

Automatisierte und digitale Dokumentation der Applikation organischer Düngemittel

Sebastian Bökle¹, David Reiser¹ und Hans W. Griepentrog¹

Abstract: In der Landwirtschaft nach guter fachlicher Praxis ist die organische Düngung ein unverzichtbarer Baustein. Aufgrund erhöhter Nitratbelastungen im Grundwasser steht diese jedoch in der Kritik. Digitale Lösungen können hier zu einer lückenlosen Dokumentation und Effizienzsteigerung beitragen. Zwei verschiedene Varianten wurden betrachtet: jeweils eine Applikation mithilfe eines ISOBUS-Loggers der Firma Exatrek und mit einem Harvest Lab 3000 Sensor der Firma John Deere zur positionsgenauen Aufzeichnung ausgebrachter Inhaltsstoffe in Gülle. Beide Varianten wurden mit der herkömmlichen Dokumentation mithilfe einer Gülleprobe und der Ausbringmenge verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine digitalisierte Dokumentation und Applikation in der organischen Düngung möglich ist und deutliche Vorteile bietet. Sie ermöglichen es einerseits, kommende Dokumentationspflichten zu erfüllen, und andererseits, die Nährstoffe präziser und nachvollziehbarer zu applizieren.

Keywords: Dokumentation, organische Düngung, NIRS, GPS-Logging

1 Einleitung

Deutsche Landwirte haben bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung eine Vorsorgepflicht zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource [GE17]. Allerdings erfordern die nach der EU-Nitratrichtlinie [RI91] seit Jahren erhöhten Nitratwerte im Grundwasser, vor allem unter Ackerflächen [BM17] in den so genannten „roten Gebieten“, erhöhten Handlungs- bzw. Dokumentationsbedarf. Somit braucht es Wege zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in das Grundwasser. Mit der neuen Düngeverordnung sind Landwirte seit 2017 dazu verpflichtet, den Düngebedarf und die Nährstoffgehalte der Düngemittel und des Bodens zu bestimmen und zu dokumentieren.

Die Digitalisierung bietet hier in Form der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) vielversprechende Möglichkeiten, Messwerte unmittelbar bei oder vor der Applikation zu erhalten. Des Weiteren können die ausgebrachten Nährstoffmengen teilflächenspezifisch georeferenziert werden und dienen so einer ortsgenauen Dokumentation. In den DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) Prüfberichten wurden bisher mehrere Systeme in verschiedenen Güllearten geprüft. Durchflussmengenmesser werden in Kombination mit NIRS oder rein zur geschwindigkeitsabhängigen Ausbringung verwendet [JO19].

¹ Universität Hohenheim, Fg. Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion, Garbenstr.9, 70599 Stuttgart, sebastian.boekle@uni-hohenheim.de, dreiser@uni-hohenheim.de, hw.griepentrog@uni-hohenheim.de

In dieser Untersuchung wird zum ersten Mal ein GPS-Tracker/Logger zur Dokumentation und Berechnung der ausgebrachten Gülle- und Nährstoffmengen getestet. Dazu werden Daten aus den BUS-Systemen der Landmaschinen verwendet. Ein Vergleich der genannten Methoden wurde bisher nicht umgesetzt. Diese Untersuchung ist Teil des Projektes MRdigital [Gr19].

Das Ziel dieser Untersuchung ist, drei Methoden zur Dokumentation der Nährstoffapplikation in Form von Gülle einander gegenüberzustellen: 1. Laboranalyse, 2. ISOBUS Tracking und Laboranalyse und 3. Online-Stickstoffmessung mit NIRS-Technik. Es werden Vor- und Nachteile analysiert sowie der Mehrwert aus agronomischer und ökonomischer Sicht bewertet. Dies wird zusätzlich im Rahmen von gesetzlichen Dokumentationspflichten diskutiert.

