

Echtzeitmessung der Ammoniak-Emissionen mit Gassensoren nach Gärrestapplikationen auf Grünland bei variiertem Applikationsmenge und Beimischung von Gips

Wolf, M. und Laser, H.
Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft
Lübecker Ring 2, 59494 Soest
wolf.marcjoerg@fh-swf.de

Einleitung und Problemstellung

Im Vergleich zu Rindergülle weisen Gärreste aus Biogasanlagen häufig höhere Ammoniumgehalte auf. Dies ist in Hinsicht auf die Nährstoffverfügbarkeit nach der Ausbringung auf Grünland positiv zu bewerten. Gleichzeitig erhöht sich dadurch aber auch die Gefahr von Ammoniakemissionen. Über Ammoniak können Teile des mit der Gülle ausgebrachten Stickstoffs gasförmig verloren gehen und anschließend einen Störfaktor in der Umgebung der betroffenen Flächen oder ein Treibhausgas darstellen.

Die N-Verluste über NH_3 nach der Gülleapplikation können erheblich ausfallen. Bei Rindergülle konnten Verluste von bis zu 40 % des $\text{NH}_4\text{-N}$ festgestellt werden (Pain 1989). Die nach Breitverteilung durch Ammoniak entstehenden gasförmigen Stickstoffverlusten sollen bei weniger als 15 °C bei 37 % und bei wärmeren Temperaturen gar um 63 % liegen (Lange und Borstel 2011). Im Grünland sollen Ammoniakverluste aufgrund der dort besonders hohen Gaben am höchsten liegen, bei bis zu über 40 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Pacholski *et al.* 2011). Über bodennahe oder in den Boden injizierende Gülleapplikationstechniken können Reduktionen der NH_3 -Verluste erreicht werden (Häni *et al.* 2015). Dabei werden Injektionstechniken jedoch nicht nur in der Praxis kontrovers betrachtet. In Exaktversuchen brachte Schlitztechnik verschlechterte N-Effizienzen und verringerte Erträge mit sich (Smith *et al.* 2000). Hou *et al.* (2015) haben aufgezeigt, dass die Ausbringung mittels Injektion geeignet ist, NH_3 -Emissionen erheblich zu reduzieren, oftmals in Bezug auf die insgesamt in diesem Düngesystem aufgetretenen Treibhausgase (N_2O , CH_4) jedoch nicht besser abschneiden. Lediglich Zusätze mit Säuren haben im Zusammenhang mit diesen Techniken einen positiven Effekt. Dies ist jedoch nur mit hohen Kosten realisierbar. Alternative, kostengünstige Güllezusätze könnten hier aushelfen. Durch die Zugabe von 20 g Gips aus vermahlenden Gipsplatten je Liter Gülle wurden um 34 % niedrigere NH_3 -Verluste beobachtet (Verges *et al.* 2013). Da sich der Einsatz von Gips in der Einstreu oder im Stallbereich aufgrund der Freisetzung von H_2S verbietet, liegt ein ausbringungsnaher Einsatz mit bodennahe Applikationstechnik nahe.

Eine bodennahe Applikation der Biogasgülle wird durch angepasste Kalkung gefördert. Diese fördert nicht nur die Nährstoffumsetzung, sondern bereits die Versickerung der Gülle. Deshalb wurde in einem Freilandversuch auf der Grünlandforschungsstation Meschede-Remblinghausen die Wirkung von pflanzenbaulichen Maßnahmen, einschließlich einer noch wenig erprobten Gipsbeimischung in die Gülle, auf Ammoniakemissionen nach der Ausbringung untersucht. Hierbei kamen 16 Aeroqual[®]-Gassensoren zum Einsatz, die für den Feldeinsatz erprobt wurden. Die mit Dataloggern ergänzten, chemisch-elektrokonduktiv arbeitenden Sensoren erlauben eine bodennahe Erfassung der Ammoniakkonzentrationen im Minutentakt, ohne die Umweltbedingungen maßgeblich zu ändern.

