

## Kann man mit Nahinfrarot-Spektroskopie die Bodenfruchtbarkeit bestimmen?

### Is near-infrared spectroscopy capable to determine soil fertility?

T. Terhoeven-Urselmans<sup>1</sup>, F. Ilein<sup>1</sup>, H. Schmidt<sup>2</sup> und B. Ludwig<sup>1</sup>

**Keywords:** soil fertility, plant nutrition and soil biology

**Schlagwörter:** Bodenfruchtbarkeit, Pflanzenernährung und Bodenbiologie

#### Abstract:

*Near-infrared reflectance spectroscopy is known for its inexpensiveness, rapidity and accuracy and may become a useful tool for the assessment of soil fertility. The objectives of this study were (i) to evaluate the ability of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict several soil chemical and biological characteristics of organically managed arable land and (ii) to test if different sample pre-treatments yield comparable results. Spectra of the VIS-NIR region (400-2500 nm) from 56 either fresh or pre-treated (quick-freezing, freeze-drying and grinding) soil samples were recorded. A modified partial least square regression method and cross-validation were used to develop an equation over the whole spectrum (1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> derivation). Soil chemical and biological characteristics and ratios of them were predicted. The soil chemical characteristics pH (CaCl<sub>2</sub>) and contents of C<sub>org</sub>, N<sub>t</sub> and extractable P (Olsen), K (CAL) and Mg (CaCl<sub>2</sub>) were generally predicted well, except for the K content, which was predicted satisfactorily. The predictions were better for pre-treated samples than for fresh ones. The RSC (the ratio of standard deviation of laboratory results to standard error of cross-validation) ranged between 2.5 (pH) and 4.1 (Mg) and the correlation coefficient *r* between 0.91 (Mg) and 0.97 (N<sub>t</sub>), respectively. NIRS-predictions of biological characteristics were for fresh samples slightly better than for pre-treated. Exceptions were content of ergosterol and the ratio of ergosterol content to C<sub>mic</sub>. Respiration rate and contents of C<sub>mic</sub>, N<sub>mic</sub> and P<sub>mic</sub> were predicted well. The RSC was between 2.5 (P<sub>mic</sub>) and 4.6 (ergosterol) and *r* between 0.89 (respiration rate) and 0.93 (C<sub>mic</sub>). Ratios of C<sub>mic</sub>/N<sub>mic</sub> and ergosterol/C<sub>mic</sub> and the metabolic quotient were predicted satisfactorily. Nitrogen mineralization rate could not be predicted satisfactorily. The good and satisfactory results for soil chemical and biological characteristics indicate that there is marked potential of NIRS for soil fertility assessment. Quick-freezing and subsequent freeze-drying of samples is a promising method to maintain stability of biological sample characteristics.*

#### Einleitung und Zielsetzung:

Eine hohe Bodenfruchtbarkeit zur Erhaltung der Ertragsfähigkeit ist in der ökologischen Landwirtschaft grundlegende Voraussetzung. Die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit, zu der meist eine Vielzahl bodenchemischer und -biologischer Messgrößen herangezogen wird, ist zeit- und kostenaufwendig und die bodenbiologischen Messergebnisse unterliegen oft aufgrund des Lagerungseinflusses vor der Analyse Schwankungen. Nahinfrarot-Spektroskopie ist aufgrund seiner Schnelligkeit, Genauigkeit, Zuverlässigkeit und geringen Kosten in der Untersuchung von Agrarprodukten seit Jahrzehnten eine Standardmethode (NORRIS et al. 1976). Es wurde auch gezeigt, dass der Einsatz von NIRS in der Bodenkunde erfolgreich war, um die Gehalte an organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) und Gesamtstickstoff (N<sub>t</sub>) und den pH-Wert zu

---

<sup>1</sup>Fachgebiet Umweltchemie, Universität Kassel, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen, Deutschland, [ttu@uni-kassel.de](mailto:ttu@uni-kassel.de)

