworfen, über den Stand des Gewächshausversuches mit Sommerweizen berichtet und über die weitere Optimierung der Maßnahmen im Stall diskutiert. Ergänzend wurden die wichtigsten Informationen zur abgeschlossenen Mittelabrufung 15.02.2021 besprochen.



Am 26.05.2021 trafen sich alle OG Partner bei der Plantus GbR am Feldversuch in Huntlosen, um sich den Einfluss der unterschiedlichen Gülle-Behandlungsvarianten auf das Pflanzenwachstum anzusehen. Dabei wurden auch die ersten Ergebnisse der Pflanzen- und Bodenanalysen diskutiert. Einen öffentlichen Feldtag konnte es auch im Jahr 2021 aufgrund der noch andauernden Corona-Beschränkungen nicht geben. In regelmäßigen Abständen wurde jedoch über die Aktivitäten im Projekt auf der Projekthomepage in Form von Texten und Videos berichtet. Die Feldversuchsanlage wurde in 2021 erstmals mittels Drohnenaufnahmen begleitet, die umfangreiches Material für weitere öffentlichkeitswirksame Darstellung bieten.

Am 31.08.2021 fand das 9. Projekttreffen in Form einer Online-Besprechung statt. Hierbei wurde der Stand der Stallversuche und erste Ergebnisse des Feldversuchs besprochen. Außerdem wurde die Planung für das Projektjahr 2022 konkretisiert. Dabei wurde auch der Finanzplan des Projektes diskutiert und benötigte Umwidmungen abgesprochen.

Zum 10. Projekttreffen kamen am 05.11.2021 alle OG-Mitglieder per Zoom zusammen. Dabei wurde weitere benötigte Umwidmungen von Projektmitteln gemeinsam abgestimmt. Weiter stellte die OG LWK NI erste ökonomische Berechnungen der Stallversuche vor. Außerdem wurden die Stallversuche und der Feldversuch für das Jahr 2022 geplant.

Am 08.02.2022 fand das 11. Projekttreffen in Form einer Online-Besprechung statt. Hierbei stellte die OG LWK NI detaillierte ökonomische Analysen vor. Außerdem wurde der anstehende Feldversuch 2022 geplant.

Am 06.04.2022 kamen alle OG-Mitglieder zum 12. Projekttreffen zusammen, um die Anlage des Feldversuchs 2022 zu besprechen und den Feldtag 2022 zu planen.

Am 19.05.2022 fand ein Feldtag zum Thema "Einsatz von Zitronensäure im Stall und auf dem Feld: Stallklima verbessern und Dünger sparen" auf der Feldversuchsfläche des OG Partners Plantus GbR in Großenkneten statt. Hierzu kamen rund 25 interessierte Landwirte\*innen, Studierende und Berater, um sich über das Projekt "AmmonMind" und das Thema "Reduktion von Ammoniak-Emissionen" zu informieren.

### **Hochschule Osnabrück**

Das OG-Mitglied Hochschule Osnabrück hat die Planung und Durchführung der Projekttreffen sowie die Erstellung der Projekthomepage übernommen. Weiterhin wurde das Projekt auf dem Stand der Hochschule Osnabrück bei der „Agritechnica 2019“ mit einem Poster vorgestellt. Projektleiter Prof. Dr. Hans-Werner Olf war vor Ort und kam am Projektposter mit interessier-

ten Landwirten, Beratern und Studierenden ins Gespräch. Die Hochschule Osnabrück hat außerdem die Videos für die Projekthomepage erstellt sowie die Pressemitteilung verfasst und herausgegeben. Im Herbst 2021 wurden auf der DGP-Tagung in Kiel die Ergebnisse aus den Feldversuchen 2020 auf einem Poster vorgestellt.

### **Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR**

Das OG-Mitglied Detlef und Marvin Kreye GbR hat die Räumlichkeiten für die Projekttreffen zur Verfügung gestellt und beim Feldtag 2022 mitgewirkt. Außerdem stellte die OG Kreye im Oktober 2021 einige Ergebnisse aus dem Versuchsstall beim Landkreis Oldenburg vor.

### **Plantus GbR**

Das OG-Mitglied Plantus GbR hat den Feldtag 2022 maßgeblich mitgestaltet und einen großen Teil der Organisation vor Ort übernommen. Weiterhin hat das OG-Mitglied im Rahmen seiner Wintertagung Ergebnisse des Projektes präsentiert.

### **Landwirtschaftskammer Niedersachsen**

Das OG-Mitglied Landwirtschaftskammer Niedersachsen hat im Rundschreiben Herbst/Winter 2019/20 der LWK Niedersachsen Bezirksstelle Oldenburg-Süd unser Projekt den ca. 5.600 Beratungsbetrieben in den Landkreisen Cloppenburg, Vechta und Oldenburg mit einem Kurzbeitrag vorgestellt (s. Projekthomepage). Zudem hat das OG Mitglied den Feldtag maßgeblich mitgestaltet.

Veranschlagter Zeitraum für TP4: Februar 2019 – Projektende.

Tatsächlicher Beginn: März 2019; Tatsächliches Ende: Projektende.

## **2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen**

Die wichtigsten finanziellen Positionen über die gesamte Projektlaufzeit sind für jedes OG-Mitglied nachfolgend beschrieben.

### **Hochschule Osnabrück**

Für die durchgeführten Tätigkeiten des OG-Mitgliedes Hochschule Osnabrück fielen hauptsächlich Personalkosten an. Beschäftigt wurden mit Projektbeginn ein wissenschaftlicher Mitarbeiter (ab 01.03.2019; TV-L E 13; 66 % (ab 01.01.22 100%)) und eine Projektkoordinatorin

(ab 01.04.2019; TV-L E 11 20 % (ab 01.01.2022 12 %)). Ab 01. Dezember 2021 wurde zudem ein weiterer Mitarbeiter eingestellt. Für verschiedene Arbeiten im Feldversuch und bei der Probenaufbereitung wurden studentische Hilfskraft beschäftigt. Weiterhin fielen Reisekosten für Fahrten zum Praxisbetrieb Kreye in Großenkneten, den Versuchsflächen bei der plantus GbR und zu den Projekttreffen an. Es fielen zudem Kosten für den Transport von Schlepper und Güllefass zur Versuchsfläche und zurück an (2020 und 2021).

Nennenswerte Ausgaben für Materialien und Geräte, die im Projekt benötigt wurden, waren:

- Inkubationsgefäße für Ammoniak-Emissionsmessungen
- Vierkant-Flaschen für das Messequipment
- Tankdurchführungen an IBC Containern für Feldversuche
- Pumpen für Inkubationsversuche
- Durchflussmesser für Inkubationsversuche
- Waschflaschen GL45 mit zwei Luer-Lock-Anschlüssen
- Chemikalien-Weithalsflaschen HD-PE Natur, 500 ml
- Enghalsflaschen HD-PE 60 ml mit PP-Schraubverschluss
- Zitronensäure
- SentixRJD pH Elektrode
- T-Steckverbindungen
- Schwefelsäure

### **Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR**

Für die durchgeführten Tätigkeiten des OG-Mitglieds Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR fielen Personalkosten für den Betriebsleiter Detlef Kreye an. Hier ist insbesondere der deutlich höhere Arbeitsaufwand für den Einbau der Hochdruck-Pumpen als zusätzliche Tätigkeit zu erwähnen. Weiterhin fielen Kosten für das Leasing und die Wartung der Abluftreinigungsanlage im Schweinestall (SCHULZ Systemtechnik GmbH), für den Umbau des Schweinestalls (u.a. Garms Baustoffe GmbH & Co. KG) und die Installation des Applikationssystems im Schweinestall an.

Nennenswerte Ausgaben für Materialien und Geräte, die im Projekt benötigt wurden, waren:

- Dräger-Prüfröhrchen Ammoniak 0,25A

- Dräger-Prüfröhrchen Ammoniak 2A
- Dräger-Prüfröhrchen Ammoniak 5A
- Drägerpumpe X-act 5000 mit Akku und Netzteil
- Sorbent NH<sub>3</sub>relief
- Tierwaage (Kerbl PS 1000)
- Kammersystem für die NH<sub>3</sub>-Messung (Metall-Industriewerk Hofmann GmbH)
- Wetterstation (Metrics Klimastation RX3000)
- Dosierpumpe DOSAFlex
- Schlauchpumpe
- Hochdruckpumpe
- Zitronensäure
- Enghalsflaschen HDPE 60 ml mit PP-Schraubverschluss
- Bestimmung Geruchskonzentration (LUFA Nord-West)

### **Plantus GbR**

Für die Anlage der Feldversuche mit praxisüblichen Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen sowie intensiver Probenahme (Bodenproben, Pflanzenproben und N-Tester-Messungen) fielen beim OG-Mitglied plantus GbR Personalkosten für den Betriebsleiter und Facharbeiter an. Zudem entstanden Kosten für die N<sub>min</sub>-Untersuchungen des Bodens bei der LUFA Nord-West, für die Beerntung der Feldversuche, entsprechende Aufwandsentschädigungen für die Versuchsfläche sowie Reisekosten für Probentransport und Fahrten zu den Feldversuchen.

Nennenswerte Ausgaben für Materialien und Geräte, die im Projekt benötigt wurden, waren:

- Parzellenspritzgestänge

### **Landwirtschaftskammer Niedersachsen**

Für die durchgeführten Tätigkeiten des OG-Mitglieds Landwirtschaftskammer Niedersachsen fielen Personal- und Reisekosten sowie Kosten für Gülleanalysen an.

## 2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

### 2.2.1 Ausgangssituation

Dem nationalen Emissionsbericht (Haenel et al., 2016) ist zu entnehmen, dass 95 % der  $\text{NH}_3$ -Emissionen in Deutschland aus der Landwirtschaft stammen. Trotz der international eingegangenen Verpflichtung der Bundesrepublik Deutschland zu einer deutlichen Minderung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen ist es aber bisher nicht gelungen die angestrebte maximale Gesamt-Emission an Ammoniak einzuhalten. Besonders bedeutende Anteile an der  $\text{NH}_3$ -Emission haben die der Landwirtschaft zugeordneten Emissionsbereiche „Stall“ und „Ausbringung“. Die Applikation organischer Dünger (z.B. Gülle, Gärreste) hat dabei mit ca. 35 % der gesamten  $\text{NH}_3$ -Emission der Landwirtschaft die größte Bedeutung, während der Anteil der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Stallhaltung bei ca. 30 % liegt. Die Minderung der landwirtschaftlich bedingten  $\text{NH}_3$ -Emission ist dringend erforderlich, um die Eutrophierung naturnaher Ökosysteme, die durch Ammoniak verursachten, indirekten  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen, die Feinstaubbildung und die Bodenversauerung zu verringern. Darüber hinaus muss die vergleichsweise niedrige N-Düngewirkung und Nutzungseffizienz der eingesetzten Wirtschaftsdünger verbessert werden, denn ohne entsprechende Maßnahmen zur Minderung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen emittiert ein großer Teil des in der Gülle vorhandenen, pflanzenverfügbaren Ammoniums als Ammoniak.

Mögliche Maßnahmen zur Minderung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Tierhaltung fokussieren sowohl auf die Verluste aus dem Stallbereich als auch bei der Gülle-Applikation im Feld. Der Bereich der Lagerung flüssiger organischer Wirtschaftsdünger wird als eher unbedeutend angesehen, da hier aufgrund der Bauausführung der Güllebehälter (Abdeckung des Lagerbehälters) oder aufgrund der sich natürlich bildenden Schwimmschichten meist nur kurzzeitig beim Aufrühren des Behälterinhalts direkt vor der Ausbringung  $\text{NH}_3$ -Emissionen entstehen.

Durch baurechtliche Vorgaben muss bei Stallneubauten für die Tierarten Schwein und Geflügel die gesamte Stallluft über entsprechende  $\text{NH}_3$ -Wäscher geleitet werden. In der Regel wird dazu Schwefelsäure eingesetzt, wobei aufgrund der niedrigen pH-Werte gasförmiges  $\text{NH}_3$  aus der eingeleiteten Stallluft in  $\text{NH}_4^+$  umgewandelt wird, welches anschließend an den Sulfat-Rest der Schwefelsäure gebunden wird. Die anfallenden N-haltigen Waschwässer weisen relativ geringe N-Konzentrationen auf und werden nach entsprechender Zwischenlagerung auf landwirtschaftlich genutzten Acker- und Grünlandflächen ausgebracht. Mit der neuen Düngeverordnung ist die Applikation im Herbst/Winter sehr stark eingegrenzt worden, sodass zusätzliche Lagerkapazitäten (und damit Investitionen) für diese Waschwässer notwendig sind. Hier ist einer der Ansatzpunkte für das Projekt AmmonMind.

Mit Blick auf die  $\text{NH}_3$ -Emissionen während der Gülle-Ausbringung werden zurzeit zwei Ansätze verfolgt. Zum einen soll die Minderung der  $\text{NH}_3$ -Bildung durch Absenkung des pH-Werts in der Gülle erzielt werden (Wirkungsweise vergleichbar zu Luftwäscher im Stallbereich). Dies könnte durch Zumischung von Säure in den Lagerbehälter oder bei der Befüllung des Güllewagens erreicht werden. Diese beiden Ansatzpunkte haben sich aber in der landwirtschaftlichen Praxis nicht bewährt (u.a. Korrosion der Behälter, Schaumbildung). In Dänemark ist mittlerweile ein Ansäuerungssystem für Praxisbetriebe verfügbar, bei dem aus einem Zusatztank im Frontanbau Schwefelsäure während der Ausbringung der Gülle auf dem Acker- oder Grünland direkt in den Güllestrom injiziert wird. Die notwendige Säuremenge wird durch eine Online-pH-Wert-Messung exakt adaptiert. Durch diese Verfahrensweise wird der pH-Wert der ausgebrachten Gülle unter pH 6,5 eingestellt, sodass kein  $\text{NH}_3\text{-N}$ , sondern ausschließlich  $\text{NH}_4\text{-N}$  vorliegt. Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen können so drastisch reduziert werden und in Dänemark ist dieses Verfahren als Alternative zur direkten Einarbeitung der Gülle anerkannt. Zu beachten sind die notwendigen Investitionen zur Umrüstung der Gülle-Applikationsgeräte und die Anschaffung des Säuretanks inklusive der gesamten Regeltechnik. In Deutschland ist seitens der Behörden (u.a. Straßennutzung; Äquivalenz zur zeitnahen Einarbeitung) noch keine Zulassung erteilt worden. Zum zweiten soll die  $\text{NH}_3$ -Verflüchtigung durch schnellstmögliche Einarbeitung in den Boden (d.h. Minimierung des Luftkontakts) erreicht werden (Kai et al., 2009; Webb et al., 2010). Auf unbestellten Flächen ist dies technisch sehr leicht umzusetzen, da nur eine der Gülleapplikation folgende Bearbeitung mit einer Scheibenegge oder mit einem Grubber durchgeführt werden muss. Aus vielen Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass diese Einarbeitung möglichst sofort erfolgen muss, um  $\text{NH}_3$ -Emissionen zu minimieren. In der neuen Düngeverordnung von 2017 ist ein Zeitraum von maximal 4 Stunden vorgegeben. Diese Zeitspanne ist aber eindeutig zu lang und führt dazu, dass je nach spezifischer Situation bei der Gülleausbringung zum Teil erhebliche  $\text{NH}_3$ -Verluste zu verzeichnen sind (geringe Verluste bei kühler, regnerischer und windarmer Witterung versus hohe Verluste bei warmen, windigen Bedingungen). Technisch aufwendiger und dementsprechend mit höheren Investitionen verbunden sind Applikationsgeräte, die die Gülle direkt in den Boden einbringen. Dies ist dann in bestehenden Beständen (z.B. Wintergetreide, Winterraps) nur durch moderne Schlitz- bzw. Injektionstechniken zu erreichen. Diese Geräte sind jedoch in Deutschland bisher kaum in der landwirtschaftlichen Praxis etabliert (Stand der Technik sind Schleppschlauchausbringung in Ackerkulturen bzw. die Schleppschuhausbringung im Grünland). Zu beachten ist weiterhin, dass bei allen Verfahren, die Gülle direkt in den Boden einbringen, erhöhter Zugkraftbedarf (Anstieg des

Treibstoffverbrauchs), begrenzte Arbeitsbreiten bei der Ausbringung (und damit reduzierte Schlagkraft) sowie erhöhte Bodenbelastung aufgrund des Gewichtes der zusätzlichen Einbringorgane festzustellen sind. Bei Einarbeitung der Gülle auf unbestellten Böden innerhalb von einer Stunde wird ein  $\text{NH}_3$ -Emissionsfaktor von 10 % des  $\text{NH}_4\text{-N}$  angenommen, während bei Gülle-Ausbringung mittels Schleppschlauch in wachsende Ackerkulturen bis 50 % des  $\text{NH}_4\text{-N}$  als  $\text{NH}_3$  emittieren können (Döhler et al., 2002). Dieser Vergleich macht deutlich, dass die  $\text{NH}_3$ -Emission durch Veränderung der Ausbringtechnik auf das fünffache ansteigen kann. Die Vermeidung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei der Ausbringung von Gülle ist der zweite Ansatzpunkt für das Projekt AmmonMind.

Die hier skizzierten Zusammenhänge stellen eine große Herausforderung für die gesamte Wertschöpfungskette in der Landwirtschaft (insbesondere für die sogenannten „Veredlungsregionen“) in Niedersachsen dar. Hier sind zum einen zunehmende Anforderungen zum Tierwohl in der konventionellen Landwirtschaft (insbesondere bei der Mastschweineproduktion) zu nennen. Neben anderen Aspekten wie Platzbedarf, Ausgestaltung der Boxen ist auch die Ammoniak-Konzentration in der Stallluft von besonderer Bedeutung (z.B. erhöhte Disposition für Atemwegserkrankungen bei den Tieren und nachfolgender Einsatz von Antibiotika sowie verringerte Tageszunahmen). Emissionen von Ammoniak aus den Stallungen sind eine weitere Herausforderung für die Betriebe, die zusätzliche Investitionen für „Luftwäscher“ sowie Lagerkapazität für die Waschwässer erforderlich machen. Insbesondere für ältere Stallanlagen könnten unter ökonomischen Gesichtspunkten diese Investitionen nicht mehr rentabel sein und Betriebe zur Aufgabe der Tierproduktion gezwungen sein. Innovative Produkte, die es den Betrieben ermöglichen Ammoniak aus der Stallluft zu adsorbieren, sind eine hervorragende Möglichkeit auf diese Anforderungen zu reagieren. Dies würde zusätzlich dazu beitragen die Anforderungen der neuen Düngeverordnung bezüglich der maximalen N-Bilanzüberschüsse (50 kg/ha und Jahr) zu erfüllen, da jedes kg Stickstoff, welches nicht in die Atmosphäre emittiert, gezielt in der Pflanzenproduktion eingesetzt werden kann.

Auf einem entsprechenden Ansatz basiert der Einsatz eines  $\text{NH}_3$ -Sorbenten bei der Ausbringung von Gülle. Durch die Zudosierung eines  $\text{NH}_3$ -Sorbenten soll die  $\text{NH}_3$ -Verflüchtigung nach der Applikation minimiert werden ohne dass die Gülle in den Boden eingearbeitet werden muss. So wird die  $\text{NH}_3$ -Emission reduziert und der Stickstoff verbleibt im System zur nachfolgenden Aufnahme durch die Pflanzen. Dadurch kann der Einsatz von zugekauften Mineraldüngern entsprechend vermindert werden. Die Zukunftschancen der niedersächsischen Landwirtschaft speziell in den Veredlungsregionen werden so nachhaltig abgesichert. Gleichzeitig

werden die in den organischen Düngern vorhandenen Nährstoff effizienter genutzt, es wird weniger Energie für die Produktion von Mineraldünger benötigt und nicht-agrarische Ökosysteme (z.B. angrenzende Moor- und Waldflächen) sowie das Grundwasser werden von N-Einträgen entlastet.

## **2.2.2 Projektaufgabenstellung**

Zielsetzung der OG AmmonMind ist die Erarbeitung und Evaluierung einer praxisreifen Strategie zur umfassenden Minderung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen in der Schweineproduktion. Dabei wird die gesamte betriebliche „Wertschöpfungskette“ von der Mastschweinehaltung im Stall über die Ausbringung der anfallenden Schweinegülle auf dem Acker bis hin zur Beurteilung des produzierten Weizens als Futtergrundlage in der Schweineproduktion betrachtet. Die OG Mitglieder sind dabei aufgrund ihrer jeweiligen Fachkompetenz an der Planung und Ausführung der verschiedenen Arbeitspakete einerseits integrativ beteiligt und andererseits jeweils federführend für die Umsetzung einzelner Teilprojekte.

## **2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf**

### **2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet?**

Im Zuge der Stallversuche haben die OG-Mitglieder Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR und Hochschule Osnabrück zusammen u.a. Proben für die nasschemischen Analysen gesammelt. Diese Arbeiten mussten auf Grund der besonderen Umstände durch die Corona-Pandemie nach den jeweils geltenden Hygienestandards konzipiert und umgesetzt werden. Für die Anlage der Feldversuche und die Zwischenbeprobungen haben die OG-Mitglieder Plantus GbR und Hochschule Osnabrück eng zusammengearbeitet. Außerdem fanden regelmäßig Projekt-treffen (in Präsenz oder online) statt, um abgeschlossene Arbeitsschritte zu besprechen und anstehende Arbeitspakete zu planen. Zur genaueren Absprache von organisatorischen Angelegenheiten und Arbeiten in den einzelnen Teilprojekten gab es zusätzlich Austausch per E-Mail und Telefon.

### **2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?**

Der besondere Mehrwert ergab sich aus der Tatsache, dass Vertreter aus den Bereichen landwirtschaftliche Praxis (Detlef und Marvin Kreye Agrar GbR, Plantus GbR), Wissenschaft (Hochschule Osnabrück) und Landwirtschaftliche Beratung (Landwirtschaftskammer Niedersachsen) als OG-Mitglieder im Projekt mitwirkten. Hierdurch wurden Kompetenzen gebündelt



und es konnte eine Strategie zur umfassenden Minderung von NH<sub>3</sub>-Emissionen in der Schweineproduktion entwickelt werden, in der wichtige Aspekte der Praxistauglichkeit, der Wirtschaftlichkeit und des Tier- und Umweltschutzes Berücksichtigung finden.

### **2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projektes vorgesehen?**

Eine weitere Zusammenarbeit ist bisher nicht vorgesehen.

## **2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes**

### **2.4.1 Zielerreichung**

#### **Teilprojekt 1**

##### **Allgemeiner Versuchsaufbau**

Um den Sorbenten zur Emissionsminderung unter Stallbedingungen zu testen, wurde die Stallanlage der OG Detlef und Marvin Kreye GbR genutzt. Für einen direkten Vergleich zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe wurde der Stall in der Mitte durch eine Leichtbau-Trennwand in zwei identische Abteile mit gleicher Tierzahl unterteilt. Je Abteil wurden durchschnittlich 72 Mastschweine gehalten, die mit ca. 30 kg zugekauft wurden.

##### **Stallklimamessung**

Die Zuluft wurde über einen zentralen Lüftungsschacht für beide Abteile gemeinsam angesaugt, die Abluft wiederum für jedes Abteil separat gemessen. Nachdem in einer Testphase der Versuchsaufbau anhand verschiedener Einstellungen der Sprüheinrichtung optimiert wurde, erfolgte ab Februar 2020 im Versuchsabteil zunächst der kontinuierliche Einsatz mit dem Produkt NH<sub>3</sub>relief bzw. zu späterem Zeitpunkt mit einem Produkt basierend auf Zitronensäure, welches das vorherige Produkt ersetzte. Alle relevanten Stallparameter wurden mittels Sensortechnik exakt und permanent aufgezeichnet. Der Fokus lag auf dem Wirkungsgrad der NH<sub>3</sub>-Reduktion im Versuchsabteil.

Die Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der NH<sub>3</sub>-Reduktion zwischen Versuchs- und Kontrollabteil im Durchschnitt jedes Durchgangs. Trotz der Verbesserung durch den Einsatz des neuen Sorbenten ab Durchgang 03 kam es in diesem Durchgang ab der sechsten Woche zu erheblichen Unstimmigkeiten der Messdaten, sodass eine deutlich geringere Effektivität des Produktes angezeigt wurde. Die Diskrepanzen ließen sich schlussendlich auf Fehlmessungen bei den in den beiden Abluftschächten eingebauten NH<sub>3</sub>-Sensoren zurückführen. Aus Gründen

der Datenvergleichbarkeit wurden die Ergebnisse der Messungen aus diesem Durchgang folglich aus der Bewertung ausgeschlossen.

