

Application Note AN-NIR-133

Bodenanalyse mittels NIR-Spektroskopie

Multiparameter-Bestimmung des Bodens in wenigen Sekunden

Boden ist eine komplexe Matrix aus organischer und anorganischer mineralischer Substanz, Wasser und Luft. Das organische Material reicht von zersetztem und stabilem Humus bis hin zu frischen partikulären Rückständen aus verschiedenen Quellen [1]. Die Textur beeinflusst das Bodenverhalten (z. B. Wasserspeicherfähigkeit, Nährstoffbindung und -versorgung, Drainage und Nährstoffauswaschung [2]) und hängt vom Gewichtsanteil von Sand, Schluff und Ton ab. Die Kationenaustauschkapazität (CEC), ein Maß für die Fähigkeit, positiv geladene Ionen zu halten, beeinflusst die Stabilität der Bodenstruktur, die Nährstoffverfügbarkeit, den pH-Wert und die Reaktion auf Dünger und andere Bodenverbesserer. Die wichtigsten mit der CEC im Boden verbundenen Ionen sind Ca2+, Mg2+, Na+ und K+ [3]. Der *Boden-pH-Wert* beeinflusst direkt die Verfügbarkeit von Nährstoffen für Pflanzen, die mikrobielle Aktivität und die allgemeine Bodengesundheit, was sich auf das Pflanzenwachstum, die Ernteerträge und die Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Praktiken auswirkt. Diese Studie beschreibt, wie der Gehalt an organischer Substanz, der pH-Wert, der Gehalt an Schluff, Ton und Sand, austauschbares Calcium und Magnesium sowie der Kalkgehalt im Boden innerhalb von Sekunden mithilfe der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) gemessen wurden.

EXPERIMENTELLE AUSRÜSTUNG

Luftgetrocknete Bodenproben [4] wurden mit einem NIR-Analysator von Metrohm gemessen. Alle Messungen wurden im Reflexionsmodus (1000-2250 nm) unter Verwendung des großen Becherzubehörs durchgeführt. Die Proben wurden in Rotation gemessen, um Spektraldaten von mehreren Bereichen zu sammeln. Die spektrale Mittelwertbildung der Signale von mehreren Stellen half, die Inhomogenität der Proben zu verringern. Die Metrohm-Software wurde für die gesamte Datenerfassung und die Entwicklung von Vorhersagemodellen verwendet.

ERGEBNIS

Die erhaltenen NIR-Spektren von Bodenproben (Abbildung 1) wurden zur Erstellung von Vorhersagemodellen für die Quantifizierung von organischer Substanz, pH-Wert, Schluff, Sand, Kalkstein, Ton und austauschbarem Kalzium und Magnesium verwendet. Die Qualität der Vorhersagemodelle wurde anhand von Korrelationsdiagrammen (Abbildungen 2-9) bewertet, die eine hohe Korrelation zwischen der NIR-Vorhersage und den mit den in Tabelle 1 beschriebenen Standardmethoden gemessenen Referenzwerten zeigen. Die entsprechenden Gütezahlen (FOM) zeigen die erwartete Genauigkeit einer Vorhersage bei Routineanalysen.

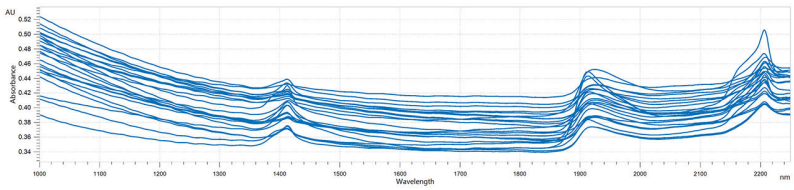


Abbildung 1. NIR-Spektren von Bodenproben, analysiert mit einem Metrohm NIR Analyzer

Ergebnis organischer Gehalt im Boden

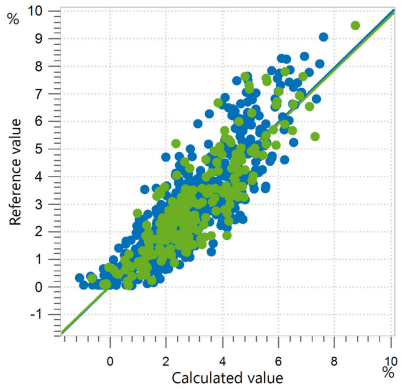


Abbildung 2. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage der organischen Substanz im Boden.

