

In-situ-Bodencharakterisierung mit Nahinfrarot-spektroskopie zur parzellengenauen Düngung

Autoren: Konrad Metzger, Thomas Guillaume, Frank Liebisch, Luca Bragazza

Version: 1 / März 2025

Mit Hilfe von mobilen Nahinfrarotspektrometern können Bodenparameter, die für die Bodenfruchtbarkeit wichtig sind, basierend auf etablierten Vorhersagemodellen schnell und günstig erfasst werden. Dies reduziert den Bedarf an aufwändigen Laboranalysen und unterstützt die zeitnahe und räumlich besser aufgelöste Beurteilung von standortspezifischen Bodeneigenschaften für die angepasste Düngebedarfsbemessung (z. B. korrigierte Norm oder N_{min}). Da sich zurzeit Geräte und Vorhersagemodelle noch stark weiterentwickeln, ist in der Zukunft mit kostengünstigen, schnellen und genauen Messgeräten für diese Anwendung zu rechnen.

Tabelle 1: Eckdaten der Massnahme

Anwendungsgebiet	Insbesondere Ackerbau Gemüsebau, aber auch alle anderen landwirtschaftlichen Kulturen
Umsetzungsebene	Beratung, Landwirte/Landwirtinnen, Branchen- und Vertriebsorganisationen
Wirkungsebene	Parzellenebene auf Betrieben, N-Mineralisierung für ein bestimmtes Jahr in einer Region
Wirtschaftlichkeit	Variabel/ungewiss, keine allgemeingültige Aussage möglich Mit diesen Messgeräten können die Düngung und die Erträge optimiert werden, was sich positiv auf die Rentabilität auswirkt. Weiter sind diese In-situ-Bodenanalysen viel günstiger als Laboranalysen.
Wirkungsziel	Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kohlenstoff (C), auch Kalium (K) und Magnesium (Mg)
Unterkategorie Wirkungsziel	Nitrat, Ammonium, Phosphat, aber auch Humus, pH und andere Nährstoffe
Wirkungszeitraum	Kurzfristig (optimierte Düngung), mittel- bis langfristig (> 5 Jahre, Bodenfruchtbarkeit)
Wirkung/Reduktionspotenzial	Bessere Kenntnis der Bodeneigenschaften durch günstigere und schnellere Bodenanalysen. Effizientere und standortangepasste Düngung und Bodenverbesserung

Wirkungsprinzip

Die parzellen- und standortangepasste Düngebedarfsbemessung verbessert die Nährstoffnutzungseffizienz. Standortbezogene Methoden der Düngebedarfsbemessung wie die **korrigierte Norm** oder die **N_{min} -Methode für N** oder die im ÖLN geforderten Bodenanalysen für P, K, Mg und Ca erfordern Informationen über die Bodenbeschaffenheit (Humus- und Tongehalt oder pH-Wert). Die Kosten und der zeitliche Aufwand für diese Bodenanalysen sind heute oft der einschränkende Faktor für die Anwendung. Darüber hinaus würden Bodenanalysen, die die Heterogenität innerhalb eines Feldes berücksichtigen, z. B. für die teilflächenspezifische Düngung, die Kosten für diese vervielfachen.

Die In-situ-Bodencharakterisierung mit tragbaren Geräten, wie die Nahinfrarot (NIR)-Bodenspektroskopie, ist daher ein vielversprechender Ansatz, um die Kosten und den Zeitaufwand für die Schätzung von Bodenparametern stark zu reduzieren und die Umsetzung von standortspezifischen Düngeempfehlungen für eine Vielzahl von Nährstoffen und Bodenverbesserungsparameter zu fördern (Lorenz et al., 2023; Piccini et al., 2023).



Vorteile/Synergien

Mit der NIR-Bodenspektroskopie können Bodeneigenschaften mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung gemessen werden. Die Messung ist schnell und der Preis wird kaum durch die Anzahl an Messungen beeinflusst. Wenn ein Kalibrationsmodell erstellt und in der Anwendung implementiert wurde, können die Messergebnisse direkt verfügbar gemacht werden. Ausserdem können mehrere Bodeneigenschaften aus dem gleichen Spektrum errechnet werden.

