

Neuartige Sensorik für das Bodenmonitoring
Erfassung der Bodenparameter Lachgas,
Bodendichte und Bodennährstoffe



Bodenstickstoffsensor

Gerrit Stiefvater, Yvonne Hespos
& Jürgen Wöllenstein

Bodenstickstoffsensor

Motivation

Neue Düngemittelverordnung

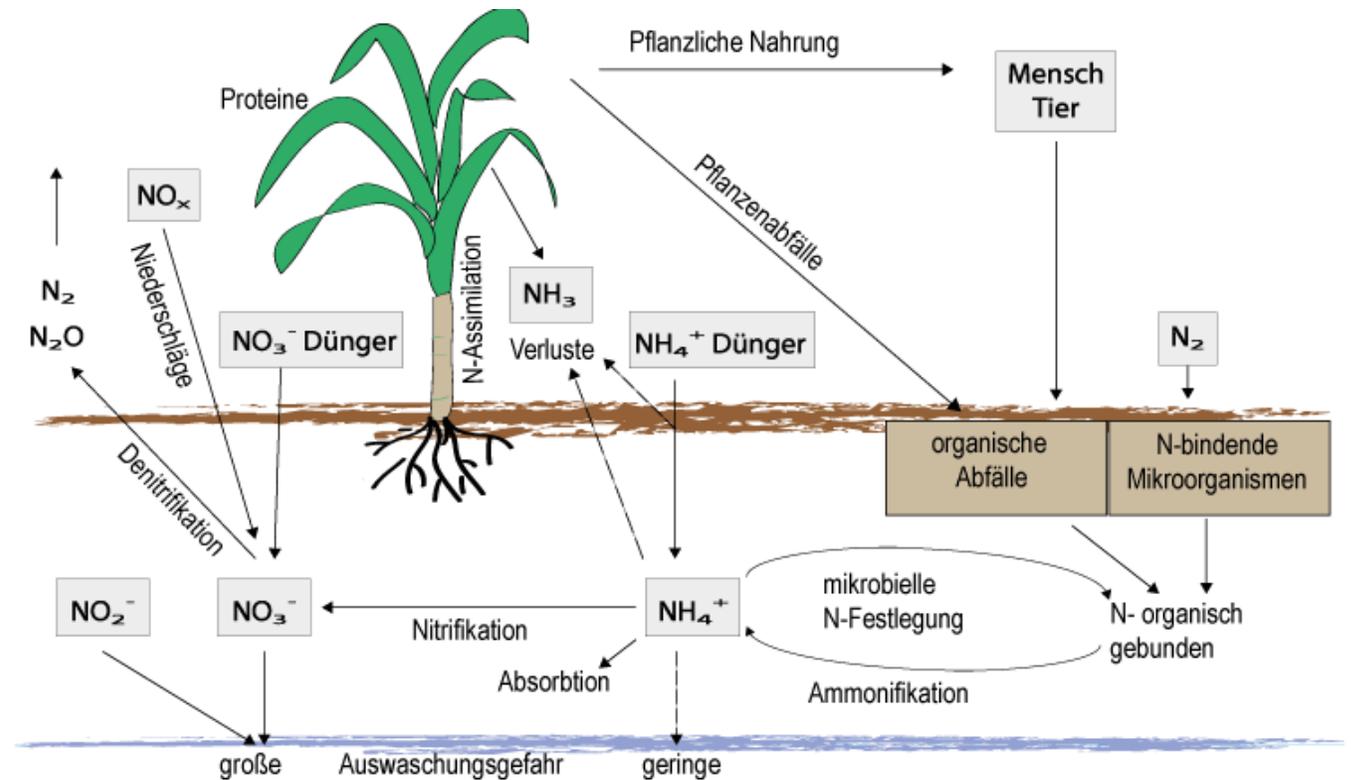
- Stärkere Einschränkung bei der Ausbringung
- Gezielterer Einsatz von Dünger notwendig

N₂O-Messungen

- N-Kreisläufe besser abbilden
- Information über Nährstoffverteilung auf dem Feld bekommen
- Einsatz von Dünger effizienter gestalten
- Klimaaktivität verschiedener Dünger/Felder/Böden bewerten

Ziel

- Mobiler Sensor zur Erfassung von Lachgasemissionen auf dem Feld
- Rückschlüsse auf Bodenstickstoffkonzentration



Ahabc.de - Magazin für Boden und Garten, www.ahabc.de/bodeneigenschaften/stickstoffumsetzung/

