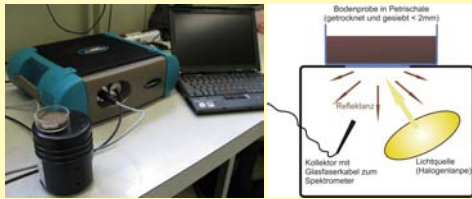


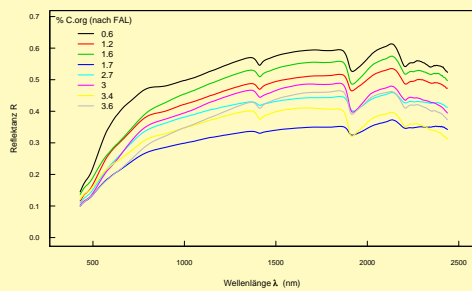
## Visible and Near Infrared Spectroscopy

Abgekürzt VNIRS, manchmal auch *diffuse reflectance spectroscopy* genannt. Sie stellt eine Alternative zu traditionellen Labormethoden dar. Hierbei wird die diffuse Reflektanz der Bodenoberfläche von 350 bis 2500 nm Wellenlänge erfasst.

- + Nicht-destruktive Methode
- + Einfache Handhabung & Probenaufbereitung
- Anschaffung eher teuer
- + Einzelne Analyse schnell und billig
- Kalibration mit Referenzmethode nötig



$$\text{Reflektanz} = \frac{\text{reflektierte Energie}}{\text{eingestrahlte Energie}}$$



Verbindung zwischen Spektral- und Labordaten  
mit Hilfe statistischer Methoden

## iSoil

Diese Arbeit ist Teil des Projektes *iSOIL – Interactions between soil related sciences – Linking geophysics, soil science and digital soil mapping*, welches von der Europäischen Kommission im Rahmen des FP7 *Thematic Priority Environment* finanziert wird.

In diesem Projekt sollen Messkonzepte und -strategien für die Generierung von funktionalen Bodenkarten mit hoher räumlicher Auflösung und schneller Datenerfassung zu vertretbaren Kosten geschaffen werden. Dazu werden Methoden wie EMI (Electromagnetic Induction), GPR (Ground Penetrating Radar) und VNIRS eingesetzt. Forschungsgruppen aus D, BG, GB, CR, NL, B, I, CH und A sind daran beteiligt.  
<http://www.isoil.info>

## Danksagung

Herzlichen Dank an Nicolas Rossier, Bodenüberwachung des Kantons Fribourg (FRIBO), sowie Gaby von Rohr und Franz Borer, Bodenschutzfachstelle des Kantons Solothurn, für den Zugang zu den Bodenarchiven. Die FRIBO-Proben erfasste Christine Hauert, CDE Uni Bern, mit VNIRS. Die Validationsproben sammelte und analysierte Isabel Richli im Rahmen ihrer Bachelorarbeit. Merci für die Vorarbeit! Ich danke Juerg Schopfer und Mathias Kneubühler, RSL Uni Zürich, für die Leihgabe des Spektrometers.

## Methodik

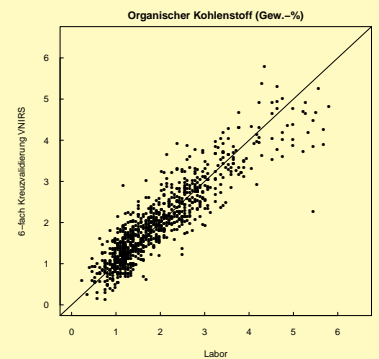
- Kalibrationsproben werden mit VNIRS und der Referenzlabormethode erfasst. Sind für archivierte Proben Analysedaten vorhanden, können diese verwendet werden. Es wird der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) gemessen.
- Komprimierung der VNIRS-Daten (Reflektanz der Bodenproben) mittels Waveletzerlegung
- Herleitung quadratischer Modelle für Zielvariable basierend auf ausgewählten Waveletkoeffizienten
- 6-fach Kreuzvalidierung zur Modellbeurteilung
- Anwendung des Modells auf unbekannte Proben
- Beurteilung des Modells anhand des *root mean square error (RMSE)* und des *Bias* (systematischer Fehler)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{i,S} - y_{i,R})^2}{n}} \quad \text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i,S} - y_{i,R}}{n}$$

*n*: Anzahl Proben  
*y<sub>i,S</sub>*: Bestimmung der i-ten Bodenprobe mit VNIRS  
*y<sub>i,R</sub>*: Bestimmung der i-ten Bodenprobe mit der Referenzmethode

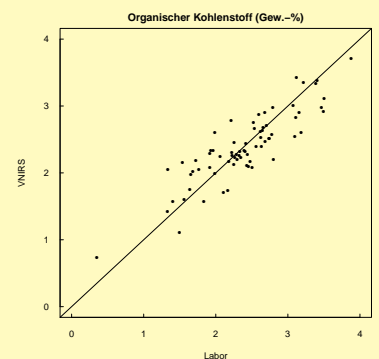
## Kalibration mit archivierten Bodenproben

- 800 Oberbodenproben aus Archiven der Kantone Solothurn und Fribourg (vorwiegend Mittelland)
- VNIRS-Messung der Proben direkt im Archiv
- Kalibration anhand der Analysedaten der Archive  
C<sub>org</sub>-Bestimmung nach FAL (Dichromat-Rücktitration)
- Min. 0.2 %, Median 1.7 %, Max. 6 % C<sub>org</sub>
- 6-fach Kreuzvalidierung:  
RMSE: 0.4 % C<sub>org</sub>  
R<sup>2</sup>: 0.81



## Validation

- 60 Oberbodenproben von landwirtschaftlichen Flächen in Emmenbrücke LU
- C<sub>org</sub>-Bestimmung CN-Analyser (Trockenveraschung)  
Korrekturfaktor 0.8 damit Resultate mit FAL-Methode vergleichbar sind
- Min. 0.3 %, Median 2.4 %, Max. 3.9 % C<sub>org</sub>
- RMSE: 0.3 % C<sub>org</sub>
- Bias: 0.02 % C<sub>org</sub>



## Diskussion und Ausblick

- C<sub>org</sub>-Bestimmung von Bodenproben mit VNIRS ist möglich
- Kalibration mit archivierten Bodenproben funktioniert, sofern die archivierten und die zu messenden Proben vergleichbar sind. Proben aus derselben Region (Mittelland) und demselben Horizont (Oberboden)
- Teilweise deutliche Abweichungen zwischen den C<sub>org</sub>-Bestimmungen mit VNIRS und dem CN-Analyser. Mögliche Gründe:
  - Zufällige Abweichungen aufgrund der Messungenauigkeiten der beiden Analysemethoden  
Relative Messfehler CN-Analyser und VNIRS je ca. 5%
  - CN-Analyser anfällig auf Heterogenitäten innerhalb der Bodenproben  
Die CN-Analyse wird mit 100 bis 200 mg Boden durchgeführt.
  - Die beiden Methoden erfassen möglicherweise unterschiedliche C-Fractionen
- Vorhersage weiterer Bodenparameter möglich (Bestimmung von total N liefert vergleichbare Resultate)
- Vorhersage von Bodenproben direkt im Feld. Grösstes Problem: Wassergehalt beeinflusst die Reflektanz sehr stark.