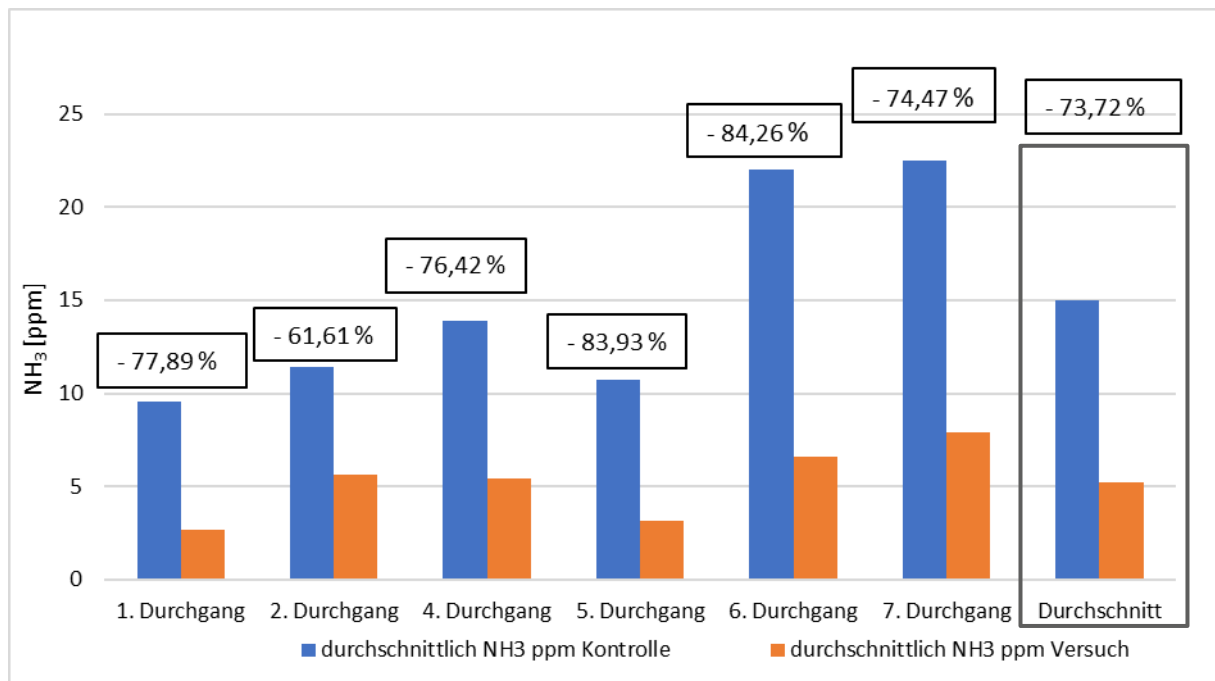


Abbildung 1 - Vergleich der NH<sub>3</sub>-Reduktion zwischen Versuchs- und Kontrollabteil im Durchschnitt jedes Durchgangs.

Insgesamt zeigte sich, dass die NH<sub>3</sub>-Gehalte in der Stallluft im Kontrollabteil (blaue Säulen) mit mind. 9,56 bis max. 22,5 NH<sub>3</sub> ppm deutlich höher lagen als im Versuchsabteil mit Werten zwischen mind. 2,69 bis max. 6,59 NH<sub>3</sub> ppm (orangene Säulen). In zwei Durchgängen (sechster bzw. siebter Durchgang) wurden somit im Kontrollabteil auch die Vorgaben zur maximalen Schadgasbelastung von 20 ppm NH<sub>3</sub> der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung nicht eingehalten.

Die in Abbildung 1 gezeigten Prozentzahlen spiegeln den Wirkungsgrad des NH<sub>3</sub>-Sorbenten wider. Die NH<sub>3</sub>-Reduktion lag, je nach Durchgang zwischen 61 und 84 %. Im Schnitt wurde eine Reduktion der NH<sub>3</sub>-Konzentration im Versuchsabteil von 74 % erreicht. Diese Werte entsprechen den Werten zur NH<sub>3</sub>-Abscheidung herkömmlicher Abluftreinigungsanlagen. Im gesamten Versuchszeitraum wurden sowohl die Minderungsangaben aus der TA-Luft als auch die Vorgaben der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung erfüllt. Auch für die in der TA-Luft vorgeschriebene Geruchsminderung lässt sich im ersten Ansatz eine positive Tendenz erkennen (siehe Abschnitt Nebenerkenntnisse).

## Gülleuntersuchungen

Im Folgenden werden die Gülleuntersuchungen der Durchgänge fünf, sechs und sieben bewertet. Am Ende jedes Durchgangs wurden von der OG Detlef und Marvin Kreye GbR Gülleproben gezogen und von der LUFA Nord-West hinsichtlich der Inhaltsstoffe untersucht. Ab dem sechsten Durchgang wurden jeweils zwei Gülleproben, während und am Ende der Mastperiode, genommen. Für beide Proben wurde ein Durchschnittswert gebildet. In Abbildung 2 sind die wichtigsten Parameter Trockenmasse (TM), pH-Wert und Stickstoff in der Trockenmasse (N in TM) dargestellt.

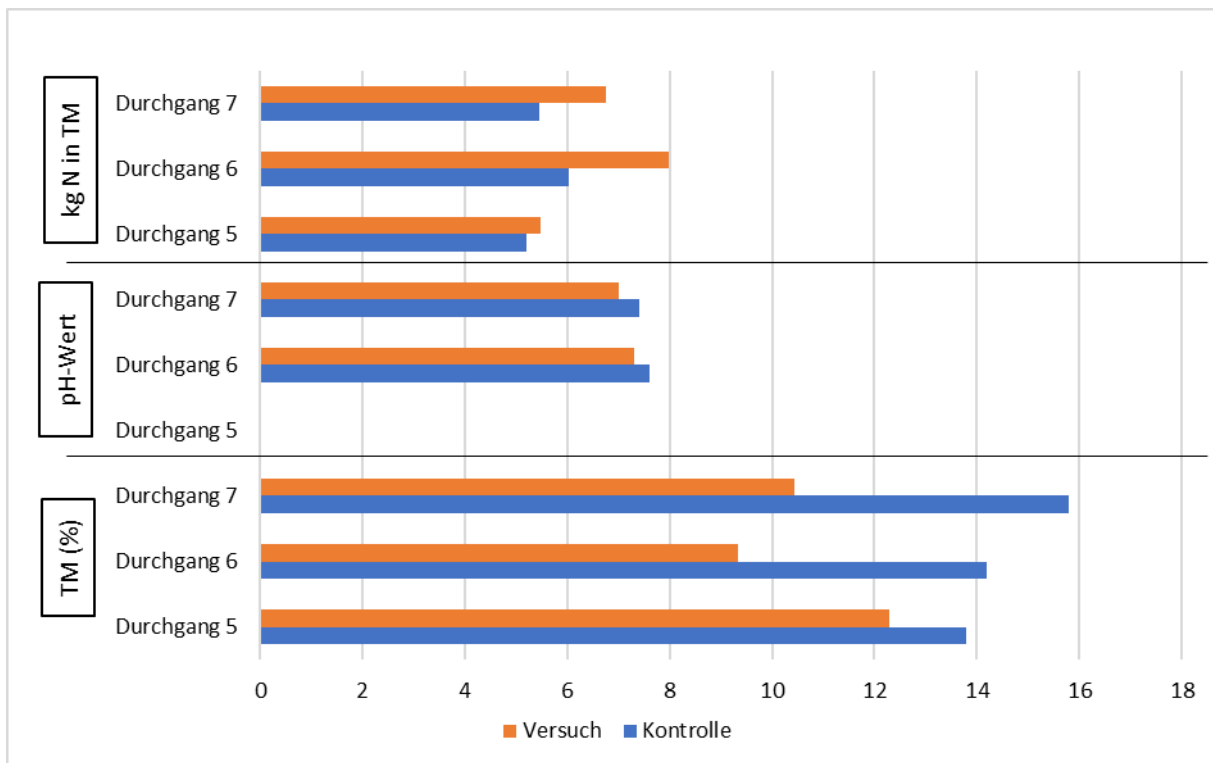


Abbildung 2 - Gülleuntersuchungen der Kontroll- und Versuchsabteile.

Insgesamt wurden für die Durchgänge auffällig hohe Trockensubstanzgehalte gemessen. Die Werte im Versuchsabteil lagen zwischen durchschnittlich 9,3 und 12,3 % und damit unter den Werten des Kontrollabteils zwischen 13,7 und 15,8 %. Diese insgesamt hohen Werte sind wahrscheinlich auf die Vorgehensweise bei der Probennahme zurückzuführen. Die geringeren Trockensubstanzwerte im Versuchsabteil lassen sich durch den höheren Feuchtegrad in der Luft erklären, da der Sorbent auf Basis Zitronensäure (ein Gemisch mit Wasser) im Stall versprüht wurde. Der pH-Wert wurde erst ab dem sechsten Durchgang gemessen. Für beide Durchgänge lag er im Versuchsabteil leicht unter dem pH-Wert des Kontrollabteils (pH 7,3 und 7,0 zu 7,6 und 7,4), was sich ebenfalls durch den Einsatz der Säure erklären lässt.

## Leistungsdaten

In Zusammenarbeit mit der OG Detlef und Marvin Kreye GbR wurden relevante Leistungsdaten erfasst und analysiert. Eine direkte Kontrolle der Tiere sowie der beiden Stallabteile wurden mehrfach täglich durch Kontrollgänge durchgeführt. Zu jedem Durchgang wurden die Schweine zu Beginn der Mast und zum Ausstallen am Ende der Mast gewogen.

Insgesamt wurden sieben Mastdurchgänge durchgeführt. Im Folgenden werden jedoch nur die Mastdaten der Durchgänge zwei bis sieben ausgewertet, da die Schlachtschweine aus dem ersten Durchgang trotz eindeutiger Absprache und Kennzeichnung am Schlachthof nicht getrennt weiterverarbeitet wurden. Eine eindeutige Zuteilung als Versuchs- oder Kontrolltier war dadurch nicht mehr gegeben. In Abbildung 3 ist die Differenz der Parameter Schlachtgewicht, Gesamtzunahmen und Futterverwertung der Versuchsgruppe zur Kontrollgruppe dargestellt.

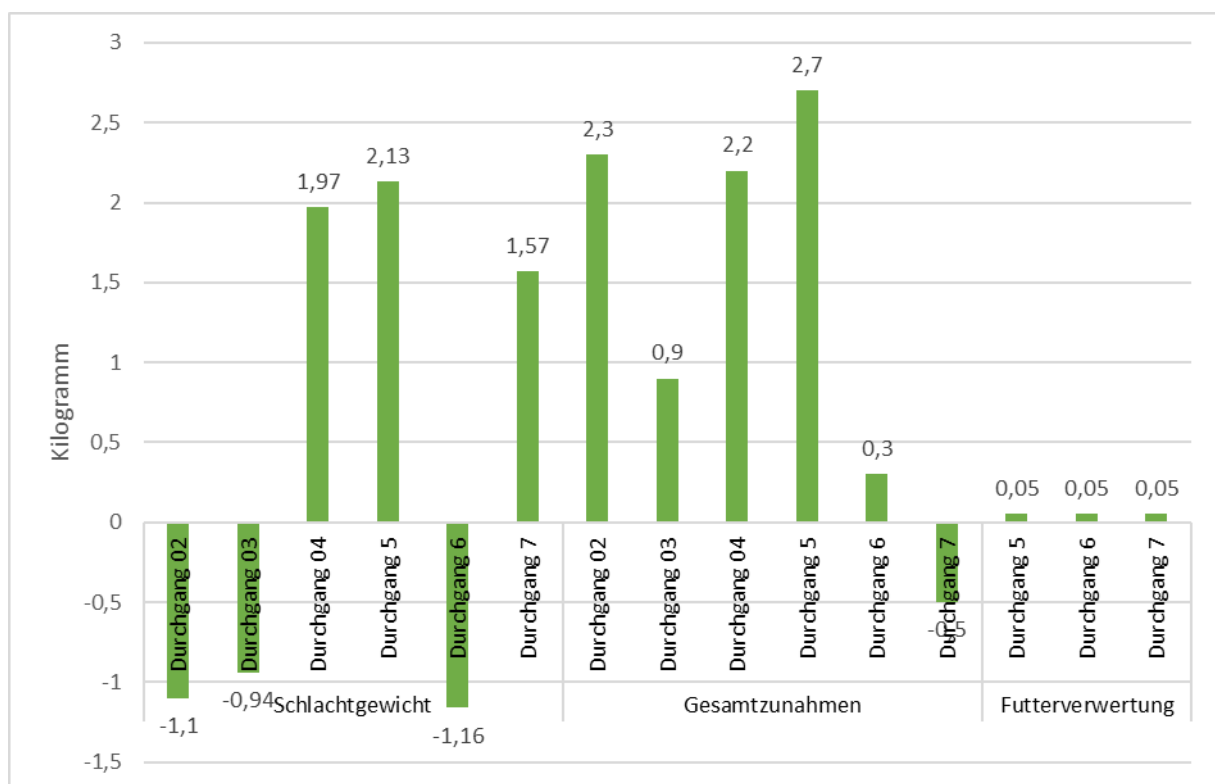


Abbildung 3 - Darstellung der Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe bzgl. Schlachtgewicht, Gesamtzunahmen und Futterverwertung.

Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass die Versuchsgruppe in fast allen Bereichen zu besseren Ergebnissen führt als die Kontrollgruppe. Lediglich die Versuchsgruppen der Durchgänge zwei, drei und sechs wiesen geringe Schlachtgewichte auf. Für diese Durchgänge muss allerdings beachtet werden, dass die Tiere der Kontrollgruppe bereits bei der Einstallung schwerer waren, wie anhand der zu Beginn jedes Ein- und Ausstallens stichprobenartig durchgeführten



Stallluft befindet. Da die Sprühanlage im Projekt sensorgesteuert ist, wurde daher in kalten Monaten (siehe Durchgänge fünf und sechs) mit mehr Zitronensäure entgegengesteuert.

Tabelle 1 - Vergleich der Erträge und Kosten des Sorbenten auf Basis von Zitronensäure zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe.

	Ø €/Tier	Ø Gewicht/Tier	Mehr-/Mindererlös Versuch	FVV:	Menge Sorbent/Tier	Kosten Sorbent/Tier	Kosten Sorbent/Tier platz	Mehr-/Mindererlös/ kg
02 Kontrolle	137,49	102,41						
02 Versuch	136,85	101,31	-0,64055556		n.a.	n.a.	n.a.	
03 Kontrolle	117,77	102,41						
03 Versuch	116,28	101,31	-1,48950268		n.a.	n.a.	n.a.	
04 Kontrolle	140,60	91,81						
04 Versuch	144,83	93,79	4,23477504		5,99	4,97	14,17	-0,0079
05 Kontrolle	122,04	98,94		2,82				
05 Versuch	128,02	101,07	5,98040008	2,77	11,09	9,20	26,23	-0,0319
06 Kontrolle	127,62	104,99		2,93				
06 Versuch	124,97	103,84	-2,64600735	2,88	11,58	9,61	27,39	-0,1180
07 Kontrolle	174,36	96,07		2,31				
07 Versuch	178,10	97,64	3,73916667	2,26	7,09	11,77	33,56	-0,0823

Die Zitronensäure wurde zu Beginn des Projektes zu einem Preis von 0,83 €/kg eingekauft. Aufgrund der Coronapandemie war eine Nachbestellung für den siebten Durchgang mit 1,66 €/kg doppelt so teuer. So entstanden Kosten für die Zitronensäure von bis zu 11,77 € je Tier. Folglich wurde der Mehrerlös der Versuchsgruppe aus den Durchgängen vier, fünf und sieben durch die Kosten für die Zitronensäure wieder aufgezehrt. Der Mindererlös aus Durchgang sechs verstärkte sich. Die Mindererlöse werden in der Tabelle je Kilogramm Schlachtgewicht ausgegeben und machten bis zu 0,11 € pro Kilogramm aus. Betrachtet man die Kosten für den Sorbenteneinsatz je Tierplatz, ergaben sich bei 2,85 Umtrieben pro Jahr (Kalkulationswert aus KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft, 2020/2021) Kosten zwischen 14,17 € je Tierplatz in Durchgang vier und 33,56 € je Tierplatz in Durchgang sieben.

### Investitionskosten

Da bestimmte Ställe aufgrund der sich geänderten Gesetzgebung nachgerüstet werden müssen, stellte sich die Frage nach der Vorzüglichkeit der NH<sub>3</sub>-Minderung durch den Einsatz der Zitronensäure im Vergleich zur Nachrüstung mit herkömmlichen Abluftreinigungsverfahren. Dafür wurden im Rahmen der Kostenkalkulation ausschließlich qualitätsgeprüfte und nach DLG-Standard zertifizierte Abluftreinigungsanlagen berücksichtigt. Zum Vergleich wurden

häufig eingesetzte mehrstufige Anlagen, Rieselbettreaktoren und Biofilter ausgewählt. Die für die Berechnung verwendeten Kosten beziehen sich auf Auskünfte der Stalleinrichtungsfirma BigDutchmann und Werten des KTBL. Bei den Werten handelt es sich um Planungswerte, die die außerordentlichen Preisentwicklungen für u.a. Baustoffe seit 2022 nicht berücksichtigen. Die Abbildung 4 vergleicht die Investitionskosten aus der Literatur mit den Investitionskosten, die bei einer Nachrüstung mit einer vergleichbaren Maststallanlage aus dem EIP-Projekt entstehen würden. Das entsprechende Angebot wurde durch die OG Detlef und Marvin Kreye GbR erstellt und bezieht sich auf 1300 Mastplätze.

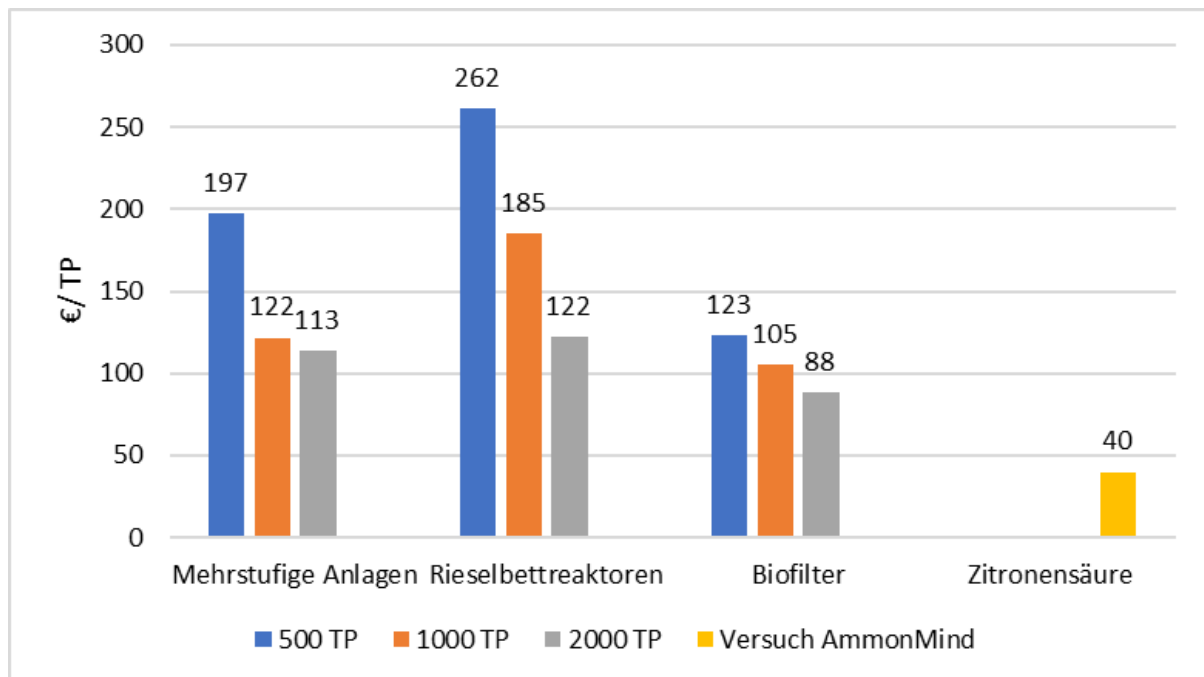


Abbildung 4 - Investitionsbedarf für Abluftreinigungsanlagen in der Schweinemast nach Bönsch und Grimm 2022 (unveröffentlicht) und OG Detlef und Marvin Kreye GbR.

Insgesamt ist der Investitionsbedarf abhängig von der Anlagenkapazität und Filtertechnik. Mit zunehmender Anlagenkapazität ergibt sich eine Kostendegression, sodass die kalkulierten Investitionskosten pro Tierplatz zwischen 123 – 262 € (für 500 Tierplätze), 105 – 185 € (für 1000 Mastplätze) und 88 – 122 € (für 2000 Mastplätze) liegen. So können Investitionen in eine einfache Filtertechnik bei hohen Tierplatzzahlen günstiger ausfallen als bei einer aufwendigen Filtertechnik bei kleinen Ställen. Davon unterscheidet sich der Investitionsbedarf für eine Nachrüstung nach dem im Projekt installierten Modell mit ca. 40 € pro Tierplatz deutlich und macht somit gerade einmal die Hälfte der günstigsten herkömmlichen Abluftreinigungsanlage aus. Ein weiterer Vorteil des AmmonMind-Systems ist, dass für den Einbau dieser Anlage kein Eingriff in die Statik nötig ist.

## Gesamtkosten

Neben den Investitionskosten sind wichtige Kostenpositionen der Abluftreinigung die fixen Anlagenkosten (Abschreibung, Zinskosten, Wartung), variable Anlagenkosten (Reparaturen, Gebühren), Kosten für Betriebsmittel wie Strom, Wasser, Säure etc. sowie Arbeiterledigungskosten. Diese Gesamtkosten (basierend auf den Angaben von Bönsch und Grimm 2022 (unveröffentlicht)) der verschiedenen Anlagen sowie die Produktkosten der Zitronensäure sind in Abbildung 5 dargestellt.

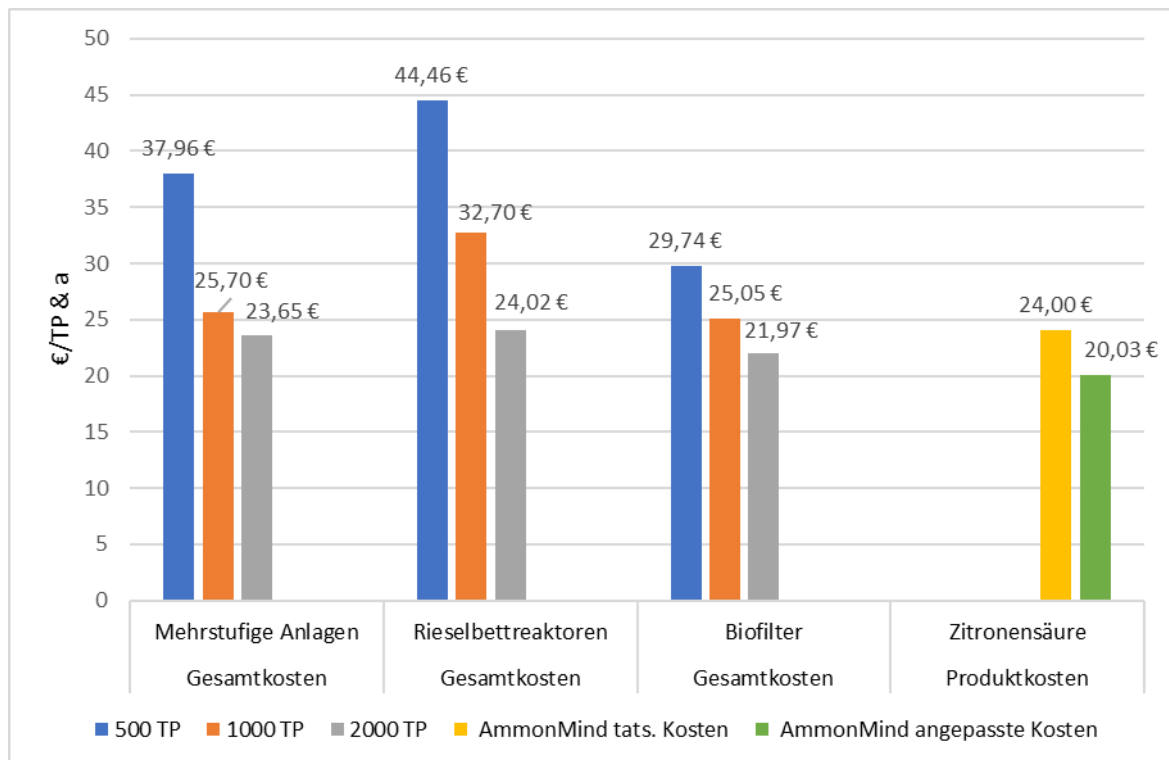


Abbildung 5 - Gesamtkosten für Abluftreinigungsanlagen in der Schweinemast (kalkuliert nach Bönsch und Grimm 2022 (unveröffentlicht)).

Für die größte Anlagenkapazität mit 2000 Tierplätzen betragen die Gesamtkosten 22 – 24 € pro Tierplatz und Jahr. Für 1000 Mastplätze liegt der Wert der Gesamtkosten bei mind. 25 €. Bei 500 Mastplätzen muss mit Gesamtkosten für die Abluftreinigung von 29 – 44 € gerechnet werden. Die Biofilter haben einen geringeren Fixkostenanteil, sodass sie am günstigsten und dementsprechend die Rieselbettreaktoren am teuersten sind. Bezüglich der Ammoniakabscheidung haben alle Anlagen einen Abscheidegrad von mind. 70 %.