Bodenstickstoffsensor

Umsetzung

Sensorsystem

- Erfassung der Boden-Lachgasemission mittels Laserabsorptionsspektroskopie
- Rückschlüsse auf Düngeszustand des Feldes
- Kompakte Integration in tragbarer Box
- Zusätzliche Erfassung von Feuchtigkeit und Temperatur

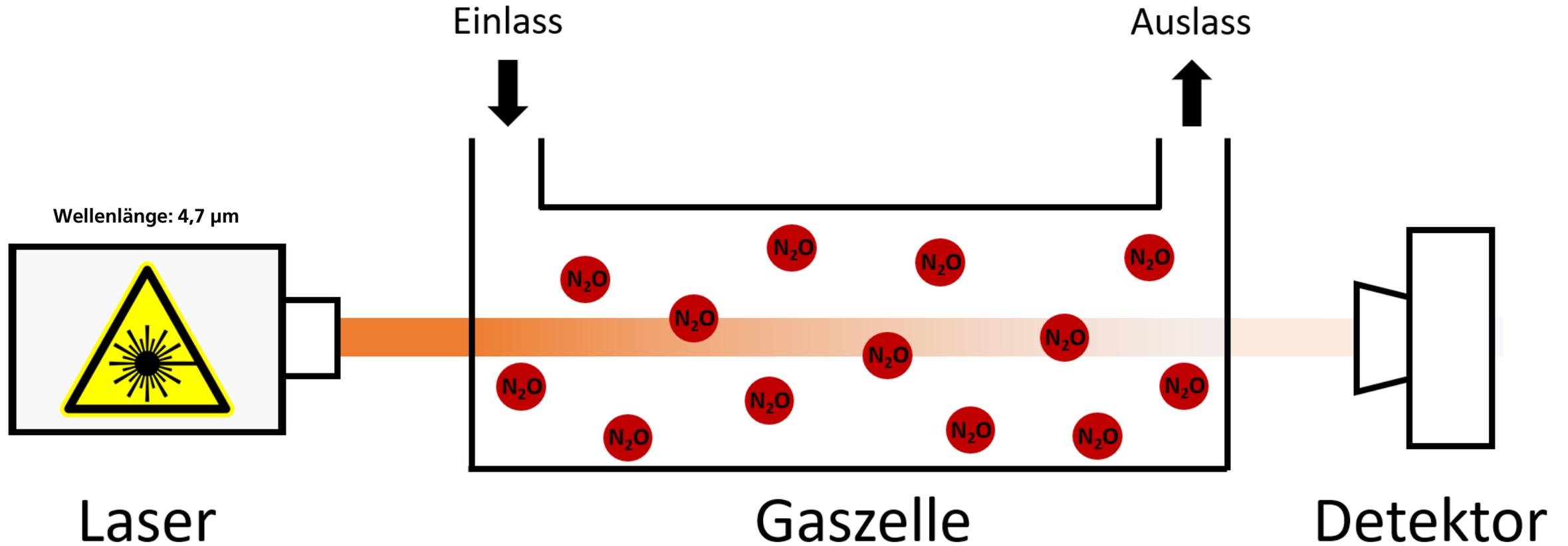
Probennahme

- Sammelglocke mit Gummilappen fängt aus dem Boden strömendes Lachgas auf
- Pumpe tauscht kontinuierlich Volumen der Glocke mit dem des Spektrometers aus



