

Analyse ausgewählter digitaler Lösungen zur N-Düngung

Erkenntnisse aus dreijährigen Feldversuchen

Beat Vincent¹, Franz-Xaver Maidl¹ und Markus Gandorfer¹

Abstract: Auf Basis dreijähriger Feldversuchsdaten wurden in Parzellenversuchen an einem niederbayerischen Hohertragsstandort verschiedene digitale Düngesysteme analysiert. Die Variation der einzelnen N-Düngegaben der getesteten Systeme war insgesamt nicht sehr ausgeprägt. In der Gesamtschau konnten durch die zusätzlichen Informationen zur N-Bemessung mit den digitalen Düngesystemen keine signifikant höheren N-kostenfreien Leistungen im Vergleich zu Referenzsystemen erzielt werden. Hinsichtlich der Kosten aber auch Serviceaspekte unterschieden sich die Lösungen deutlicher voneinander.

Keywords: Precision Farming, teilflächenspezifische N-Düngung, Fernerkundung, Düngesysteme

1 Einleitung

Seit längerem werden digitale Lösungen wie beispielsweise traktor- und handgetragene Sensoren als Instrumente für eine Verbesserung der Nährstoffeffizienz in der Landwirtschaft entwickelt. Entgegen den Erwartungen haben diese Technologien bis heute keine stärkere Marktdurchdringung erreicht [GG22], wenngleich die Anforderungen an eine effiziente N-Düngung in der Landwirtschaft für einen nachhaltigen Ackerbau steigen. Bei korrekter Anwendung effizienter Düngealgorithmen können positive Umwelteffekte erreicht werden [Ar22; Ma22], zudem reizt aktuell die Möglichkeit, bei passender Düngestrategie kostensparend zu düngen. Eine bedarfsgerechte Bemessung bzw. Umverteilung der N-Düngermengen ermöglicht eine Reduzierung positiver N-Salden zumindest auf Teilflächen mit niedrigem Ertragspotential. Im günstigsten Fall kommt es zu einer Absenkung des Düngeniveaus ohne Ertrags- und Qualitätsverluste [Ma22; Mi22]. Digitale Düngesysteme können Anwender dabei entlasten, den eingesetzten Dünger teilflächenspezifisch sinnvoll zu verteilen, außerdem sind sie bei Vorhandensein zielführender Algorithmen in der Lage, die absolute Höhe der Düngermenge festzulegen [Ma12; Vi19]. Hier stellt sich unter anderem die Frage, ob es mittlerweile kostengünstige und anwenderfreundliche Alternativen zu den bekannten traktorgebundenen Sensorsystemen gibt. So gibt es seit einigen Jahren zunehmend Lösungen, die beispielsweise fernerkundungsgestützte Daten verwenden. Ein Vorteil dieser Düngesysteme – die in der Regel als Mapping-Ansatz zu charakterisieren sind – ist, dass die N-Düngung vor dem Befahren des Feldes geplant wird. So kann bei der Planung

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf, beat.vincent@lfl.bayern.de, franz.xaver.maidl@lfl.bayern.de, markus.gandorfer@lfl.bayern.de

auf rechtliche schlagbezogene Restriktionen bei der Düngung reagiert werden. Bisher gibt es wenig Erfahrungswerte dazu, ob digitale Lösungen zur N-Düngung auf Satellitendatenbasis oder Sensoren als Handgeräte dieselben Effekte wie die traktorgebundene Sensortechnik hervorrufen können. Die Versuchsfrage lautete dabei: Können digital gestützte Düngeempfehlungen dem Nutzer einen agronomischen Mehrwert bei der N-Düngung in Winterweizen bieten?

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsaufbau

Auf Basis dreijähriger Feldversuchsdaten in den Untersuchungsjahren 2020 bis 2022 wurden zur Beantwortung der Versuchsfrage Kleinparzellenversuche an einem niederbayerischen Hohertragsstandort im unteren Rottal durchgeführt. Als Varianten wurden mehrere digitale Düngesysteme in einem lateinischen Rechteck mit 4 Wiederholungen analysiert. Die qualitätsbetonten Winterweizensorten waren Impression bzw. Asory mit der Vorfrucht Zuckerrübe in jedem Versuchsjahr und späten Saatterminen zwischen Ende Oktober und Mitte November. Für eine zusätzliche Prüfung des teilflächenspezifischen Umverteilungseffektes werden zukünftig separate Versuchsanlagen angestrebt. In die Untersuchungen wurden neben der Fernerkundung auch statische Düngesysteme der Officialberatung, Handsensorik und eine Landwirt-Variante miteinbezogen. Abschließend wurde nicht nur die agronomische Leistung ermittelt, sondern ebenso die Kosten der einzelnen Systeme sowie die Datenverfügbarkeit während der Düngeperiode betrachtet. Die Berechnungen der N-kostenfreien Leistung gründen auf fünfjährigen Durchschnittspreisen (2018-2022) für Getreide und Betriebsmittel.