Material und Methoden

Der Versuch wurde auf einer ebenen Fläche oberhalb der Grünlandversuchsstation, in ca. 410 m ü. NN, innerhalb einer Altnarbe angelegt. Hierin wurden die Parzellen (3 x 8 m) längs zur Hauptwindrichtung eingemessen. Die Differenzierung des Bestandes über die Düngungsvarianten startete mit einer Herbstgabe in 2014. Der Boden war eine Braunerde von geringerer Mächtigkeit und einen hohen Skelettanteil. Eine vollständige Randomisierung der Wiederholungen glich lokalisierte Bodeneinflüsse auf die Behandlungen aus.

Die Parzellenabmessungen sind so gewählt worden, damit gewährleistet ist, dass die Gasmessungen ohne viel Randeffect vonstatten gehen können. So befand sich über zwei Meter Radius ein Pflanzenbestand um den Messpunkt, der von den Düngungsvarianten beeinflusst wurde.

Die mineralische Ergänzungsdüngung wurde händisch ausgebracht. Ebenso wurde zu den Kalkgaben im Herbst und Frühjahr verfahren. Sie hatten die Höhe einer Erhaltungskalkung von $800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Eingesetzt wurde granulierter, kohlensaurer Kalk 93 mit 5 % MgCO_2 . Die Termine waren der 06.11.2014, 26.03. und 02.12.2015, sowie der 18.03. und 27.10.2016.

Tabelle 1: Übersicht der Varianten des Düngungsversuchs mit Ammoniakmessungen

| | |
|----|---|
| 1. | $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ durch Biogasgülle |
| 2. | $230 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ durch Biogasgülle |
| 3. | $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ durch Biogasgülle mit Kalkung im Herbst |
| 4. | $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ durch Biogasgülle mit Kalkung im Frühjahr |
| 5. | $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ durch Biogasgülle, in die zur Applikation 20 g/l Gips beigemischt wurde |

Drei Gülleapplikationen mit Schleppschlauch waren zu den praxisüblichen Terminen geplant, mussten mitunter jedoch verschoben werden. Das für den Versuch eingesetzte Parzellengülleapplikationsgerät (=PGA) ist eine Eigenentwicklung von Mitarbeitern der FH SWF, in Kooperation mit Landtechnikunternehmen (Hötte *et al.* 2011). Der PGA-Güllefluss wurde über eine elektronisch angetriebene Pumpe eingestellt. Das für die Applikation benötigte Güllevolumen wurde anhand der neuesten Analyseergebnisse berechnet. Zu jeder Gabe war ein zweimaliges Auftanken nötig. Als letzte der Varianten erfolgte die Applikation mit der Gipszugabe, um auszuschließen, dass dieses vorher in die Gülle gelangt. Bei einer Restmenge von meist 500 l wurden zweimal 5 kg Baugips in den Güllestrom des Bypassstroms gestreut.

Tabelle 2: Ergebnisse der Untersuchungen der Biogasgülleproben (n = 1) durch die LUFA NRW. Gezeigt sind die Trockensubstanzen (TS), Gesamtstickstoff- (TN) und Ammoniumgehalte ($\text{NH}_4\text{-N}$) die zu den Terminen der Ammoniakmessungen ermittelt wurden

| | Termin | TS (%) | TN (kg/m^3) | $\text{NH}_4\text{-N}$ (kg/m^3) | $\text{NH}_4\text{-N}$ in TN (%) |
|------|--------|--------|------------------------|--|----------------------------------|
| 2015 | 09.04. | 6,6 | 4,30 | 1,50 | 34,9 |
| | 26.06. | 7,1 | 5,10 | 2,90 | 56,9 |
| | 11.08. | 7,4 | 4,78 | 2,54 | 53,1 |
| 2016 | 21.04. | 7,6 | 4,67 | 2,21 | 47,3 |
| | 15.07. | 6,3 | 5,66 | 3,50 | 61,8 |
| | 26.10. | 7,8 | 5,48 | 2,99 | 54,6 |