Für die im Projekt eingesetzte Zitronensäure ließen sich leider nur die Produktkosten beziffern. Es sei jedoch angemerkt, dass die restlichen Kosten nach Schätzung der OG Detlef und Marvin Kreye GbR, aufgrund geringerer Stromkosten als Abluftreinigungsanlagen, vergleichsweise gering ausfallen. Auch die fixen Anlagenkosten sollten bei der Anlage mit Zitronensäure deutlich geringer ausfallen, da die Abschreibung bei Investitionskosten von 40 € pro Tierplatz bei 1300 Tierplätzen lediglich bei ca. 3,25 € liegt. Dennoch ergibt der Vergleich zwischen den Kosten je Tierplatz eine Tendenz hin zu Kosten im mittleren Preissegment, da die Produktkosten mit durchschnittlich 24 € je Tierplatz relativ hoch sind. Im laufenden Betrieb sind die herkömmlichen Abluftwäscher, zumindest für Betriebe mit mind. 1000 Tierplätzen, demnach günstiger. Die grüne Säule stellt die Kosten der Zitronensäure dar, die unter der Annahme getätigt wurden, dass das Preisniveau der Zitronensäure des letzten Durchgangs auf das der ersten Durchgänge sinkt (von 1,66 €/kg auf 0,88 €/kg). In dem Fall könnte das Verfahren mit ca. 20 € pro Tierplatz und Jahr eine kostengünstige Alternative bieten.

Anhand der Betriebszweigabrechnungen der vergangenen Jahre der Beratungsringe im Oldenburger Münsterland lassen sich die oben dargestellten Kosten der potenziellen Abluftreinigungsanlagen in Bezug zur Direktkostenfreien Leistung (Dkfl) setzen. Diese betragen in den vergangenen zwei Jahren 102,40 €/Mastplatz (2019/2020) und 29,93 €/Mastplatz (2020/2021). Damit bestimmte Jahreseffekte nicht allzu groß wirken, wurde die Dkfl der Jahre 2016 – 2021 gemittelt. Es ergibt sich eine Dkfl je Mastplatz und Jahr von 67,62 €. Die Abbildung 6 zeigt die Dkfl nach Abzug der Gesamtkosten der verschiedenen Abluftreinigungsanlagen.

Nach Abzug der Produktkosten von der Dkfl (67,62 €) ergab sich für das Projekt eine Dkfl von 47,60 € pro Tierplatz und Jahr. Die Dkfl der herkömmlichen Anlagen liegen zwischen 23,20 € – 45,70 €. Damit blieb im Projektszenario ein höherer Betrag übrig, um die verbliebenen Kosten (Arbeiterledigungskosten, Gebäudekosten, Gemeinkosten) auszugleichen. Erst nach Ermittlung dieser Kosten anhand einer Vollkostenauswertung lässt sich bewerten, ob ein Gewinn erzielt werden könnte. Der Bundesverband Rind und Schwein e.V. gibt diese sogenannten kalkulatorischen Kosten mit ca. 72,22 € je Mastplatz und Jahr an. Demnach wäre das kalkulatorische Betriebszweigergebnis in allen betrachteten Fällen negativ. Die Betriebe würden also Verlust machen. Grundsätzlich gilt jedoch, je geringer die Kosten des Verfahrens der NH<sub>3</sub>-Reduktion ausfallen, desto eher kann ein Betrieb seine Rentabilität aufrechterhalten. Auch wenn im Projekt keine Gesamtkosten berechnet werden konnten, scheint das System

der  $\text{NH}_3$ -Reduktion mittels Zitronensäure nicht am schlechtesten abzuschneiden. Entscheidend ist hier v.a. der Kostenfaktor des Produkts. Gerade für den Fall, dass kleine Betriebe eine Abluftreinigung nachrüsten, können herkömmliche Abluftreinigungsanlagen mit hohen Gesamtkosten je Tierplatz nicht favorisiert werden. An dieser Stelle kann die Abluftreinigung, wie sie im Projekt getestet wurde, eine entscheidende Hilfeleistung bieten.

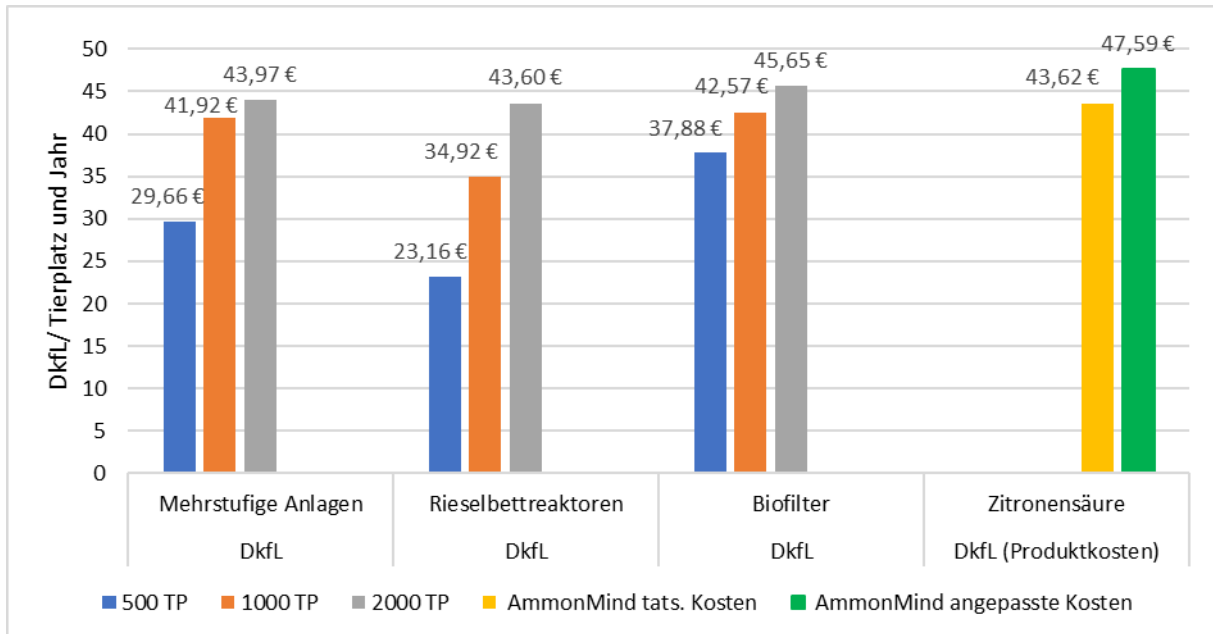


Abbildung 6 - Direktkostenfreien Leistung (Dkfl) nach Abzug der Gesamt- bzw. Produktkosten (berechnet basierend auf Angaben von Bönsch und Grimm 2022, Kreye, Beratungsringe im Oldenburger Münsterland).

Ziel des Projektes war die Entwicklung einer praxisreifen Anwendung zur umfassenden Minderung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen in der Schweineproduktion. Die sieben Mastdurchgänge konnten zeigen, dass ein funktionsfähiges System gefunden wurde, mit dem sich die  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus dem Schweinestall effektiv reduzieren lassen.

## Teilprojekt 2

### Gefäßversuch Sommerweizen

Beim Gefäßversuch 2021 wurde Sommerweizen der Sorte Quintus im Gewächshaus ausgesät und mit unterschiedlich behandelter Gülle gedüngt, wobei die Gülle oberflächlich aufgebracht wurde. Die Varianten waren 1. Kontrolle, 2. Gülle ohne Zusatz, 3. Gülle + Zitronensäure (pH 6,0) und 4. Gülle + Schwefelsäure (pH 6,0). Es wurden ab Entwicklungsstadium BBCH 25 bis zur Abreife der Pflanzen wöchentlich sogenannte „SPAD“-Messungen zur Charakterisierung des N-Ernährungszustands der Weizenpflanzen durchgeführt. Bei diesen zeigte sich jedoch

kein signifikanter Unterschied zwischen den gedüngten Varianten 2, 3 und 4. Zu drei Zeitpunkten im Vegetationsverlauf wurden je Variante 4 Gefäße ausgewählt und die oberirdische Pflanzenmasse geerntet sowie Bodenproben aus den Gefäßen entnommen. Bei den Pflanzenproben wurde die Frisch- und Trockenmasse sowie der N-Gehalt bestimmt, bei den Bodenproben wurde die Frisch- und Trockenmasse sowie der N-Gehalt bestimmt, bei den Bodenproben der  $N_{\min}$ -Gehalt aufgeteilt in  $NH_4$ -N und  $NO_3$ -N. Aus diesen Daten wurde der N-Entzug durch die aufgewachsene Pflanzenmasse sowie der  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden kalkuliert, um eine N-Bilanz pro Gefäß berechnen zu können. Diese Daten sind als Mittelwert pro Termin und Variante in Abbildung 7 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Pflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode den N-Vorrat im Boden nach und nach aufgebraucht haben, da sich das Verhältnis zwischen N-Gehalt im Boden und N-Entzug durch die Pflanzen immer weiter zugunsten des N-Entzugs verschoben hat. Beim Vergleich der Varianten fällt auf, dass die Variante 4 mit Schwefelsäure bei allen drei Terminen die höchste N-Bilanz aufweist, obwohl bei allen Varianten gleich viel N gedüngt wurde. Diese Unterschiede lassen sich auch nicht durch gasförmige N-Verluste erklären, da die Gülle aus Variante 3 und 4 angesäuert wurde und so die  $NH_3$ -Emissionen keine Rolle spielen sollten. Es zeigte sich vor allem beim 3. Termin, dass die Unterschiede zwischen Variante 3 und 4 hauptsächlich bei dem N-Entzug aus der Pflanze auftreten.

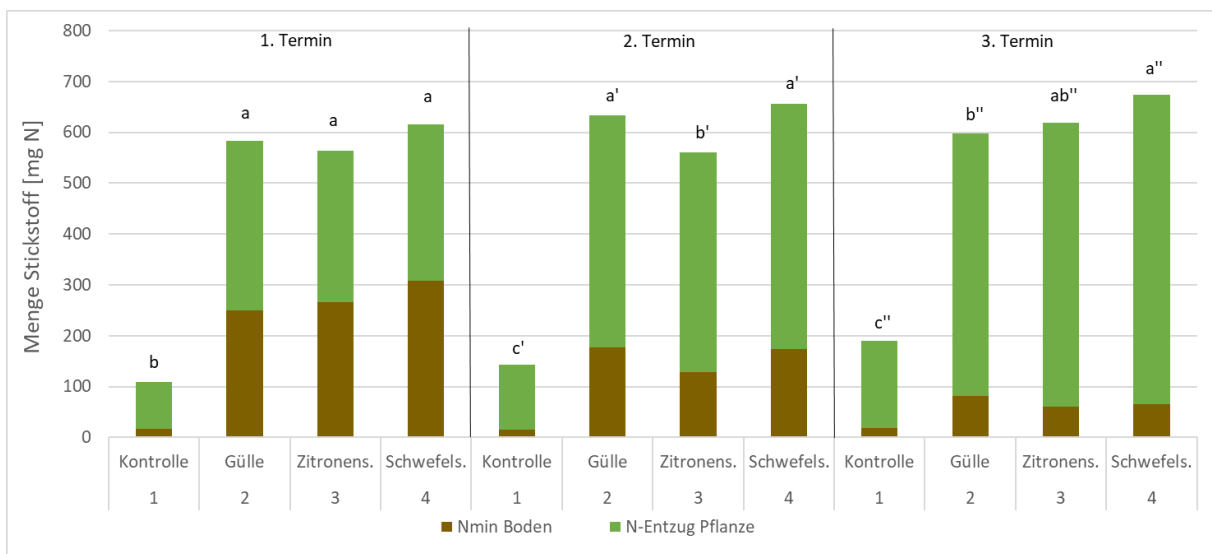


Abbildung 7 – Zeitlicher Verlauf der N-Bilanz der Gefäße mit den Varianten 1. Kontrolle, 2. Gülle ohne Zusatz, 3. Gülle + Zitronensäure (pH 6,0) und 4. Gülle + Schwefelsäure (pH 6,0) im Gewächshausversuch mit Sommerweizen. Dargestellt ist die Summe aus dem N-Entzug durch die Pflanzen und dem  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden jeweils als Mittelwert pro Termin und Variante ( $n = 4$ ). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz je Termin an, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Nach Abreife der Pflanzen wurden diese geerntet und die Kornmasse sowie deren N-Gehalt bestimmt. Aus der Trockenmasse und dem N-Gehalt wurde der N-Entzug durch das Korn ermittelt, der in Abbildung 8 als Mittelwert pro Variante (n = 4) dargestellt ist. Auch hier zeigt sich ein (allerdings nicht signifikanter) Unterschied zwischen Variante 3 und 4, der auch schon bei den Zwischenbeprobungen zu sehen war. Ein Düngungseffekt durch den S-Gehalt der Schwefelsäure ist dabei auszuschließen, da alle Gefäße eine ausreichende S-Düngung erhalten hatten. Die Unterschiede lassen sich daher auf eine unterschiedliche N-Verfügbarkeit aus der mit Zitronensäure (Variante 3) und Schwefelsäure (Variante 4) angesäuerten Gülle zurückführen. Die nicht vorhandene Signifikanz lässt sich durch die relativ großen Schwankungen der Werte über die vier Wiederholungen jeder Variante erklären.

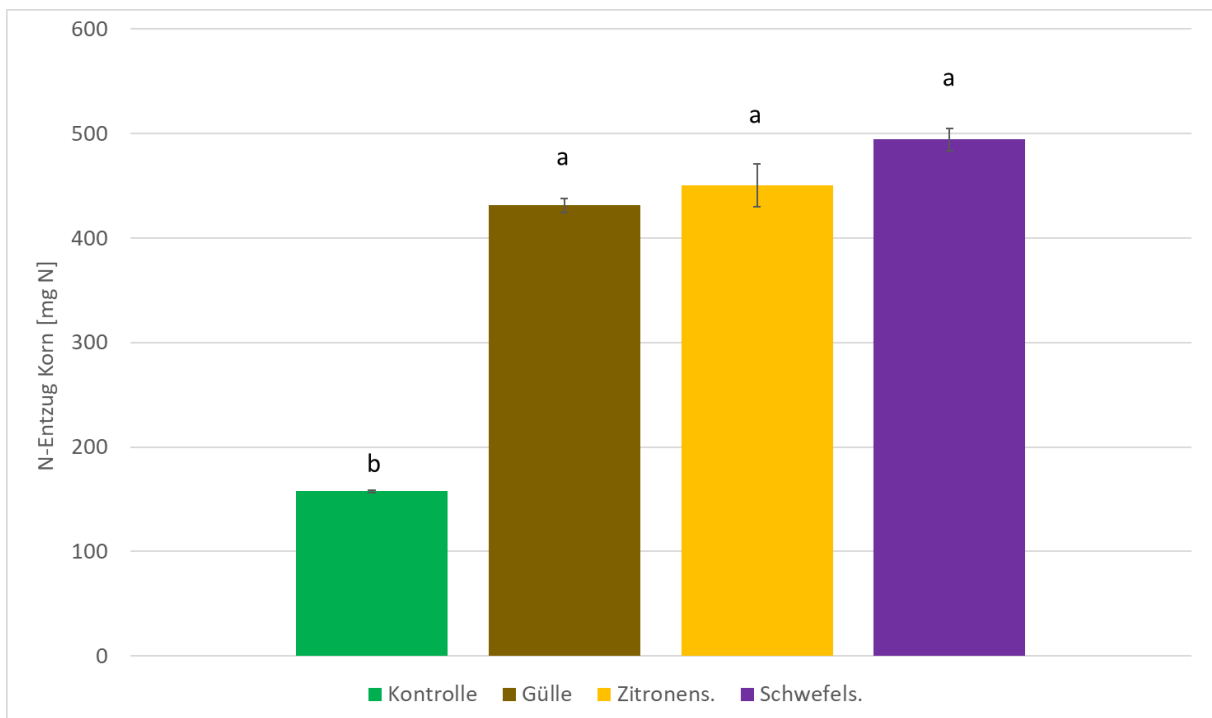


Abbildung 8 – N-Entzug durch das geerntete Korn der Varianten 1. Kontrolle, 2. Gülle ohne Zusatz, 3. Gülle + Zitronensäure (pH 6,0) und 4. Gülle + Schwefelsäure (pH 6,0) im Gewächshausversuch mit Sommerweizen. Dargestellt ist der N-Entzug durch das Korn jeweils als Mittelwert pro Termin und Variante (n = 4). Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar und die Buchstaben zeigen die Signifikanz zwischen den Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

### Gefäßversuch Weidelgras

Beim Gefäßversuch im Herbst/Winter 2021 wurde Weidelgras ausgesät, wobei vor der Aussaat unterschiedlich behandelte Gülle in den Boden eingearbeitet wurde. Die Varianten waren 1. Kontrolle, 2. Gülle ohne Zusatz, 3. Gülle + Zitronensäure (pH 6,0) und 4. Gülle + Schwefelsäure (pH 6,0), wobei jede Variante in vierfacher Wiederholung angelegt wurde. Der Vorteil

beim Weidelgras gegenüber dem Weizen war, dass man das Weidelgras mehrfach beernten konnte und damit ermitteln konnte, wie lange der Stickstoff aus der Gülle zur Verfügung stand. In diesem Gefäßversuch wurden das Weidelgras drei Mal geerntet. Dabei wurde die gesamte oberirdische Biomasse entnommen und anschließend Frisch- und Trockenmasse sowie der N-Gehalt des Ernteguts bestimmt. Aus der Trockenmasse und dem N-Gehalt wurde der N-Entzug durch die geerntete Pflanzenmasse ermittelt, der in Abbildung 9 als Mittelwert pro Variante (n = 4) dargestellt ist. In diesem Fall ist der Unterschied zwischen Variante 3 und 4 signifikant. In Summe der drei Schnitte konnte bei der Variante mit Schwefelsäure signifikant mehr Stickstoff über die aufgewachsene Pflanzenmasse aus dem Boden entzogen werden als bei der Variante mit Zitronensäure. Diese Unterschiede lassen sich auch hier nicht durch gasförmige N-Verluste erklären, da die Gülle aus Variante 3 und 4 angesäuert wurde und so die NH<sub>3</sub>-Emissionen keine Rolle spielen sollten. Außerdem wurde die Gülle in den Boden eingearbeitet, sodass auch bei der Gülle ohne Zusatz (Variante 2) kaum NH<sub>3</sub>-Emissionen aufgetreten sein sollten.

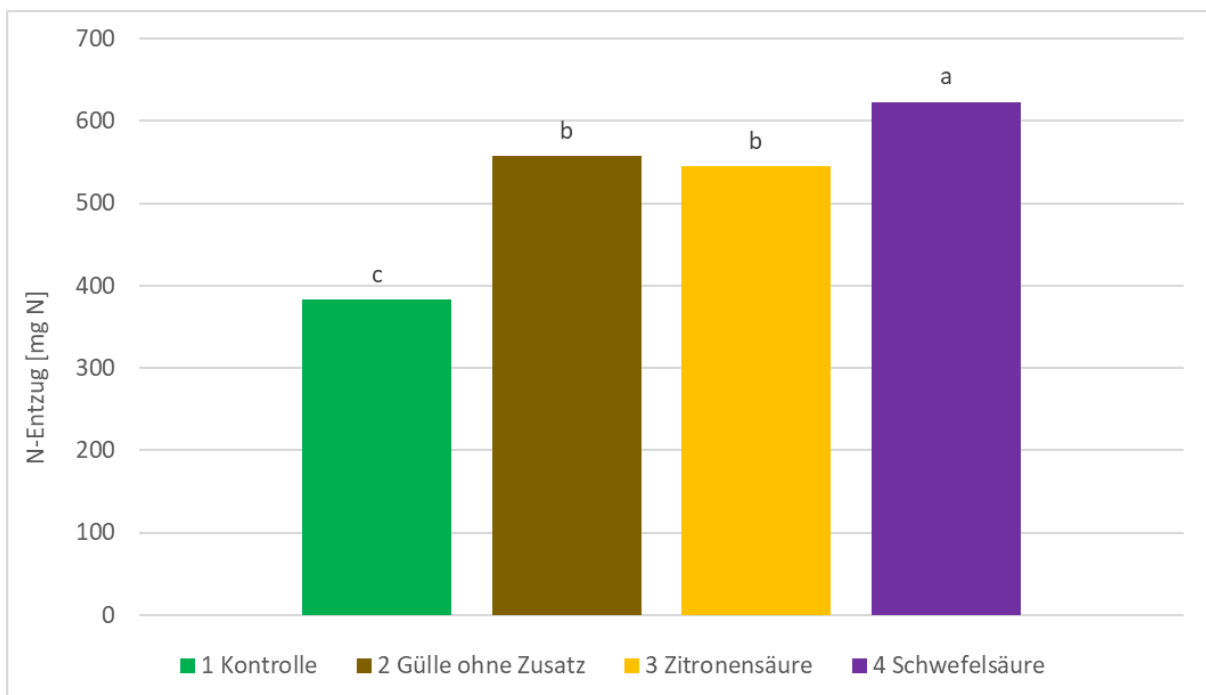


Abbildung 9 - N-Entzug als Summe der ersten drei Schnitte der Varianten 1. Kontrolle, 2. Gülle ohne Zusatz, 3. Gülle + Zitronensäure (pH 6,0) und 4. Gülle + Schwefelsäure (pH 6,0) im Gewächshausversuch mit Weidelgras. Dargestellt ist der N-Entzug jeweils als Mittelwert pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz zwischen den Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA: p < 0,05).

## Inkubationsapparatur

Um den Bezug zwischen Gülleinsäuerung und  $\text{NH}_3$ -Emissionsreduktion bei der Gülleausbringung näher zu untersuchen, wurde eine spezielle Messmethodik entwickelt. Dabei wurden luftdicht verschließbare Behälter mit einer Fläche von  $600 \text{ cm}^2$  eingesetzt. In diese Behälter wurde behandelte oder nicht behandelte Gülle eingebracht. Die Behälter haben einen Lufteinlass und wurden über einen Luftauslass an eine Vakuumpumpe angeschlossen. Zwischen Behälter und Vakuumpumpe wurden jeweils Waschflaschen mit einer Säurevorlage installiert. So kann mit Hilfe der Vakuumpumpe Luft aus den Behältern durch die jeweils zugehörige Waschflasche gepumpt werden. Das im Behälter emittierte  $\text{NH}_3$  wird so in der Waschflasche sorbiert und kann quantitativ bestimmt werden. Diese Apparatur, die aus zwölf Behältern mit zugehöriger Waschflasche bestand, wurde in einer Klimakammer installiert, um kontrollierte Umgebungsbedingungen zu schaffen.



Abbildung 10 – Aufbau der Inkubationsapparatur und Applikation der Gülle. Links ist die komplette Inkubationsapparatur im Klimaschrank, rechts oben die in einer Aluschale auf Boden applizierte Gülle und rechts unten der Vorgang der Gülleapplikation zu sehen.

Im ersten Versuchsansatz mit dieser Apparatur wurden zwei Gülle (eine Mastschweinegülle und eine Rindergülle) mit Zitronensäure auf verschiedene pH-Werte (Ausgangs-pH; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0 und pH 5,5) angesäuert und die  $\text{NH}_3$ -Emissionen mit Waschflaschen über einen Zeitraum von 8 Stunden in 2-Stunden-Intervallen gemessen. Die Gülle wurde dabei streifenförmig auf angefeuchteten Boden aufgebracht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 als Masse des pro Variante über die achtstündigen in den Waschflaschen emittierten  $\text{NH}_4\text{-N}$  dargestellt, wobei die Balken jeweils den Mittelwert aus vier Wiederholungen pro Variante zeigen.