2 Material und Methoden

Für die Analyse der drei verschiedenen Ansätze wurden zwei Felder in Baden-Württemberg gewählt und die Ausbringung der Gülle (jeweils Biogasgülle) mit zwei verschiedenen digitalen Dokumentationsverfahren aufgezeichnet. Die klassische Dokumentationsmethode wurde zusätzlich für beide Felder mithilfe einer Gülleprobe im Labor bestimmt. Die zwei betrachteten Schläge hatten eine Größe von 5,9 ha und 12,8 ha. Auf dem ersten Feld wurden ISOBUS-Daten bei der Applikation mithilfe eines Exatrek-T2-Loggers (Exatrek GmbH, Hamm, Deutschland) aufgezeichnet und daraus die ausgebrachte Menge bestimmt. Auf dem zweiten Feld wurde die ausgebrachte Menge mithilfe des NIRS-Sensors HarvestLab 3000 (John Deere, Moline, USA) ausgewertet. Der Exatrek-T2-Logger realisierte eine cloudbasierte Tracking Funktion. Das Modul bezog hier Traktor-BUS-Daten aus der ISOBUS-InCab-Schnittstelle eines Deutz Agrotion 9340TTV mit angehängtem Zunhammer Pumptankwagen MKE 14 TUL. Der NIRS-Sensor war auf einem Vervaet Hydro Trike, kurz vor dem Scheibeneggenverteiler installiert.

Die Ausbringmenge des Zunhammer Pumptankwagens wurde mit normaler GNSS (Global Navigation Satellite System) Genauigkeit mithilfe des Exatrek-T2-Loggers aufgezeichnet. Der Vervaet Selbstfahrer war mit Spurführungssystem (Differential GNSS - Genauigkeit SF1) ausgestattet. Hier wurde mit einer konstanten Ausbringmenge von 19 m³ Gülle pro Hektar appliziert. Der NIRS-Sensor realisierte 4000 Messungen pro Sekunde, welche gemittelt und auf fünf Datenpunkte pro Sekunde ausgegeben wurden. Die Daten wurden anschließend in dem Cloud-System MyJohnDeere eingelesen und visualisiert. Zur Analyse der Daten wurden die Messwerte anschließend im Shape Format exportiert und mithilfe von Excel (Microsoft, Sunnyvale, USA) und QGIS (QGIS Development Team/ Gary Sherman, Chicago, USA) analysiert. Da für beide Felder die tatsächliche Ausbringmenge und das Resultat der Gülleproben vorlagen, konnten die zwei digitalisierten Verfahren mit der herkömmlichen Methode verglichen und die gesetzlich verpflichtende Dokumentation ebenfalls pro Feld bestimmt werden. Da bei dem

verwendeten Zunhammer Pumptankwagen die Zapfwelle direkt mit der Pumpe verbunden ist, konnte direkt aus Pumpenvolumen p [l], Wirkungsgrad η (92 %, Angabe Zunhammer) und der Zapfwelldrehzahl n [U/min] die Durchflussmenge bestimmt werden. Zusammen mit der Zeit t [s], Geschwindigkeit v [m/s] und der Arbeitsbreite b [m], kann aus den ISOBUS-Daten die ausgebrachte Güllemenge wie folgt berechnet werden:

$$\text{Ausbringmenge} = n * \eta * p * v * b * \Delta t \quad (1)$$

Zusammen mit dem aus der Gülleprobe ermittelten Stickstoffgehalt ergibt sich durch die Aufsummierung die ausgebrachte Stickstoffmenge für den Schlag. Dieser Wert wurde mithilfe von Excel berechnet. Um aus den aufgezeichneten Daten des Exatrek-T2-Loggers die räumliche Verteilung der ausgebrachten Güllemenge zu bestimmen, wurde in QGIS jeder Datenpunkt auf die Arbeitsbreite des Verteilers von 15 Metern erweitert und alle sich überlappenden Zonen innerhalb eines 1 x 1-Meter-Rasters zusammenaddiert. Somit konnte die Ausbringmenge pro Quadratmeter angenähert bestimmt werden.

