


Analyse der teilflächenspezifischen Nitratauswaschungspotenziale auf Ackerschlägen

Johannes Schuster ¹, Martin Mittermayer¹, Ludwig Nätscher¹, Franz-Xaver Maidl¹
und Kurt-Jürgen Hülsbergen¹

Abstract: Räumlich variierende Bodeneigenschaften haben Wirkungen auf die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit und beeinflussen das Pflanzenwachstum, die Stickstoffaufnahme und -effizienz. Mit digitalen Technologien (schleppergetragene Sensoren, Volumenstrommessungen im Mähdröschler) wurde nachgewiesen, dass auf Ackerschlägen bei schlageinheitlicher N-Düngung trotz einer ausgeglichenen N-Bilanz des Gesamtschlages teilflächenspezifisch positive und negative N-Salden auftreten können [Mi20]. In dieser Arbeit soll mittels Tiefbohrungen geprüft werden, ob teilflächenspezifische positive N-Salden in Niederertragszonen zu erhöhten Nitratauswaschungspotenzialen führen. Auf einem 6,9 ha großen Untersuchungsschlag wurden hierzu Tiefbohrungen in hoher räumlicher Auflösung bis 2,5 m durchgeführt und die Nitratvorräte schichtweise bestimmt. Sowohl bei Bodenparametern (C_{org} - und N_t -Gehalt im Ap-Horizont, N_{min} -Vorrat bis 2,5 m Tiefe) als auch bei Pflanzenparametern (Ertrag, N-Entzug) und N-Salden wurde eine hohe räumliche Variabilität festgestellt. Die Korrelation zwischen C_{org} -Gehalten und N_t -Gehalten beträgt $r = 0,96$, zwischen C_{org} -Gehalten und N-Entzügen $r = 0,63$, zwischen C_{org} -Gehalten und NO_3 -Vorräten $r = -0,10$, zwischen C_{org} -Gehalten und NH_4 -Vorräten $r = -0,83$, zwischen N-Saldo und NO_3 -Vorräten $r = 0,11$ und zwischen N-Saldo und NH_4 -Vorräten $r = 0,55$. Die Methodik hat sich bewährt, um teilflächenspezifische Nitratauswaschungspotenziale auf Ackerschlägen zu identifizieren und soll nun an weiteren Standorten bzw. Bewirtschaftungseinheiten angewandt werden.

Keywords: Precision farming, spatial variability, nitrate leaching, deep drilling

1 Einleitung

Zu hohe Nitratverluste auf landwirtschaftlichen Nutzflächen gefährden das Grund- und Trinkwasser. Mehr als ein Viertel der oberflächennahen Grundwasserkörper in Deutschland überschreiten den Grenzwert von 50 mg Nitrat pro Liter [BM12]. Ein Großteil der Nitratreinträge in das Grundwasser stammt aus der Landwirtschaft. Landwirtschaftlich genutzte Acker- und Grünlandflächen weisen eine natürliche Variabilität der Bodeneigenschaften auf. Dies betrifft u.a. die Bodentextur, die nutzbare Feldkapazität, den organischen Kohlenstoff- und den Gesamtstickstoffvorrat. Die kleinräumigen Unterschiede in-

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökolandbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-

Straße 2, 85354 Freising, johannes.schuster@tum.de  <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>, martin.mittermayer@tum.de, ludwig.naetscher@tum.de, maidl@wzw.tum.de, kurtjuergenhuelsbergen@tum.de

nerhalb eines Ackerschlares haben Wirkungen auf die Wasser- bzw. Nährstoffverfügbarkeit und beeinflussen dementsprechend das Pflanzenwachstum, die Stickstoffaufnahme und -effizienz. Bei schlageinheitlicher organischer und mineralischer Düngung führt die Heterogenität der Stickstoffaufnahme innerhalb von Schlägen zu differenzierten N-Salden [Mi20]. Der N-Saldo beschreibt dabei das teilflächenspezifische Stickstoffverlustpotenzial. Es ist daher anzunehmen, dass hohe N-Salden in den Niedrigertragsbereichen zu erhöhten Nitratausträgen führen.