Die Bestimmung der NH_3 -Konzentrationen in der Luft über dem Grünlandbestand erfolgte mit Aeroqual® Series 500 (Aeroqual, Auckland, Neuseeland). Der Sensorkopf dieser Geräte zieht aktiv über einen Propeller Umgebungsluft in eine Kanüle, in der sich ein Edelgasgemisch befindet, dessen elektrochemisches Milieu in der Leitfähigkeit durch die Anwesenheit von NH_3 verändert wird. Messungen hatten bei weitestgehend trockenen Bedingungen zu erfolgen. Möglichst unmittelbar nach der Ausbringung der Gülle mit dem PGA wurden Messgeräte auf die Parzelle plziert. Die Ausrichtung des Sensoreinlasses erfolgte in Windrichtung, um Luft von der Parzelle aufzufangen. Da die auf dem unebenen Untergrund auftretende uneinheitliche Ausrichtung des Sensorkopfes zu optimieren war, wurden die Messgeräte mit dem Jahr 2016 auf Edelstahl dreifüÙe (Windaus Labor Technik, Clausthal-Zellerfeld, BRD) platziert. Die StativfüÙe wurden so ausgerichtet, dass die SensoreinläÙe eben über der Schnitthöhe (6 cm) lagen. Die N-Mengen, die über Ammoniak von der Fläche verloren ging, wurden über Annäherungsformeln geschätzt, die um Umweltfaktoren erweitert wurden, die Einfluß auf die konkreten Mengen haben können, die von der Fläche abgetragen werden. Die Ergebnisse werden an dieser Stelle aus Platzgründen nicht vorgestellt. Die Rechnungen und statistischen Auswertungen erfolgten mit Excel 2010.

Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Versuchsjahr trafen die NH_3 -Messungen auf unüblich warme Bedingungen (Abbildung 1). Diese waren in 2015 häufig. Kühlere Abschnitte waren von Niederschlägen begleitet. Ein Einsatz der Aeroqual[®]-Geräte bei Regen schloss sich aus. Die Applikationstermine waren zudem so gewählt, dass die Messreihen ein repräsentatives Abbild von Gülleapplikationsterminen darstellen, die aus Sicht einer guten fachlichen Praxis als eher suboptimal gelten können. Entsprechend waren die aufgezeichneten NH_3 -Konzentrationen hoch. Das Maximum belief sich im August auf ganze 35 mg m^{-3} . Dies ist jedoch kaum mehr als ein Drittel dessen, was mit den Aeroquals während einer Validierung mit einem verbreiteten, nasschemischen Sammelverfahren im Frühjahr über Gülle auf einem bodenbearbeiteten Acker gemessen wurde.

Die Messung im April 2015 zeigte kontinuierliche Emissionen der Gülle bei schwül-warmem, sonnigem Wetter. Hierbei deuteten sich die NH_3 -Ausgasung reduzierende Effekte einer Kalkung im Herbst und einer Beimengung von Gips in die Gülle an. Am höchsten lagen die Emissionen zu diesem Termin für die Kontrolle und die Kalkung im Frühjahr. Überraschenderweise wies die 230 kg N-Gabe die niedrigeren NH_3 -Verluste auf. Dies konnte fast zeitgleich auch in einem anderen Versuch mit dieser Mengenabstufung beobachtet werden.

Zur Ausbringung im Juni waren die NH_3 -Emissionen insgesamt deutlich niedriger. Lediglich in der Gipsvariante gab es höhere NH_3 -Konzentrationen. Es kann nur spekuliert werden, dass die trockene Luft über der Gülle und dem Pflanzenbestand eine Ausgasung vom Boden fort behinderte, während die Gülle schnell ankrustete. Das etwas längere Umpumpen der Gülle in der Gipsvariante könnte dazu beigetragen haben, dass hier langsamer eine Verkrustung einsetzte.

Unter unmittelbarer Sonneneinstrahlung war in vier Stunden nach der Applikation ein rasches Absinken der NH_3 -Konzentrationen nach hohen Ausgangswerten zu beobachten. Während sich die niedrigere NH_3 -Freisetzung in der Variante mit Frühjahrskalkung aus verbesserten Bodeneigenschaften erklären könnte, überraschten die niedrigeren NH_3 -Mengen der 170 kg N-Kontrolle.