2.2 Geprüfte Varianten

- Ungedüngte Kontrolle
- DSN

Das Düngeberatungssystem Stickstoff (DSN) stellt die Düngeempfehlung der Officialberatung dar. Es bildet die Basis für die schlageinheitliche N-Düngungshöhe, dient aber zugleich als Basis für einige digital gestützte Düngesysteme. Vom N-Sollwert der Kultur (A-Weizen mit 9 t Ertragspotential) werden Abschläge beispielsweise für den N_{\min} -Gehalt im Boden und den Einsatz organischer Dünger sowie weitere Standort- und Managementfaktoren getätigt, um letztlich zu einer absoluten N-Düngeempfehlung zu gelangen [LfL22].

- **Landwirt-Variante**
Diese Variante fungiert als betriebsübliche Referenz. Der Landwirt orientierte sich in der Höhe der Gesamtdüngung zwar an DSN, beschränkte die Düngegaben allerdings auf zwei Gaben ohne Spätdüngung, da er aus eigener Erfahrung stets eine späte hohe N-Mineralisierung erwartet hat.
- **FarmFacts N Manager pro**
Die absolute N-Düngermenge für die drei Düngetermine wird grundsätzlich in Anlehnung an DSN vorgegeben. Auf Basis von Modellrechnungen zur Ertragsbildung, die durch eine Kombination aus Pflanzenwachstumsmodell und historischen bzw. aktuellen Satellitenaufnahmen der Biomasseentwicklung erfolgen, wird die zu düngende N-Menge bei hoher Ertragsersparnung nach oben und bei geringer Ertragsersparnung nach unten korrigiert.
- **Yara N-Tester Bluetooth**
Es wird eine absolute N-Düngeempfehlung gegeben, dabei sind Angaben zu Ertragsziel, Weizensorte und Bestandesentwicklung notwendig. In den Versuchen wurden die ausgebrachten N-Mengen wie folgt bestimmt: die erste N-Gabe zu Vegetationsbeginn über die photometrische Biomassebestimmung mittels Smartphone-App; die zweite und dritte N-Gabe wurden über das Handgerät N-Tester Bluetooth ermittelt. Die teilflächenspezifische Verteilung mittels aktueller Satellitenkarten der Biomasseentwicklung über Yara atfarm wurde nicht geprüft.

Im Versuch wurden noch weitere Düngetools untersucht, die hier jedoch aus systematischen sowie Platzgründen nicht dargestellt sind. Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den ausgebrachten N-Mengen der geprüften Varianten.

	Verteilung 2020	Verteilung 2021	Verteilung 2022	N-Düngungshöhe im 3- Jahres-Schnitt (kg/ha)
Kontrolle	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0
DSN	50/60/48	68/50/60	60/55/50	167
Landwirt	90/60/0	80/90/0	80/88/0	163
FarmFacts	53/52/53	68/56/61	75/45/62	175
Yara	70/34/29	110/20/54	95/35/43	163

Tab. 1: Dreijährige Mittelwerte der ausgebrachten N-Mengen aller geprüften Varianten

3 Ergebnisse

In allen Versuchsjahren waren die Düngeversuche auf sehr homogenen Flächen angelegt. Die Homogenität der Schläge wurde empirisch durch mehrjährige NDVI-Karten sowie durch die Erfahrungswerte des Landwirts verifiziert. Die N-Düngungshöhe im 3-Jahres-Schnitt der geprüften Varianten wich nicht sehr von der durch DSN empfohlenen Menge für den Schlagdurchschnitt ab, wobei sich größere Unterschiede in den Teilgaben zeigten (Tab. 1).

Bei der Betrachtung der mehrjährigen Versuchsdaten fällt auf, dass das Ertragspotential am Standort hoch ist. Im Schnitt der Jahre wurden selbst in der ungedüngten Kontrolle Kornerträge von mehr 6,6 t erzielt, die gedüngten Parzellen erreichten Kornerträge zwischen 9 und 10 t. Durch die N-Düngung konnten Mehrerträge zwischen 40 und 45 % erzielt werden, wobei sich abgesehen von der ungedüngten Kontrolle die einzelnen Düngesysteme im Kornertrag nicht signifikant voneinander unterschieden (Abb. 1, relativ dargestellt).