In dieser Arbeit wurden in der Untersuchungsregion Burghausen/Burgkirchen (Landkreis Altötting, Bayern) mit digitalen Technologien unter Verwendung schleppergetragener Sensoren die räumliche Variabilität von Getreidebeständen (Weizenertrag, Korn-N-Entzug) erfasst und teilflächenspezifische N-Salden berechnet. Zur Ermittlung des teilflächenspezifischen Nitrataustragspotenzials wurden die Nitrat-, Ammonium- und N_{\min} -Vorräte in einer hohen räumlichen Auflösung auf Teilschlagebene mittels Tiefbohrungen ermittelt und in Beziehung zu den berechneten N-Salden gesetzt. Zur Interpretation der Ergebnisse und Analyse der Einflussfaktoren wurden verschiedene Bodenparameter (Gehalte an C_{org} , N, P, K, pH-Wert, nFK) verwendet. Ziel war es, Schlagareale zu identifizieren, in denen ein erhöhtes Nitrataustragspotenzial vorhanden ist.

2 Material und Methoden

2.1 Standort und Klima

Die Untersuchungen wurden im Raum Burghausen (400 m ü.d.M.) durchgeführt. Im Mittel von 25 Jahren ergibt sich aus Wetterdaten der nächstgelegenen Wetterstation (Frieding) eine jährliche Niederschlagssumme von 866 mm und eine Durchschnittstemperatur von 8,9 °C. Das Jahr 2020 war charakterisiert durch ein trockenes und warmes Frühjahr, gefolgt von einer niederschlagsreichen Sommer- und Herbstzeit mit mittleren Temperaturen.

Als Untersuchungsschlag wurde das „Hausfeld“ gewählt, ein 6,9 ha großer Ackerschlag mit 55 bis 62 Bodenpunkten (Bodentyp Braunerde). Im Untersuchungsjahr 2020 stand auf dem „Hausfeld“ die Fruchtart Winterweizen.

2.2 Datenerfassung und Bodenbeprobung

Zur Bestimmung der räumlichen Variabilität des Schlares wurden verschiedene Boden- und Pflanzenparameter erhoben. Die Pflanzenparameter (Ertrag, N-Entzug) wurden mittels Mährescher-Ertragserfassung (Volumenstrommessung) bei der Weizenernte sowie zu 3 Terminen in der Vegetation mit einem traktormontierten multispektralen Sensor erfasst. Mit den Daten der Reflexionsmessung wurde der Vegetationsindex REIP berechnet. Nach dem Algorithmus von Maidl [Ma19] wurde mit den REIP-Werten die N-Aufnahme des Weizens berechnet.

Zur Erfassung der Variabilität von Bodeneigenschaften wurden verschiedene Bodenparameter erhoben. Es wurden georeferenziert 60 Bodenproben bis zur Krumentiefe (0 – 30 cm) mit Göttinger Bohrstöcken zur Erfassung von organischem Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t), pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium (P_{CAL} , K_{CAL}), pH-Wert und Bodenart gezogen. Eine Bodenprobe entspricht einer Mischprobe von 12 Einstichen im Umkreis von maximal 50 cm des georeferenzierten Punktes.

Zur Bestimmung der Ammonium- und Nitratvorräte bis zu einer Tiefe von 2,5 Metern im Abstand von 50 cm wurden an 30 Punkten Tiefbohrungen mit einem traktormontierten hydraulischen Tiefbohrgerät an den gleichen Referenzpunkten der Hand-Beprobung durchgeführt.

2.3 Datenauswertung

Die geostatistische Auswertung der Daten lehnt sich an die Vorgehensweise von Mittermayer et. al [Mi20] an. Alle Datensätze wurden durch Interpolation mit dem Kriging-Verfahren [Ma63] in Raster gleicher Auflösung (10 x 10 m) überführt. Es wurden Variogramme (Varianz der Daten nach Distanzklassen) erstellt. Am Schlagrand wurden 10 m Rand weggeschnitten.

Für jedes Rasterelement wurde ein N-Saldo ($kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$) durch N-Bilanzierung (N-Input – N-Output) berechnet. Der N-Input ergibt sich aus dem schlageinheitlich applizierten Mineraldünger-N und dem Gesamt-N aus der organischen Düngung. Der N-Output wurde aus dem Korn-N-Entzug und mit 2 Methoden berechnet:

- (a) Kornertrag (Mähdrescher Volumenstrommessung) multipliziert mit dem mittleren N-Gehalt des Korns (Mischprobe des Gesamtschlages)
- (b) Berechnung des Vegetationsindex REIP auf der Grundlage von Reflexionsmessungen und Verwendung des N-Entzugs-Algorithmus nach Maidl [Ma19].