3 Ergebnisse

Bei flüssigen Gärresten hat der Landwirt immer eigene Analyseergebnisse des Substrates für die Dokumentation zu liefern. Sie sind an beiden Standorten Grundlage der herkömmlichen Dokumentationsmethode. Auf dem ersten Feld wurden rechnerisch auf der Fläche von 12,8 ha insgesamt 242,73 m³ auszubringender Biogasanlagengärrückstand ermittelt. Die Aufzeichnungen des NIRS-Sensors ergaben 239,98 m³. Dies entspricht einer Abweichung von 1,1%. Über die errechnete Ausbringmenge und die Laborwerte des Substrates wurde ein N-Wert von 104,4 kg/ha ermittelt. Der durchschnittliche Nährstoffeintrag aus der NIRS-Messung beträgt hingegen 73,69 kg/ha, was einer Abweichung von 29,44 % entspricht. Die errechnete Menge NH₄-N im Labor beträgt 59,74 kg/ha. Da die NH₄-Aufzeichnung im NIRS-Sensor nicht verfügbar war, wurde zur Berechnung dieses Wertes das Verhältnis zu Gesamt-N aus der Laborprobe zu Grunde gelegt und kommt somit auf dieselbe Abweichung. Da in Testberichten der Sensor für NH₄ größere Messfehler [DL18] wie für Gesamt N aufwies, ist hier von entsprechenden Abweichungen auszugehen.

Auf dem zweiten Feld war eine Nährstoffmessung online technisch nicht möglich. Somit entsprechen die Nährstoffkonzentrationen dem Verhältnis der Ausbringmengen. Die Werte in der Exatrek Dokumentation liegen 2,32 % über der rein rechnerischen Ermittlung. Die Werte der zwei Felder sind in Tabelle 1 aufgelistet. Auf Feld 1 wurde eine nahezu lückenlose Ausbringung umgesetzt. Die ausgebrachte Güllemenge variiert nur sehr gering über den Schlag, mit einer durchschnittlichen Abweichung von 3,3 % (siehe Abb. 1a). Die erkennbaren Unterschiede von Spur zu Spur sind dem hängigen Relief geschuldet. Bergauf konnte die Pumpe bei geringen Geschwindigkeiten nicht weiter herunterregeln, sodass es zwangsläufig zu leicht erhöhten Ausbringmengen kam. Bei der Auswertung der ISOBUS-Daten des Exatrek-T2-Loggers sind deutlichere Unterschiede erkennbar (siehe Abb. 1b).

	Feld 1 (12,8 ha)			Feld 2 (5,9 ha)		
	klassisch	NIR-Sensor	Abw. in %	klassisch	Exatrek-T2-Logger	Abw. in %
Gesamt m ³	242,73	240,01	1,12	63,25	64,72	-2,32
m ³ /ha	19,00	18,78	1,13	10,72	10,97	-2,32
N kg/ha	104,45	73,69	29,45	51,46	52,65	-2,32
NH ₄ -N kg/ha	59,74	42,15	29,45	30,00	30,70	-2,32

Tab. 1: Abweichungen der errechneten Werte von den gemessenen, digitalen Methoden

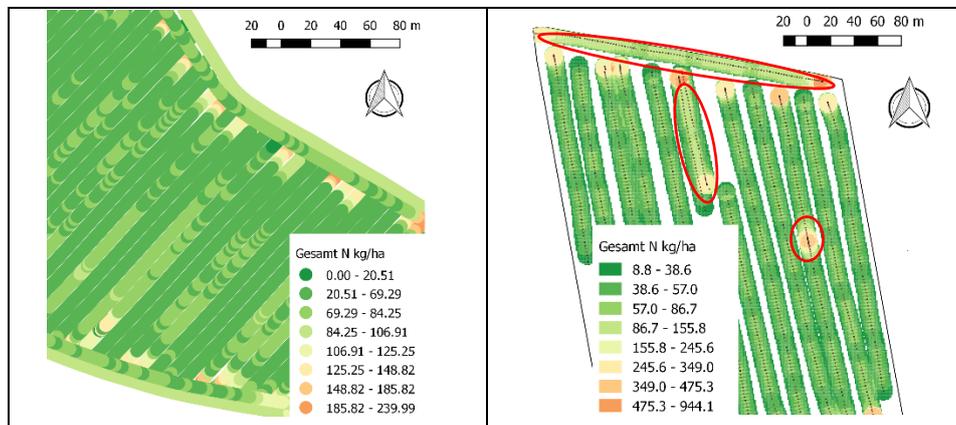


Abb. 1: (a) NIR-Sensor-Daten auf Feld 1, (b) Exatrek Spurlogging, 15 m Arbeitsbreite