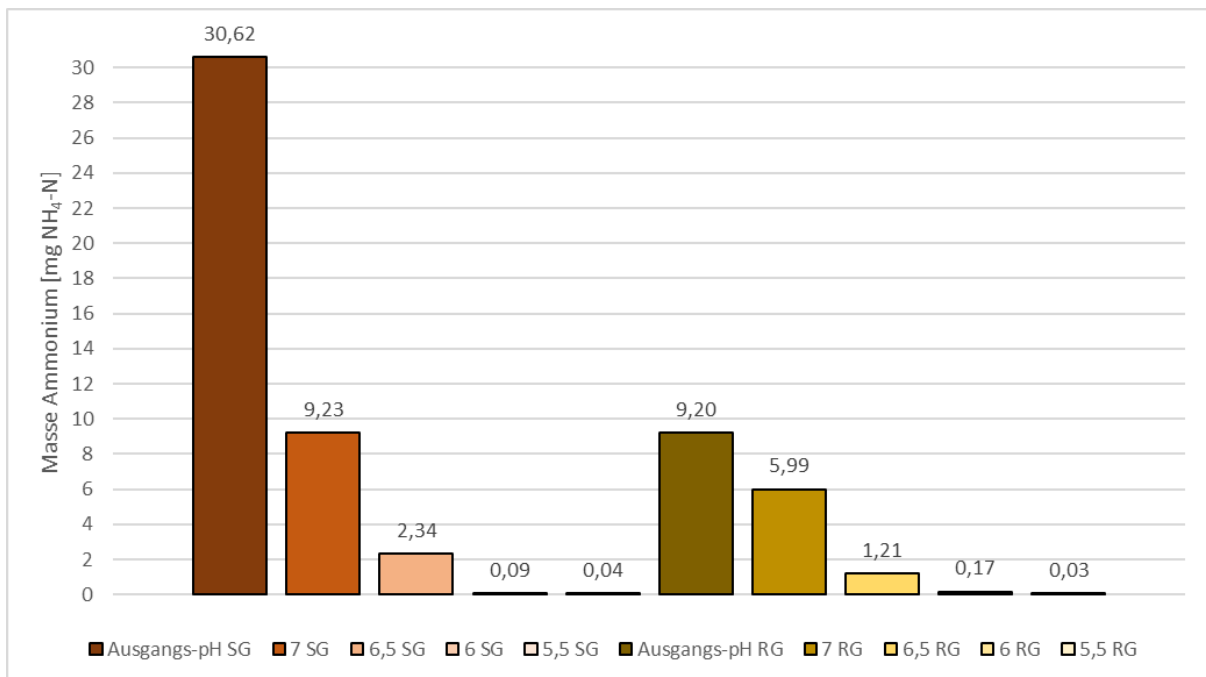


Abbildung 11 - Emittierter Stickstoff (als  $\text{NH}_4\text{-N}$  in der Säurevorlage gemessen) der Varianten Ausgangs-pH; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0 und pH 5,5 jeweils für Schweine- und Rindergülle als Summe über die 8 h Messdauer. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert pro Variante ( $n = 4$ ).

Es zeigt sich, dass die Masse an  $\text{NH}_4\text{-N}$  in den Waschflaschen und damit die  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der aufgebrachten Gülle umso niedriger waren, desto niedriger der pH-Wert der Gülle war. Beim Vergleich der Varianten mit Schweine- bzw. Rindergülle ist zu beachten, dass die Applikationsmenge der Gülle anhand der Masse und nicht entsprechend den N-Gehalten der Gülle berechnet wurde. Der N-Gehalt der Schweinegülle war mit  $3,1 \text{ kg NH}_4\text{-N/m}^3$  etwa doppelt so hoch wie der N-Gehalt der Rindergülle mit  $1,6 \text{ kg NH}_4\text{-N/m}^3$ . Weiterhin war der TS-Gehalt der Rindergülle deutlich höher, sodass ein größerer Anteil der Gülle auf der Oberfläche verblieben ist. Daher ist in Abbildung 12 noch einmal der prozentuale Anteil der in der Säurevorlage gemessenen von der insgesamt applizierten Masse  $\text{NH}_4\text{-N}$  dargestellt. So kann man z.B. beim



Vergleich der beiden Varianten der Schweine- und Rindergülle mit einem pH-Wert von 7,0 sehen, dass die Schweinegülle zwar insgesamt mehr  $\text{NH}_3$ -Emissionen verursacht hat, bezogen auf den N-Gehalt der Gülle jedoch weniger. Dies könnte durch die unterschiedlichen TS-Gehalte der Güllen zu erklären sein. Bei den Varianten der beiden Güllen mit pH 6,5 sind die Emissionen bezogen auf den N-Gehalt der Güllen jedoch annähernd gleich.

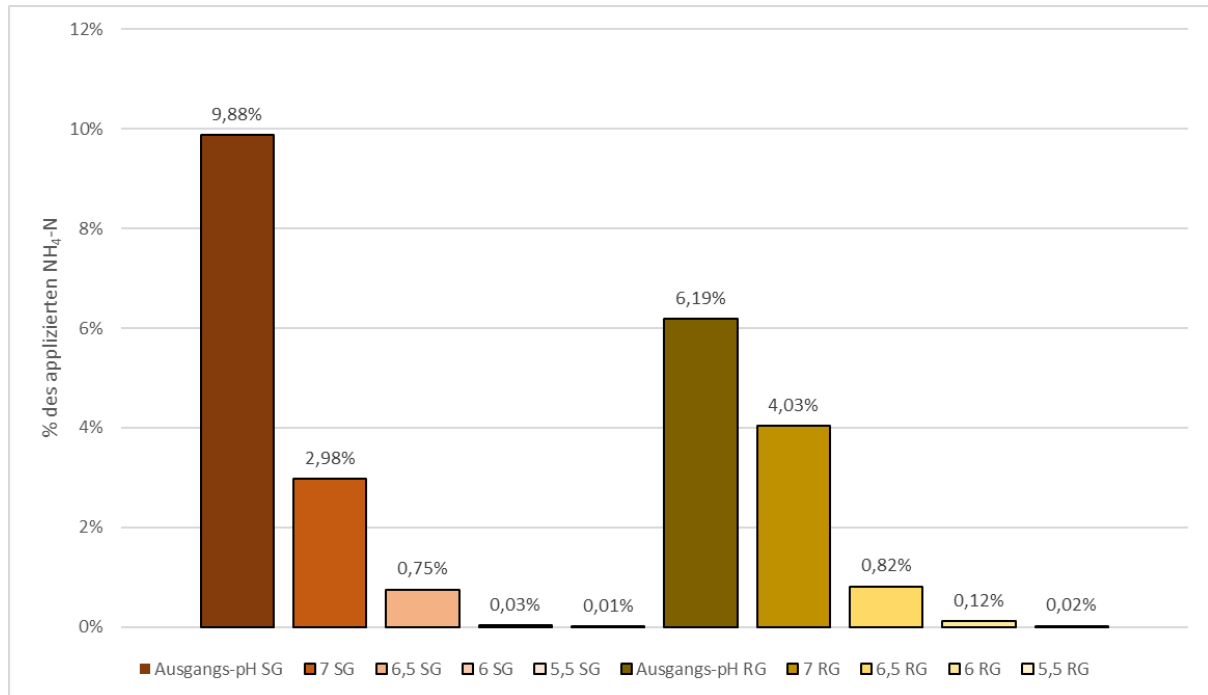


Abbildung 12 – Prozentualer Anteil der in der Säurevorlage gemessenen  $\text{NH}_4\text{-N}$  Masse von der insgesamt applizierten  $\text{NH}_4\text{-N}$  Masse der jeweils 5 Varianten (Ausgangs-pH; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0 und pH 5,5) jeweils für Schweine- und Rindergülle als Summe über die achtstündige Messdauer. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert pro Variante ( $n = 4$ ).

Eindeutig zu sehen ist, dass die Emissionen durch die pH-Wert-Absenkung bezogen auf die relative Emissionsminderung zwar in allen pH-Wert-Bereichen effektiv war, bezogen auf die Gesamtmenge der reduzierten N-Verluste sich eine Ansäuerung vor allem bei hohen Ausgangs-pH-Werten lohnte. So betrug die Emissionsminderung bei der Rindergülle zwischen pH 7,0 und pH 6,5 etwa 4,8 mg  $\text{NH}_4\text{-N}$  und zwischen pH 6,5 und pH 6,0 nur noch etwa 1,0 mg  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Bei der Schweinegülle reduzierte sich die Emissionen zwischen pH 7,0 und pH 6,5 sogar um etwa 6,9 mg  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Es lässt sich also sagen, dass sich eine Ansäuerung vor allem bei hohen zu erwartenden  $\text{NH}_3$ -Emissionen lohnt.

Um zu untersuchen, ob neben dem pH-Wert an sich auch das eingesetzte Additiv zur Ansäuerung einen Effekt auf die  $\text{NH}_3$ -Emissionen bei der Gülleausbringung hat, wurde ein weiterer



Versuchsansatz mit der Inkubationsapparatur durchgeführt. Dabei wurde die gleiche Schweinegülle wie beim vorherigen Versuch je mit Zitronensäure und Schwefelsäure auf verschiedene pH-Werte (Ausgangs-pH (pH 8,0 bei der Schweinegülle); pH 7,5; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0 und pH 5,5) angesäuert und mit der Apparatur die entstehenden  $\text{NH}_3$ -Emissionen gemessen. Die Methodik war, bis auf die Anzahl der Wiederholungen und die Inkubationsdauer, die gleiche wie beim vorherigen Versuch. Da die Werte beim ersten Versuchsansatz über die Wiederholungen wenig schwankten und die Inkubationsdauer wenig Einfluss auf die Höhe der Emissionen hatte, wurde die Anzahl der Wiederholungen von vier auf drei und die Inkubationsdauer von insgesamt acht Stunden auf vier Stunden reduziert.

In Abbildung 13 ist der prozentuale Anteil der in der Säurevorlage gemessenen Masse  $\text{NH}_4\text{-N}$  von der insgesamt applizierten Masse  $\text{NH}_4\text{-N}$  pro Variante dargestellt. Auch hier zeigte sich, dass die Masse an  $\text{NH}_4\text{-N}$  in den Waschflaschen und damit die  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der aufgebrachten Gülle umso niedriger waren, desto niedriger der pH-Wert der Gülle war.

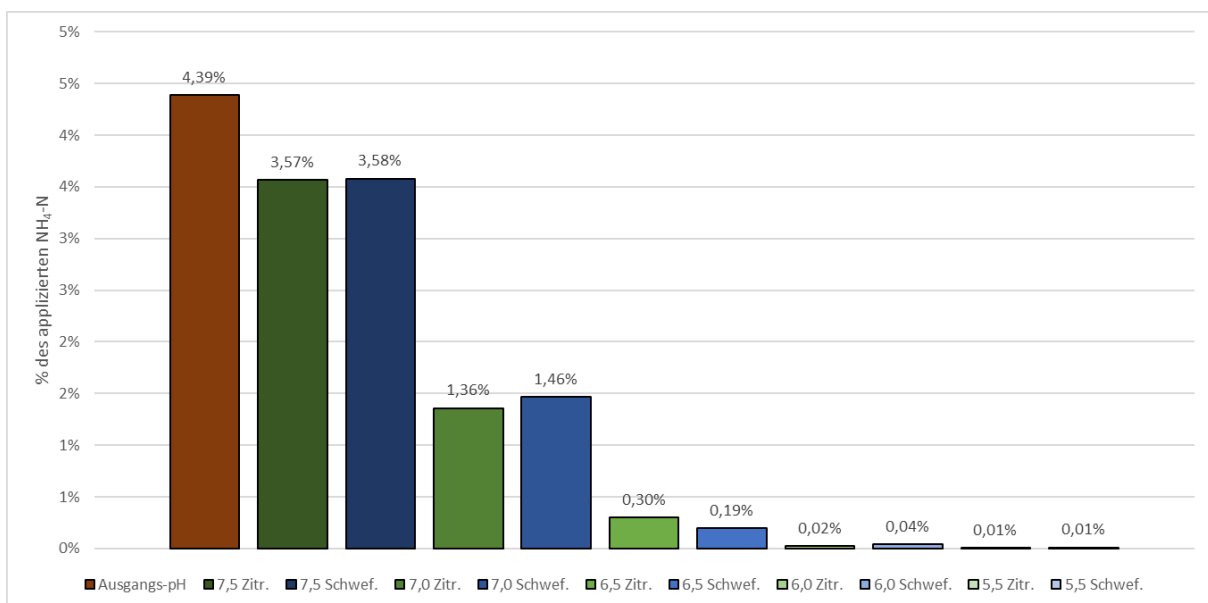


Abbildung 13 - Prozentualer Anteil der in der Säurevorlage gemessenen Masse  $\text{NH}_4\text{-N}$  von der insgesamt applizierten Masse  $\text{NH}_4\text{-N}$  der Varianten Ausgangs-pH; pH 7,0; pH 6,5; pH 6,0 und pH 5,5 jeweils mit Zitronen- und Schwefelsäure als Summe über die 4 h Messdauer. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert pro Variante (n = 3).

Das Hauptaugenmerk lag bei diesem Versuch jedoch auf dem Vergleich zwischen Zitronen- und Schwefelsäure bei gleichem pH-Wert. Bei allen pH-Wert-Stufen lagen die in der Säurevorlage gemessenen Massen  $\text{NH}_4\text{-N}$  für beide Säuren in der gleichen Größenordnung. Die Werte sind zwar nicht identisch, vor dem Hintergrund möglicher Messunsicherheiten im Versuchsaufbau und -ablauf sowie bei der Laboranalyse, müssen jedoch Schwankungen der

Messwerte wie sie bei den Ergebnissen auftraten, beachtet werden. Daher ließ sich die Hypothese, dass die Höhe der  $\text{NH}_3$ -Emissionen im Wesentlichen vom pH-Wert einer Gülle jedoch nicht vom Additiv zur Einstellung des pH-Wertes abhängen, beibehalten. Ein genauerer Vergleich der Werte der verschiedenen Inkubationsdurchgänge verdeutlicht dieses Ergebnis zusätzlich. In Abbildung 14 und Abbildung 15 sind jeweils die Emissionsraten in  $\text{mg NH}_4\text{-N/h}$  aller Varianten der beiden Versuchsansätze von Ausgangs-pH bis pH 7,0 bzw. von pH 6,5 bis pH 5,5 dargestellt. Dabei fällt auf, dass die Emissionsraten bei pH 7,5 bzw. pH 7,0 jeweils nahezu identisch waren, unabhängig von Versuchsansatz und Additiv zur Einstellung des pH-Werts. Dies zeigt zum einen, dass die Methodik funktionierte und reproduzierbare Ergebnisse lieferte. Zum anderen wurde hier noch einmal verdeutlicht, dass die Emissionsreduktion durch pH-Wert-Absenkung mit Zitronensäure genauso gut funktioniert wie mit Schwefelsäure. Der scheinbare Unterschied der Emissionsraten der Varianten mit Ausgangs-pH lässt sich auf leicht unterschiedliche Gegebenheiten bei der Versuchsanlage zurückführen. Da bei diesen Varianten der pH-Wert nicht eingestellt wurde, kann dieser leicht unterschiedlich gewesen sein, da allein die Temperatur der Gülle schon einen Einfluss auf den pH-Wert hat.

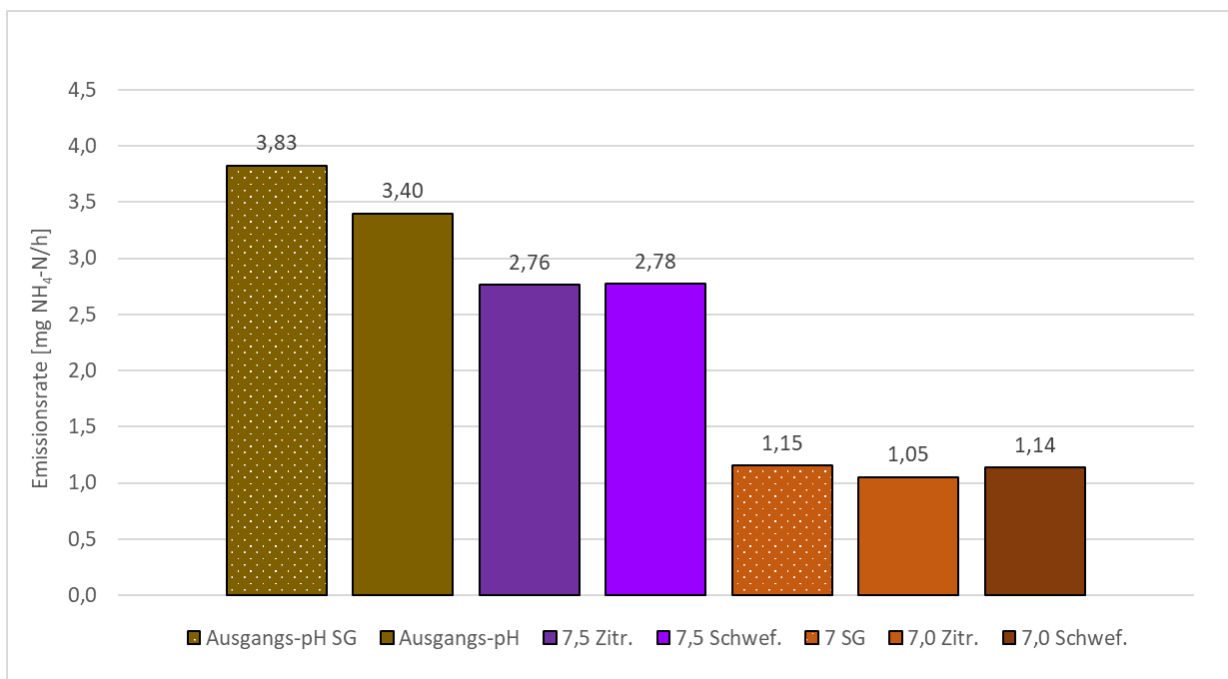


Abbildung 14 - Emissionsraten in  $\text{mg NH}_4\text{-N/h}$  aller Varianten der beiden Versuchsansätze von Ausgangs-pH bis pH 7,0 jeweils mit Zitronensäure im ersten und zweiten Versuchsansatz und mit Schwefelsäure im zweiten Versuchsansatz. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert pro Variante ( $n = 3$  bzw.  $n = 4$ ).

Die in Abbildung 15 dargestellten Emissionsraten bei pH 6,5 und pH 6,0 sind nicht so einheitlich wie bei den höheren pH-Werten. So war die höchste Emissionsrate bei pH 6,5 fast doppelt

so hoch wie die niedrigste. Bei pH 6,0 war die höchste Emissionsrate sogar fast drei Mal so hoch wie die niedrigste. Diese Unterschiede lassen sich jedoch nicht auf die Wirkung der verwendeten Säuren zurückführen, da die Schwefelsäure bei pH 6,5 die niedrigste und bei pH 6,0 die höchste Emissionsrate hat. Viel eher lassen sich diese Unterschiede mit der allgemeinen Messunsicherheit der Methodik erklären.

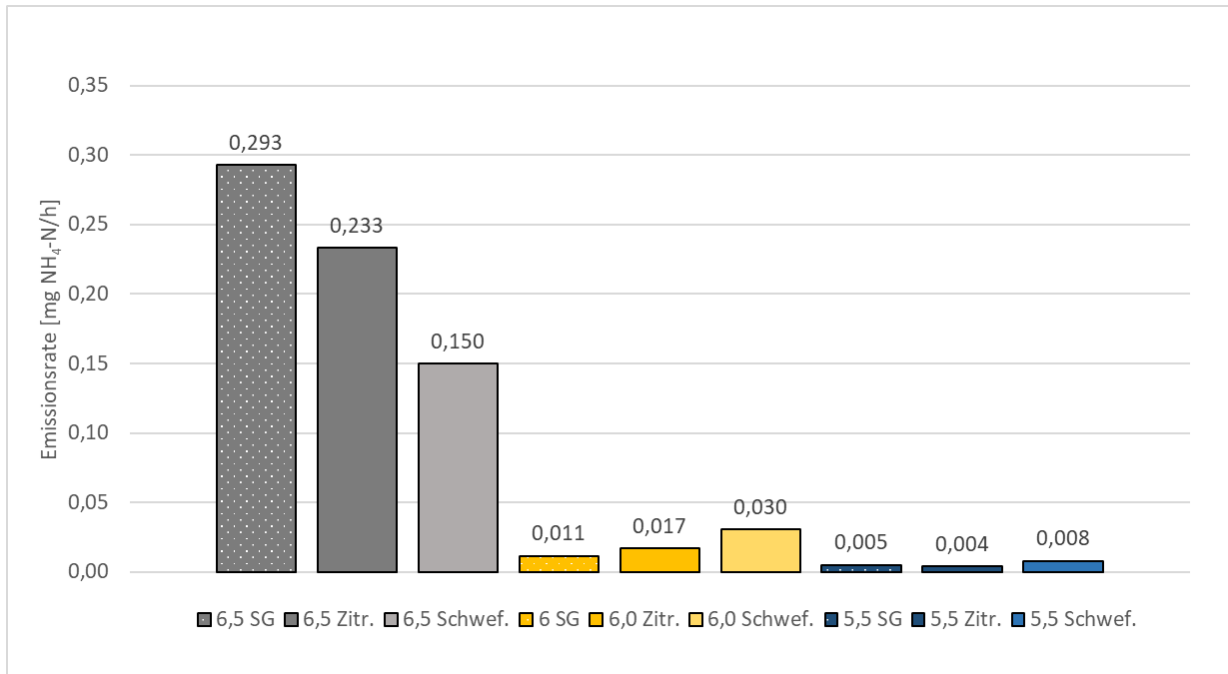


Abbildung 15 - Emissionsraten in mg NH<sub>4</sub>-N/h aller Varianten der beiden Versuchsansätze von pH 6,5 bis pH 5,5 jeweils mit Zitronensäure im ersten und zweiten Versuchsansatz und mit Schwefelsäure im zweiten Versuchsansatz. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert pro Variante (n = 3 bzw. n = 4).

Bei der eingesetzten Methodik müssen einige Unsicherheitsfaktoren (Menge und Homogenität der applizierten Gülle, Durchflussmenge durch die Waschflaschen, Verdünnungen im Labor) beachtet werden. Ein Faktor, der einen größeren Einfluss auf das Ergebnis hat, ist der tatsächliche Konzentration an freien H<sup>+</sup>-Ionen in der Gülle, der auch durch die Pufferkapazität der Gülle beeinflusst wird. Die Pufferkapazität beschreibt die Menge an Säure, die die Gülle (bzw. ein Puffersystem in der Gülle) ohne wesentliche Änderung des pH-Wertes aufnehmen kann. In Abbildung 16 ist die Titrationskurve der in den Versuchen eingesetzten Gülle und in Abbildung 17 die daraus berechnete Pufferkapazität zu sehen. So zeigte sich, dass die Menge an Additiv zur Absenkung des pH-Wertes der Gülle vom Ausgangs-pH bei etwa 8,2 bis etwa pH 7,0 fast linear verlief. Von etwa pH 7,0 bis etwa pH 6,0 wurde vergleichsweise viel Additiv zur Absenkung des pH-Wertes benötigt und danach reichte schon wenig Additiv, um den pH-Wert stark abzusenken.

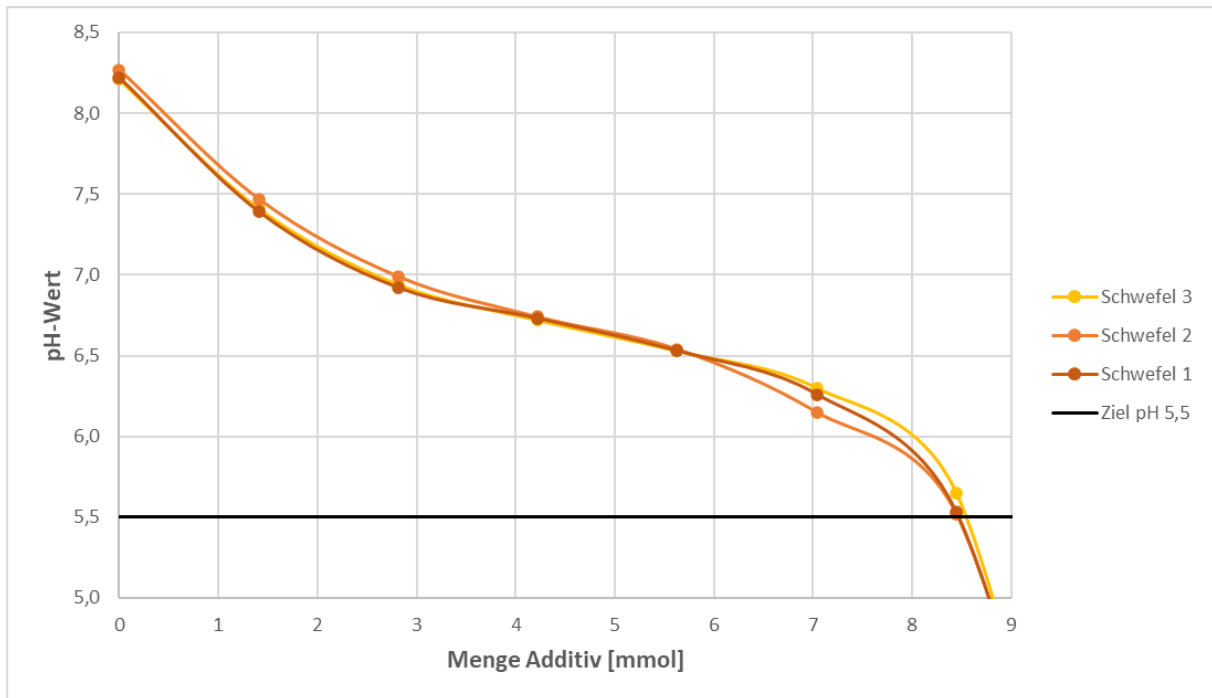


Abbildung 16 – Titrationskurve der im Versuch eingesetzten Schweinegülle. Dargestellt ist der pH-Wert, der bei Zugabe einer bestimmten Menge Additiv (Schwefelsäure) erreicht wurde.

