

Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie für eine nährstoffgesteuerte Gülleausbringung

Axel Zimmermann, Eiko Thiessen, Helga Andree, Eberhard Hartung

Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik
Christian-Albrechts-Universität Kiel

Max Eyth Strasse 6
24118 Kiel

azimmermann@ilv.uni-kiel.de; ethiessen@ilv.uni-kiel.de
handree@ilv.uni-kiel.de; ehartung@ilv.uni-kiel.de

Abstract: Eine pflanzen- und umweltgerechte Ausbringung von Flüssigmist ist das Ziel des Projekts „Nährstoffgesteuerte Gülleausbringung“. Hierzu sollen während der Ausbringung von Flüssigmist die Inhaltsstoffe ermittelt werden und die ausgebrachte Flüssigmistmenge je nach Inhaltsstoffgehalt angepasst werden. Eine bedarfsgerechte Ausbringung wird somit realisiert. Bei dem Systemaufbau der Messtechnik wurde vom Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik ein Nahinfrarotspektrometer (NIR) auf einem praxisüblichen Flüssigmistwagen montiert. Praxistaugliche Anpassungen am Nahinfrarotspektrometer sowie anderen Bauteilen wurden hierzu realisiert. Ergebnisse aus ersten Versuchen und der Erstellung der Kalibrationen für das NIR liegen vor. Es lassen sich für Trockensubstanz (TS), Gesamt-N und NH₄-N sehr gute Kalibration mit einem $r = 0,99$ und $RMSEP = 0,272 \%$ bei TS, $r = 0,98$ und $RMSEP = 0,247 \text{ kgN/m}^3$ bei Gesamt-N, sowie $r = 0,99$ und $RMSEP = 0,107 \text{ kgN/m}^3$ bei NH₄-N erstellen.

Problemstellung und Vorgehensweise

Das Projekt „Nährstoffgesteuerte Gülleausbringung“ hat die Entwicklung, Anpassung und Erprobung des praktischen Einsatzes eines Verfahrens zur pflanzen- und umweltgerechten Ausbringung von Flüssigmist und Biogasfauls substraten auf der Basis von stetig am Güllewagen mit einem Sensor (NIR) ermittelten Nährstoffkonzentrationen zum Ziel. Bei diesem Verfahren soll der NIR-Sensor die Inhaltsstoffe von Flüssigmist in Echtzeit ermitteln. Die so ermittelten Werte der Inhaltsstoffe können mit vorgegebenen Zielwerten abgeglichen und die auszubringende Flüssigmistmenge pro Flächeneinheit kann auf Basis dessen bedarfsgerecht ausgebracht werden.

Material und Methode

Der im Projekt eingesetzte Güllewagen ist ein Pumptankwagen mit einem Fassungsvermögen von 18.500 Liter. Der Wagen ist mit einem Messrechner inklusiv serienmäßigem Geschwindigkeitssensor und einem Durchflussmengenmesser ausgestattet. Die Ausbringmenge (in m^3/ha) kann, vom Messrechner auf dem Traktor vorgegeben und verstellt werden.

Das zur Bestimmung der Flüssigmistinhaltsstoffe eingesetzte Nahinfrarotspektrometer ist ein Dioden-Array-Spektrometer der Firma Polytec (Wellenlängenbereich von 850 bis 1650 nm; mit 256 Pixel). Die Dunkelstrommessung wird bei diesem Gerät über einen integrierten mechanischen Verschluss (Shutter) realisiert (Polytec, 2006), die Weißreferenzierung erfolgt manuell. Für den Feldeinsatz wurde das Messgerät in eine gut zugängliche Einhausung montiert, mit der gewährleistet werden kann, dass das Gerät während des Einsatzes gegen Erschütterungen, Staub und andere widrige äußere Einflüsse geschützt ist. Für den Betrieb auf dem Güllewagen wird die Software des Geräts so eingestellt, dass ausschließlich Reflexionsspektren gemessen werden. Das Messgerät und die davon getrennten eigentlichen Messköpfe werden über Lichtwellenleiter verbunden. Mit dem Nahinfrarotspektrometer können über den Multiplexer zwei Messköpfe parallel betrieben werden. Dies ermöglicht zum einen mehr Freiheiten für die Wahl der Einbauorte der Messköpfe, zum anderen können so Unterschiede zwischen den Spektren der verschiedenen Einbauorte zeitparallel erfasst werden.

