

Georg Depta, Stefan Nesper, Sabine C. Becher, Hans Stanzel, Andreas Gronauer, Hans Schön, Freising; Martina Stockhause, Achim Sedlmaier und Klaus Schäfer, Garmisch; Jens Seedorf und Jörg Hartung, Hannover

Emissionsraten variabler Quelltypen in der Landwirtschaft

Messungen mit Fourier-Transformierter Infrarot-Spektroskopie (FTIR) an geführten und diffusen Quellen

Emissionen durch Tierhaltung haben große ökosystemare (NH₃) und klimarelevante Bedeutung (N₂O, CH₄, CO₂, CO). Bisherige Meßverfahren ermöglichen bei variabler Quellkonfiguration keine Multi-gasanalysen mit ausreichender Empfindlichkeit. Mit der Fourier-Transformierten-Infrarot- (FTIR)- Spektroskopie gibt es ein Meßverfahren, das an allen Quelltypen zusammen mit verschiedenen Methoden eingesetzt werden kann. In diesem Beitrag soll über Anwendungen dieser Meßtechnik berichtet werden.

Mittlerweile unumstritten ist die Tatsache, daß die Messung nur eines emittierten Gases nicht ausreicht, um eine landwirtschaftliche Quelle zu charakterisieren. Dabei muß eine Vielzahl von Quelltypen, angefangen von Punktquellen (Abluftkamin) bis hin zu weitläufigen Flächenquellen (begülltes Feld) erfaßt werden können [1]. Mit der Multigas-Analysemethode FTIR-Spektroskopie können sowohl Offenpfadmessungen über Entfernungen bis zu 500 m als auch Punktmessungen durchgeführt werden. Damit kann es an verschiedene Verfahren zur Emissionsratenbestimmung angepaßt werden.

Dipl.-Phys. Georg Depta und Dipl.-Ing. agr. Stefan Nesper sind wissenschaftliche Mitarbeiter, Dipl.-Ing. (FH) Sabine C. Becher ist Meßtechnik-Ingenieurin, Dr. agr. Andreas Gronauer Leiter der Abteilung Umwelt und Energie, Dr. agr. Hans Stanzel ist Leiter der Abteilung Meßtechnik an der Bayer. Landesanstalt für Landtechnik und dem Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan, Leitung: o. Univ. Prof. Dr. agr. Dr. h.c. (AE Keszthely) Hans Schön, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, e-mail depta@tec.agrar.tu-muenchen.de.

Kooperation: Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen und Institut für Tierhygiene und Tierschutz der Tierärztlichen Hochschule Hannover.

Die Arbeiten werden finanziert von der DFG und den Bayerischen Staatsministerien für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie für Landesentwicklung und Umweltfragen. Referierter Beitrag der Landtechnik.

Meßmethoden

Grundsätzlich arbeitet die FTIR-Spektroskopie wie alle IR-Verfahren: Zwischen einem Strahler und einem Detektor absorbiert das zu untersuchende Gas Strahlungsanteile bei charakteristischer Wellenzahl und in bestimmter Stärke. Dadurch kann auf die Gasart und -konzentration geschlossen werden. Bei Offenpfadmessungen wird die IR-Strahlung eines entfernt stehenden Strahlers über ein Teleskop gesammelt; bei Punktmessungen wird die IR-Strahlung durch eine Gaszelle geführt, die von dem Gas durchspült wird. Das Meßverfahren sowie Qualitätssicherung und -kontrolle sind in einem früheren Beitrag (LT 4/96, S. 206, [2]) geschildert.