Diesen Verlauf kann man auch bei der Pufferkapazität erkennen. Hier zeigte sich, dass die Pufferkapazität bei etwa pH 6,5 am höchsten war. Für die praktische Gülleansäuerung bedeutet das, dass eine Ansäuerung auf einen pH-Wert von 6,5 relativ schwierig ist. Bei Zugabe des Additivs in diesem pH-Bereich sinkt der pH-Wert zunächst. Wenn das Additiv nun in die Gülle eingerührt wird, reagiert sie mit dem Puffer, sodass der pH-Wert wieder steigt. Hinzu kommt, dass der Puffer, der in diesem Bereich hauptsächlich wirkt, der Hydrogencarbonat-Puffer ( $\text{HCO}_3^-$ ) ist. Dieser reagiert mit der Säure unter Bildung von  $\text{CO}_2$ , sodass die Gülle schäumt. Durch das Schäumen wird die pH-Wert-Messung jedoch erschwert. So lässt sich erklären, warum die Güllen der Varianten bei pH 6,5 und auch bei pH 6,0 nicht vollkommen gleich angesäuert waren und daher auch leicht unterschiedliche Emissionsraten aufwiesen. Bei pH 5,5 spielte dies eine untergeordnete Rolle, da bei diesem pH-Wert nur noch sehr wenig  $\text{NH}_3$  emittieren kann. Da war es nicht mehr entscheidend, ob die Gülle einen pH-Wert von 5,4 oder 5,6 aufweist.

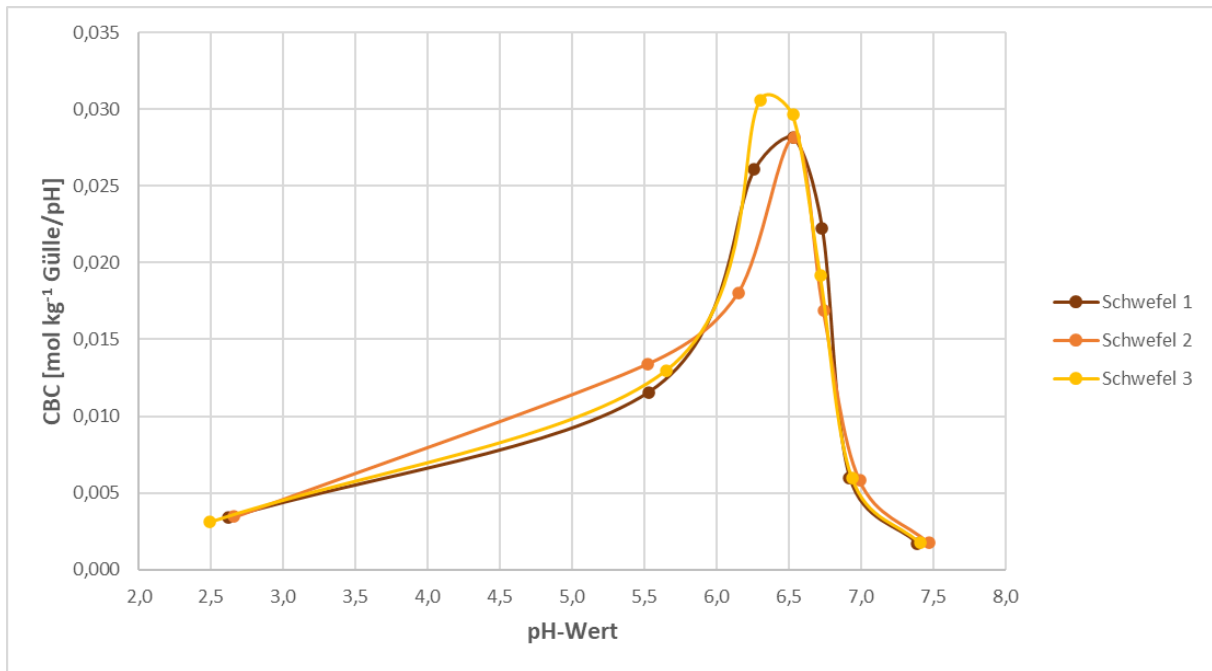


Abbildung 17 – Pufferkapazität (CBC) der im Versuch eingesetzten Schweinegülle in Abhängigkeit vom pH-Wert. Die CBC ist die reziproke Steigung der Titrationskurve, zeigt also an in welchen pH-Bereich wie viel Säure benötigt wird, um den pH um einen bestimmten Wert abzusenken.

Insgesamt lässt sich also sagen, dass die Emissionsreduktion durch pH-Wert-Abenkung bei gleichem pH-Wert mit Zitronensäure genauso gut funktioniert wie mit Schwefelsäure. Es wird jedoch im Vergleich mit der Schwefelsäure deutlich mehr Zitronensäure benötigt, um den gleichen pH-Wert bei einer Gülle zu erreichen. Da die Zitronensäure zusätzlich noch deutlich mehr kostet, ist es wirtschaftlich betrachtet uninteressant, Schwefelsäure bei der Gülleansäuerung durch Zitronensäure zu ersetzen.

### Teilprojekt 3

#### Feldversuch 2019

Beim Feldversuch 2019 wurden sechs Varianten mit je vier Wiederholungen angelegt (Variante 1: Kontrolle, Variante 2: mineralische Düngung (AHL), Variante 3: Gülle ohne Zusatz, Variante 4: Gülle + 50 % NH<sub>3</sub>relief, Variante 5: Gülle + 100 % NH<sub>3</sub>relief und Variante 6: Gülle + 150 % NH<sub>3</sub>relief). Am 25.07.2019 wurde der Versuch dann beerntet und dabei der Ertrag und die Kornfeuchte ermittelt. Im Labor wurde weiterhin der N-Gehalt des Ernteguts analysiert und basierend auf Ertrag und N-Gehalt der N-Entzug berechnet. Der N-Entzug durch das Erntegut pro Variante ist in Abbildung 18 zu sehen.

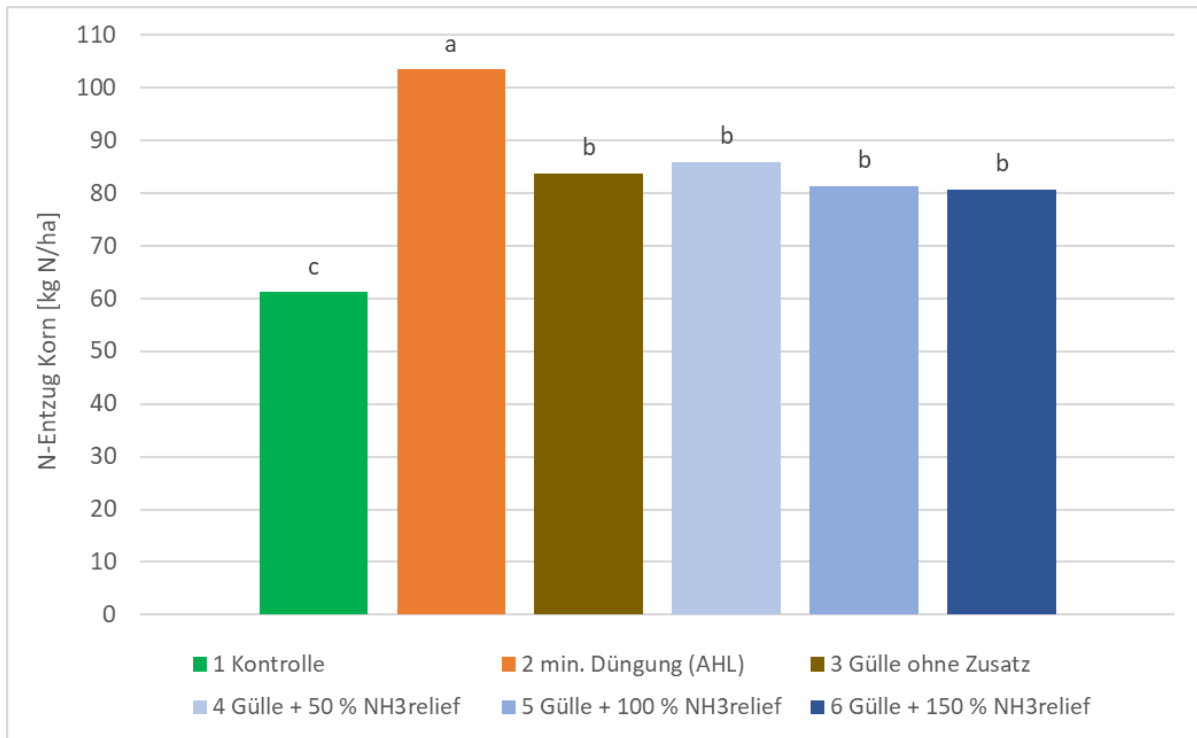


Abbildung 18 – N-Entzug berechnet aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt des Winterweizens im Feldversuch 2019. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Die Ernteergebnisse des im Parzellenversuch 2019 geernteten Winterweizens zeigen, dass der Einsatz des Sorbenten bei der Gülleausbringung kaum Effekte auf die Erntemenge des Weizens hatte. Alle Güllevarianten wiesen in etwa den gleichen N-Entzug auf, nur die Kontrolle hatte einen signifikant niedrigeren und die mineralisch gedüngte Variante einen signifikant höheren N-Entzug. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass der Sorbent nur bei der zweiten Düngergabe eingesetzt wurde, was den Effekt des Sorbenten im Vergleich zum Einsatz bei beiden Düngergaben abgeschwächt haben dürfte. Außerdem war die Witterung in der Vegetationsperiode 2018/2019 insgesamt sehr warm und trocken, sodass die Ernteerträge unterdurchschnittlich ausfielen.

### Feldversuch 2020

Beim Feldversuch 2020 wurden am 17.03.2020 zur 1. N-Düngung sechs Varianten mit je vier Wiederholungen angelegt (Variante 1: Kontrolle, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3:

Gülle aus Stallversuch, Variante 4: Gülle + NH<sub>3</sub>relief aufgesprüht, Variante 5: Gülle + NH<sub>3</sub>relief eingemischt und Variante 6: Gülle + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eingemischt). Am 15.04.2020 zur zweiten N-Düngung wurden noch einmal Gülle in denselben Varianten ausgebracht.

Die Ernteergebnisse des Feldversuchs 2020 ließen sich wegen der extremen Trockenheit im Frühjahr/Sommer 2020 und des Zwiewuchses im Bestand nur bedingt auswerten. Der aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt des Kornes berechnete N-Entzug pro Variante ist in Abbildung 19 zu sehen. Die Ernte fiel mit Erträgen zwischen 14 und 22 dt/ha sehr gering aus, wobei bei der Variante mit Zusatz von Schwefelsäure der signifikant höchste Ertrag erzielt werden konnte. Insgesamt zeigte die Variante mit dem Zusatz von Schwefelsäure sowohl den höchsten Ertrag als auch die höchsten Proteingehalte. Der Zusatz von NH<sub>3</sub>relief zur Gülle scheint keinen nachhaltigen Effekt gehabt zu haben.

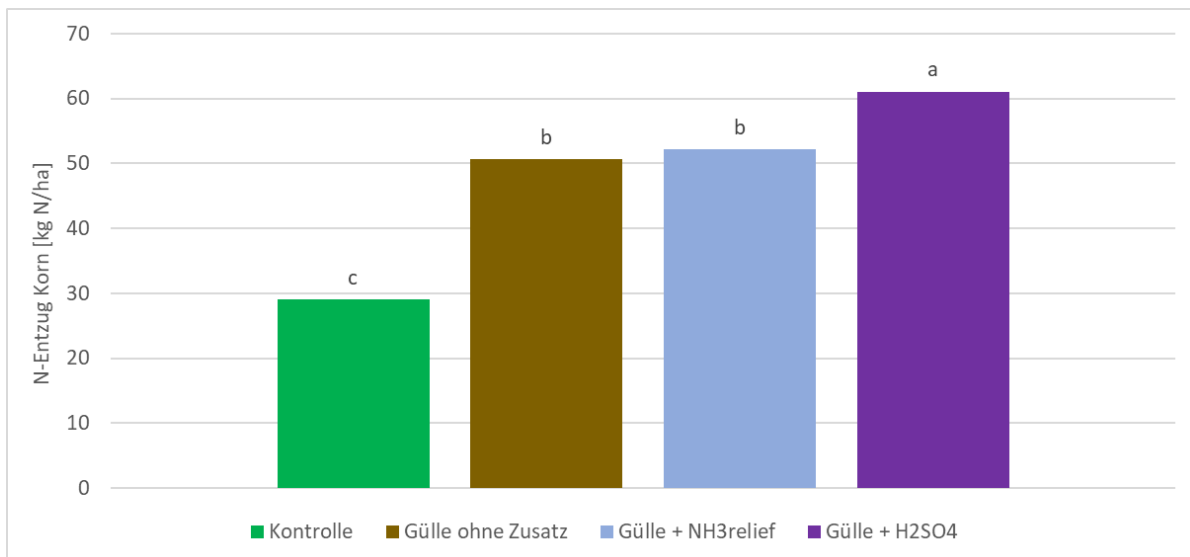


Abbildung 19 - N-Entzug berechnet aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt des Winterweizens im Feldversuch 2020. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA: p < 0,05).

### Feldversuch 2021

Beim Feldversuch 2021 wurden folgende Varianten angelegt: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Gülle ohne Zusatz, Variante 3: Gülle + Zitronensäure und Variante 4: Gülle + Schwefelsäure. In jeder Parzelle wurden drei Zwischenbeprobungen durchgeführt, bei denen sowohl Pflanzen- als auch Bodenproben entnommen wurden. Dann wurde der N-Entzug bei den Zwischenschnitten aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 20 zu sehen. Es zeigt sich, dass die Variante mit der Schwefelsäure

bei den ersten beiden Schnitten einen höheren N-Entzug hatte als die Variante mit Zitronensäure. Beim dritten Zwischenschnitt hatten beide Varianten in etwa den gleichen N-Entzug. Es zeigte sich, dass sich der Weizen der Zitronensäure-Variante zum Anfang schlechter entwickelt und im Vergleich mit der Schwefelsäure-Variante im Laufe der Vegetationszeit über den zweiten bis zum dritten Termin aufholte.

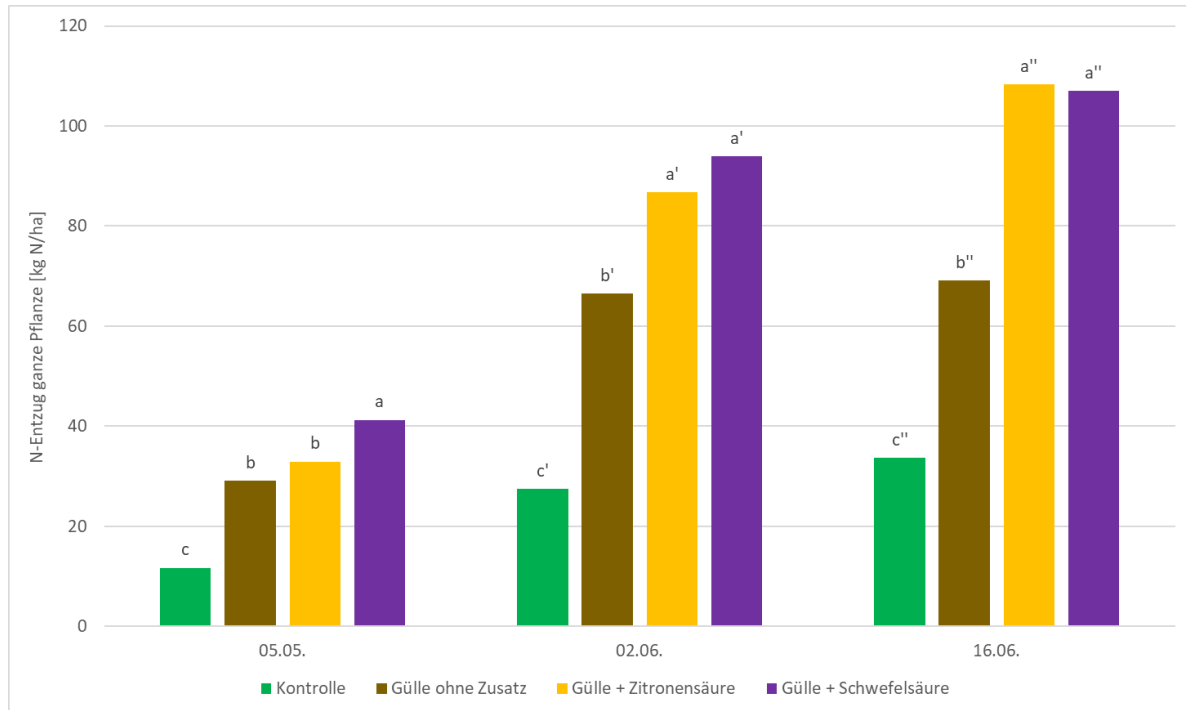


Abbildung 20 - N-Entzug berechnet aus Trockenmasse und N-Gehalt der Zwischenschnitte im Feldversuch 2021. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Die Bodenproben wurden in den Schichten 0 – 30 cm und 30 – 60 cm gezogen und an die LUFA Nord-West geschickt, wo die  $N_{\min}$ - und  $S_{\min}$ -Gehalte analysiert wurden. Die Ergebnisse der  $N_{\min}$ -Analysen sind in Abbildung 21 zu sehen. Es waren nur beim ersten Termin in der oberen Schicht von 0-30 cm nennenswerte Mengen an mineralischem Stickstoff zu finden. Beim zweiten und dritten Termin war der durch die Gülle gedüngte Stickstoff schon vollständig durch die aufgewachsene Pflanzenmasse aufgenommen. Beim ersten Termin gab es in der oberen Schicht deutliche Unterschiede in den  $N_{\min}$ -Werten zwischen den Varianten. So wiesen die mit Säure behandelten Varianten deutlich höhere Werte als die mit Gülle ohne Zusatz gedüngte Variante auf. Auch zwischen den beiden Säure-Varianten bestand ein Unterschied, da



die Variante mit Zitronensäure einen etwas höheren  $N_{\min}$ -Gehalt als die Variante mit Schwefelsäure hatte. Dies passt zu den Ergebnissen der Pflanzenproben, da hier die Schwefelsäure-Variante zu diesem Zeitpunkt signifikant mehr N aufgenommen hatte, sodass weniger N im Boden verblieb. Die Unterschiede könnten jedoch teilweise auch durch Ungenauigkeiten bei der  $N_{\min}$ -Beprobung zu erklären sein. Da die Gülle streifenförmig ausgebracht wurde, kann es bei der Probenahme dazu kommen, dass mal ein Güllestreifen beim Einstechen in den Boden getroffen wurde oder mal nicht.

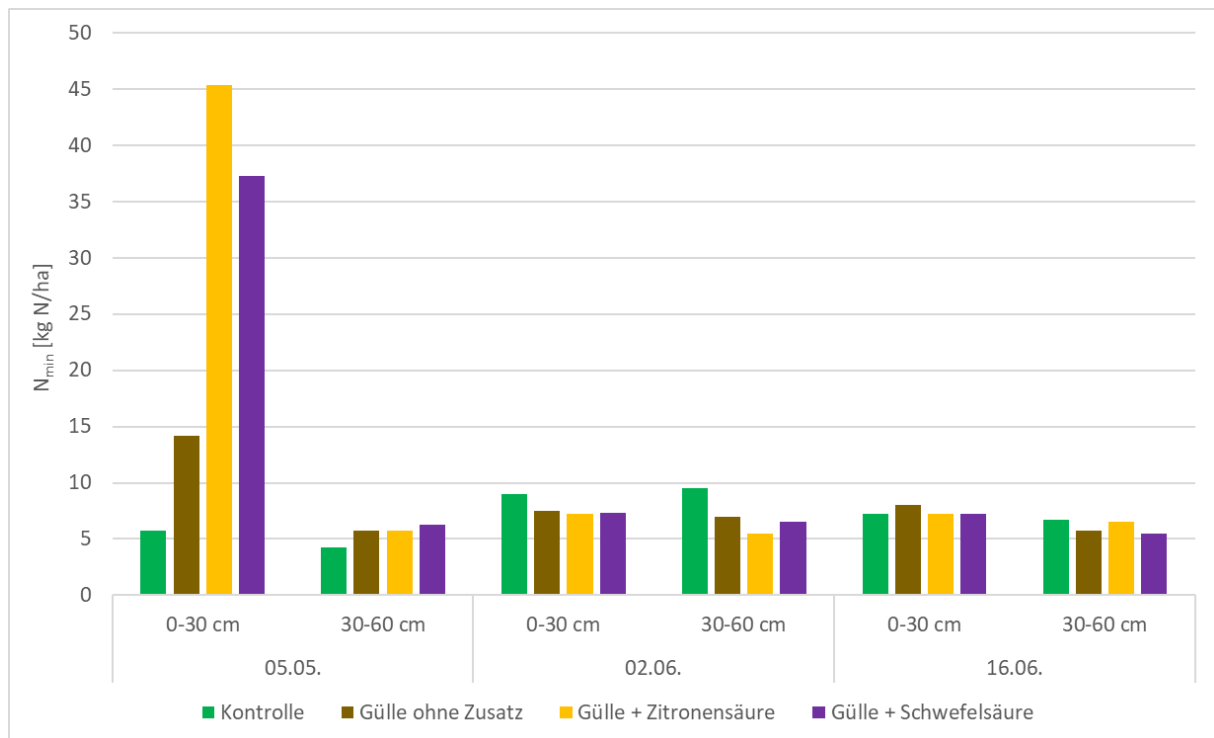


Abbildung 21 -  $N_{\min}$  in den Schichten 0-30 cm und 30-60 cm zu drei Terminen im Feldversuch 2021. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante ( $n = 4$ ).

Der N-Entzug durch die Ernte im August 2021 berechnet aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt ist in Abbildung 22 zu sehen. Hier zeigte sich das gleiche Bild wie beim dritten Zwischenschnitt dieses Feldversuchs. Die mit Säure behandelten Varianten wiesen einen signifikant höheren N-Entzug als die Variante mit Gülle ohne Zusatz auf. Beim Vergleich der beiden Varianten mit Säure hatte die Gülle mit Zitronensäure einen etwas höheren N-Entzug als die Gülle mit Schwefelsäure, wobei dieser Unterschied nicht signifikant war. Insgesamt hatte die Ansäuerung der Gülle mit Zitronensäure verglichen mit der Schwefelsäure bezogen auf den Ernteertrag weder einen Vorteil noch einen Nachteil. Im Vegetationsverlauf zeigten sich jedoch

leichte Unterschiede. So scheint die mit Zitronensäure das  $\text{NH}_4^+$  aus der Gülle länger zu binden, sodass die volle Düngewirkung der Gülle später einsetzte. Bis zur Ernte wurde dennoch der gesamte N-Vorrat aus der Gülle pflanzenverfügbar, sodass sich diese verspätete Freisetzung nicht auf den Ertrag auswirkte.