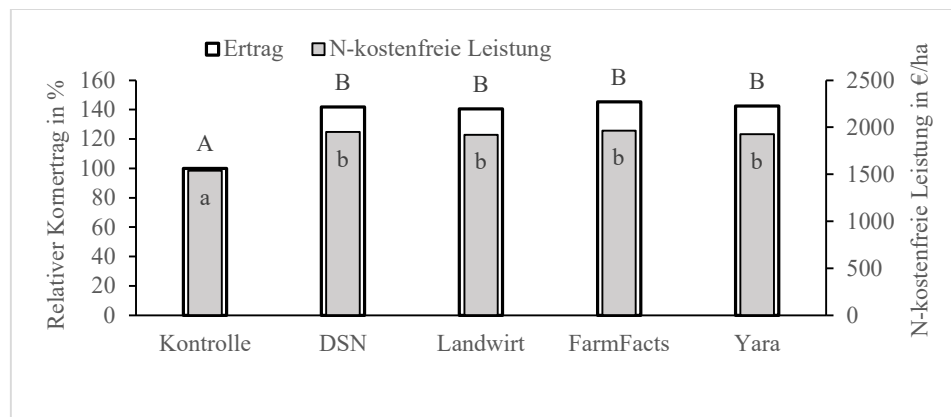


Abb. 1: Dreijährige Mittelwerte der relativen Kornerträge in Bezug zur ungedüngten Kontrolle sowie der N-kostenfreien Leistung; Anova und Tukey-Test für $\alpha = 0,05$

Zur Berechnung der N-kostenfreien Leistung wurde die erzielte Marktleistung den Kosten für die N-Düngung einschließlich dem Aufwand für die zwei bzw. drei Überfahrten zur Düngung gegenübergestellt. Unterschiedliche Proteingehalte wurden monetär bewertet. Es ergibt sich analog zur Ertragssituation ein einheitliches Bild über alle gedüngten Varianten (Abb. 1).

Eine wesentliche Voraussetzung für die Höhe der absoluten N-Düngeempfehlung wie auch für die teilflächenspezifische Verteilung der Düngung, die auf „In-Season“ Informationen beruht, ist die Verfügbarkeit aktueller Fernerkundungsdaten zur Bestandesentwicklung. Im günstigsten Fall ist dieses Kartenmaterial maximal fünf Tage alt oder jünger. Die folgende Tabelle zeigt für jedes Versuchsjahr die Anzahl der verfügbaren Daten mit Satellitenbildern für den Parzellenversuch im Zeitraum von

01.04.-10.06. eines Jahres, die Zeit, in die normalerweise alle drei N-Düngergaben fallen. Theoretisch findet alle 3-5 Tage der Überflug eines Satelliten statt, sodass im besten Fall kontinuierlich Kartenmaterial für die Bestandscharakterisierung zur Verfügung steht. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Zahl der verfügbaren Satellitenbilder ohne störende Umwelteinflüsse (Bewölkung) jedoch deutlich geringer war. In einzelnen Jahren betrug die Zeit zwischen zwei verwertbaren Überfliegungen bis zu vier Wochen (Tab. 2).

Versuchsjahr	Termine mit verwertbaren Satellitenkarten für die Düngeplanung					
2020	08.04.	16.04.*	23.04.	28.04.	18.05.	02.06.
2021	08.04.*	23.04.	28.04.	08.05.	07.06.	
2022	28.04.	03.05.	18.05.	23.05.		

Tab. 2: Termine in den Versuchsjahren, zu denen bei den Anbieter FarmFacts und Yara verwertbare Satellitenkarten für die Düngeplanung zur Verfügung standen; *gilt nur für FarmFacts

Die Kosten der beschriebenen digitalen Düngeysteme unterschieden sich zwischen den Anbietern stark. Um ein Gefühl für diese Kosten zu entwickeln, wurde von einem Rottaler Marktfruchtbetrieb (repräsentiert die Gegend der Feldversuche) mit 90 ha Ackerfläche und 50 % Winterweizenanteil in der Fruchtfolge ausgegangen, auf denen die Düngeysteme zum Einsatz kommen. Durch die Nutzung des Yara-Ansatzes entstehen Kosten von 12,96 €/ha. Dem Nutzer bietet dieser Anbieter die Möglichkeit, auch aktuelle Fernerkundungsdaten mit Informationen über die Biomasseentwicklung der Pflanzenbestände abzurufen. Außerdem sind mit dem N-Tester absolute N-Düngeempfehlungen möglich. Im Jahr 2022 betragen die Kosten der atfarm-Variante für Landwirte im Rahmen einer Unterstützungsaktion [To22] aufgrund hoher N-Düngepreise 0 €/ha, dies mag sich aber auch wieder ändern. Die Kosten für den FarmFacts N Manager pro betragen für das betrachtete Szenario 40,20 €/ha (Kombination aus Betriebspauschale und flächenabhängiger Servicegebühr). Bei der Einordnung dieser Kosten ist anzumerken, dass es sich bei diesem Ansatz um eine aufwändige Kombination von Satellitendaten sowie einem Pflanzenwachstumsmodell handelt und nutzerfreundliche, einsatzbereite Applikationskarten inkl. Beratungsleitung angeboten werden. Bei Yara müssen die Applikationskarten selbst erstellt und exportiert werden.