Die Volumenströme von der Quelle können an Punktquellen mit Anemometern (Punktmessung, Netzmessung) oder mit Meßimpellern (Durchmesser der Meßflügel entspricht Kaminquerschnitt) gemessen werden. Für Netzmessungen wurde entweder Laser-Doppler-Anemometrie (LDA), Hitzdraht-Anemometrie oder Flügelrad-Anemometrie eingesetzt. Die letztgenannten Instrumente wurden gegebenenfalls an einem Windkanal mit Hilfe der LDA kalibriert. Dabei kann eine Genauigkeit von 1% erreicht werden. Gleiches gilt für die Meßimpeller. Zusammen mit der Konzentrationsmessung ergibt sich dann die Emissionsrate als Produkt aus Volumenstrom und Konzentration.

Für diffuse Quellen wird am Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IFU) wird ein Verfahren entwickelt und zusammen mit der Landtechnik Weihenstephan für landwirtschaftliche Quellen eingeführt und erprobt, bei dem mit Hilfe einer invertierten Ausbreitungsrechnung die emittierte Gasmenge mit Messungen im Immissionsbereich bestimmt wird. Dazu werden FTIR-Langpfadmessungen eingesetzt, die den Vorteil besitzen, entlang des Pfades die Konzentration mit einer unendlich hohen Anzahl von Meßpunkten aufzunehmen.

Gaußsche Ausbreitungsmodelle basieren auf analytischen Lösungen der Di-

spersionsgleichung für eine Atmosphärenkomponente mit der Konzentration c der Form

$$c_{(x,y,z)} = \frac{Q}{\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \quad (1)$$

(Q : Punktquellstärke; σ_y , σ_z : Dispersionsparameter; \bar{u} : mittlerer Wind in Bodennähe). Die Dispersionsparameter σ_y , σ_z werden in Abhängigkeit von der meteorologischen Situation gewählt. Gleichung (1) wird auch modifiziert, um zusätzliche Prozesse wie etwa Deposition oder Schornsteinüberhöhung einzubeziehen.

Für die hier beschriebenen Messungen wurde das Modell PAL (Point, Area, Line) für Punkt-, Flächen- und Linienquellen der Amerikanischen Umweltbehörde US-EPA eingesetzt. Nach [3] lassen sich Genauigkeiten von $\pm 20\%$ erreichen.

Beispiele für Meßkampagnen

Emissionen aus einer eingehausten Biomüll-Kompostierungsanlage

Bei dieser Anlage wird zur Belüftung der Tafelmieten Luft von unten durch die Mieten gedrückt. An der Hallendecke wird die Luft abgesaugt und einem Biofilter mit vorgeschaltetem Luftwäscher zugeführt. Die Gaskonzentrationen in der Abluft wurden mit FTIR-Gaszellenmessungen bestimmt, der Volumenstrom mit LDA. Die gasförmigen Emissionen können dann auf die der Kompostierung zugeführte Trockenmasse umgerechnet werden (Tab. 1). Mit Messungen im gefilterten Abluftstrom wurde die Reinigungsleistung bestimmt. Es zeigte sich, daß der Biofilter unter bestimmten Bedingungen an „Hot Spots“ Lachgas emittieren kann.

Tab. 1: Massenströme des Rohgases aus einer geschlossenen Kompostierungsanlage in kg/t Input-TS

Table 1: Mass flow of raw gas from a closed composting plant in kg/t input dry matter

Betriebszustand	H ₂ O	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	NH ₃
	kg/t Input-TS				
Ruhend	1045	333	0,25	4,05	0,94
Umsetzen	822	223	0,13	1,86	1,21
Gesamt	1867	556	0,38	5,91	2,15