Auf den rot eingekreisten Stellen wurde mehr Gülle ausgebracht als geplant. Der Fahrer fuhr hier nicht korrekt auf Anschluss und applizierte an punktuellen Stellen sowie im Vorgewende in einer zu langsamen Geschwindigkeit. Fehlstellen und Überlappungen sind bei dieser Methode deutlich erkennbar.

Neben der Verteilgenauigkeit in Fahrtrichtung ist eine genaue Querverteilung über die Arbeitsbreite des jeweiligen Verteilergestänges von Bedeutung, da auch hier, technisch bedingt, Umweltbelastungen auftreten können. Ergebnisse aktueller und länger zurückliegender Untersuchungen zeigen mittlere Abweichungen zwischen 1 und 4 % der Ausbringung über die gesamte Arbeitsbreite [DL97] [DL19].

4 Diskussion

Die Dokumentation der ausgebrachten Gärrestmenge über den NIRS-Sensor bildet die errechnete Menge auf 1,1 % genau ab. Dies bestätigt beide Methoden in ihrer Präzision. Dies bedeutet einerseits, dass von Hand errechnete Mengen verlässlich sind, jedoch eine gleichmäßige Ausbringung über die gesamte Fläche nur mittels NIRS-Sensor kontrolliert

bzw. aktiv und automatisch gesteuert werden kann. Es ist zu erwarten, dass bei kleineren Flächen die Ungenauigkeit der von Hand errechneten Werte zunimmt, da sich die relativ ungenaue Bestimmung der Füllstände der Ladungen bei kleineren Applikationsmengen stärker auswirken kann.

Die Unterschiede von 29,45 % in der Gesamt-N-Dokumentation entsprechen, je nach Kalibration, den Ermittlungen der DLG-Prüfberichte. Der Sensor erzielte im Prüfbericht für flüssige Gärsubstrate jedoch genauere Werte als die hier berichteten. Dies kann an der Kalibration des Sensors oder an Schwankungen innerhalb der Laborwerte [Ta19] liegen. Die Kalibration funktioniert gut für homogene Substrate ohne Zusätze. Heterogene und mit Zusätzen (bspw. Kalkschlamm) versetzte Substrate haben negative Auswirkungen auf die Messgenauigkeit. Im hier untersuchten Fall unterschätzt der Sensor die ausgebrachte Nährstoffmenge, was zu Überdüngung, möglicher Grundwasserbelastung und Ertragsausfällen durch Lager führen kann. Ein Vorteil der teilflächenspezifischen NIRS-Dokumentation im Vergleich zur händischen Methode ist, dass Stellen, an denen zu wenig Nährstoffe sind, teilflächenspezifisch mineralisch aufgedüngt werden können. Werden die Nährstoffmengen rein rechnerisch ermittelt, kann es im selben Schlag sowohl zur Über- als auch Unterdüngung kommen, welche zur Korrektur nicht lokalisiert werden können.