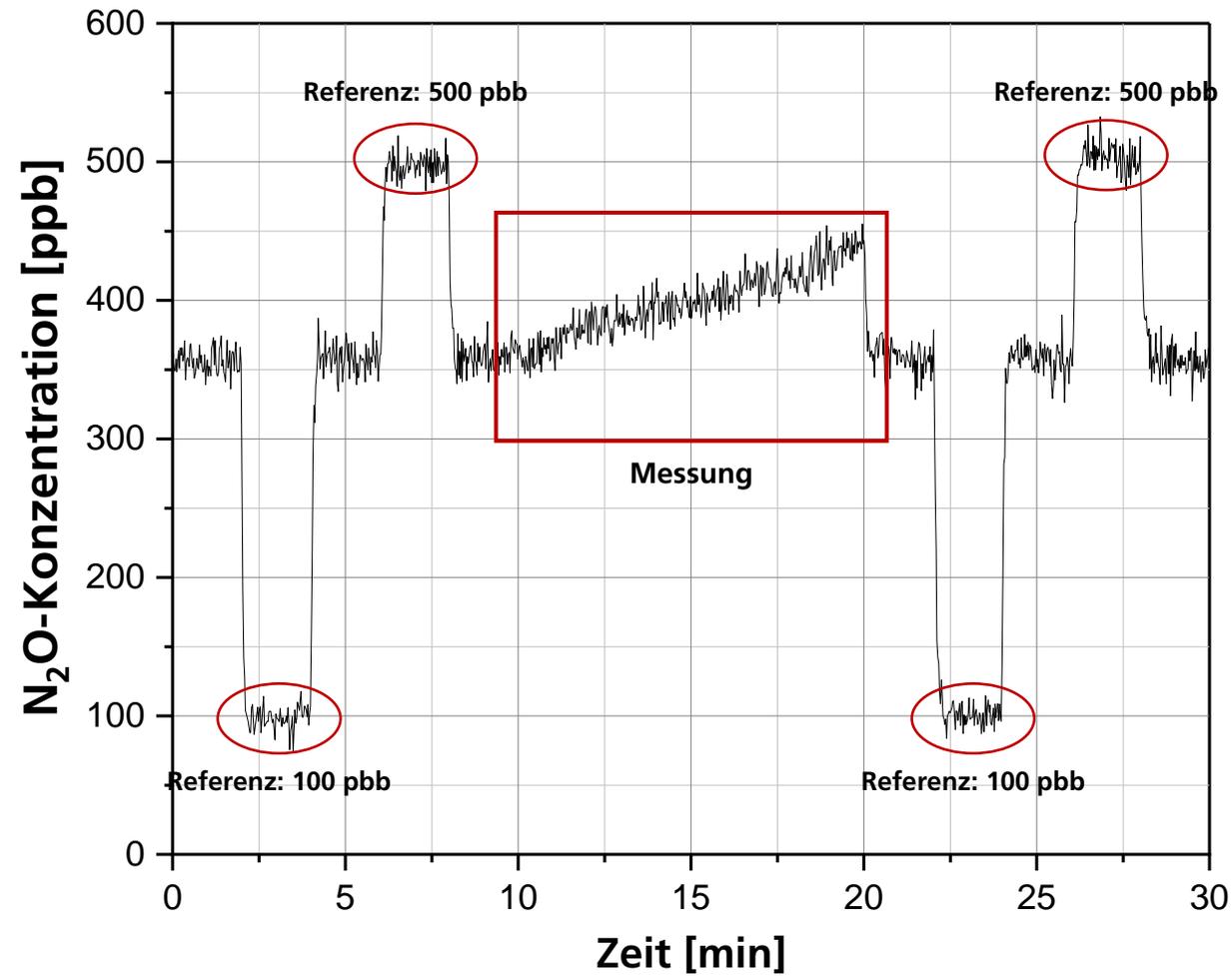
Bodenstickstoffsensor

Messprinzip: Laserabsorptionsspektroskopie



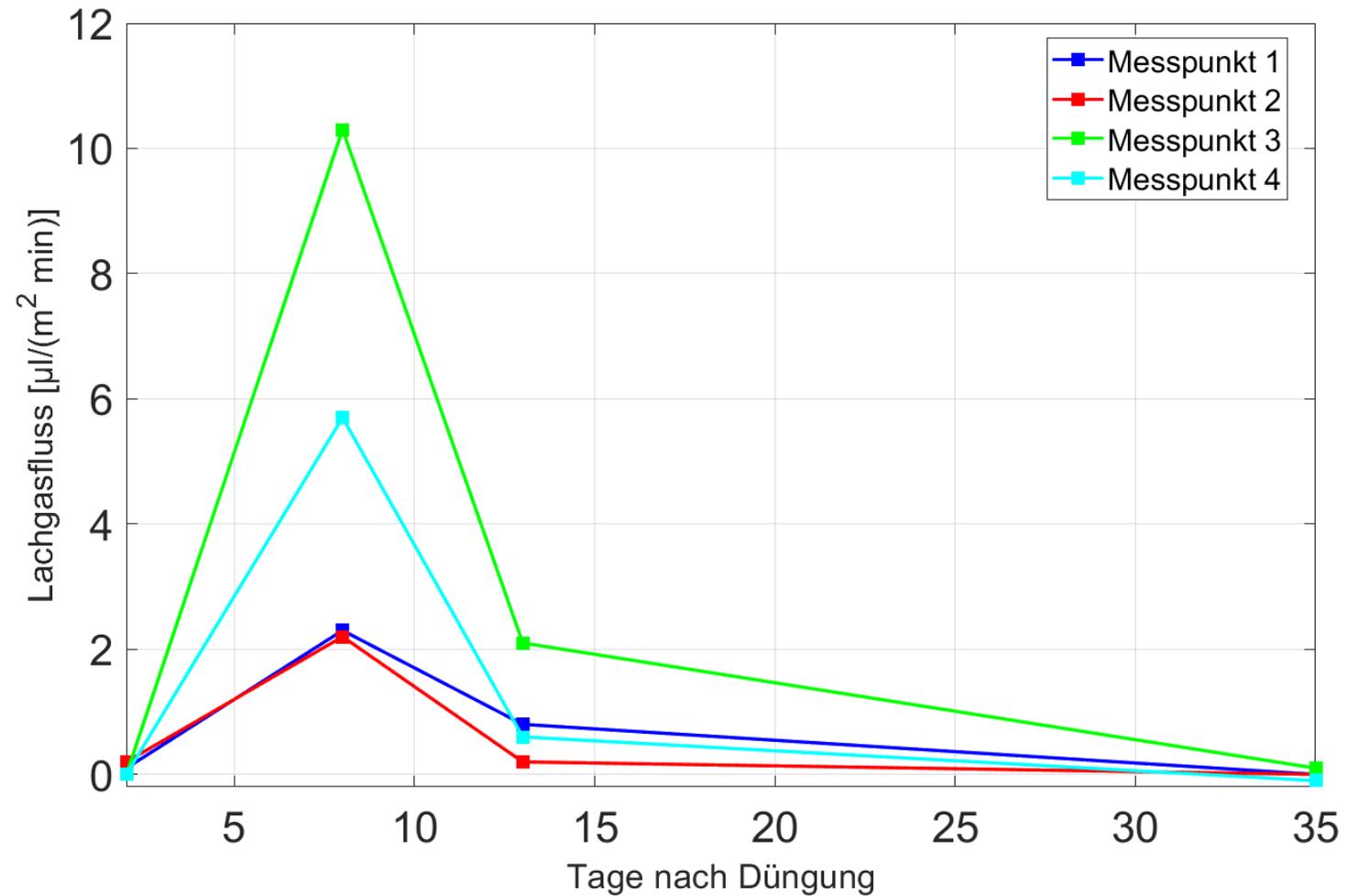
Bodenstickstoffsensor

Messung



Bodenstickstoffsensor

Feldmessung



Bodenstickstoffsensor

WAS - Im Projekt entwickelte Lösung

- Messung der Lachgaskonzentration im ppb-Bereich
- Mobiles, akkubetriebenes laserbasiertes Sensorsystem

Für WEN - Anwendungsbereiche

- Forschung
- Kontrolle durch Behörden
- Maschinenringe als Verleihdienstleister
- Landwirt

WIE – Unser Angebot an Sie

- Weiterentwicklung des Lachgassensors für Forschung und Landwirtschaft
- Entwicklung Gassensorik



Kontakt



Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein

Tel. +49 761 8857-134

juegen.woellenstein@ipm.fraunhofer.de

Gerrit Stiefvater

Tel. +49 761 8857-343

Gerrit.Stiefvater@ipm.fraunhofer.de

Yvonne Hespos

Tel. +49 761 8857-441

yvonne.hespos@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer IPM

Georges-Köhler-Allee 301

79110 Freiburg

www.ipm.fraunhofer.de | [LinkedIn](#) | [Twitter](#) | [YouTube](#)



Seismischer Bodendichtesensor

Dr. Bianca Wehnacht, Robert Neubeck, Prof. Dr. Ingolf
Voigt

Bodendichtemessung mit Oberflächenwellen

Was sind Oberflächenwellen?

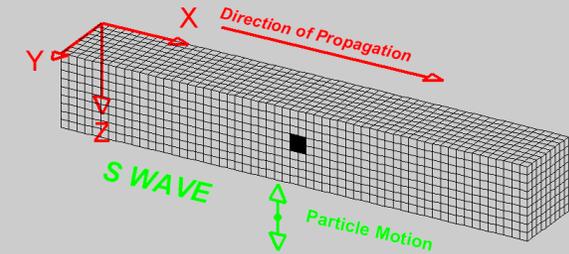
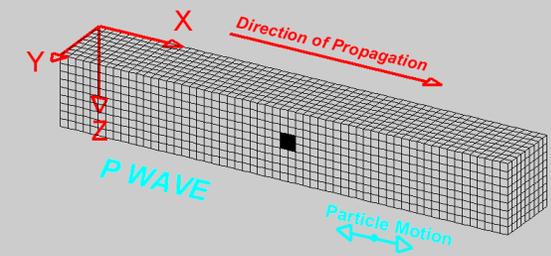
Physikalische Eigenschaften