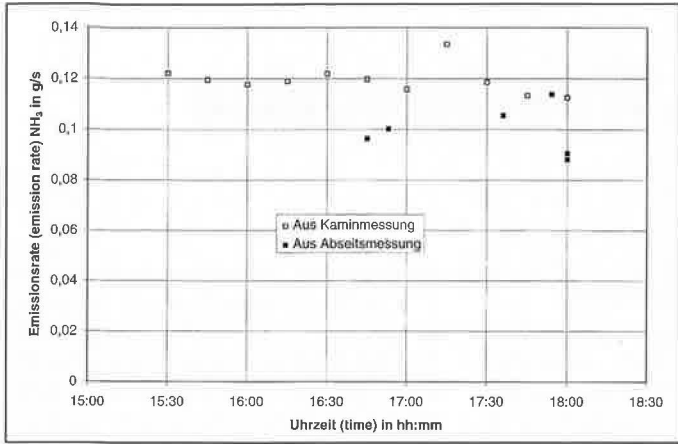


Bild 1: Vergleich der NH_3 -Emissionsrate nach Konzentrations- und Volumenstrommessung am Kamin und nach Abseitsmessung und invertierter Dispersionsmodellierung

Fig. 1: Comparing of NH_3 -emission rate from measurement at chimney \square and from immission measurement with dispersion modelling \blacksquare

Weitere Messungen mit Gaszelle wurden zur Analyse der Stoffströme an verschiedenen Aufstallungsformen für Legehennen unternommen. Diese werden in einer späteren Ausgabe geschildert. Erste Ergebnisse sind in [4] zusammengefaßt.

Vergleich von Punktmessung mit Messungen durch invertierte Ausbreitungsmodellierung an einem Schweinestall

Bei dem Versuchsobjekt handelt es sich um einen Mast Schweinestall mit rund 900 eingestellten Schweinen bei Mindelheim. Die Luft wird über Rieseldecken zugeführt und unter dem Vollspaltenboden abgesaugt. Die unter dem Spaltenboden gelagerte Gülle hat zu diesen einen Abstand von 70 bis 100 cm. Der Standort befindet sich mehrere Kilometer von umliegenden Ortschaften entfernt auf freiem Feld.

In zwei Meßkampagnen wurde am Kamin die Emissionsrate mit FTIR und Gaszelle (Konzentration) und mit einem Flügelrad-Anemometer/-Meßimpeller (Volumenstrom) bestimmt. Der Abluftkamin hat eine Querschnittsfläche von $1,25 \cdot 2,5$ m. Während der Sommermessung wurde bei gleichbleibender Lüftungsrate ein Meßimpeller mit 0,7 m Durchmesser über eine Netzmessung nach VDI 2640-3 kalibriert. Während der Frühjahrsmessung (schwankende Lüftungsrate) wurde mittels automatischer Positionierung über Traversen eine kontinuierliche Netzmessung nach VDI 2640-3 durchgeführt.

Zusätzlich zu zwei Meteorologiestationen wurde während der Sommermeßkampagne vom IFU mit einem LIDAR (Light Detection and Ranging) die Dispersion der Abluffahne untersucht. Ein SODAR (Sound Detection and Ranging) nahm Windprofile über 15 m Höhe auf, ein 10 m-Wettermast Wind-Parameter darunter sowie die Differenztemperatur zwischen 2 und 10 m Höhe. Diese Parameter können dazu dienen, die Ausbreitungsrechnung zu überprüfen, vor allem wenn weitere Modelle auf die Daten angewandt werden. Auch ist so eine ge-

nauere Beschreibung des Verhaltens der Abluffahne möglich. Eine Gruppe der Tierärztlichen Hochschule Hannover setzte Staubimpaktoren ein, deren Filter anschließend nach Mikroorganismen untersucht wurden.