Nachteile/Limitierungen/Zielkonflikte

Modelle müssen erstellt und validiert werden und für die lokalen Gegebenheiten gültig sein, was Spektren und korrespondierende Laboranalysen benötigt. Zur Modellierung sind Kenntnisse in chemometrischen und mathematischen Modellen nötig.

Jedes Modell ist mit einem Fehler behaftet. Dieser muss quantifiziert werden, und das Kosten-Nutzen-Verhältnis muss zugunsten der Spektroskopie ausfallen. Dafür muss auch die Anzahl an Wiederholungsmessungen definiert sein. (Der Fehler sollte kleiner oder gleich ausfallen im Vergleich zur Referenzbodenprobe mit Analyse).

Teilweise sind die Instrumente teuer in der Anschaffung. Auch hier sollte das Kosten-Nutzen-Verhältnis im Vergleich zur Bodenprobe mit anschliessender Laboranalyse evaluiert werden.

Mit der NIR-Spektroskopie können N_{\min} oder verfügbare Makronährstoffe (P, K, Mg) nicht direkt ermittelt werden, sondern nur Kovariablen (Humus, Textur, pH, Gesamtstickstoff bzw. Gesamtgehalte P, K, Mg).

Interaktionen

Um das Nährstoffmanagement auf einem Betrieb nachhaltig zu verbessern und dadurch dessen Nährstoffbilanz allenfalls zu optimieren, sollte diese Messmethode in Kombination mit Düngeplanungstools verwendet werden, welche die Bodeneigenschaften einbeziehen, z. B. die Methode der korrigierten Norm oder digitale Tools (siehe Agroscope Merkblatt Nr. 219).

Umsetzung: Aufwand/Ablauf/Anwendung/Durchführbarkeit

Die eigentliche Aufnahme der Spektren ist einfach und kann nach kurzem Training durchgeführt werden. Falls Vorhersagemodelle und entsprechend einfache Software zur Datennutzung verfügbar sind, kann die Datenanalyse auch ohne spezielle Kenntnisse ausgeführt werden.

Für die Erstellung von Kalibrationsmodellen, zum Beispiel durch die Beratung oder durch Firmen, sind Modellierungskennnisse und ein Grundverständnis von chemometrischen Modellen notwendig. Dafür müssen die Proben parallel im Labor analysiert werden. Für verlässliche Modelle benötigt es mehr als 100 Proben, was aber noch durch die regionale Bodenheterogenität beeinflusst werden kann.

Zurzeit wird diese Technik noch erforscht (Lonzano Fondón et al., 2024; Najdenko et al., 2024) und weiterentwickelt. Sie ist nur bedingt bereit für eine kommerzielle Anwendung in der Landwirtschaft. Einige Sensoren und Produkte sind aber schon etabliert. Zum Beispiel in Veris-Sensoren ([CoreScan™](#)) wird die NIR-Spektroskopie für die Ton- und Kohlenstoffmessungen verwendet. Insbesondere Lohn- und Messunternehmer wenden heute in Europa diese neuen Messtechniken zur Bodenanalyse und Bodenkartierung an (z. B. [Vantage Agrometius](#) oder [AgroCares](#)).

Voraussetzungen/Bedingungen

Zur spektralen Messung wird ein Spektrometer und ein Kalibrationsmodell benötigt. Die Kalibrationsmodelle müssen dabei die lokalen Bedingungen abbilden können. Globale Modelle oder Modelle aus anderen Regionen können ungenauer sein, wenn diese nicht für die jeweilige Region überprüft und allenfalls angepasst sind. Die Modellvorhersagen sollten periodisch validiert werden. Dies wird oft durch das Beiziehen von Laboranalysen von etwa 10% der Messpunkte erreicht.

Bewertungen

Wirtschaftlichkeit

Derzeit liegt keine quantitative Bewertung der Wirtschaftlichkeit dieser Massnahme für den Schweizer Kontext vor. Die Bewertung erfolgte dementsprechend qualitativ durch die Autoren dieses Merkblattes.

Hochauflösende NIR-Spektrophotometer sind sehr teuer und für eine routinemässige Anwendung von Landwirtinnen und Landwirten höchstwahrscheinlich unwirtschaftlich. Eine neue Generation von Miniatur-Spektrometern ist hingegen relativ günstig und trotz geringerer Auflösung und reduziertem Messbereich liefern diese Instrumente verlässliche Ergebnisse (Metzger et al., 2023; Metzger et al., 2024; Mitu et al., 2024), was die Wirtschaftlichkeit positiv beeinflussen kann.