R^2	SEC (%)	SECV (%)	SEP (%)
0.994	0.14	0.21	0.87

Ergebnis pH-Wert im Boden

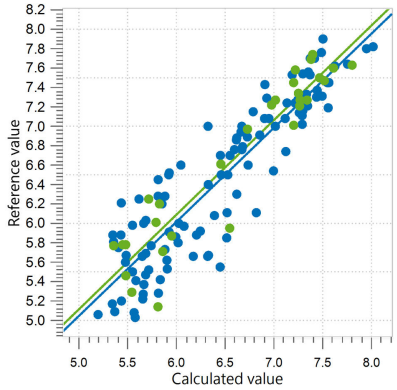


Abbildung 3. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage des pH-Wertes im Boden.

R^2	SEC	SECV	SEP
0.887	0.30	0.34	0.29

Ergebnis Kalksteingehalt im Boden

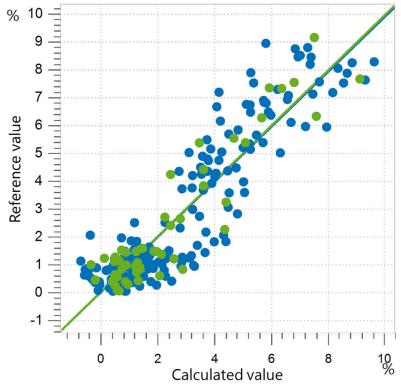


Abbildung 4. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage des Kalksteingehalts im Boden.

R^2	SEC (%)	SECV (%)	SEP (%)
0.843	1.08	1.14	1.11

Ergebnis Tongehalt im Boden

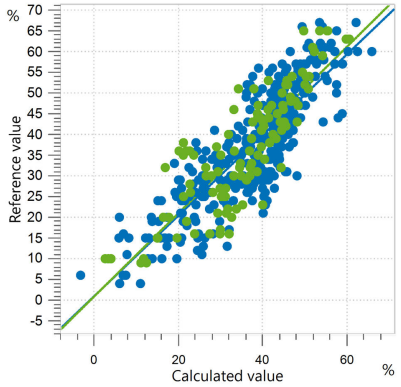


Abbildung 5. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage des Tongehalts im Boden.

R^2	SEC (%)	SECV (%)	SEP (%)
0.724	6.97	7.45	7.58

Ergebnis Schluffgehalt im Boden

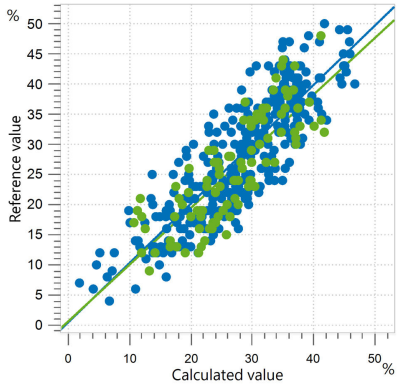


Abbildung 6. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage des Schluffgehalts im Boden.

R^2	SEC (%)	SECV (%)	SEP (%)
0.663	5.01	5.13	5.20

Ergebnis Sandgehalt im Boden

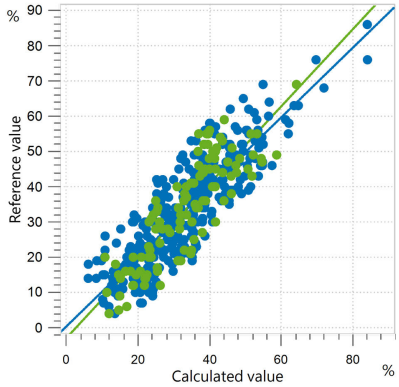


Abbildung 7. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage des Sandgehalts im Boden.