Dies zeigt wie schwierig die Interpretation der Datenreihen aufgrund kleinräumig sehr stark variierender Messpektren sein kann, auch wenn die Messungen über einen längeren Zeitraum und kontinuierlich erfolgten. Dabei wurde durch ein Wechseln von Messgeräten auf ihren Positionen während und zwischen den Messterminen darauf geachtet, die Messniveaus der Einzelgeräte auf die Probe zu stellen. Üblicherweise reflektieren die Messreihen der verschiedenen Varianten zeitgleich kurzfristige Umweltveränderungen.

Während in 2016 das Messen mit Stativen mit dem Ziel, die Varianzen im Vergleich zur Bodenablage zu reduzieren, sicherlich dazu beitrug, die von den Aeroquals aufgezeichneten NH_3 -Konzentrationen zu verringern, kann außer Frage gestellt werden, dass die veränderten Umweltbedingungen den Haupteinfluss auf die niedrigeren N-Verluste nach der Ausbringung hatten. In der Literatur findet sich vielfach ein positiver Zusammenhang zwischen hohen Temperaturen und großen NH_3 -N-Verlusten. Zwar war auch das Jahr 2016 überdurchschnittlich warm, die erste Jahreshälfte aber auch von hohen Bewölkungsgraden geprägt. Zu keinem der Termine waren die Luft oder der Boden ungewöhnlich trocken. Im Hochsommer schloss sich eine Güllegabe aus, da Niederschläge zeitweise ausblieben. In Folge der, aus Perspektive der landwirtschaftlichen Praxis, besseren Ausbringungstermine lagen die NH_3 -Konzentrationen mit maximal 5 mg m^{-3} um ein vielfaches unter den Werten des Vorjahres. Während der Applikation im Juni deutete sich erneut ein Gipseffekt in der Gülle an, der jedoch wegen einer großen Verzögerung dieser Behandlung aufgrund technischer Schwierigkeiten beim PGA-Einsatz schlecht mit den anderen Varianten verglichen werden kann. Die verschiedenen Kalkungen hatten einen unerwartet geringen Einfluss auf die NH_3 -Emissionen, selbst bei den in der Praxis unüblich kurzen Zeiträumen zwischen Kalkung und Gülleausbringung.