- Allgemein als *Erdbebenwellen* bekannt
- Elastische Wellen, welche sich an Grenzflächen ausbilden
 - Höchste Energiedichte in der Nähe der Grenzschicht (Boden)
 - Geringere geometrische Dämpfung als Raumwellen
- Multimodal und dispersiv
 - Ausbreitungsgeschwindigkeit ist frequenzabhängig
 - für jeden Wellenmode unterschiedlich
- Dispersive Charakteristik ergibt sich aus dem Schichtenaufbau Bodens

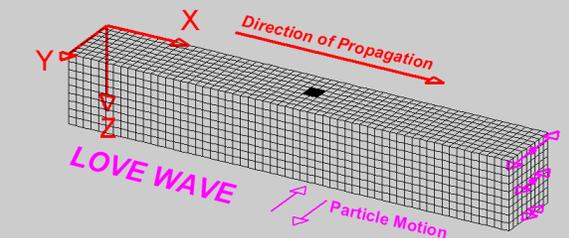
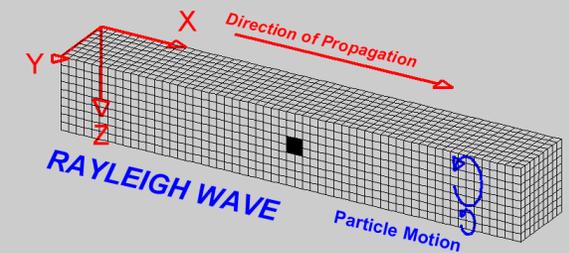
Kenngößen

- Bodendichte („Lagerungsdichte“)
- Dynamisches Schub- u. o. Elastizitätsmodul

Raumwellen



Oberflächenwellen



<http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/WaveDemo.htm>

Partial funding for this development provided by the National Science Foundation.

© Copyright 2004-10. L. Braile. Permission granted for reproduction and use of files and animations for non-commercial uses

Bodendichtemessung mit Oberflächenwellen

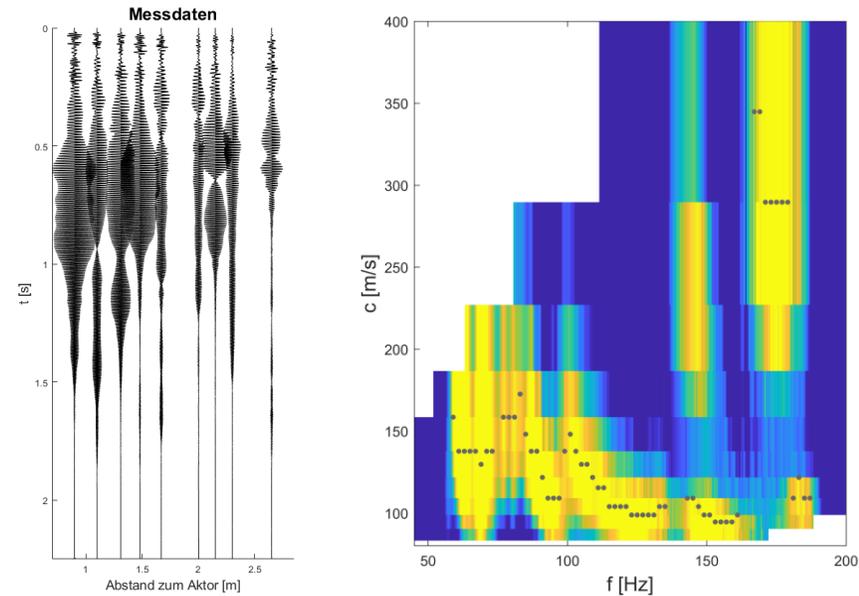
Verfahrensüberblick

1.) Messung



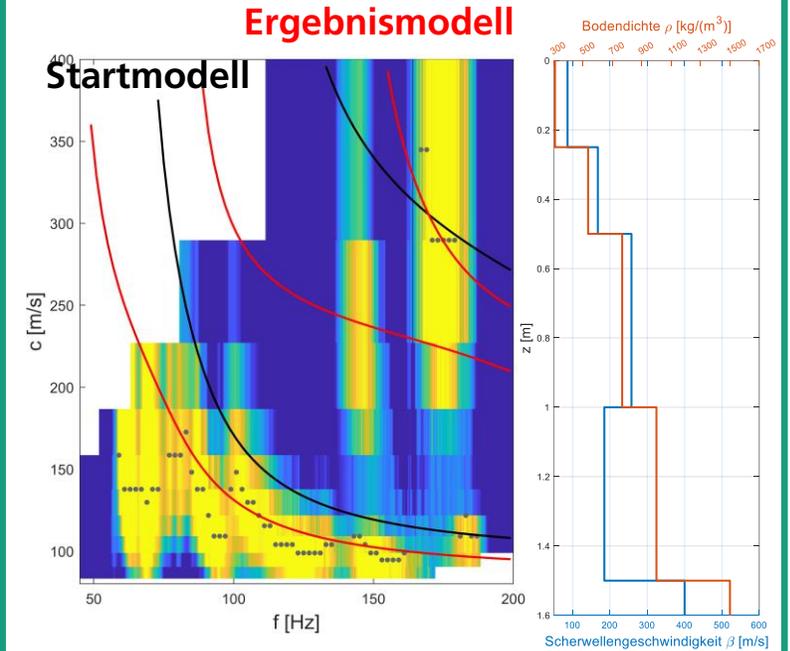
Anregung und Messung von Oberflächen-Wellen