Mit Korrelationsanalysen werden die Zusammenhänge zwischen Boden- und Pflanzenparametern sowie den N-Salden untersucht.

3 Ergebnisse

3.1 Räumliche Variabilität von Pflanzenparametern und N-Saldo

Der mit dem Mähdrescher erfasste Korn-Ertrag schwankte innerhalb des Schlages zwischen 8,5 und 10 t ha^{-1} , die berechnete Korn-N-Aufnahme zwischen 160 und 200 $kg\ ha^{-1}$ (Abb.1). Die mit verschiedenen Methoden bestimmten Erträge korrelieren miteinander

($r = 0,37$). Die teilflächenspezifischen N-Salden betragen 0 bis 25 kg ha^{-1} (Abb.1). Im Untersuchungsjahr waren deshalb keine hohen Stickstoffverluste zu erwarten.

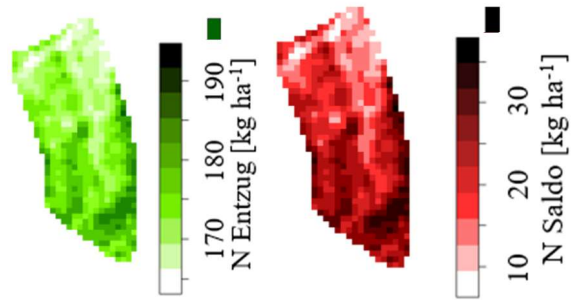


Abb.1: Hausfeld, N-Entzug links, N-Saldo rechts

3.2 Räumliche Variabilität von Bodenparametern im Ap-Horizont

Die untersuchten Bodenparameter differierten innerhalb des Schlages stark. Die C_{org} -Gehalte schwankten zwischen 1,30 und 2,01 % (Mittelwert 1,56 %), die N_{t} -Gehalte zwischen 0,12 und 0,21 % (Mittelwert 0,16 %) (Abb.2). Die C_{org} - und N_{t} -Gehalte korrelieren ($r = 0,96$) und zeigen ähnliche Verteilungsmuster. Es konnten Zonen mit höheren und niedrigeren Humusgehalten (Humus = $C_{\text{org}} \times 1,72$) erkannt werden.

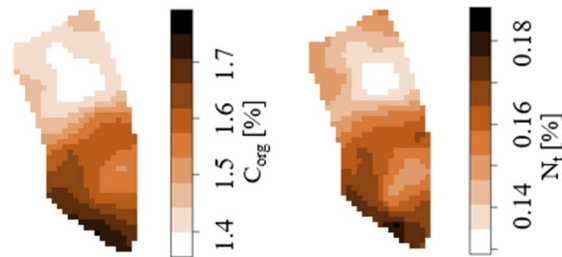


Abb. 2: Hausfeld: C_{org} - (links) und N_{t} -Gehalt (rechts)

In Zonen mit höheren C_{org} - und N_{t} -Gehalten („Hochertragszonen“) wurden höhere Weizenenerträge und N-Entzüge festgestellt als in den „Niederertragszonen“.

Parameter	N-Aufnahme Mährescher	N-Aufnahme Sensor
C _{org}	0,21	0,63
N _t	0,21	0,61

Tab. 1: Korrelationsmatrix mit Boden- und Pflanzenparametern (Korrelation in r)

3.3 Teilflächenspezifische Stickstoffvorräte

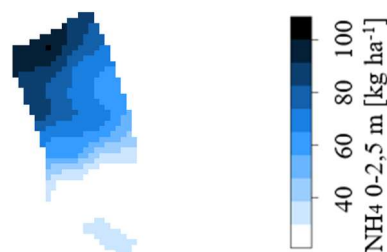
Mit den flächigen Tiefbohrungen (ca. 5 Tiefbohrungen ha⁻¹) wurden Nitrat- und Ammoniumvorräte bis zu einer Tiefe von 2,5 m gemessen. Im Unterboden anstehender Schotter begrenzte dabei die Bohrtiefe.