Selbst wenn die Kosten für die Messung sehr gering sind, muss die Datenanalyse von Spezialistinnen und Spezialisten ausgeführt werden (v. a. die Erstellung und Instandhaltung des Kalibrationsmodells).

Da der Service noch kaum kommerziell angeboten wird, ist es schwierig, die Kostenminderung im Vergleich zu klassischen Laboranalysen einzuschätzen. Aktuelle Studien und Praxisanwendungen weisen aber deutlich auf die Kostenvorteile hin und dürften sich in Zukunft noch verbessern (Li et al., 2021; Lonzano Fondón et al., 2024).

Die Bodenspektroskopie kann dafür verwendet werden, die Bodenanalysen für einige Basis-Bodendaten (wie Textur, Humus, pH, Gesamtstickstoff) schneller und günstiger und im Vergleich zur Fühlprobe auch verlässlicher (Hirte et al., 2022) zu machen. Basierend auf den Daten können dann detailliertere Bodenkarten kostengünstiger erstellt werden und somit der Düngebedarf genauer geschätzt werden.

Reduktionspotenzial

Wenn mit dieser Methode die Anwendung von standortangepasster Düngung begünstigt und allenfalls verlässlicher werden kann, hat sie ein relativ starkes Reduktionspotenzial (siehe Merkblätter zur Nmin-Methode und zur korrigierten Norm). Die Düngerreduktion bei bekannten Humus- und Tongehalten kann auf einem Feld mit mittlerem bis hohem Humusgehalt bis zu 40 kg N/ha/Jahr betragen.

Erfolgs-/Qualitätskriterien

Diese Methode erleichtert den Landwirtinnen und Landwirten die Umsetzung einer standortspezifische Düngeplanung. Sie ermöglicht es, die Gehalte an wichtigen Bodenparametern zu messen und dadurch die Düngung effizienter und die Bodenfruchtbarkeit zielgerichteter zu steuern.

Stakeholder-Perspektiven

Die Verwendung von portablen Spektrometern zur In-situ-Bodenanalyse kann für interessierte Landwirtinnen und Landwirte sowie Beraterinnen und Berater eine sinnvolle Ergänzung darstellen, vor allem wenn periodische Messungen durchgeführt werden sollen und validierte Modelle für das Untersuchungsgebiet vorhanden sind oder von den Nutzerinnen und Nutzern selbst erstellt wurden.

Für Lohn- und Bodenprobenunternehmer stellt die Messmethode eine sehr wertvolle Ergänzung zu den heutigen Methoden dar.

Fazit

Bodenspektroskopie ist eine Technologie, die schnellere, höher aufgelöste und in manchen Fällen auch verlässlichere Bodenanalysen verspricht. Die steigende Anzahl an wissenschaftlichen Untersuchungen zeigt das grosse Interesse für eine breitere Anwendung in der Zukunft (Barra et al., 2021; Mitu et al., 2024; Najdenko et al., 2024; Piccini et al., 2023). Mit günstigeren Instrumenten und zugänglichen Kalibrationsmodellen, können Felder höher aufgelöst und schneller beprobt werden. Deshalb wird die Methode dann auch den Einsatz einer parzellen- und standortspezifischen Düngeplanung unterstützen und sie für einen weiteren Kreis von Nutzerinnen und Nutzern anwendbarer machen. Des Weiteren können mit Hilfe der Bodenspektroskopie eine Vielzahl an weiteren Bodenparametern gemessen werden, die auch für Dünge- und Bodenmanagement-Entscheidungen nützlich sind (Metzger & Bragazza, 2024).