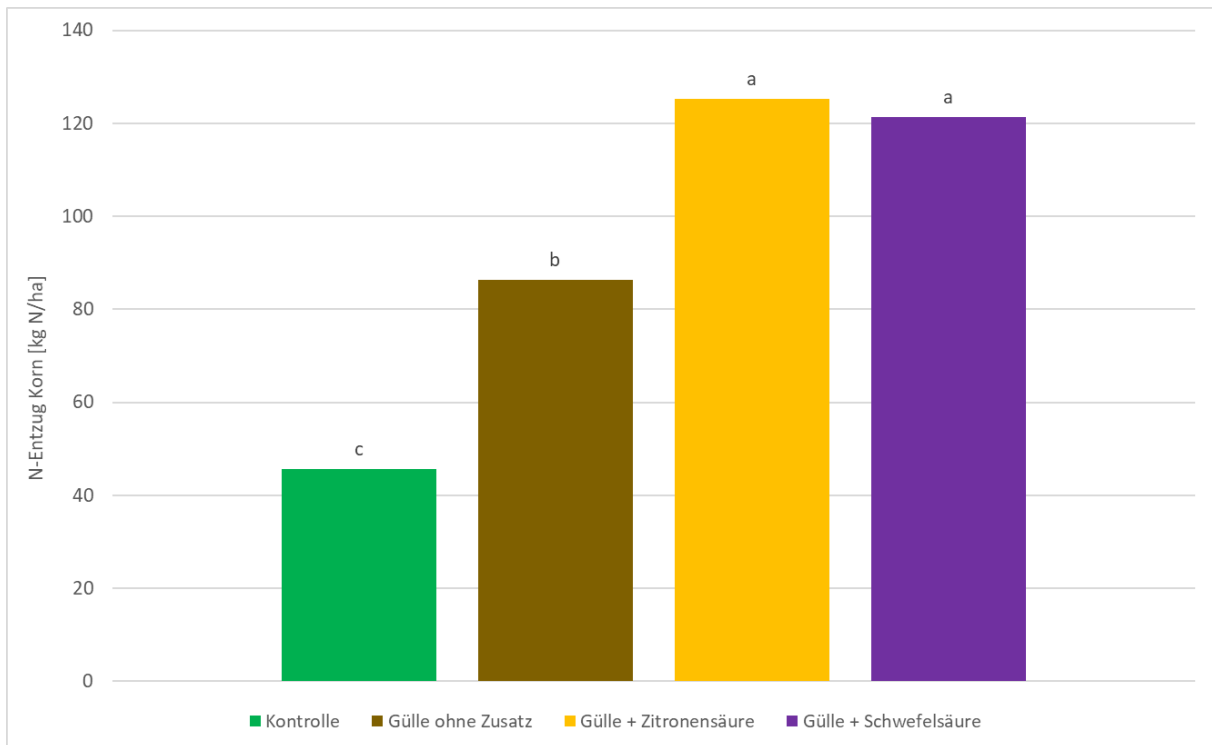


Abbildung 22 - N-Entzug berechnet aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt des Winterweizens im Feldversuch 2021. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Durch den Einsatz von Schwefelsäure bei der Gülleansäuerung werden erhebliche Mengen an Schwefel in Form von Sulfat ( $\text{SO}_4^-$ ) auf den Boden aufgebracht. Im Feldversuch 2021 betrug die zusätzliche S-Düngung durch die Schwefelsäure in der Gülle etwa 77 kg S/ha. Daher wurden alle Proben zusätzlich zum  $\text{N}_{\text{min}}$  auch auf  $\text{S}_{\text{min}}$  hin untersucht. Der S-Entzug berechnet aus Trockenmasseertrag und S-Gehalt der drei Zwischenschnitte ist in Abbildung 23 zu sehen. Bei allen drei Terminen hatten die mit Säure behandelten Varianten einen höheren S-Entzug als die Gülle ohne Zusatz. Beim ersten Termin war der Unterschied zwischen der Gülle ohne Zusatz und der Gülle mit Zitronensäure zwar nicht signifikant, dies war jedoch nicht auf den S-Gehalt der Proben, sondern auf die zu diesem frühen Zeitpunkt variablen Trockenmasseerträge zurückzuführen. Da bei der Zitronensäure-Variante, wie bei allen Varianten außer der

Schwefelsäure-Variante, etwa 20 kg S/ha gedüngt wurde, sind die höheren S-Aufnahmen nur mit einer deutlich höheren S-Düngung durch den Einsatz der Säure zu begründen. Beim Vergleich der beiden Säure-Varianten zeigt sich, dass die Schwefelsäure-Variante bei allen Terminen signifikant mehr S aufgenommen hatte als die Zitronensäure-Variante. Dies lässt sich mit den deutlich höheren S-Düngung durch den Einsatz der Schwefelsäure erklären.

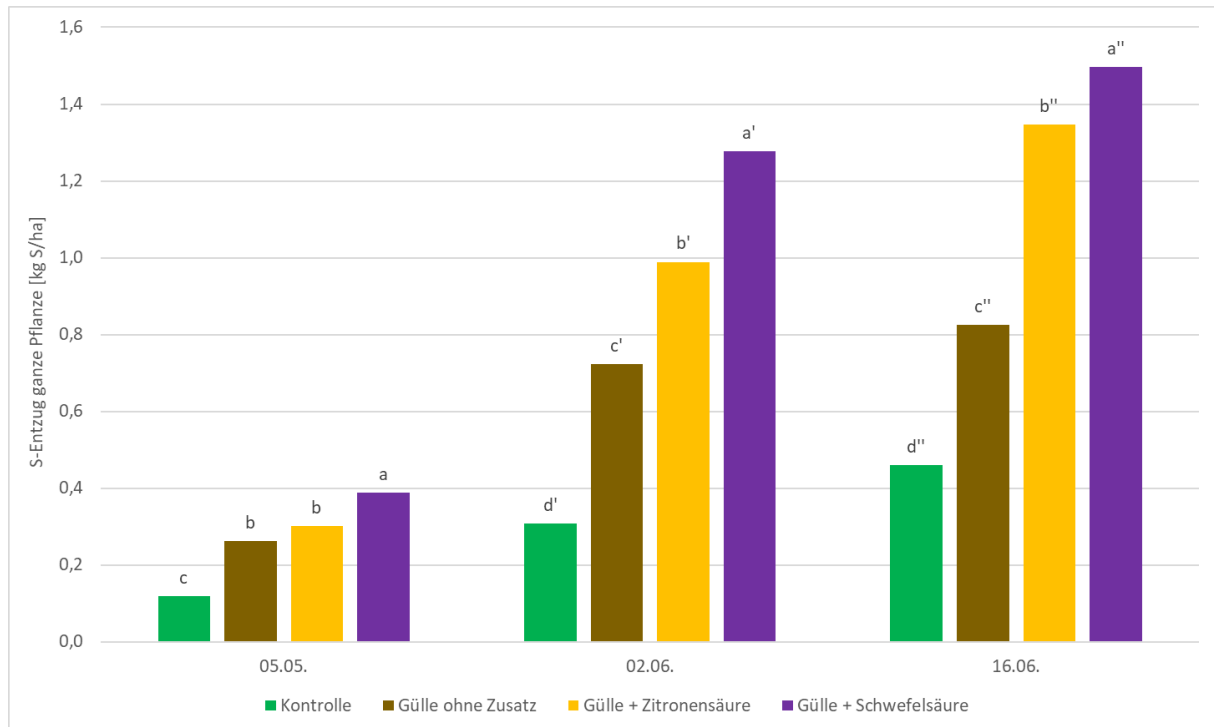


Abbildung 23 - S-Entzug berechnet aus Trockenmasse und S-Gehalt der Zwischenschnitte im Feldversuch 2021. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

So sollte auch im Boden bei der Schwefelsäure-Variante deutlich mehr S zu finden sein. Die Ergebnisse der  $S_{\min}$ -Analysen bei den drei Zwischenschnitten sowie zwei Beprobungen im Herbst nach der Ernte sind in Abbildung 24 zu sehen. Es zeigte sich, dass die Schwefelsäure-Variante bei allen Terminen insgesamt deutlich höhere  $S_{\min}$ -Gehalte aufwies als die anderen Varianten, die eine zusätzliche S-Düngung erhielten. Der Unterschied beträgt etwa 50 kg S/ha. Dies entspricht in etwa dem Unterschied zwischen der S-Düngung durch die Schwefelsäure und der S-Ausgleichsdüngung der anderen Varianten. Bei den ersten drei Beprobungen, die während der Wachstumsphase des Winterweizens stattfanden, war der S noch in der oberen Schicht bei 0 – 30 cm. Nach der Ernte wurde der S dann im Laufe der Zeit über die mittlere

Schicht bei 30 – 60 cm bis zur unteren Schicht bei 60 – 90 cm verlagert. Es ist zu erwarten, dass der Großteil des S in der unteren Bodenschicht dann im Laufe des Herbstes/Winters weiter nach unten ausgewaschen wird und nicht mehr pflanzenverfügbar ist. Die  $S_{\min}$ -Gehalte der übrigen Varianten lagen bei allen Terminen im gleichen Wertebereich.

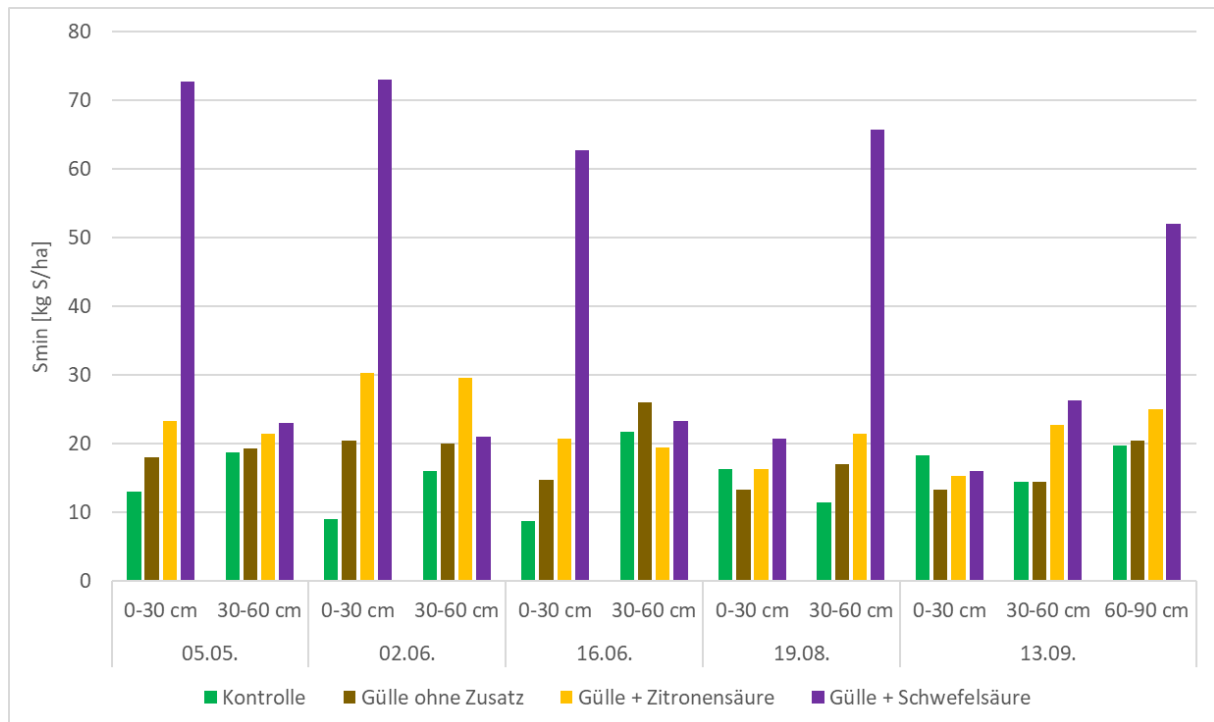


Abbildung 24 -  $S_{\min}$  in den Schichten 0-30 cm und 30-60 cm zu fünf Terminen im Feldversuch 2021, sowie beim letzten Termin zusätzlich in der Schicht 60-90 cm. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante ( $n = 4$ ).

Der S-Entzug durch die Ernte im August 2021 berechnet aus Trockenmasseertrag und S-Gehalt ist in Abbildung 25 zu sehen. Die beiden Varianten mit Säure hatten einen signifikant höheren S-Entzug als die Kontrolle und die Gülle ohne Zusatz, wobei sich diese Unterschiede nahezu komplett durch die höheren Erträge und nicht durch unterschiedliche S-Gehalte erklären lassen. Die beiden Säure-Varianten unterschieden sich nicht, sodass gefolgert werden kann, dass die deutlich höhere S-Düngung durch die Säure sich nicht auf den Ertrag oder die S-Aufnahme des Weizens ausgewirkt hat.

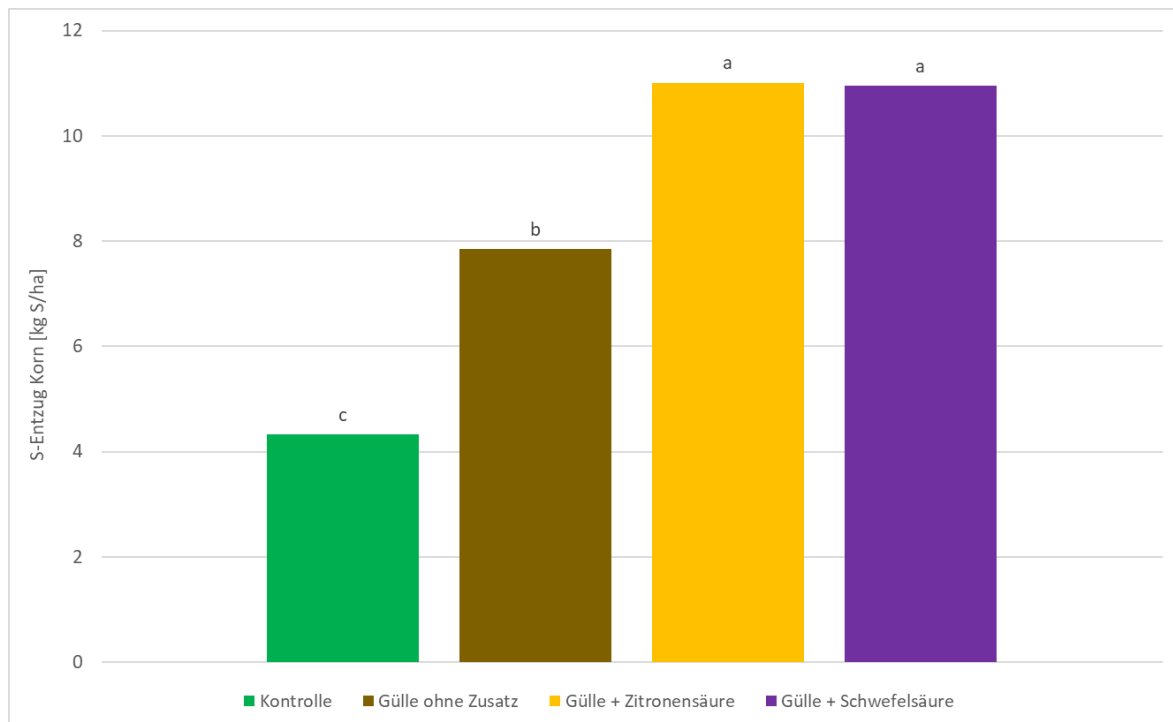


Abbildung 25 – S-Entzug berechnet aus Trockenmasseertrag und S-Gehalt des Winterweizens im Feldversuch 2021. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

### Feldversuch 2022

Beim Feldversuch 2022 wurden folgende Varianten angelegt: Variante 1: Kontrolle ohne Düngung, Variante 2: Mineralische Düngung. Variante 3: Gülle ohne Zusatz, Variante 4: Gülle + Zitronensäure und Variante 5: Gülle + Schwefelsäure. Die Methodik war analog zum Feldversuch 2021, wobei im Jahr 2022 zwischen dem 02.04. und dem 02.07. wöchentlich N-Tester-Messungen durchgeführt wurden. Da die ersten beiden Messungen zeitlich zu nah an der Gülleapplikation war und die Düngewirkung der Gülle noch nicht eingesetzt hatte, wurden diese beiden Termine nicht bei der Auswertung berücksichtigt. Bei der letzten Messung war der Weizen schon in der Abreife, sodass auch dieser Termin keine Berücksichtigung fand. Die Ergebnisse der N-Tester-Messungen vom 3. bis 13. Termin sind in Abbildung 26 zu sehen. Die mineralisch gedüngte Variante wies insgesamt signifikant höhere N-Tester-Werte als alle anderen Varianten auf. Beim Vergleich der mit Gülle gedüngten Varianten zeigte die Schwefelsäure-Variante signifikant höhere Werte auf als die beiden anderen Gülle-Varianten.

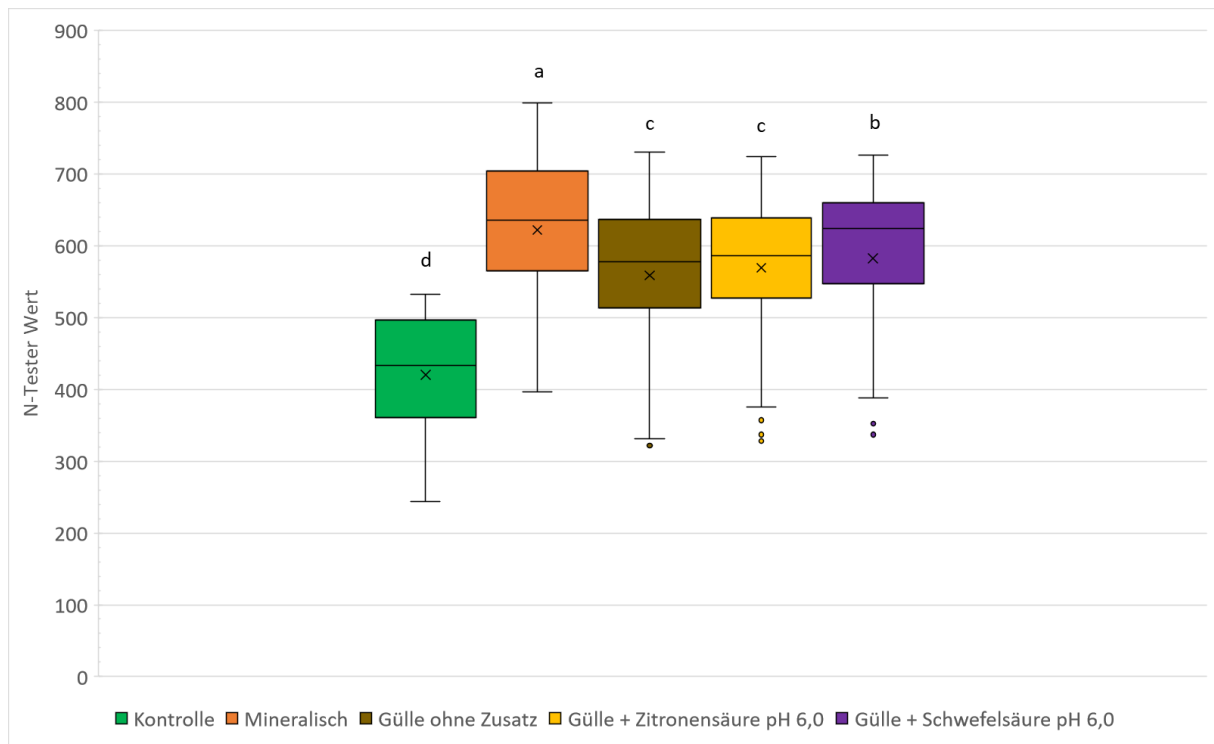


Abbildung 26 – N-Tester-Werte im Mittel der elf Termine vom 15.04. bis 25.06.2022 und der vier Wiederholungen. Dargestellt ist jeweils pro Variante der Mittelwert als Kreuz (x), das Minimum (unterer Strich), das Maximum (oberer Strich), der Median (Strich in der Box), erstes Quartil (unteres Ende der Box) und drittes Quartil (oberes Ende der Box). Punkte außerhalb von Minimum und Maximum stellen Ausreißer da. Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Der N-Entzug bei den Zwischenschnitten berechnet aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt ist in Abbildung 27 zu sehen. Die mineralisch gedüngte Variante wies bei allen drei Zwischenschnitten die höchsten N-Entzüge auf, beim ersten und dritten Termin waren diese Unterschiede signifikant. Bei den Güllevarianten zeigte sich bei allen drei Zwischenschnitten eine steigende Tendenz von der Gülle ohne Zusatz über die Gülle mit Zitronensäure bis zur Gülle mit Schwefelsäure, wobei die Unterschiede nicht signifikant sind.

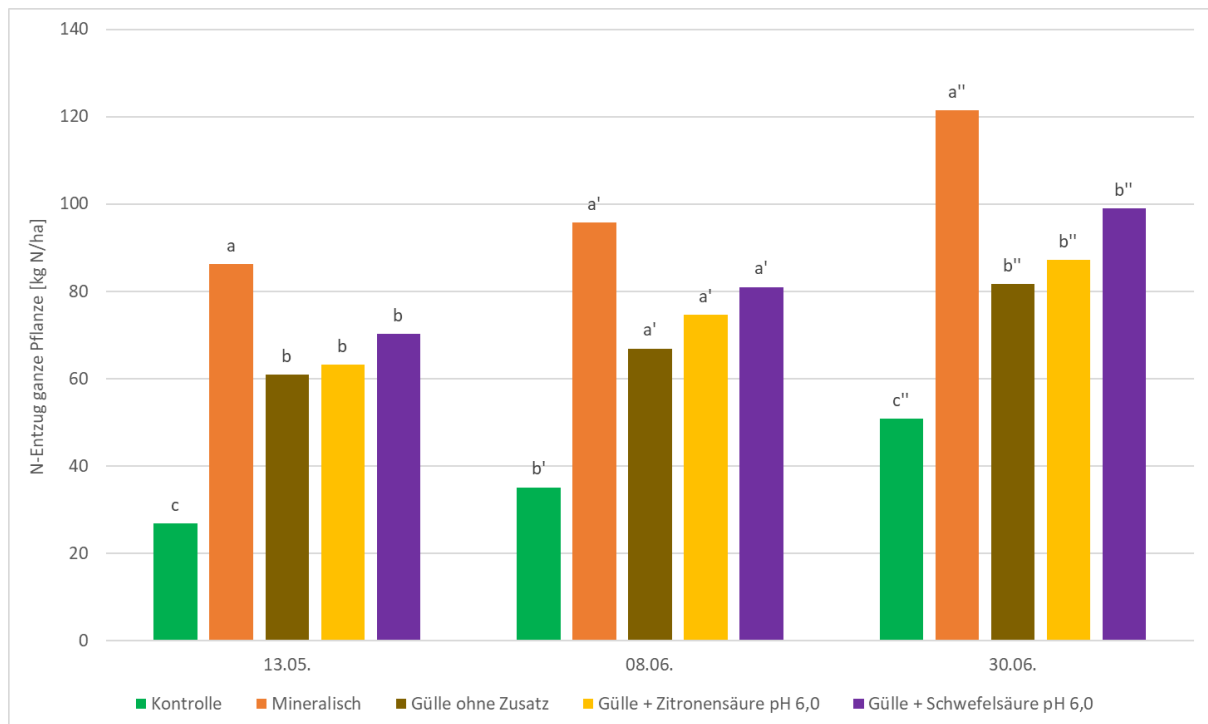


Abbildung 27 - N-Entzug berechnet aus Trockenmasse und N-Gehalt der Zwischenschnitte im Feldversuch 2022. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Die Bodenproben wurden im Jahr 2022 in den Schichten 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm gezogen und an die LUFA Nord-West geschickt, wo die  $N_{\min}$ - und  $S_{\min}$ -Gehalte analysiert worden sind. Die Ergebnisse der  $N_{\min}$ -Analysen sind in Abbildung 28 zu sehen. Bei der Betrachtung zeigt sich, dass sich die Werte der gedüngten Varianten nur beim ersten Termin am 25.04. deutlich von den Werten der Kontrolle unterscheiden. Beim zweiten, dritten und vierten Termin waren die Varianten alle auf einem gleichen, relativ niedrigen Wertenniveau. Das bedeutet, dass die Weizenpflanzen ab dem zweiten Bodenprobenahmetermin schon den direkt pflanzenverfügbaren N (in Form von  $NO_3^-/NH_4^+$ ) aus der Gülle aufgenommen hatten. Beim ersten Termin unterschieden sich wiederum die gedüngten Varianten kaum. In der obersten Schicht hatte die mineralisch gedüngte Variante einen etwas niedrigeren Wert, was darauf hinweist, dass das mineralisch gedüngte N schneller von den Pflanzen aufgenommen werden konnte. Zwischen den mit Gülle gedüngten Varianten war kein deutlicher Unterschied zu erkennen.

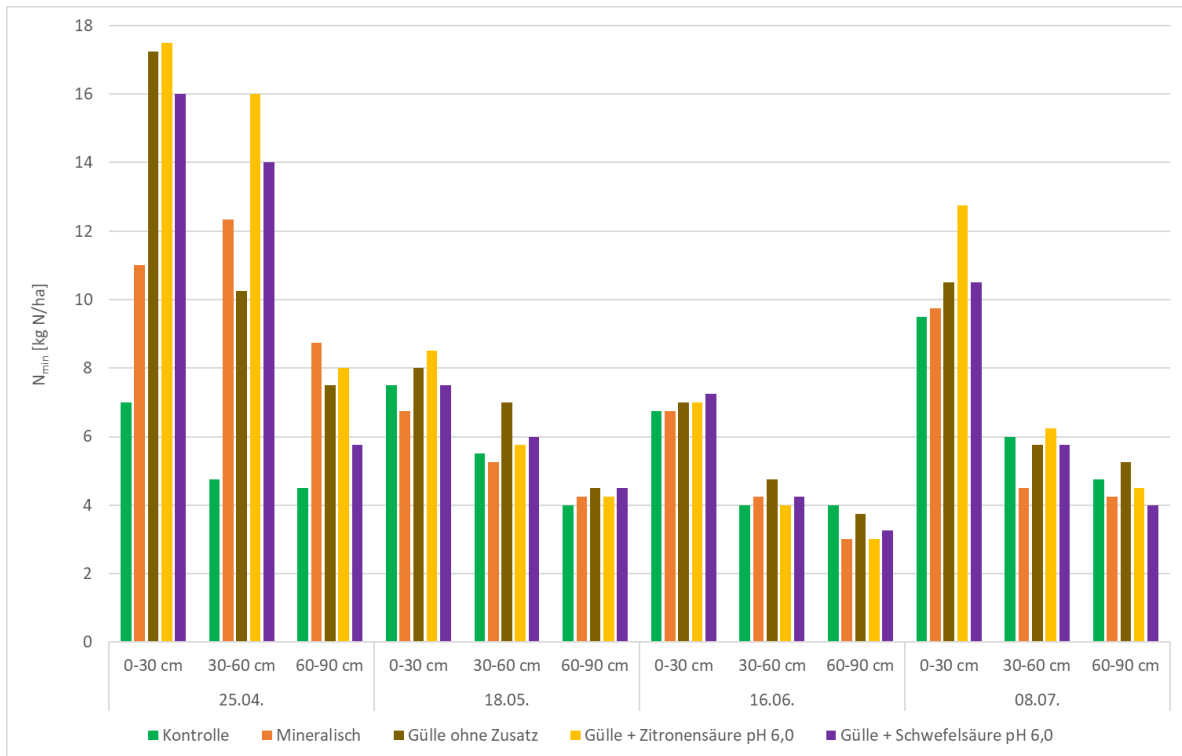


Abbildung 28 - N<sub>min</sub> in den Schichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm zu vier Terminen im Feldversuch 2021. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4).