<sup>2</sup>Stiftung Ökologie und Landbau, Himmelsburger Str. 95, 53474 Ahrweiler, Deutschland

bestimmen (MORON & COZZOLINO 2002). Die Vorhersage des mikrobiellen Biomasse-C und der Stickstoffmineralisationsrate in Böden und Streu war bisher nicht zufrieden stellend (TERHOEVEN-URSELMANS et al. 2006). Als Hauptgrund wurde die Trocknung der Proben vermutet. Eine Unterteilung der mikrobiellen Biomasse in Bakterien und Pilze wurde mittels NIRS bisher für Wald-Humusaufgaben (PIETIKAINEN & FRITZE 1995) aber noch nicht für Ackerböden gezeigt. In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob (i) bodenchemische und –biologische Messgrößen von ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen mit NIRS vorhergesagt werden können und (ii) ob verschiedene Probenvorbereitungsarten zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

### Methoden:

Probenherkunft sowie bodenbiologische und chemische Analysen:

Im März 2005 sind bundesweit insgesamt 56 Bodenproben von neun biologisch wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieben genommen worden. Die Beprobungstiefe war 0-20 cm. Es wurden die bodenchemischen Messgrößen pH-Wert, Magnesiumgehalt (beide  $\text{CaCl}_2$ ) und Gehalte an Kalium (CAL), Phosphor (Olsen),  $\text{N}_i$  und  $\text{C}_{\text{org}}$  (C/N-Analyser) nach Siebung auf zwei mm bestimmt. Als bodenbiologische Messgrößen wurden die Gehalte an mikrobiellem Kohlenstoff ( $\text{C}_{\text{mik}}$ ), Stickstoff ( $\text{N}_{\text{mik}}$ ) und Phosphor ( $\text{P}_{\text{mik}}$ ) (Chloroform-Fumigation-Extraktion), Ergosterol (Ethanolextraktion und Messung an HPLC) und die Raten der Respiration (Inkubation für drei Tage bei 25 °C, Titration nach Isermeyer) und N-Mineralisation (Inkubation für 0,14 und 28 Tage bei 25 °C,  $\text{CaCl}_2$ -Extraktion, kolometrische Nitratbestimmung) bestimmt. Die Bodenproben und die Analyseergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsprojekts *Untersuchung ackerbaulicher Probleme langjährig ökologisch wirtschaftender Betriebe* (gefördert durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau) ermittelt und von der Stiftung Ökologie und Landbau zur Verfügung gestellt.

NIRS-Messungen:

Die Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie-Messungen sind mit einem Foss-NIRSystem Spektrometer (Silver Spring, USA) an den frischen (A) und an den mit flüssigem Stickstoff schockgefrorenen, gefriergetrockneten und abschließend vermahlenden (B) Proben durchgeführt worden. Die Spektren wurden im sichtbaren und nahinfrarot Bereich (VIS-NIR 400-2500 nm) aufgenommen. In der der Kreuzvalidierung wurde mit der „modifizierten-partiellen-kleinste-Quadrate“-Methode (SHENK & WESTERHAUS 1991) und der Streulichtkorrektur „SNV and detrend“ eine Gleichung erstellt. Dabei sind die erste bis dritte Ableitung, verschiedene Schrittweiten der Ableitung und verschiedene Spektrenglättungen mit dem Ziel, das beste mathematische Modell zu erhalten, berechnet worden. Als Ausreißer sind Proben definiert worden, deren Differenz zwischen Referenz- und Vorhersagewert größer als das 2,5fache des Standardfehlers der Kreuzvalidierung (SECV) war. Der Anteil der Ausreißer lag zwischen null und max. neun Prozent (Gehalte an  $\text{C}_{\text{mik}}$  (A) und Ergosterol (B)). Gute Vorhersagen der Kreuzvalidierung hatten einen  $\text{RSC} > 2$  (Verhältnis von Standardabweichung der Referenzwerte zu SECV), einen Korrelationskoeffizient  $r$  von  $r \geq 0,9$  und einen Regressionskoeffizienten  $a$  von  $0,9 \leq a \leq 1,1$ . Befriedigende Vorhersagen lagen in den Bereichen  $1,4 \leq \text{RSC} \leq 2,0$ ,  $r \geq 0,8$  und  $0,8 \leq a \leq 1,2$ . Unbefriedigende Ergebnisse lagen vor, wenn der  $\text{RSC} < 1,4$  bzw.  $r < 0,8$  war.