R^2	SEC (%)	SECV (%)	SEP (%)
0.732	7.44	7.57	7.64

Ergebnis austauschbares Kalzium im Boden

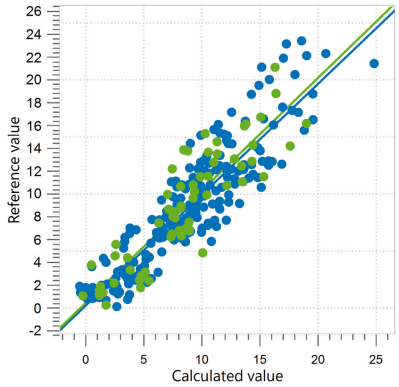


Abbildung 8. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage des austauschbaren Kalziums im Boden.

R^2	SEC (‰)	SECV (‰)	SEP (‰)
0.783	2.09	2.24	2.36

Ergebnis austauschbares Magnesium im Boden

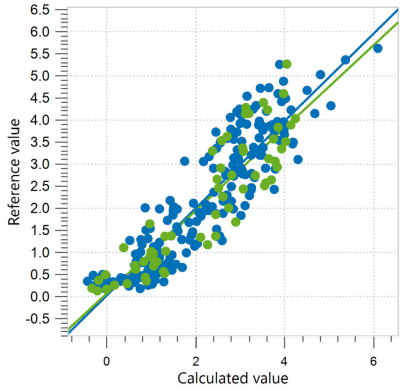


Abbildung 9. Korrelationsdiagramm und die entsprechenden Gütezahlen für die Vorhersage des austauschbaren Magnesiums im Boden.

R^2	SEC (‰)	SECV (‰)	SEP (‰)
0.804	0.57	0.60	0.63

FAZIT

Diese Application Note zeigt die Vorteile des Einsatzes der NIR-Spektroskopie für die Bodenanalyse. Alle vorgestellten Bodenqualitätsparameter können gleichzeitig in nur wenigen Sekunden gemessen werden. Im Vergleich zu anderen konventionellen Methoden (Tabelle 1) sind für die Bodenanalyse mittels Nahinfrarotspektroskopie weder Probenvorbereitung noch Lösungsmittel erforderlich. Dies führt letztlich zu einer Verringerung des Arbeitsaufwands und der damit verbundenen Kosten sowie zu mehr Sicherheit für das Laborpersonal.

Tabelle 1. Überblick über verschiedene Standardmethoden zur Bestimmung von Referenzwerten für verschiedene Bodenqualitätsparameter.

Parameter	Norm	Methode
pH-Wert	ISO 10390:2021 Boden, behandelter Bioabfall und Klärschlamm - Bestimmung des pH-Werts	pH-Messung
Organisches Material	ISO 23400:2021 Leitlinien für die Bestimmung der organischen Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte und ihrer Veränderungen in Mineralböden im Feldmaßstab	Titration
Lehm, Schluff, Sand	ISO 11277:2020 Bodenqualität - Bestimmung der Korngrößenverteilung in mineralischem Bodenmaterial - Verfahren durch Sieben und Sedimentation	Siebung und Sedimentation
Austauschbares Natrium und Magnesium	ISO 11260:2018 Bodenqualität - Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität und des Basensättigungsgrads mit Bariumchloridlösung	ICP-AES
Kalkstein	ISO 10693:1995 Bodenqualität - Bestimmung des Karbonatgehalts - Volumetrisches Verfahren	Titration

REFERENZEN

1. Stenberg, B.; Viscarra Rossel, R. A.; Mouazen, A. M.; et al. Chapter Five - Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. In *Advances in Agronomy*; Sparks, D. L., Ed.; Academic Press, 2010; Vol. 107, pp 163–215. DOI:10.1016/S0065-2113(10)07005-7
2. *Soil Management*. https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a_factor_ts.aspx (accessed 2025-05-15).
3. *Cations and Cation Exchange Capacity | Fact Sheets | soilquality.org.au*. https://www.soilquality.org.au/factsheets/cation-exchange-capacity (accessed 2025-05-15).
4. *ISO 11464:2006*. ISO. https://www.iso.org/standard/37718.html (accessed 2025-05-23).

CONTACT

Metrohm Inula
Shuttleworthstraße 25
1210 Wien

office@metrohm.at