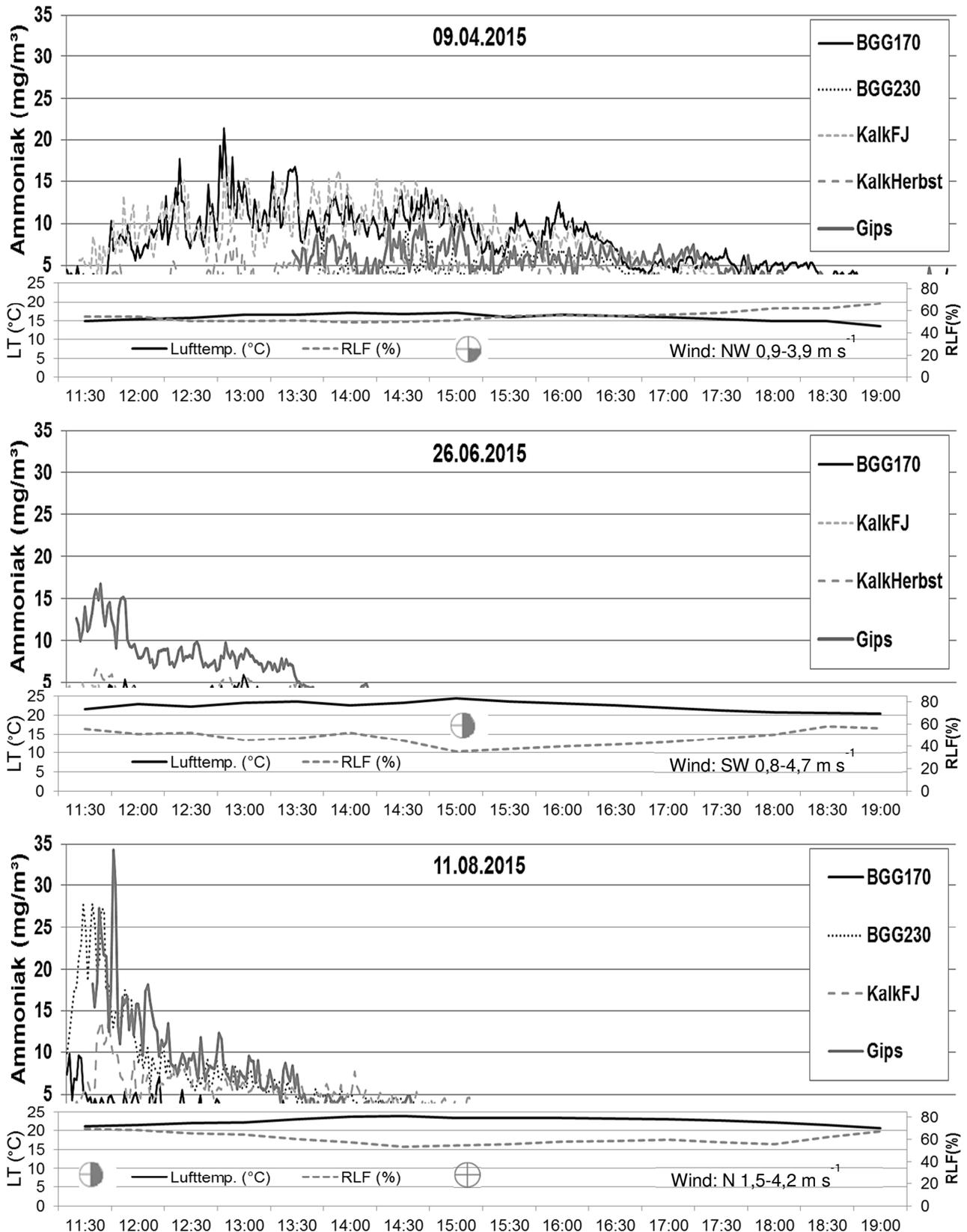


Abbildung 1: Mittelwerte der 2015 über die Aeroqual-Geräte 1 cm über der Biogasgülle (BGG) minütlich gemessenen NH_3 -Konzentrationen in den Parzellen (meist $n = 3$) der Varianten mit Kontrollgaben an BGG in zwei Düngungsstufen, Bodenkalkungen im Frühjahr oder Herbst, sowie der Zugabe von Gips in die ausgebrachte BGG. Darunter sind die Lufttemperaturen, relative Luftfeuchten (RLF) und Windgeschwindigkeiten gezeigt, die zeitgleich per Vaisala-Wetterstation gemessen wurden