4 Diskussion

Mit den getesteten digitalen Düngetools hätte ein unerfahrener und ortsfremder Anwender im mehrjährigen Durchschnitt hohe Erträge und Qualitäten erzielen können. Sowohl für die Bestimmung der absoluten Menge einer N-Düngergabe als auch für die teilflächenspezifische Verteilung gibt es unterschiedlich komplexe Angebote. Der mögliche Vorteil, der speziell in Niedrigertragsbereichen durch die teilflächenspezifische Umverteilung der N-Düngung erreicht werden könnte, wurde in der vorliegenden

Versuchsanlage nicht geprüft, dies sollte aber in weiteren Untersuchungen zukünftig geschehen. Eine schwer zu kalkulierende Tatsache bestand in der Verfügbarkeit tages- oder zumindest wochenaktueller Fernerkundungskarten zur N-Versorgung der Pflanzenbestände, weil die Satellitendaten aufgrund ungünstiger Witterungsverhältnisse zwischen der zweiten März- und der zweiten Junidekade mehrere Wochen alt sein konnten. Es ist zu diskutieren, inwieweit bei solchen Unsicherheiten selbst einfache zu handhabende oder finanziell niederschwellige Angebote dann überhaupt den Erwartungen an eine bedarfsgerechte N-Düngung nachkommen können. Die getesteten digitalen Düngetools hatten für den Fall des „gap filling“ verschiedene Kompensationsansätze: Die N-Düngeempfehlung des Anbieters Yara konnte durch den N-Tester direkt im Pflanzenbestand bestimmt werden. Die Variante des FarmFacts N-Manager pro arbeitete dagegen mit einem Pflanzenwachstumsmodell, das auch ohne aktuelle Fernerkundungsdaten oder bei schwach entwickelten Pflanzenbeständen Düngeempfehlungen geben kann.

Literaturverzeichnis

- [Ar22] Argento, F.; Liebisch, F.; Anken, T.; Walter, A.; El Benni, N.: Investigating two solutions to balance revenues and N surplus in Swiss winter wheat. *Agricultural Systems* Vol. 201. 2022.
- [GG22] Gabriel, A.; Gandorfer, M.: Adoption of digital technologies in agriculture – an inventory in a European small-scale farming region. *Precision Agriculture*, 1-24. DOI: 10.1007/s11119-022-09931-1, 2022.
- [Lfl22] Landesanstalt für Landwirtschaft: Düngebedarfsermittlung für landw. Kulturen, <https://www.lfl.bayern.de/duengebedarfsermittlung>, abgerufen am 23.10.2022.
- [Ma12] Maidl, F.-X.: Voraussetzungen für eine sensorgesteuerte teilflächenspezifische N-Düngung. In: *Informationstechnologie für eine nachhaltige Landwirtschaft*. 32. GIL-Jahrestagung, S. 199-202, 2012
- [Ma22] Maidl, F.-X.; Kern, A.; Kimmelman, S.; Hülsbergen, K.-J.: Sensorgestützte teilflächenspezifische Stickstoffdüngung mit wissenschaftlich begründeten Algorithmen. *Kongressband VDLUFA (im Druck) 2022*.
- [Mi22] Mittermayer, M.; Maidl, F.X.; Nätscher, L.; Hülsbergen, K.J.: Analysis of site-specific N balances in heterogeneous croplands using digital methods. *European Journal of Agronomy* 133, 126442. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126442, 2022.
- [To22] Top Agrar: Jetzt kostenlos: Yaras digitale Plattform Atfarm + N-Tester Yara, <https://www.topagrar.com/acker/news/jetzt-kostenlos-yaras-digitale-plattform-atfarm-n-tester-yara-12866478.html>, abgerufen am 23.10.22.
- [Vi19] Vinzent, B.; Maidl, M.; Münster, S.; Gandorfer, M.: Überbetrieblicher Einsatz eines Sensorsystems zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. *Referate der 39. GIL-Jahrestagung in Wien*, A. Meyer-Aurich et al. (Hrsg.), S. 263-268, 2019.