### Ergebnisse und Diskussion:

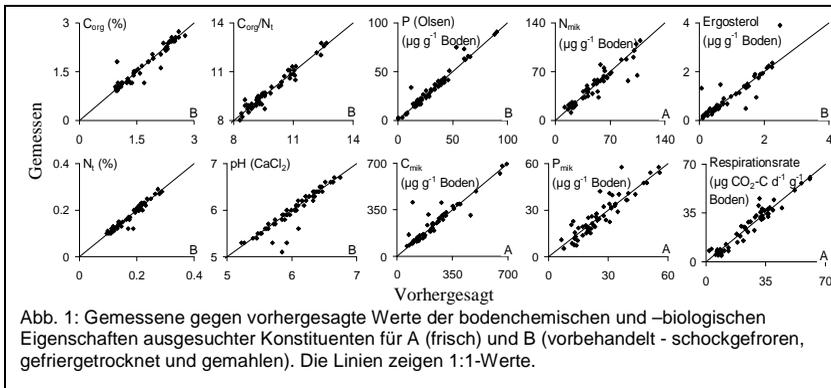
Die Proben deckten gleichmäßig einen weiten Wertebereich ab (Abb. 1) und stellen somit eine aussagekräftige Datenbasis dar. Die bodenchemischen Eigenschaften wurden mit den vorbehandelten Böden (B) besser als mit frischen Böden (A) durch NIRS vorhergesagt (Tab. 1).

Tab. 1: Kreuzvalidierungsstatistik der chemischen und bodenbiologischen Bodeneigenschaften (n=56). Es ist nur die optimale Probevorbehandlung bei der NIRS-Messung (A = frisch; B = vorbehandelt - schockgefroren, gefriergetrocknet und gemahlen) dargestellt. Die beste mathematische Behandlung der Kreuzvalidierung, der RSC (Verhältnis von Standardabweichung der Referenzwerte zum Standardfehler der Kreuzvalidierung) und der Korrelationskoeffizient (r) und Regressionskoeffizient (a) einer linearen Regression (gemessen gegen vorhergesagte Werte) sind dargestellt.

	Konstituent [Einheit]	Behandlung	Math. Behandlung <sup>1</sup>	RSC	r	a
Chemische Eigenschaften	C <sub>org</sub> [% (TM)]	B	2,10,1	3,38	0,96	0,96
	N <sub>t</sub> [% (TM)]	B	3,10,5	2,92	0,97	0,99
	C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	B	3,20,1	3,65	0,97	0,99
	pH (CaCl <sub>2</sub> )	B	2,5,5	2,5	0,92	1,04
	P (Olsen) [µg g <sup>-1</sup> Boden]	B	2,5,5	3,20	0,97	1,02
	K (CAL) [mg K <sub>2</sub> O 100 g <sup>-1</sup> Boden]	B	1,1,1	1,82	0,95	1,01
	Mg (CaCl <sub>2</sub> ) [mg MgO 100 g <sup>-1</sup> Boden]	B	3,10,5	4,08	0,91	0,91
Biologische Eigenschaften	C <sub>mik</sub> [µg g <sup>-1</sup> Boden]	A	2,5,5	3,57	0,93	0,92
	N <sub>mik</sub> [µg g <sup>-1</sup> Boden]	A	3,20,10	3,34	0,93	0,90
	C <sub>mik</sub> /N <sub>mik</sub>	A	3,1,1	1,43	0,84	0,89
	P <sub>mik</sub> [µg g <sup>-1</sup> Boden]	A	1,15,1	2,50	0,91	1,02
	Ergosterol [µg g <sup>-1</sup> Boden]	B	2,15,1	4,58	0,90	0,99
	Ergosterol/C <sub>mik</sub> [%]	B	2,10,1	2,02	0,83	0,96
	Respirationsrate [µg CO <sub>2</sub> -C d <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> Boden]	A	1,10,1	3,62	0,89	0,77
	Metabolischer Quotient [mg CO <sub>2</sub> -C d <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> C <sub>mik</sub> ]	A	3,20,5	1,67	0,78	1,01
	N-Mineralisationsrate [µg NO <sub>3</sub> -N d <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> Boden]	A	3,1,1	1,14	0,76	1,00

<sup>1</sup> die drei Zahlen geben die Höhe der Ableitungsfunktion, die Schrittweite der Ableitung und die Schrittweite der Glättung in Datenpunkten an.