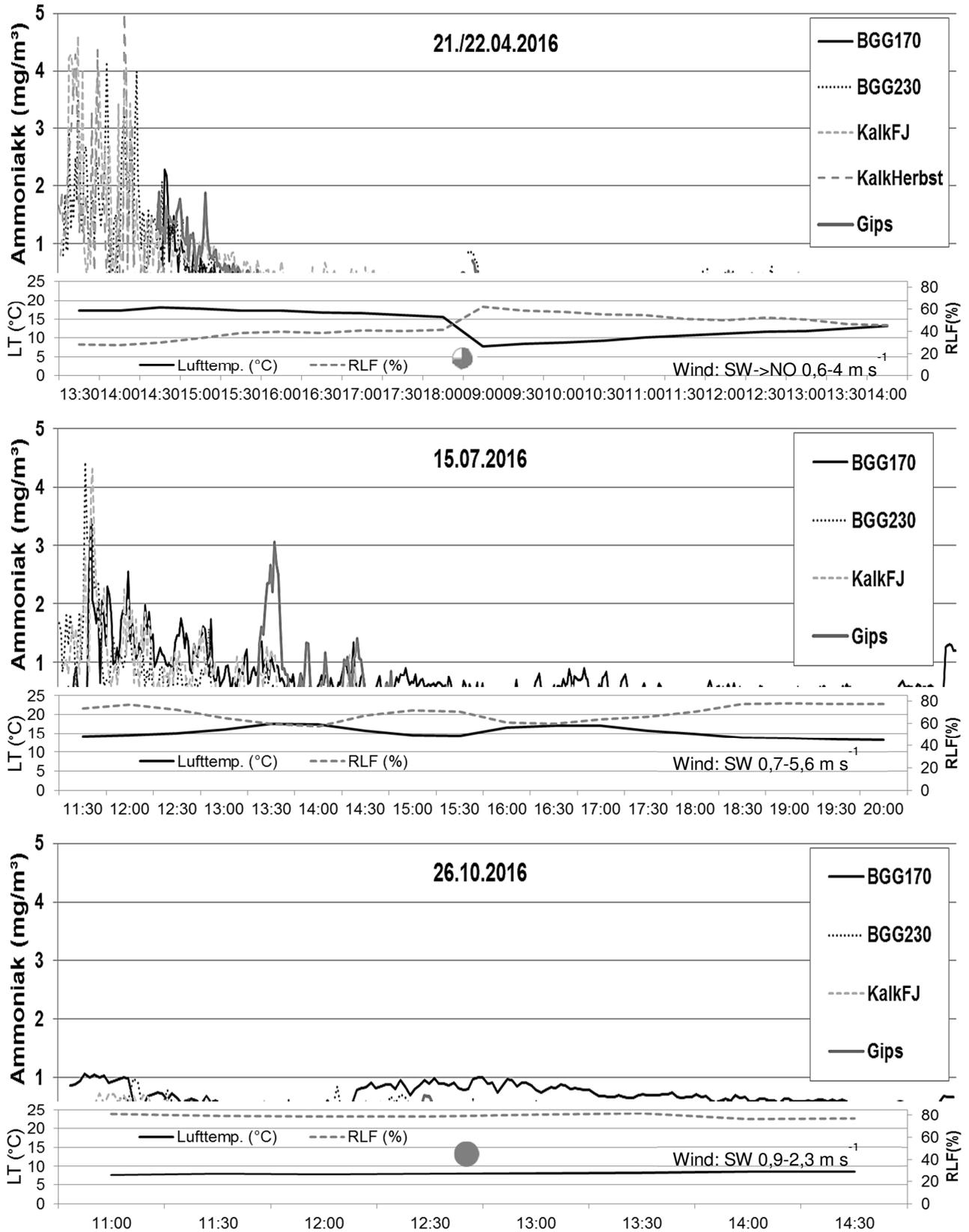


Abbildung 2: Mittelwerte der 2016 über die Aeroqual-Geräte in 6 cm Höhe minütlich gemessenen NH_3 -Konzentrationen in den Parzellen (meist $n = 3$) der Varianten mit Kontrollgaben an Biogassgülle (BGG) in zwei Düngungsstufen, Bodenkalkungen im Frühjahr oder Herbst, sowie der Zugabe von Gips in die ausgebrachte BGG. Darunter sind die Lufttemperaturen, relative Luftfeuchten (RLF) und Windgeschwindigkeiten gezeigt, die zeitgleich per Vaisala-Wetterstaion gemessen wurden

Schlussfolgerungen

Weder eine Kalkung im Herbst, noch eine im Frühjahr verursachten einen eindeutigen Effekt auf die NH₃-Emissionen der ausgebrachten Gülle. Dieser ergab sich nur zu einzelnen Terminen. Auch die Beimengung von Gips in die Gülle verringerte nur zu Einzelterminen die NH₃-Ausgasung, während sie sie an anderen Tagen steigerte. Ob die Gipsbeimengung prinzipiell geeignet ist, Ammoniak zu reduzieren, wird derzeit in wiederholten Gewächshausmessungen überprüft.

Insgesamt lagen die sich aus den Messungen ergebenden NH₃-N-Verluste von der Versuchsfläche mit maximal etwa 8 kg ha⁻¹ im Jahr deutlich unter für Grünland in der Literatur zu findenden Werten, die meist aber auch aus dem Tiefland stammten. Die Relevanz dieser NH₃-Mengen für den Klimawandel erscheint gering, zumal im Hügelland und Mittelgebirge höhere Depositionsraten des vor Ort ausgegasteten Ammoniaks stattfinden als im Tiefland (Sutton *et al.* 1993).