Am Flüssigmistwagen wurden zwei Einbauorte für die Messoptik ausgewählt. Ein Einbauort befindet sich in der liegenden Hauptleitung unter dem Fass. An diesem Messpunkt ist es schon während der Befüllung möglich, Spektren des Substrates zu erhalten. Der zweite Einbauort befindet sich im senkrecht steigenden Rohr, fast am Ende des Ausbringsystems vor dem Schleppschlauchverteiler. Der Messkopf kann über Flansche an der jeweiligen Rohrleitung aufgeschraubt werden. Die Flansche sind mit einem 6 mm dicken Saphirkristallfenster ausgestattet, welches sich zwischen dem Messkopf und dem Flüssigmist befindet. Der Messfokus, indem sich die Lichtquelle und der Sensor-„Messfleck“ hinter dem Fenster in dem Flüssigmist überschneiden, liegt 2 mm hinter dem Saphirkristall und hat einen Durchmesser von 25 mm.

Die mit dem Nahinfrarotspektrometer aufgenommene direkte Messgröße ist das Reflektanzspektrum. Dieses setzt sich wiederum aus 256 Einzelwerten des Wellenlängenbereiches von 850 bis 1650 nm zusammen. Wenn die auf die Probe auftreffende Lichtmenge bekannt ist, kann über das reflektierte Licht das Reflexionsspektrum errechnet werden. Hierzu wird zuerst eine Keramikplatte mit einer bekannten Reflexion (nahe 100%) als Referenz vermessen und diese Platte später durch die Probe ersetzt. Hieraus kann schließlich unter Berücksichtigung der Dunkelstrommessung das Reflexionsspektrum errechnet werden (Siesler et al., 2002).

Funktionsweise des Systems

Für eine Bestimmung der Nährstoffe während der Ausbringung von Flüssigmist ist es nötig eine Kalibration in der Systemsoftware zu hinterlegen. Eine Kalibration wird erstellt, indem eine Regression von Spektren mit den jeweiligen Inhaltsstoffen der dazugehörigen Referenzproben verrechnet. Die so erstellte und in der Systemsoftware hinterlegte Kalibration wird bei der Ausbringung auf das zuletzt gemessene Nahinfrarotspektrum angewandt, um daraus den Schätzwert für den jeweiligen Inhaltsstoff z.B. Gesamt-N (kgN/m^3) zu erhalten. Über den vorhergesagten Wert von kgN/m^3 kann nun die applizierte N-Menge/ha errechnet und mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen und angepasst werden (über eine Veränderung der Ausbringmenge und/oder -geschwindigkeit; Abb. 3). Eine gleichmäßige Ausbringung von kgN/ha bei variierenden Inhaltstoffkonzentrationen kann somit gewährleistet werden. Mit Hilfe eines GPS Empfängers kann die ausgebrachte N-Menge ortsspezifisch genau ausgebracht bzw. dokumentiert werden.

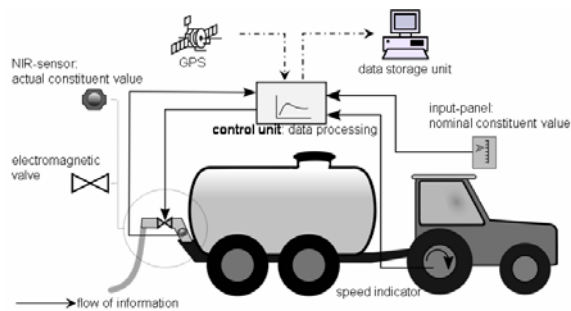


Abbildung 3: Darstellung des NIR gesteuerten Güllewagens (schematisch)

Erste Ergebnisse

Die nachfolgend gezeigten Ergebnisse der Kalibrationen wurden mit der Software „THE UNSCRAMBLER“ der Firma CAMO erstellt. Es werden Ergebnisse aus der Erstellung erster Kalibrationen für die düngerelevanten Flüssigmistinhaltsstoffe gezeigt.

Für die Erstellung der einzelnen Kalibrationen wurden die Originalspektren ohne Datenvorbehandlung verwendet. Die Kalibrationen wurde mit einem PLS 1 Algorithmus erstellt. Das bedeutet, dass für jeden Inhaltsstoff eine eigene Kalibration erstellt wurde. Die Validierung der Daten erfolgte bei den gezeigten Daten mit der Methode der Full Cross Validation. Das bedeutet, dass bei einem Datensatz von n Proben ein Modell mit dem Probenumfang von $n - 1$ erstellt wird und auf die ausgelassene Probe angewandt wird. Die Validation ist abgeschlossen, wenn das Modell auf jede Probe einmal angewendet wurde. In den Abbildung 4 und 5 sind die Datenpunkte der Validation für Gesamt-N und $\text{NH}_4\text{-N}$ dargestellt. Die Daten zeigen, dass sehr gute Schätzmodelle für Gesamt-N mit einer Korrelation von $r = 0,98$ und einem RMSEP (root mean squared error of prediction) = $0,24 \text{ kgN/m}^3$ werden können. Für $\text{NH}_4\text{-N}$ lassen sich Schätzmodelle mit einer Korrelation von $r = 0,99$ und einem RMSEP = $0,1 \text{ kgN/m}^3$ erstellen. Die Anzahl der Principal Componentes (PC), mit denen das Modell erstellt wurde, lag für Gesamt-N bei 3 und für $\text{NH}_4\text{-N}$ bei 4. In Tabelle 1 sind die Validationsparameter für die einzelnen, kalibrierten Inhaltsstoffe des Flüssigmistes aufgelistet. Weitere Ergebnisse zur Stabilität sowie Reproduzierbarkeit der Messgröße können auf der Tagung vorgestellt werden.