Der Dokumentation mit dem Exatrek-T2-Logger liegen die Nährstoffangaben aus der Laboranalyse zugrunde. Somit entsprechen die Nährstoffkonzentrationen proportional den Unterschieden der Applikationsmenge. Obwohl die dokumentierte Fahrstrecke über die Arbeitsbreite des Verteilers mehr Fehlstellen als Doppelapplikationen aufweist, liegt die errechnete Ausbringung leicht unter der vom Logger dokumentierten. Diese Differenz könnte an einem geringeren Wirkungsgrad der Pumpe als dem angenommenen liegen. Des Weiteren ist festzustellen, dass die Gesamtmenge rechtlich korrekt ausgebracht werden kann, es jedoch auf einzelnen Stellen dennoch zur Überdüngung und so zur Nitratbelastung im Grundwasser kommen kann. Dies ist ein hervorzuhebender Vorteil gegenüber der händischen Methode. Außerdem besticht der Datenlogger mit Einfachheit und kostengünstiger Umsetzung. Daher ist zu erwarten, dass in der Praxis eher ein mit passender Software ausgestatteter Datalogger zum Einsatz kommen könnte als ein sehr kostenintensiver NIRS-Sensor. Jedoch hat diese Methode nur die Möglichkeit, eine homogene Gülle anzunehmen, und somit auch entsprechende Limitierungen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass digitale Methoden zur Dokumentation von Gülleapplikationen bereits heute genutzt werden können und verschiedene Vorteile bieten. Ebenso konnte der Mehrwert einer georeferenzierten Dokumentation der Ausbringung in Form einer teilflächenspezifischen Aufdüngung gezeigt werden. So konnte auf der einen Seite eine sensorbasierte Auswertung exakte Informationen über Ausbringung und Nährstoffgehalt liefern. Auf der anderen Seite bot eine ISOBUS-basierte Auswertung der

Ausbringmenge bereits einen erheblichen Mehrwert gegenüber der herkömmlichen Dokumentationsmethode mithilfe einer Gülleprobe und gesamten Ausbringmenge. Es ist zu erwarten, dass die Dokumentationspflicht für Landwirte in Zukunft aufgrund der Nitratbelastung und neuer Umweltauflagen weiter zunimmt. Somit bieten diese beiden Digitalisierungsverfahren ein Potenzial, welches einerseits dem Landwirt die Dokumentation erleichtert und ihn auf der anderen Seite rechtlich gegen Vorwürfe der Überdüngung absichert.

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes MR digital, ein Projekt im Rahmen der Fördermaßnahme EIP-AGRI der Europäischen Union, durchgeführt. Wir danken der Europäischen Innovationspartnerschaft „Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft (EIP Agri)“ für die Förderung des Projektes.

Literaturverzeichnis

- [GE17] § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz - Einzelnorm. http://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/_17.html. Stand: 4.11.19
- [RI91] RICHTLINIE DES RATES vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen(91/676/EWG).pdf. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/...>, Stand 6.12.2019
- [BM17] Nitratbericht 2016 - Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. 143. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF..., Stand: 4.11.19.
- [JO19] JOSKIN. Güllefass - Leitung und Kontrolle. Fa. *JOSKIN* <https://www.joskin.com/-de/ausrustungen/gullewagen/leitung-und-kontrolle>. Stand: 4.11.19.
- [Gr19] Griepentrog, H. W., Weis, M., Weber, H. & Schneider, W. Maschinenring Digital (MR digital) In GIL Jahrestagung, Wien (Floto, H. Hrsg.): Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen 2019, Bonn, S.65-70, 2019.
- [DL18] DLG e.V. - Test HarvestLab 3000 (SW 132 – LKS 05/18) (2018), Prüfbericht 6887, <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/6887.pdf>, Stand: 06.12.2019.
- [DL19] DLG e.V. - Test 15 m BlackBird Schleppschuhgestänge mit ExaCut ECQ-Exaktverteiler (2019), Prüfbericht 7030, <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/pruefberichte/aussenwirtschaft/test-15-m-blackbird-schleppschuhgestaenge/>. Stand 9.12.2019
- [DL97] DLG e.V. - Gülle-Technik, Z. mit Drehkolbenpumpe und Rota-Cut, Schleppschlauchverteiler mit Tropfstop und Vogelsang-Zentralverteiler LV 40. 16. (1997), <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/4650.pdf>, Stand: 5.12.2019.
- [Ta19] Tastowe, Florian. Nährstoff-Schwankungen in Gülle? NIRS-Sensor regelt punktgenau. *top agrar* <https://www.topagrar.com/acker/news/naehrstoff-schwankungen-in-guelle-nirs-sensor-regelt-punktgenau-11839344.html> (2019). Stand: 4.11.2019.