Die Aeroqual[®]-Messtechnik war geeignet, die NH₃-Konzentrationen über verschiedenen Behandlungen unmittelbar zu vergleichen, ohne die Umweltbedingungen maßgeblich zu ändern. Vorteile der Sensortechnik gegenüber anderen Methoden ergeben sich durch die Möglichkeit zahlreicher Messungen mit engen Zeitintervallen und mehreren Stunden Datenaufzeichnung durch den angeschlossenen Datalogger. Die vergleichsweise geringen Anschaffungskosten (ca. 1600 € für Gasmessgerät und NH₃-Sensor) und der verbrauchsmittelfreie Betrieb der Geräte lassen bei Verwendung mehrerer Geräte zur Parallelmessung eine hohe Datendichte zu. Da die Geräte in der Regel ohne Rüstzeiten unmittelbar nach der Gülleapplikation einsatzbereit sind, können die Emissionen unmittelbar und quasi in Echtzeit erhoben werden.

Literatur

- Bouwman, A.F. und Asman, W.A.H. (1997): Scaling of Nitrogen Gas Fluxes from Grasslands. IN: Jarvis, S.C. & B.F. Pain [Eds]: Gaseous Nitrogen Emissions from Grassland. CAB International; Wallingford, New York: 311–330.
- Häni, C., Sintemann, J., Kupper, T. und Neffel, A. (2015): Ammonia emission after slurry application to grassland. IN: RAMIRAN Proceedings, 16th International conference, Hamburg: 293–296.
- Hötte, S., Stemann, G. und Laser, H. (2011): Entwicklung eines rechnergesteuerten Applikationsgerätes für Gülle in randomisierten Parzellenversuchen. Gülle und Gärrestausbringung auf Grünland. LAZ-BW, 264–265.
- Hou Y., Velthof, G.L. und Oenema, O. (2015): Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. *Global Change Biology* 21: 1293–1312.
- Lange, G. und Borstel, U. (2011): Minderung der Stickstoffemission auf Grünland durch Anwendung geeigneter Gülleapplikationstechniken. In: Elsäßer, M. *et al.* [Eds]: Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Tagungsband Internationale Tagung, Kloster Reute, 17.–18.10.2011. LAZ-BW, 157–158.
- Misselbrook, T.H., Laws, J.A. und Pain, B.F. (1996): Surface application and shallow injection of cattle slurry on grassland: nitrogen loss, herbage yields and nitrogen recoveries. *Grass and Forage Science* 51: 270–277.
- Pacholski, A., Techow, A., Qakernack, R., Hermann, A., Taube, F. und Kage, H. (2011): Spurengasemissionen (N₂O, NH₃) und Ertragsentwicklung nach Gärrestapplikation auf einem Marschstandort Norddeutschlands. IN: Elsäßer, M. *et al.* [Eds]: Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Tagungsband Internationale Tagung, Kloster Reute, 17.–18.10.2011. LAZ-BW, 195–199.
- Pain, B.F. (1989): Loss of nitrogen through ammonia volatilization during and following the application of pig or cattle slurry to grassland. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 47: 1–12.
- Seidel, A., Pacholski, A., Nyord, T. und Kage, H. (2015): Reduction of ammonia emissions by acidification and injection of cattle slurry applied to perennial grassland. IN: RAMIRAN Proceedings, 16th International conference rural-urban symbiosis, Hamburg: 85–89.
- Smith, K.A., Jackson, D.R., Misselbrook, T.H., Pain, B.F. und Johnson, R.A. (2000): Reduction of Ammonia Emission by Slurry Application Techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77(3): 277–287.
- Sutton, M.A., Fowler, D., Moncrieff, J.B. und Storeton-West, R.L. (1993): The exchange of atmospheric ammonia with vegetated surfaces. II: Fertilized vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 119 (513): 1047–1070.
- Verges, M., Hunter, C., Holland, R. und Pahl, O. (2013): Evaluation of gaseous pollutants arising from slurry containing recycled plasterboard. IN: RAMIRAN Proceedings, 15th International Conference, Versailles. Proceedings.