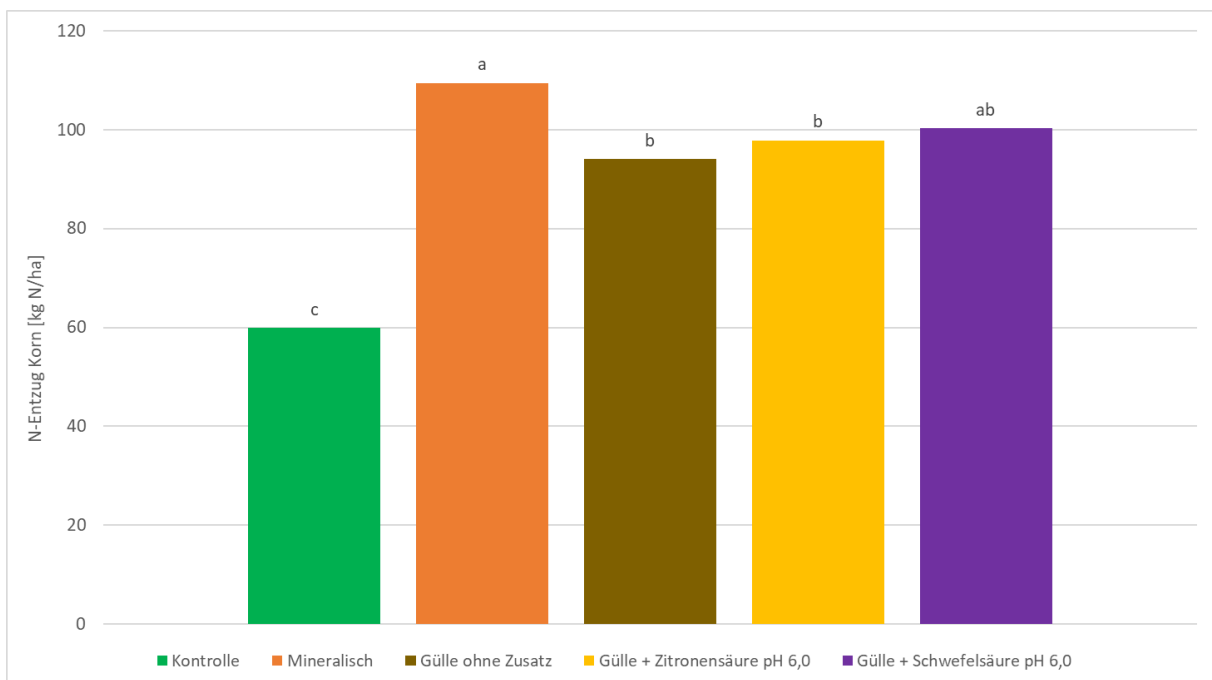


Abbildung 29 - N-Entzug berechnet aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt des Winterweizens im Feldversuch 2022. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).



Der N-Entzug durch die Ernte Ende Juli 2022 berechnet aus Trockenmasseertrag und N-Gehalt ist in Abbildung 29 zu sehen. Die Werte der drei Gülle-Varianten unterscheiden sich nicht signifikant. Die mineralisch gedüngte Variante wies jedoch einen signifikant höheren N-Entzug auf als die Variante Gülle ohne Zusatz und die Variante Gülle + Zitronensäure. Beim Vergleich der beiden angesäuerten Varianten zeigt sich, dass die Gülle mit Schwefelsäure einen etwas höheren N-Entzug aufwies, dieser ist jedoch nicht signifikant. So ergibt sich hier das gleiche Bild wie bei den Zwischenschnitten. Die Ansäuerung der Gülle hatte keinen nachhaltigen Effekt auf die N-Düngebilanz.

Der S-Entzug bei den Zwischenschnitten berechnet aus Trockenmasseertrag und S-Gehalt ist in Abbildung 30 zu sehen. Hier zeigte sich das gleiche Bild wie bei den N-Entzügen der Zwischenschnitte. Die mineralisch gedüngte Variante wies bei allen drei Zwischenschnitten die höchsten S-Entzüge auf, beim ersten und dritten Termin waren diese Unterschiede signifikant. Bei den Güllevarianten zeigte sich bei allen drei Zwischenschnitten eine steigende Tendenz von der Gülle ohne Zusatz über die Gülle mit Zitronensäure bis zur Gülle mit Schwefelsäure, wobei die Unterschiede nicht signifikant waren.

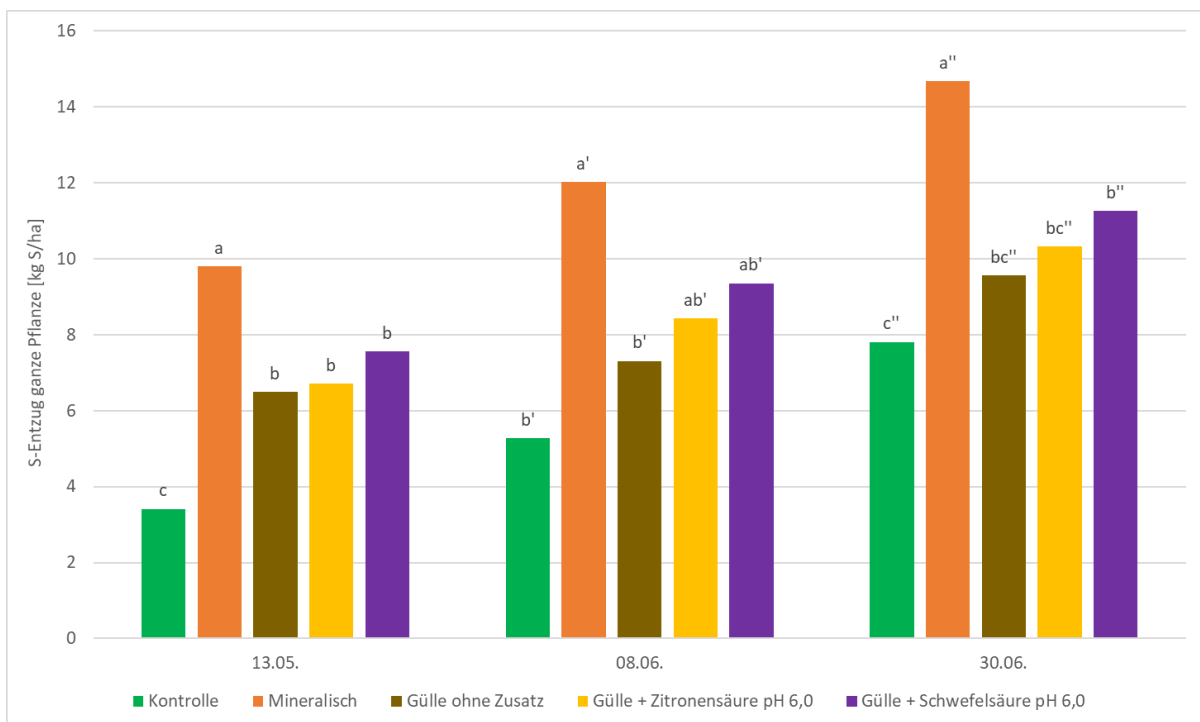


Abbildung 30 - S-Entzug berechnet aus Trockenmasse und S-Gehalt der Zwischenschnitte im Feldversuch 2022. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Die Ergebnisse der  $S_{\min}$ -Analysen sind in Abbildung 31 zu sehen. Die Werte weisen nur geringfügige Unterschiede auf. Beim Vergleich der Varianten mit Zitronensäure und Schwefelsäure zeigte sich, dass die Schwefelsäure-Variante bei allen Terminen höhere  $S_{\min}$ -Gehalte in der oberen Bodenschicht (0 – 30 cm) aufwies. Die Unterschiede lagen im Bereich von 5 – 10 kg S/ha. Dieser Unterschied kann dadurch begründet werden, dass bei der Schwefelsäure-Variante (40 kg S/ha) über den Einsatz der Schwefelsäure etwa 10 kg S/ha mehr gedüngt wurde als bei allen anderen Varianten (30 kg S/ha). Weiterhin fällt auf, dass die Kontrolle und die mineralisch gedüngte Variante beim zweiten Termin in der oberen Bodenschicht (0 – 30 cm) im Vergleich mit den beiden Gülle-Varianten ohne Schwefelsäure erhöhte  $S_{\min}$ -Werte zeigten. Die Werte lagen im Bereich der Schwefelsäure-Variante, die über die Schwefelsäure deutlich mehr S bekommen hatte. Da bei allen Varianten ohne Schwefelsäure die gleiche S-Düngung appliziert wurde, sind diese Unterschiede nicht direkt erklärbar, traten jedoch nur beim zweiten Termin auf. Beim dritten Termin waren die  $S_{\min}$ -Werte aller Varianten ohne Schwefelsäure wieder im etwa gleichen Bereich.

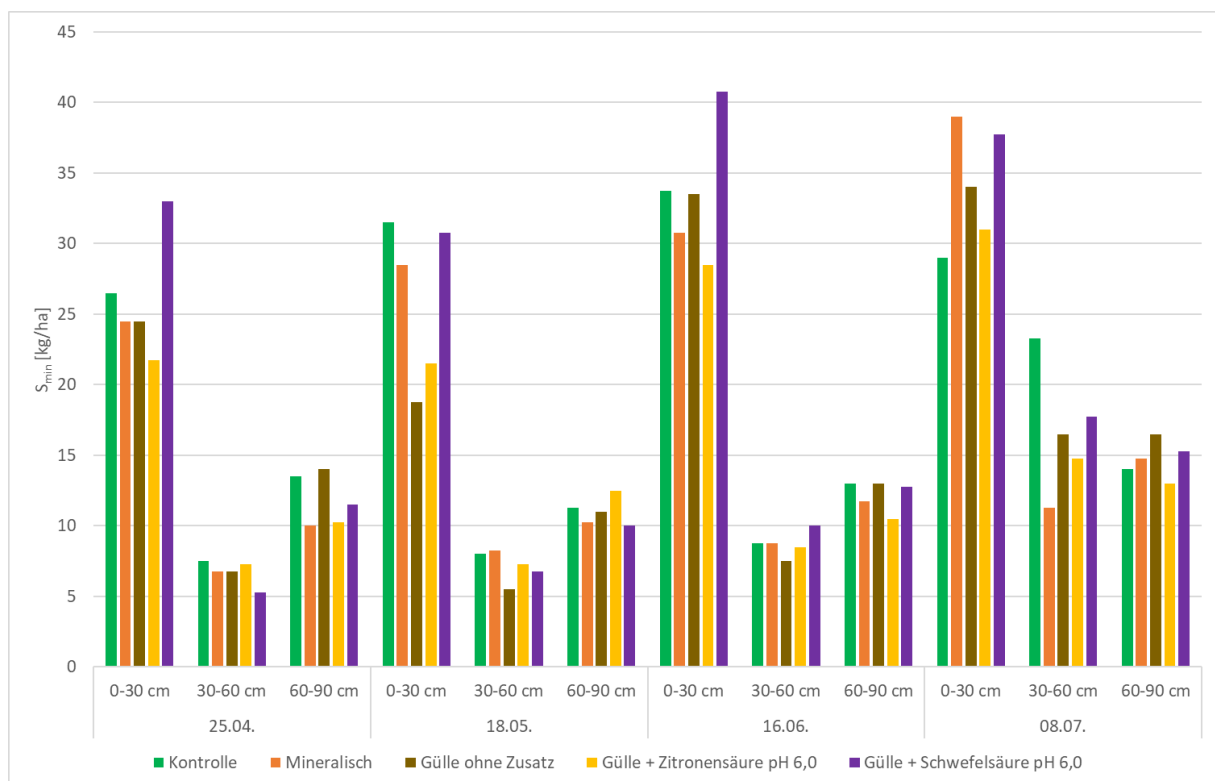


Abbildung 31 -  $S_{\min}$  in den Schichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm zu vier Terminen im Feldversuch 2021. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4).

Der S-Entzug durch die Ernte Ende Juli 2022 berechnet aus Trockenmasseertrag und S-Gehalt ist in Abbildung 32 zu sehen. Hier zeigt sich das gleiche Bild wie beim N-Entzug und bei

den Zwischenschnitten. Bei den Güllevarianten zeigte sich bei allen drei Zwischenschnitten eine steigende Tendenz von der Gülle ohne Zusatz über die Gülle mit Zitronensäure bis zur Gülle mit Schwefelsäure, wobei die Unterschiede nicht signifikant waren. Die mineralisch gedüngte Variante wies den höchsten S-Entzug auf.

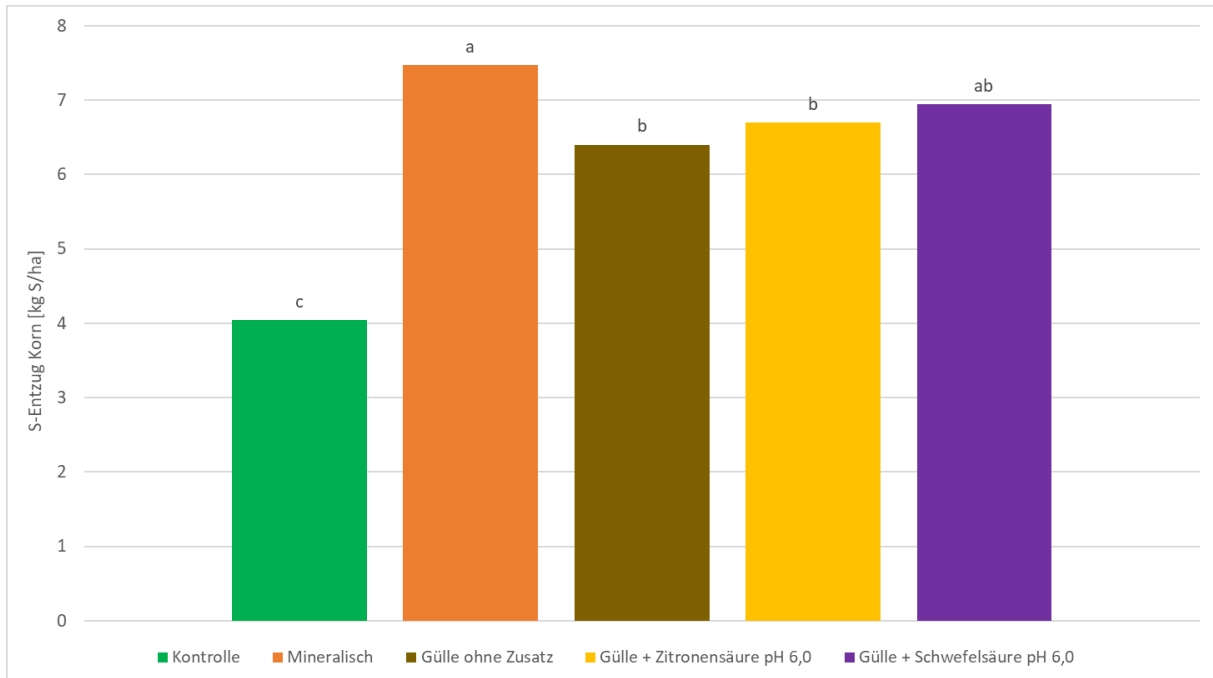


Abbildung 32 - S-Entzug berechnet aus Trockenmasseertrag und S-Gehalt des Winterweizens im Feldversuch 2022. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert der Wiederholungen pro Variante (n = 4). Die Buchstaben zeigen die Signifikanz der Varianten, wobei sich Varianten mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant unterscheiden (ANOVA:  $p < 0,05$ ).

Die Feldversuche aus den Jahren 2019 und 2020 haben gezeigt, dass der Einsatz des Produkts NH<sub>3</sub>relief keine Wirkung auf die Düngeneffizienz von Gülle hat. Im Vergleich mit Schwefelsäure angesäuerter Gülle wurde für die mit NH<sub>3</sub>relief behandelte Gülle eine schlechtere Düngewirkung nachgewiesen.

Beim Feldversuch 2021 konnte gezeigt werden, dass die N-Düngewirkung der mit Zitronensäure behandelten Gülle erst später einsetzte als bei der mit Schwefelsäure behandelten Gülle. Dies stützt die Hypothese, dass das in der Gülle enthaltene NH<sub>4</sub><sup>+</sup> von der Zitronensäure gebunden wird und erst pflanzenverfügbar wird, wenn die Zitronensäure im Boden abgebaut wurde. Diese Umsetzung der Zitronensäure (eine Carbonsäure mit drei Carboxygruppen) im Bodendürfte insgesamt relativ unkompliziert ablaufen, da sich am Ende der Wachstumsphase des Winterweizens bei der Ernte kein Unterschied zwischen mit Zitronensäure und Schwefelsäure behandelter Gülle ergab. Die durch die Ansäuerung mit Schwefelsäure bedingten hohen

S-Frachten konnten jedoch nicht von den Pflanzen genutzt werden und wurden im weiteren Jahresverlauf immer weiter nach unten verlagert, sodass davon auszugehen ist, dass dieser S schlussendlich in das Grundwasser gelangt.

Beim Feldversuch 2022 ließen sich die Ergebnisse aus dem Jahr 2021 nicht wiederholen. Hier zeigte sich sowohl bei den N- als auch bei den S-Entzügen, dass die Schwefelsäure-Variante bei allen Zwischenschnitt-Terminen etwas höhere Werte als die Zitronensäure-Variante aufwies. Diese Unterschiede waren jedoch alle nicht signifikant. Auch bei der Ernte gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden angesäuerten Güllen. Dies liegt wohl daran, dass die im Feldversuch eingesetzte Gülle einen niedrigen pH-Wert hatte und nicht viel Säure benötigt wurde, um den Ziel-pH-Wert von 6,0 zu erreichen. Dagegen konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass auch eine angesäuerte Gülle eine deutlich schlechtere Düngewirkung erzielt als eine rein mineralische Düngung.

#### **2.4.2 Abweichungen zwischen Planung und Ergebnis**

Zu Beginn des Projektes wurde zur Ammoniakreduzierung das Produkt NH<sub>3</sub>relief eingesetzt. Dazu wurden im ersten Projektjahr verschiedene Versuchsreihen zur Ermittlung eines praxistauglichen Einsatzes durchgeführt. Da schon zu Projektbeginn Ammoniakminderungsraten von über 90 % erreicht wurden, wurden die ursprünglich geplanten zehn Versuchsreihen mit unterschiedlichen Aufwandmengen nicht mehr durchgeführt.

Während des ersten Durchgangs mit dem Produkt NH<sub>3</sub>relief hatte sich allerdings gezeigt, dass sich durch dieses Produkt erhebliche Ablagerungen im Stallinneren gebildet hatten. Außerdem verstopften die Düsen der Sprüheinrichtung, die Verfügbarkeit konnte vom Hersteller nicht sichergestellt werden und es wies ein schlechtes Kosten-/Wirkungsverhältnis auf. Als Ersatz wurde ein Produkt basierend auf Zitronensäure ausgewählt. Dies zeigt gleichwertige Wirkungen im Stall, die Ablagerungen wurden deutlich reduziert und auch die Produktkosten konnten gesenkt werden.

Zur Auswertung der Daten ist es unabdinglich, dass die Schlachtdaten den jeweiligen Gruppen zugeordnet werden können. Da jedoch die Tiere aus dem ersten Mastdurchgang, entgegen klaren Absprachen, nicht getrennt verarbeitet wurden, konnte für diesen Durchgang keine Auswertung stattfinden.

Da die Arbeiten in TP2 ursprünglich auf die Arbeiten im TP1 aufbauen sollten, wurde verspätet mit den geplanten Arbeiten in diesem Teilprojekt begonnen. Laut Projektplan sollten die Inkubationsversuche im Rahmen von TP2 im April 2019 starten. Diese Versuche wurden zunächst

verschoben und fanden schließlich im Frühjahr 2021 statt. Stattdessen wurden zusätzlich Inkubationsversuche zur Wirksamkeit von Zitronensäure in Bezug auf die Minderung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen durchgeführt, die ursprünglich nicht im Projektplan vorgesehen waren.

In TP3 sollte der Parzellenversuch laut Projektplan im Februar 2019 angelegt werden und der Sorbent sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Düngergabe im Winterweizen erprobt werden. Aufgrund des verzögerten Projektbeginns (u.a. bedingt durch den Zeitbedarf bei der Beschaffung der Materialien für den Stallumbau) wurde der Versuch jedoch erst im April angelegt und der Sorbent somit nur bei der zweiten Düngergabe erprobt. Somit fiel der durch Zugabe des Sorbenten erwartete Effekt auf die Ernteergebnisse wahrscheinlich geringer aus. Abweichend von der Planung wurden daher zusätzlich etwaige Effekte durch die Zugabe des Sorbenten außerplanmäßig in der im Herbst angebauten Zwischenfrucht erfasst. Die Feldversuche 2020 konnten wie geplant stattfinden, jedoch wegen der Corona-Pandemie unter erschwerten Bedingungen und somit mit höherem Aufwand. Die Untersuchung der Proben im HsOs-Labor verzögerte sich allerdings wegen der durch die Corona-Pandemie bedingt strikteren Hygienevorschriften. Letztendlich konnten die  $\text{NH}_3$ -Emissionen der Feldversuche 2020 aufgrund von Unzulänglichkeiten in der angewandten Methodik nicht wissenschaftlich fundiert ausgewertet werden. Im Jahr 2021 wurde daher die  $\text{NH}_3$ -Messung im Feldversuch nicht erneut durchgeführt, sondern die Beurteilung der  $\text{NH}_3$ -Verluste erfolgten indirekt über die Erfassung der N-Aufnahme der Pflanzen und der Veränderungen des  $\text{N}_{\text{min}}$ -Pools im Boden.

In TP4 wurden abweichend vom Projektplan aufgrund der Corona-Beschränkungen in den Jahren 2019-2021 keine Felddemonstrationen durchgeführt. Als Ersatz wurden Videos zur Veranschaulichung des Feldversuchs erstellt und auf die Projekthomepage veröffentlicht.

### **2.4.3 Projektverlauf**

Im Projekt wurde ein Schweinemaststall komplett umgebaut und die Applikations- und Messtechnik installiert. Die Applikation des Sorbenten war nach entsprechenden technischen Anpassungen funktionssicher möglich und die  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen in der Stallluft wurden kontinuierlich erfasst. Es wurde ein vollfunktionsfähiges Applikationssystem etabliert, welches kontinuierlich über einen längeren Zeitraum erprobt wurde. Aufgrund von Problemen mit dem ursprünglich vorgesehenen Produkt  $\text{NH}_3$ relief wurde auf Zitronensäure als Basis für den Sorbenten umgestellt und mehrere komplette Durchläufe mit diesem Produkt durchgeführt. Nach Ausstallung der jeweiligen Durchgänge wurden die Leistungsdaten und Gülleuntersuchungen

jeweils durchgangsbezogen ausgewertet. Nach Beendigung des siebten Durchgangs erfolgte die gesamte ökonomische Betrachtung des Projekts.

Es wurde ein Versuchsdesign für Inkubationsversuche entworfen und umgesetzt, um klare Dosis-Wirkungsbeziehungen für den Einsatz des Produktes auf Basis von Zitronensäure ableiten zu können und um die Emissionsreduktion von Zitronensäure mit der von Schwefelsäure zu untersuchen.

Außerdem wurde je ein Gefäßversuch zur Erfassung der N-Verfügbarkeit aus mit Zitronen- bzw. Schwefelsäure behandelte Gülle mit Sommerweizen und mit Weidelgras durchgeführt. Weiterhin wurde ein Parzellenversuch durchgeführt und dabei die Wirkung des Sorbenten bei der Zugabe zu Gülle sowie der anschließenden Ausbringung auf dem Acker erprobt. Der Feldversuch zur Hauptfrucht Winterweizen ist für das Jahr 2019 abgeschlossen. Ein weiterer Parzellenversuch mit zwei Düngergaben wurde 2020 durchgeführt, um die Wirkung des Sorbenten mit alternativen Minderungsstrategien zu vergleichen. Die wissenschaftlich fundierte Auswertung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen konnte nicht durchgeführt werden, sodass diese Methodik für den folgenden Feldversuch nicht weiter eingesetzt wurde. Im Jahr 2021 wurde ein weiterer Feldversuch mit veränderter Methodik angelegt und beprobt. Dieser Versuch wurde im Jahr 2022 mit gleicher Methodik wiederholt.