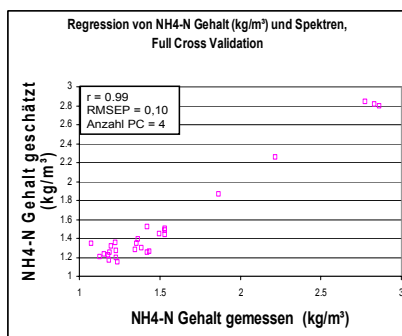


Abbildung 1: Kalibration Gesamt-N

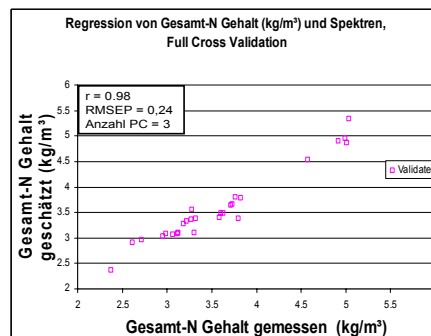


Abbildung 2: Kalibration $\text{NH}_4\text{-N}$

Tabelle 1: Validationsparameter der einzelnen Inhaltsstoffe

	n	r	RMSEP	Mittelwert	Spannweite	Anzahl PC
TS (%)	28	0.99	0.272	5.40	2.6 - 11.4	2
Gesamt-N (kg/m ³)	28	0.98	0.247	3.53	2.2 - 5.0	3
NH ₄ -N (kg/m ³)	28	0.99	0.107	1.52	1.1 - 2.7	4
K (kg/m ³)	28	0.95	0.038	0.38	0.2 - 0.7	4
P (kg/m ³)	28	0.99	0.025	0.13	0.1 - 0.2	9

Diskussion und Fazit

Der Stichprobenumfang der in Tabelle 1 gezeigten Validationsparameter ist mit $n = 28$ als gering anzusehen. Jedoch konnten trotz dieses geringen Stichprobenumfanges gute Kalibration mit hohen Korrelationen von Nahinfrarotspektren und Inhaltsstoffen erstellt werden. Für die Vorhersagegenauigkeit der Inhaltsstoffe ist allerdings nicht nur die Korrelation zwischen Nahinfrarotspektren und Inhaltsstoffen von Bedeutung, sondern auch der RMSEP, der die Abweichung des vorhergesagten zum Referenzwert angibt. Ziel eines Feldsystems zur Bestimmung von Flüssigmistinhaltsstoffen ist es, eine Vorhersagegenauigkeit zu erreichen, die nicht ungenauer als der doppelte Fehler der Laboruntersuchungen ist. Der Laborfehler wurde aus den vorliegenden Dreifachanalysewerten als Mittelwert der Variationskoeffizienten über alle Proben der einzelnen drei Analysewerte abgeschätzt. Für den Vergleich des Laborfehlers mit der Vorhersagegenauigkeit wurde der RMSEP ins Verhältnis zum Mittelwert gesetzt. Für die Kalibrationen der Parameter ist der Vorhersagefehler etwas größer als der doppelte Laborfehler. (Daten nicht gezeigt) Es können mit den erstellten Kalibrationen, die beiden für den Ackerbau bedeutsamen Inhaltsstoffe, Gesamt-N und NH₄-N mit einer höheren Genauigkeit als Phosphor und Kalium geschätzt werden. Es ist zu erwarten, dass der Vorhersagefehler mit der geplanten Vergrößerung des Stichprobenumfanges abnimmt.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des BMELV über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).

Quellen

- [ADH06] Andree, H., M. Dolud and E. Hartung (2006). "Near-Infrared Spectroscopy as a Process Analytical Technology in Manure Application for Fertilizing." (Agricultural Engineering for a Better World): 345.
- [Bu07] Bundesministerium für Landwirtschaft, E. u. V. (2007). "Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen - DüV".
- [Po06] Polytec (2006). "Polytec Hardware Handbuch."
- [Se95] Severin, K. (1995). Prüfung der Homogenität von Schweinegülle, LWK Hannover
- [Si02] Siesler, H. W., Y. Ozaki, S. Kawata and H. M. Heise (2002). Near-Infrared Spectroscopy.