Weitere Informationen

Enthalten in

Projekt [Proximal Sensing](#) des Agroscope-Forschungsprogramms Indicate ([indicate.agroscope.ch](https://www.agroscope.ch/indicate))

Projekt [ProbeField](#) im European Joint Programme EJP Soil ([ejpsoil.eu](https://www.ejpsoil.eu))

Literatur

- Barra I., Haefele S.M., Sakrabani R., Kebede F. (2021). Soil spectroscopy with the use of chemometrics, machine learning and pre-processing techniques in soil diagnosis: Recent advances – A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 135, 116166. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116166>
- Gilgen A., Meyer Y., Anken T., Keck M., Liebisch F. (2024). Verwendung von Agrarsoftware für das Nährstoffmanagement. Agroscope, Zürich. Agroscope Merkblatt Nr. 219, 4 S. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/57124>
- Guillaume T., Carlen C., Gilgen A., Liebisch F. (2023). Düngebedarfsermittlung nach korrigierten Normen. Agroscope, Zürich. Agroscope Merkblatt Nr. 201, 4 S. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/54957>
- Hirte J., Liebisch F., Heller O., Weisskopf P., Weyermann I., Baumann P., Keller A., Bürge D. (2022). Die Schweizer Bestimmungsmethoden für pflanzenverfügbare Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium im Boden. Möglichkeiten, Grenzen und Entwicklungspotential. Agroscope, Zürich. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/49221>
- Li S., Viscarra Rossel R.A., Webster R. (2021). The cost-effectiveness of reflectance spectroscopy for estimating soil organic carbon. *European Journal of Soil Science* 73 (1). <https://doi.org/10.1111/ejss.13202>
- Lorenz F., Liebisch F., Lohr D., Olf H.-W. (2023). Vor-Ort Methoden zur Bodenuntersuchung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Metzger K., Bragazza L. (2024). Prediction of nitrogen, active carbon, and organic carbon-to-clay ratio in agricultural soils by in-situ spectroscopy. *European Journal of Soil Science* 75 (3). <https://doi.org/10.1111/ejss.13508>
- Metzger K., Liebisch F., Herrera J.M., Guillaume T., Bragazza L. (2024). Prediction Accuracy of Soil Chemical Parameters by Field- and Laboratory-Obtained vis-NIR Spectra after External Parameter Orthogonalization. *Sensors* 24 (11). <https://doi.org/10.3390/s24113556>
- Metzger K., Liebisch F., Herrera J.M., Guillaume T., Walder F., Bragazza L. (2023). The use of visible and near-infrared spectroscopy for in situ characterization of agricultural soil fertility: a proposition of best practice by comparing scanning positions and spectrometers. *Soil Use and Management* 40 (1). <https://doi.org/10.1111/sum.12952>
- Mitu S.M., Smith C., Sanderman J., Ferguson R.R., Shepherd K., Ge Y. (2024). Evaluating consistency across multiple NeoSpectra (compact Fourier transform near-infrared) spectrometers for estimating common soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 88, 1324–1339. <https://doi.org/10.1002/saj2.20678>
- Najdenko E., Lorenz F., Dittert K., Olf H.-W. (2024). Rapid in-field soil analysis of plant-available nutrients and pH for precision agriculture – a review. *Precision Agriculture* 25, 3189–3218. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10181-6>
- Neuweiler R., Huguen-Elie O., Schöneberg T., Guillaume T., Liebisch F. (2023). N_{min}-Methode für die Düngebedarfsermittlung. Agroscope, Zürich. Agroscope Merkblatt Nr. 194, 4 S. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/54721>
- Piccini C., Metzger K., Debaene G., Stenberg B., Göttinger S., Borůvka L., Sandén T., Bragazza L., Liebisch F. (2024). In-field soil spectroscopy in Vis–NIR range for fast and reliable soil analysis: A review. *European Journal of Soil Science* 75 (2). <https://doi.org/10.1111/ejss.13481>
- AgroCares Nutrient Scanner, <https://agrocared.com/scanners/>, accessed 12.11.2024
- Vantage agrometius, <https://www.vantage-agrometius.nl/en/company-information/>, accessed 12.11.2024
- Veris CoreScan <https://www.veristech.com/corescan>, accessed 12.11.2024

Impressum

Herausgeber	Agroscope Route de Duillier 60 1260 Nyon www.agroscope.ch
Series Editor	Frank Liebisch
Download	www.agroscope.ch/naehrstoffverluste
Copyright	© Agroscope 2025

Haftungsausschluss

Agroscope schliesst jede Haftung im Zusammenhang mit der Umsetzung der hier aufgeführten Informationen aus. Die aktuelle Schweizer Rechtsprechung ist anwendbar.