Der pH-Wert, das C<sub>org</sub>/N<sub>t</sub>-Verhältnis und die Gehalte von C<sub>org</sub>, N<sub>t</sub>, P und Mg wurden gut vorhergesagt, wogegen der Gehalt an Kalium befriedigend vorhergesagt wurde (Tab. 1). Der RSC lag bei den guten Vorhersagen zwischen 2,5 (pH) und 4,1 (Mg) und r zwischen 0,91 (Mg) und 0,97 (P). Damit konnten deutlich bessere Ergebnisse für P gezeigt werden als durch VAN GROENINGEN et al. (2003): für kalifornische Reisböden fanden sie einen Zusammenhang von r = 0,84. Die bodenbiologischen Eigenschaften konnten, mit Ausnahme des Ergosterolgehaltes und des Ergosterol/C<sub>mik</sub>-Verhältnisses, besser für frische Proben (A) bestimmt werden (Tab. 1), wobei der N<sub>mik</sub>-Gehalt und die Raten der Respiration und N- Mineralisation auch gleich gut von vorbehandelten Proben vorhergesagt werden konnten (Daten nicht gezeigt).



Gute Vorhersagen konnten für die Gehalte an  $C_{mik}$ ,  $N_{mik}$ ,  $P_{mik}$ , Ergosterol und die Respirationsrate durch NIRS gemacht werden (Tab. 1, Abb. 1). Die RSC-Werte waren mit bis zu 4,6 für den Ergosterolgehalt sehr hoch. Darüber hinaus war der SECV mit  $0,14 \mu\text{g Ergosterol g}^{-1} \text{Boden}$  (Daten nicht gezeigt) sehr niedrig, was eine sehr gute Vorhersagegenauigkeit bedeutet. LUDWIG et al. (2002) konnten für australische Waldböden  $C_{mik}$  und kumulierte Respiration befriedigende und für  $N_{mik}$  nur unbefriedigende Vorhersagen treffen. Diese schlechteren Ergebnisse können in der Trocknung (Luft-trocknung) der Proben vor der NIRS-Messung begründet sein. Die Verhältnisse von  $C_{mik}/N_{mik}$  und Ergosterol/ $C_{mik}$  und der metabolische Quotient konnten befriedigend vorhergesagt werden, wogegen die N-Mineralisationsrate nicht befriedigend vorhergesagt werden konnte, da der RSC bei 1,1 lag.

### Schlussfolgerungen:

NIRS hat gezeigt, eine große Bandbreite an bodenchemischen und –biologischen Eigenschaften vorhersagen zu können. Somit hat NIRS das Potential, für ökologisch wirtschaftende Betriebe eine erste Einschätzung der Bodenfruchtbarkeit zu treffen. Auch an vorbehandelten Proben (schockgefroren, gefriergetrocknet und gemahlen) können gute Vorhersagen getroffen werden. Somit könnten auch von großen Probenkollektiven bodenbiologische Messgrößen sicher bestimmt werden, ohne dass Laborkapazitätsgrenzen überschritten werden.

### Literatur:

- Ludwig B., Khanna P., Bauhus J., Hopmans P. (2002): Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability. *Forest Ecol Manag* 171: 121-132.
- Moron A., Cozzolino D. (2002): Application of near infrared reflectance spectroscopy for the analysis of organic C, total N and pH in soils of Uruguay. *J Near Infrared Spec* 10: 215-221.
- Norris K. H., Barnes R. F., Moore J. E., Shenk J. S. (1976): Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. *J Anim Sci* 43: 889-897.
- Pietikainen J., Fritze H. (1995): Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification. *Soil Biol Biochem* 27: 101-109.
- Shenk J. S., Westerhaus M. O. (1991): Population structuring of near infrared spectra and modified partial least squares regression. *Crop Sci* 31: 1548-1555.
- Terhoeven-Urselmans T., Michel K., Helfrich M., Flessa H., Ludwig B. (2006): Near-infrared spectroscopy can predict the composition of organic matter in soil and litter. *Journal Plant Nutr Soil Sci* 169: 168-174.
- Van Groeningen J. W., Mutters C. S., Horwarth W. R., van Kessel C. (2003): NIR and DRIFT-MIR spectrometry of soils for predicting soil and crop parameters in a flooded field. *Plant Soil* 250: 155-165.

9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.  
Beitrag archiviert unter <http://orgprints.org/view/projects/wissenschaftstagung-2007.html>

Archived at <http://orgprints.org/9403/>