Summiert über die Profiltiefe betragen die Nitratvorräte 33,7 – 159,1 kg ha⁻¹ (Mittelwert = 76,6 kg ha⁻¹). Es wurden auch in tieferen Bodenschichten differenzierte Ammoniumvorräte gemessen. Die Ammoniumvorräte schwankten bis 2,5 m zwischen 12,6 und 219,1 kg ha⁻¹ (Mittelwert = 76,0 kg ha⁻¹). Die Gesamtmenge an löslichem Stickstoff N_{min} schwankte zwischen 52,7 und 326,4 kg ha⁻¹ (Mittelwert = 152,5 kg ha⁻¹) (Abb.3). Boden- und Pflanzenparameter zeigen bei Nitrat einen schwachen, bei Ammonium und N_{min} einen mittleren bis hohen Zusammenhang, wie Tabelle 2 zeigt.

Parameter	NO ₃ 0-2,5 m	NH ₄ 0-2,5 m	N _{min} 0-2,5m
C _{org}	-0,10	-0,83	-0,77
N-Aufnahme Sensor	-0,11	-0,63	-0,55

Tab. 2: Korrelationsmatrix mit C_{org} bzw. Pflanzen-N-Entzug nach Sensor und Nitrat-, Ammonium- und N_{min}-Vorräten bis 2,5 m (Korrelation in r)

In Zonen des Hausfeldes mit höheren C_{org}-Gehalten (Humusgehalten) wurden geringere NH₄-Vorräte festgestellt.

Abb. 3: NH₄-Vorräte in 0-2,5 m Tiefe in kg ha⁻¹

4 Diskussion

Der Schlag Hausfeld ist nahezu zweigeteilt in einen Teil mit höheren (2,9 %) und niedrigeren (2,5 %) Humusgehalten (C_{org} -, N_t -Gehalten). Es zeigten sich deutliche, positive Einflüsse des Humusgehaltes auf das Pflanzenwachstum des Weizenbestandes.

Mit den Tiefbohrungen wurden in den „Niedrigertragszonen“ höhere N_{min} - und NH_4 -Vorräte nachgewiesen. Der Zusammenhang zu den NO_3 -Vorräten war nur schwach ausgeprägt (Tiefenverlagerungs- und Denitrifikationsprozesse wurden nicht analysiert).

Die Variabilität der Erträge und dementsprechend auch der N-Salden war im Untersuchungs-jahr relativ gering. Die gefundenen Beziehungen zwischen Boden-, Pflanzen- und N-Bilanzparametern bestätigen die Ergebnisse früherer Untersuchungen [Mi20]. Die räumliche Variabilität der Nitratausträge innerhalb von einheitlich bewirtschafteten Ackerschlägen war bisher kaum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Methodik zur Identifikation von Schlagarealen mit erhöhtem Verlustpotenzial hat sich bewährt und soll noch auf weiteren heterogenen Schlägen wiederholt werden.

Literaturverzeichnis

- [BM12] BMELV: Nitratbericht 2012. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bonn, 2012.
- [Ma19] Maidl, F-X; Spicker, A.; Weng, J.; Hülsbergen, K-J: Ableitung des teilflächenspezifischen Kornertrags von Getreide aus Reflexionsdaten. In: Andreas Meyer-Aurich, Markus Gandorfer, Norbert Barta, Andreas Gronauer, Jochen Kantelhardt und Helga Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich? : Referate der 39. GIL-Jahrestagung 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V (GI-Edition: [...], Proceedings, Volume 287), S. 131–134, 2019.
- [Ma63] Matheron, Georges: Principles of geostatistics. In: *Economic Geology* (58), S. 1246–1266, 1963.
- [Mi20] Mittermayer, M.; Gilg, A.; Maidl, F-X; Hülsbergen, K-J: Erfassung der räumlichen Variabilität von Boden- und Pflanzenparametern: Grundlage für die teilflächenspezifische N-Bilanzierung. In: Andreas Meyer-Aurich, Markus Gandorfer, Heinz Bernhardt, Franz Xaver Maidl, Georg Fröhlich, Helga Floto und Bonn Bonn Gesellschaft für Informatik e.V. (Hg.): GI Edition Proceedings Band 299 Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. 40. GIL-Jahrestagung 17.-18. Februar 2020 Campus Weihenstephan, Freising, Bd. 299. Bonn: Köllen (GI-Edition. Proceedings, 299), S. 181–186, 2020.