2.) Datenvorverarbeitung



Filterung, Transformation in **f-c-Raum** und **Datenextraktion**

3.) Inversionsrechnung



Optimierungsrechnung: Suche Bodenmodell, welches Messergebnis am besten erklärt.

Bodendichtesensor

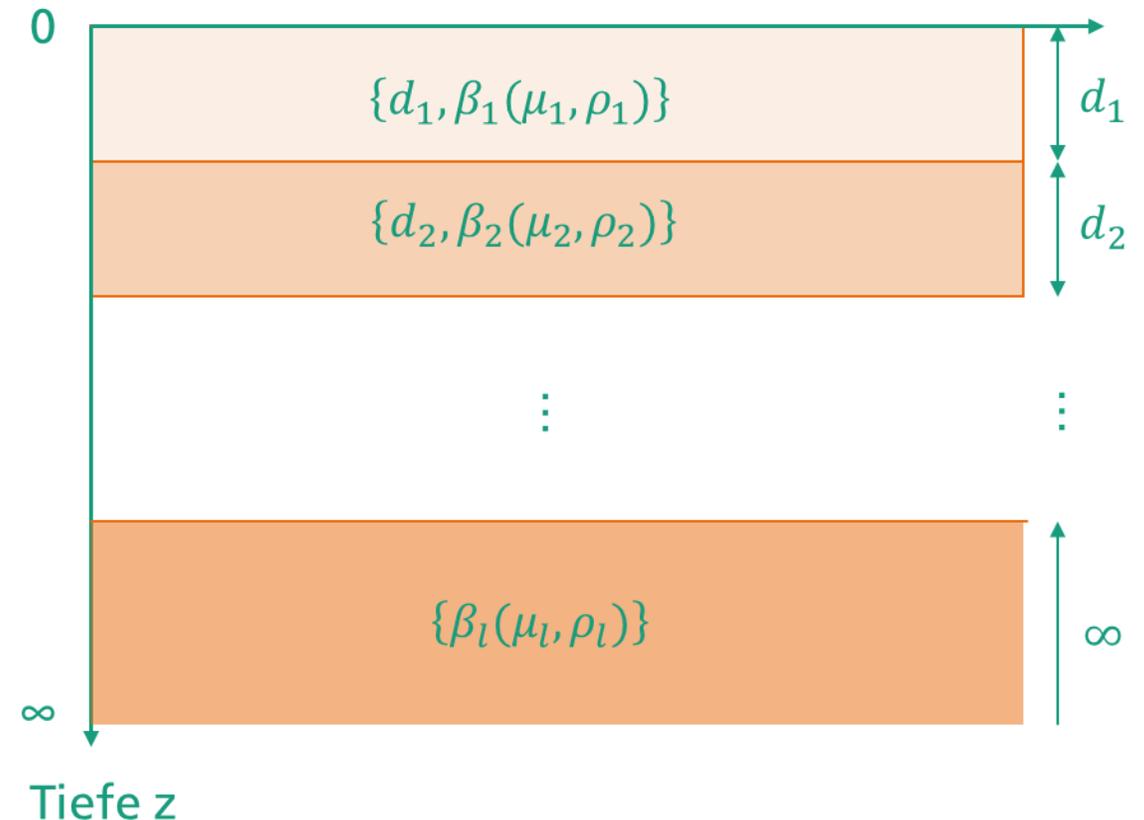
Realisierung und Randbedingung

Inversionsrechnung

- Startmodell notwendig
- Iterative Näherungsrechnung
- Basiert auf analytischer Lösung
 - Geringer Rechenaufwand, **online auf Sensorplattform** möglich
- Annahme eines geschichteten Halbraumes mit Schichtdicken d_i
- Potentere Verfahren wie Full-Waveform-Inversion derzeit nur als Cloud-Lösung praktikabel