#### **2.4.4 Beitrag zu förderpolitischen EIP-Themen**

Im Rahmen von EIP-Agri werden Projekte gefördert, die die landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit verbessern sollen. Die Initiative für das Projekt geht auf die Detlef und Marvin Kreye GbR als ein Unternehmen der Urproduktion als Mitglied der OG zurück und es hat eine hohe Praxisrelevanz. Das Projekt AmmonMind betrachtete Möglichkeit zur Ammoniakreduzierung in der gesamten Wertschöpfungskette „Schweinemast“.  $\text{NH}_3$  hat sowohl negative Auswirkungen auf die Umwelt als auch auf die menschliche und tierische Gesundheit und die Landwirtschaft gilt als Hauptverursacher. Durch die enge Zusammenarbeit der unterschiedlichen und vor allem praktisch orientierten OG-Mitglieder wurde untersucht, wie die Problematik in der Praxis, und zwar im Stall und auf dem Acker, verbessert werden kann. Somit entsprach das Projekt dem Kerngedanken von EIP-Agri und leistet einen wesentlichen Beitrag zum Umweltschutz. Dabei verknüpfte das Projekt in besonderer Weise die wirtschaftlichen Entwicklungschancen von Unternehmen der Urproduktion mit gesellschaftlichen Herausforderungen an die ökologische Nachhaltigkeit des Sektors.

## 2.4.5 Nebenergebnisse

### Teilprojekt 1

Aufgrund gesetzlicher Vorgaben ergeben sich neben der  $\text{NH}_3$ -Reduzierung für bestimmte Betriebe auch zukünftig Einschränkungen hinsichtlich von Geruchbelästigungen, die von der Tierhaltung ausgehen. Daher wurden in den letzten beiden Mastdurchgängen Geruchsproben genommen, die den Einfluss des Einsatzes des Sorbenten auf Basis von Zitronensäure auf Geruchsparameter darstellen sollten. Dafür wurde die LUFA Nord-West beauftragt, orientierende Geruchsmessungen an den Abluftführungen beider Abteile des Maststalls durchzuführen.

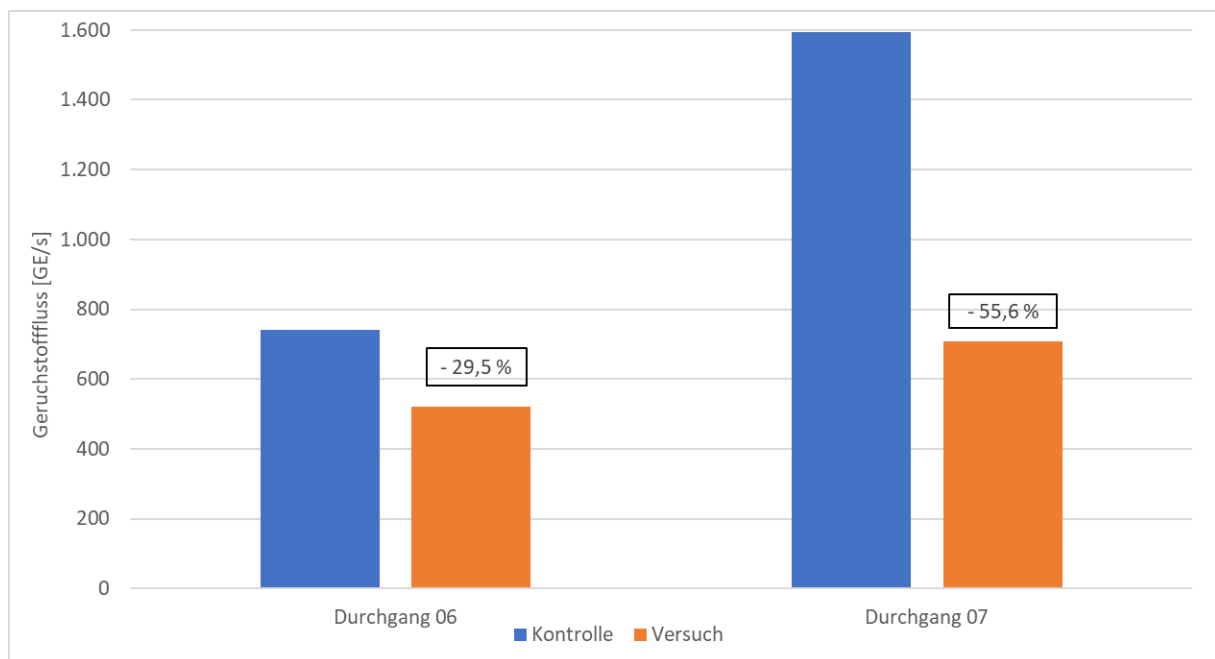


Abbildung 33 - Vergleich der Geruchsemissionen nach Messungen der LUFA Nord-West

Die Geruchsstoffmengen wurden in der Einheit  $\text{GE}/\text{m}^3$  an den Abluftkanälen gemessen und über den Luftvolumenstrom in einen Geruchstofffluss mit der Einheit  $\text{GE}/\text{s}$  umgerechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 zu sehen. Die Geruchsminderung zwischen Versuchs- (orangefarbene Säule) und Kontrollabteil (blaue Säule) lag im sechsten Durchgang bei 29,5 % und bei 55,6 % im siebten Durchgang. Die sich stark unterscheidenden Werte zwischen beiden Durchgängen lassen sich mit einer weiter verbesserten Effizienz des Produkts erklären. Eine Tendenz hin zu geringeren Geruchsbelastung durch den Einsatz des Produkts auf Basis von Zitronensäure ist klar erkennbar. Die Verbesserung der Geruchsbelastung lässt sich bisher nicht monetär bewerten.

#### **2.4.6 Arbeiten, die zu keinem Ergebnis geführt haben**

Die erste Versuchsserie der Inkubationsversuche im Rahmen von TP2 ergab keine validen Ergebnisse, da der Versuchsaufbau (obwohl in der wissenschaftlichen Literatur mehrfach beschrieben) für die vorliegende Fragestellung mit Bezug zur Gülleausbringung nicht umsetzbar war. Deswegen wurde eine neue Methodik mit deutlich größeren Inkubationsgefäßen entwickelt, sodass ein besserer Flächenbezug hergestellt werden konnte.

Bei der Datenauswertung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus den Feldversuchen 2019 und 2020 wurde festgestellt, dass sich die Daten durch die eingesetzte Methodik nicht sinnvoll auswerten ließen. Durch den hohen Aufwand bei der Gülleapplikation in den Parzellen entsteht eine große zeitliche Differenz zwischen den Applikationszeitpunkten der verschiedenen Güllevarianten. Diese zeitliche Differenz und die unterschiedlichen Umweltbedingungen zu den jeweiligen Applikationszeitpunkten (Luft-/Bodentemperatur, Luftschichtung, Windgeschwindigkeit etc.) konnten im Nachhinein nicht mehr korrigiert werden. So lässt sich nicht genau bestimmen, ob Unterschiede zwischen den  $\text{NH}_3$ -Emissionen der verschiedenen Varianten auf die unterschiedlichen Güllevarianten oder Applikationszeitpunkte zurückzuführen sind. Daher konnte hierzu kein valides Ergebnis präsentiert werden. Die Effekte des Einsatzes von Gülle aus dem Versuchsabteil des Stallversuchs und das Aufsprühen des Produkts  $\text{NH}_3$ relief auf die Gülle konnten infolgedessen beim Feldversuch 2020 nicht ausgewertet werden.

#### **2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern**

Die im Rahmen des Projektes angeschafften Investitionsgüter sind entweder aufgebraucht oder können keiner weiteren Verwendung zugeführt werden.

### **2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis**

Die im Rahmen des EIP-Projektes gewonnen Erkenntnisse zur  $\text{NH}_3$ -Reduktion sind von wesentlicher Bedeutung für die Praxis. Hintergrund ist die insgesamt dringend erforderliche Minderung der landwirtschaftlich verursachten  $\text{NH}_3$ -Emissionen, die Eutrophierung, indirekte Lachgasemissionen, Feinstaubbildung und Bodenversauerung zur Folge haben können. Bezogen auf die Tierhaltung reizt  $\text{NH}_3$  außerdem Augen und Atemwege und bei langanhaltend hohen Gehalten in der Stallluft, sinken Tierleistungen und die Krankheitsanfälligkeit erhöht sich.



Daneben gibt es auch rechtliche Vorgaben, die das Thema der NH<sub>3</sub>-Emissionen regeln und zwingend zu erfüllen sind. Zum einen schreibt die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung bestimmte maximale Grenzwerte für Schadgase in der Stallluft vor. In der Schweinemast liegt der Grenzwert für NH<sub>3</sub> bei 20 ppm. Dieser Wert darf laut Verordnung zu keiner Zeit überschritten werden.

Vorgaben zum Immissionsschutz und zur Emissionsminderung für die Tierhaltung ergeben sich unter anderen aus der Technischen Anleitung zu Reinhaltung der Luft (TA Luft). Diese wurde zuletzt im Jahr 2020 neugefasst. Davon betroffen sind v.a. größere, immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen, die sogenannten G- und V-Anlagen. Diese müssen durch die Änderung der TA-Luft die Abluft der Ställe einer (Teil-)Abluftreinigung zuführen, die je nach Anlage mind. 40 – 70 % Emissionsminderung erreicht. Die Übergangsfristen zur Nachrüstung belaufen sich für G-Anlagen auf fünf Jahre, für V-Anlagen auf neun Jahre. Für Neubauten gelten direkt die neuen Vorgaben zur Emissionsminderung. Werden diese Reduktionswerte nicht eingehalten bzw. in der vorgegebenen Zeit nicht umgesetzt, entfällt für den Betrieb die Grundlage der Baugenehmigung. Neben der Nachrüstung der Ställe mit Abluftwäschern, besteht die Möglichkeit andere emissionsmindernde Maßnahmen zu ergreifen. Diese müssen mindestens 40 % Emissionsminderung nachweisen können. Insgesamt ist die Nachrüstung mit Abluffiltern in bestehenden Ställen schwierig und kostenträchtig. Durch die Änderung der TA-Luft wird zukünftig auch die Geruchsbelastung als Teil der Genehmigung mit aufgenommen.

Der Bereich der Emissionsminderung spielt auch im Tierschutz eine wichtige Rolle. Vor dem Hintergrund des Umbaus der Nutztierhaltung soll den Nutztieren zukünftig möglichst Kontakt zu Außenklima bzw. Auslauf zur Verfügung stehen. Eine gezielte Luft- und damit auch Emissionslenkung, wie sie bisher in zwangsbelüfteten Ställen vorliegt, ist damit nicht mehr möglich. Aufgrund der Aktualisierung der TA-Luft, wurden die Emissionsgrenzwerte für offene Ställe nun zwar gelockert, dennoch bleibt das Thema der Emissionsminderung, auch in offenen Ställen, durch andere Möglichkeiten neben herkömmlichen Abluftwäschern, aktueller denn je.

Die in der TA-Luft geforderten NH<sub>3</sub>-Reduktionen für Tierhaltungsanlagen erfordern, je nach Genehmigungsform, weitreichende Veränderungen und Umbaumaßnahmen. Eine Umrüstung in bestehenden Ställen ist aufgrund von den beschriebenen Baukosten pro Tierplatz für die meisten Betriebe kaum realisierbar. An dieser Stelle setzen die Projektergebnisse an. In allen Messungen der Stallluft des Versuchsabteils sind NH<sub>3</sub>-Reduktionen ausgewertet worden, die den Minderungsvorgaben von mind. 40 % Luftverbesserung der TA-Luft entsprechen und in

der Regel sogar deutlich darüber liegen. Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass dieses Projektziel durch den Einsatz der Zitronensäure erreicht wurde. Die  $\text{NH}_3$ -Reduktion im Projekt hat ebenfalls die Vorgaben zur Einhaltung der Schadgasemissionsgrenzen aus der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung erfüllt. Die höheren Tages- bzw. Gesamtzunahmen in der Versuchsgruppe können sich mit der deutlich besseren Luft im Versuchsstall erklären lassen. Aufgrund des Einsatzes der Zitronensäure wird ein erheblicher Anteil an  $\text{NH}_3$  aus der Luft gewaschen, was wiederum dem Wohlbefinden und damit der höheren Futteraufnahme zugutekommen kann. Auch bezüglich der im Vergleich deutlich geringeren Baukosten zeigt sich die Vorteilhaftigkeit der Anwendung. Lediglich die Kosten, die im laufenden Betrieb entstehen, konnten bisher nur über die Produktkosten beziffert werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Gesamtkosten des Verfahrens mit Zitronensäure, aufgrund des deutlich geringeren Strombedarfs und geringerer Abschreibung als bei herkömmlichen Abluftreinigungsanlagen, keinen großen Anteil ausmachen werden.

Der Einsatz von Zitronensäure bei der Gülleansäuerung zur Gülleapplikation hat wahrscheinlich keine große Praxisrelevanz. Zwar konnte im Rahmen des Projekts nachgewiesen werden, dass eine Gülleansäuerung mit Zitronensäure den gleichen Effekt bei der  $\text{NH}_3$ -Reduktion aufweisen kann wie die Schwefelsäure, jedoch benötigt man deutlich mehr Zitronensäure, um den gleichen Effekt zu erzielen. Durch die ebenfalls höheren Kosten für die Zitronensäure ist es wirtschaftlich uninteressant die Schwefelsäure bei der Gülleansäuerung durch Zitronensäure zu ersetzen. Zusätzlich konnte bei vielen Versuchen gezeigt werden, dass mit Schwefelsäure angesäuerte Gülle eine bessere Düngewirkung zeigt als mit Zitronensäure angesäuerte Gülle.

Durch den Einsatz von Schwefelsäure kann es jedoch zu sehr hohen S-Einträgen in den Boden kommen, die dann nicht von den Pflanzen genutzt werden können und wahrscheinlich ins Grundwasser ausgewaschen werden. Außerdem hat die Schwefelsäure ein extrem hohes Gefährdungspotenzial bei Unfällen. Hier könnte die Zitronensäure eine Nische besetzen, da sie kein so hohes Gefährdungspotenzial aufweist, keinen S-Eintrag in den Boden mit sich bringt und sogar im ökologischen Anbau zulässig wäre.

## **2.6 Verwertung und Nutzung der Ergebnisse**

Die im Versuchsstall erzielten Ergebnisse sind zwar vielversprechend, zur Anerkennung des Verfahrens als Möglichkeit zur  $\text{NH}_3$ -Reduktion im Stall (als Alternative zur Umrüstung auf einen Abluftwäscher), ist jedoch weiterer Forschungsbedarf vorhanden. Bis zum jetzigen Zeitpunkt

steht noch nicht fest, ob sich eine Zertifizierung des Verfahrens erreichen lässt. Grundsätzlich fehlen zurzeit sogar noch Aussagen dazu, ob zukünftig Zertifizierungen überhaupt noch nötig sein werden und wie die Änderung der TA-Luft Anwendung finden wird.

Die Ergebnisse aus den Inkubations- und Feldversuchen sind hauptsächlich aus wissenschaftlicher Sicht interessant und haben wie beschrieben nur geringe Praxisrelevanz. In der Wissenschaft tragen sie zum wissenschaftlichen Diskurs bei und helfen dabei, die Vorgänge bei Gülleansäuerung und der damit verbundenen Reduktion der  $\text{NH}_3$ -Emissionen zu verstehen.

## **2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit**

Durch eine Weiterführung der Stallversuche könnten bisherige Ergebnisse überprüft werden. Eine Fortführung des Projektes zur Bearbeitung weiterer, sich anschließender Fragestellungen wäre wünschenswert. Dies betrifft beispielsweise die zu Projektende erstmals durchgeführten Geruchsmessungen, die vielversprechende Ergebnisse zeigten. Vor dem Hintergrund der richtigen Zusammensetzung des Sorbenten und Geräteinstellungen, die sich erst im Verlauf der Durchgänge entwickelt haben, ist eine Weiterführung ebenfalls sinnvoll. Zudem müsste in einem weiteren Schritt die Erfassung der Gesamtkosten stattfinden. Nur so ergibt sich eine anerkannte praxisreife Anwendung für eine Vielzahl von Betrieben.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse, die bei den Inkubations- und Feldversuchen zur Ansäuerung von Gülle mit Zitronensäure und die Düngewirkung der angesäuerten Gülle gesammelt wurden, könnten in weiteren Versuchen präzisiert werden. Weiterhin wurde mit der Entwicklung einer Methodik zur Messung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen nach der Gülleapplikation im Labormaßstab eine Methode geschaffen, um Güllezusatzstoffe zur Emissionsminderung zu testen. So können diese Produkte schnell und effizient ohne aufwändige Feldversuche auf ihre Wirksamkeit bezüglich der Reduktion von  $\text{NH}_3$ -Emissionen bewertet werden.

## **2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept**

Zur Kommunikation der erzielten Projektergebnisse innerhalb der OG AmmonMind fanden insgesamt 13 Projekttreffen in Präsenz bzw. online per Zoom statt. Hierbei wurde intensiv über die durchgeführten Untersuchungen diskutiert und gegenseitig wichtige Unterstützung in den verschiedenen Arbeitspaketen geleistet. Besonders der Austausch zwischen den OGs mit ihren unterschiedlichen, fachlichen Schwerpunkten, wurde als sehr zielführend empfunden. Durch die regelmäßigen Treffen ließ sich zudem sicherstellen, dass alle beteiligten OGs über den Fortschritt in den unterschiedlichen Arbeitspaketen umfangreich informiert waren. Auch

war es den einzelnen OGs so möglich, neue Erkenntnisse in allen Arbeitspaketen zeitnah an Berufskollegen, Beratungskunden oder Studierende weitergeben zu können.

Für die breite Öffentlichkeit stellte die von der OG AmmonMind erstellte Homepage ([www.hs-osnabrueck.de/ammonmind](http://www.hs-osnabrueck.de/ammonmind)) den wichtigsten Kommunikationsweg dar. Monatlich wurde über aktuelle Tätigkeiten und Veröffentlichungen aus dem Projekt in Form von Texten, Bildern und Videos berichtet. Hierrüber konnten sich trotz der Pandemie Landwirte, Beratende, Studierende und andere Interessierte über den aktuellen Fortschritt im Projekt informieren. Info-Briefe wurden, wie zunächst geplant, keine versandt, da die Gestaltungsmöglichkeiten mittels Bilder und Videos auf der Homepage als deutlich besser empfunden wurden. Das Projekt wurde jedoch auch über das Rundschreiben der LWK Niedersachsen Bezirksstelle Oldenburg-Süd mit einem Kurzbeitrag den ca. 5.600 Beratungsbetrieben in den Landkreisen Cloppenburg, Vechta und Oldenburg im Herbst/Winter 2019/20 vorgestellt.

Mit der direkt zu Beginn des Projektes verfassten Pressemitteilung konnte die OG AmmonMind bereits frühzeitig auf das Projekt aufmerksam machen. Diese wurde auf der Homepage der Hochschule Osnabrück, in der allgemeinen Presse und der Fachpresse veröffentlicht:

- Hochschule Osnabrück (Homepage, 12.06.2020): Weniger Ammoniak-Emissionen durch Zitronensäure.
- Neue Osnabrücker Zeitung (NOZ, 29.06.2020): Bessere Luft im Schweinestall.
- top agrar online (17.06.2020): Osnabrücker Forscher testen Ammoniak-Binder.

Während der Projektlaufzeit fanden aufgrund der Pandemie nur wenige Veranstaltungen statt. Dennoch stellte die OG Kreye im Oktober 2021 einige Ergebnisse aus dem Versuchsstall beim Landkreis Oldenburg vor. Dabei waren Vertreter des Landkreises, des Oldenburgisch-Ostfriesischen-Wasser-Verband (OOWV) und des Kreislandvolkverbandes Oldenburg e.V. anwesend. Bei einer der von der OG plantus GbR durchgeführten Wintertagungen berichtete die OG HSOS über wichtige Erkenntnisse des Projektes im Rahmen eines Vortrages zum Thema „Gülleinsatz im Ackerbau“. Auch die regelmäßig geplanten Felddemonstrationen ließen sich in den ersten Projektjahren aufgrund der Corona-Beschränkungen nicht realisieren. Zum Abschluss des Projektes konnte jedoch am 19. Mai 2022 ein Feldtag auf der Versuchsfläche in Großenkneten realisiert werden. Auf der Fläche des Versuchsbetriebes der OG plantus GbR

kamen rund 25 Landwirt:innen, Berater:innen und Studierende der Hochschule Osnabrück zusammen, um sich über das Thema „Einsatz von Zitronensäure im Stall und auf dem Feld: Stallklima verbessern und Dünger sparen“ zu informieren. Bei der 3-stündigen Veranstaltung berichtete die OG Kreye detailliert über das Vernebeln von Zitronensäure im Schweinestall. Seine praktischen Erfahrungen ergänzte die OG LWK NI mit einer ökonomischen Auswertung. Wodurch Ammoniak-Verluste beim Ausbringen von Gülle entstehen und wie sich diese mindern lassen, erläuterte die OG HSOS. Dabei demonstrierte die OG auch direkt Vorort das Ansäuern von Gülle. Was dies für den Anbau von Weizen bedeutet, ließ sich anhand des Feldversuches, in dem ein Vergleich von Zitronensäure und Schwefelsäure als Güllezusatz durchgeführt wurde, zeigen. Weitere Düngungsversuche auf der Versuchsfläche, u.a. zur Güllekopfgabe im Weizen per Schleppschlauch oder Injektion, stelle die OG plantus GbR vor. Dieser Feldtag ermöglichte es, die erzielten Ergebnisse einprägsam darzustellen und die Bereiche Stall und Feld überzeugend zu verknüpfen. Weiter zeigte sich bei der Durchführung des Feldtages der besondere Vorteil der EIP-Förderung, die durch die Zusammenstellung der OG aus Forschung, Beratung und landwirtschaftlicher Praxis eine enge Verknüpfung von Praxis und Wissenschaft ermöglichte.

Im Bereich der Wissenschaft wurde das Projekt auf dem Stand der Hochschule Osnabrück bei der „Agritechnica 2019“ mit einem Poster vorgestellt. Im Herbst 2021 wurden auf der Tagung der Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung (DGP) in Kiel und der International Fertiliser Society (IFS) Tagung in Cambridge (UK) die Ergebnisse aus dem Feldversuch 2020 nationalem und internationalem Fachpublikum über Poster veröffentlicht:

- ELLERSIEK, N. und OLFS, H.-W. (2019): Erprobung eines Ammoniak-Sorbenten zur Emissionsminderung aus Schweinegülle unter Praxisbedingungen. Agritechnica 10. 16. November 2019, Hannover.
- ELLERSIEK, N. and OLFS, H.-W. (2021): The Effect of the Slurry Additive NH<sub>3</sub>relief compared with Sulfuric Acid on the Nitrogen Uptake of Winter Wheat. Jahrestagung der Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung (DGP) 22. - 24. September 2021, Kiel, Hybridkonferenz.
- ELLERSIEK, N., BORCHERT, A. F., und H.-W. OLFS (2021): The Effect of the Slurry Additive NH<sub>3</sub>relief compared to Sulfuric Acid on the Nitrogen Uptake of Winter Wheat. IFS Agronomic Conference 09. - 10. Dezember 2021, Cambridge (UK), Hybridkonferenz.

Zudem wurden die erhobenen Daten in drei Bachelorarbeiten unter der Betreuung des AmmonMind Projektleiters H.-W. Olf's ausgewertet und damit direkt in die Lehre implementiert:

- KREIMER, D. (2020): Einsatz eines Ammoniak-Sorbenten bei der Applikation von Schweinegülle und Auswirkungen auf Ammoniakemissionen und Stickstoffversorgung im Winterweizen. Bachelorarbeit Hochschule Osnabrück.
- BEHRENSWERTH, J. (2021): Stickstoffverfügbarkeit von Gülle nach einer pH-Absenkung – Vergleich von Schwefelsäure und Zitronensäure. Bachelorarbeit Hochschule Osnabrück.
- JANSEN, L. (2022): Einfluss verschiedener pH-Werte auf die Ammoniakemission von Rinder- und Mastschweinegülle nach oberflächlicher Ausbringung ermittelt in Inkubationsversuchen. Bachelorarbeit Hochschule Osnabrück.

Insgesamt haben sich für die Öffentlichkeitsarbeit im Projekt die Homepage und die lokalen Präsenzveranstaltungen als am bedeutendsten zur Kommunikation der erzielten Projektergebnisse herausgestellt. Allein die Homepage gab z.B. für einige Leser den Ausschlag, um mit der OG in Kontakt zu kommen und sich Empfehlungen für den Einsatz von Zitronensäure auf ihrem eigenen Betrieb einzuholen. Die starke Vernetzung zwischen Praxis und Wissenschaft war hierbei von großer Bedeutung.

Osnabrück, 14.08.2022

Prof. Dr. Hans-Werner Olf's, OG Hochschule Osnabrück – Projektleitung