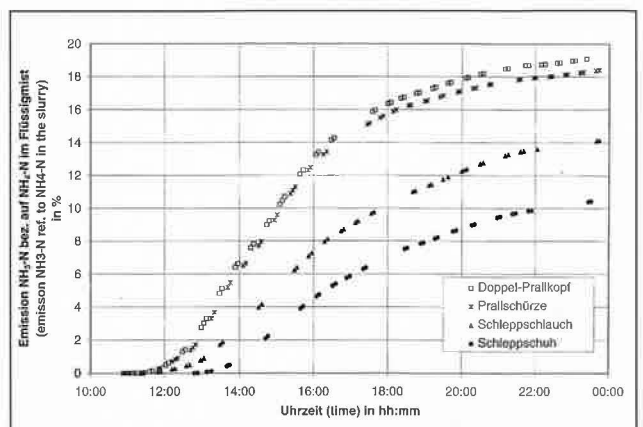
Als beispielhaftes Ergebnis soll ein Ausschnitt der NH_3 -Emissionsrate der Frühjahrsmessung gezeigt werden (Bild 1). In dem auf Grund der meteorologischen Gegebenheiten (Stabilitätsklasse C) zur Verfügung stehenden Zeitraum von 1,5 h ist die mittlere Abweichung der im Kamin gemessenen (0,12 g/s) und der mittels des Gaußmodells aus den Trassenmessungen im Abwind und den meteorologischen Daten errechneten Emissionsraten (0,10 g/s) kleiner als 20 %. Messungen bei anderen Stabilitätsbedingungen zeigten teilweise größere Abweichungen [5].

Vergleich der NH_3 -Emissionen verschiedener Gülle-Ausbringetechniken im Praxisversuch

Untersucht wurden ein Doppel-Prallkopf-, Schleppschürzen-, Schleppschlauch- und Schleppschuh-Verteiler. Die Gülle wurde auf vier Dauergrünland-Streifen von 36 m Breite und 200 m Länge in hinreichend großem Abstand voneinander ausgebracht. Zwischen jeweils zwei Streifen wurde ein auf einen Drehteller montiertes FTIR-Spektrometer gesetzt, das um 180° auf jeweils einen IR-Strahler geschwenkt werden konnte.

Bild 2: Vergleich der kumulierten NH_3 -N-Emission bezogen auf die mit der Gülle ausgebrachte NH_4 -N-Menge verschiedener Flüssigmist-Verteilertechniken im Praxisversuch

Fig. 2: Comparison of cumulated NH_3 -N emission, related to spread NH_4 -N from Double Deflector Nozzle \square , Deflector Nozzle with Tarpaulins $*$, Band Spread \blacktriangle and Trailing Shoe \bullet



Begleitend wurden wieder umfangreiche meteorologische Messungen durchgeführt; diese wurden zusammen mit den gemessenen Gaskonzentrationen über den Grünlandstreifen als Eingangsparameter für die oben geschilderte Dispersionsmodellierung verwendet. Bei relativ niedrigen Temperaturen (tags $10,5^\circ C$, nachts $8,8^\circ C$) und Sonneneinstrahlung (tags $113 W/m^2$) und bei etwa 12 h nach Versuchsbeginn einsetzendem Regen wurden geringe Emissionen festgestellt. Trotzdem konnten die verschiedenen Verteilertechniken deutlich voneinander unterschieden werden [6]. In Bild 2 ist die kumulierte Emission der verschiedenen Verteiler aufgetragen. Auf diese Weise konnte der emissionsmindernde Effekt neuer Gülle-Ausbringetechniken direkt im Feldversuch bewiesen werden.

Fazit

Die Hauptvorteile der FTIR-Spektroskopie zur Konzentrationsbestimmung liegen vor allem in der Multigasanalyse und der Anwendbarkeit für die verschiedensten Quelltypen. Offenpfadmessungen erlauben das Erfassen von großen räumlichen Ausdehnungen. Örtliche Inhomogenitäten werden ausgeglichen. Dieses Meßverhalten entspricht dem Verhalten einer räumlich und zeitlich gemittelten Ausbreitungsrechnung und paßt daher sehr gut zur gestellten Aufgabe. Für kompliziertere Konfigurationen werden im Rahmen der Arbeiten neue Verfahren entwickelt, die auf Lagrangeschen Modellen beruhen.

Literaturhinweise sind beim Verlag unter LT 97 623 erhältlich.

Schlüsselwörter

FTIR, Quelltypen, Emissionsrate, Ausbreitungsrechnung

Keywords

FTIR, source types, emission rate, dispersion modelling