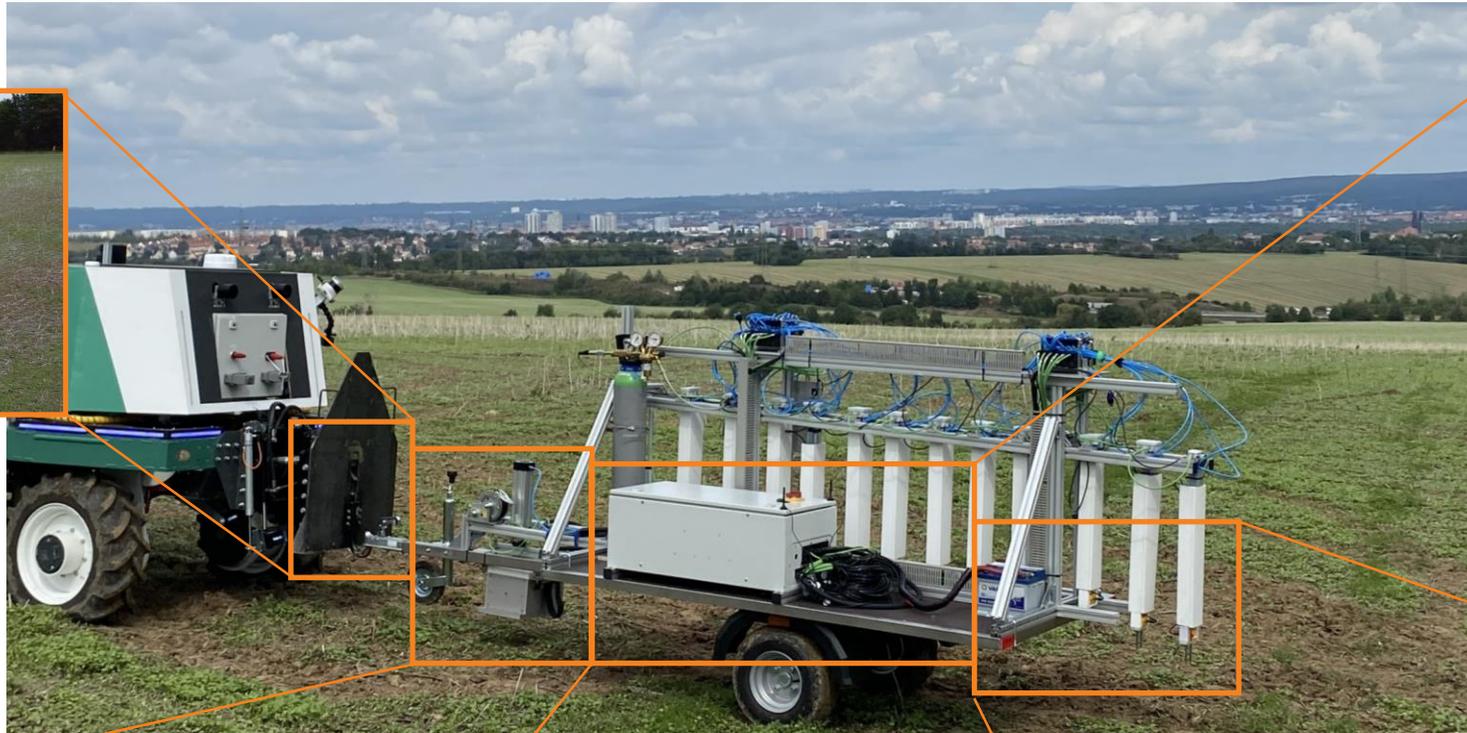
Love-Wellen

- **Stabilere Inversionsrechnung**, aber höhere Dämpfung bei Bodenfeuchte
- Wellengeschwindigkeit β_i ergibt sich aus Schubmodul μ_i und Bodendichte ρ_i
- Generelle Ausbildungsbedingung von Love-Wellen: $\beta_i < \beta_{i+1}$
 - Trifft beispielsweise **nicht bei gefrorenen Böden** zu



Bodendichtesensor

Aufbau



Steuer- und Auswerteeinheit mit autarker Energieversorgung

Anhängerlösung mit Kupplung für Kugelkopf

Geophone (Sensoren) werden über Druckluft ein- und ausgesteckt

Über Druckluft absenkbarer **Aktor** zur Anregung von Love-Wellen



Bodendichtesensor

Systementwicklung

Petershain 2018
& Hersburg 2018



Stand der Technik: Manueller Betrieb der Geophone und des Aktors als Einzelteile



Köllitsch 2021



Automatisierter Betrieb der Geophone und des Aktors mit manuellem Versetzen



Petershain 2022



Automatisierter Betrieb der Geophone und des Aktors **mit Anhängerlösung**

Bodendichtesensor

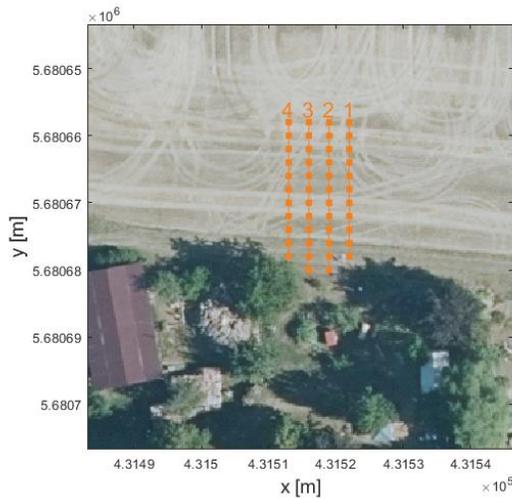
Auswertung am Beispiel der Messkampagne Petershain (Kamenz) 2022

Zielstellung

- Funktionstest unter realen Bedingungen
- Erstellung einer 3D Karte des Untergrundes

Messablauf:

- 4 Profile a 20 m bzw. 22 m Länge
- Messpunkt alle 2 m
- Profile mit 3 m Abstand
- Anregungsfunktion Sweep 50-500 Hz



Bodendichtesensor

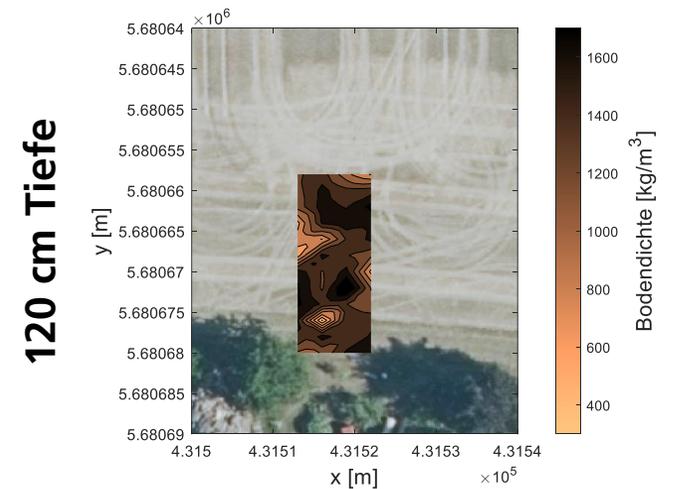
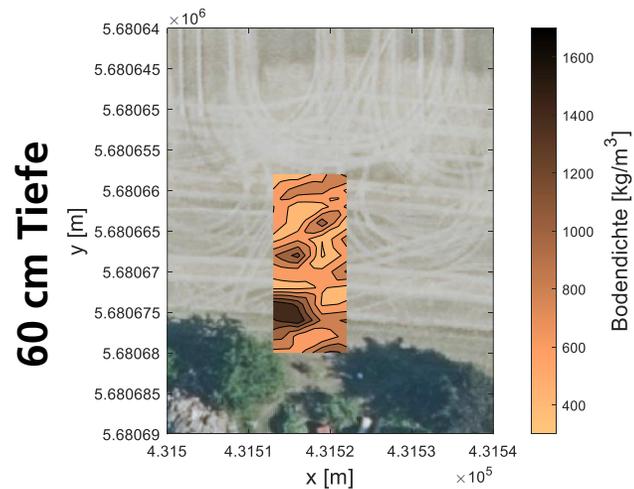
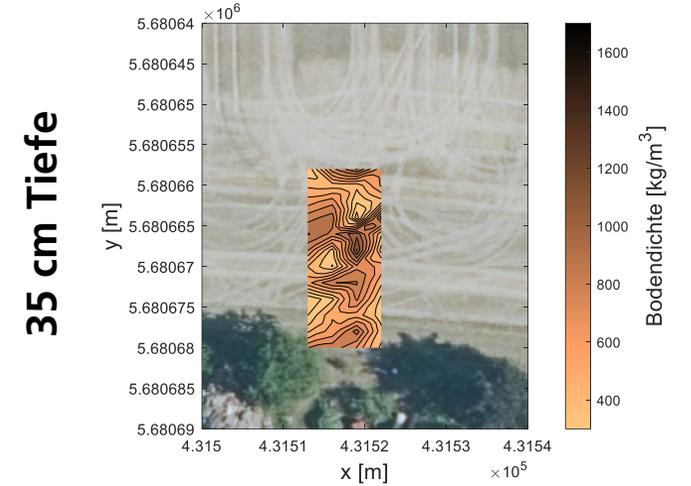
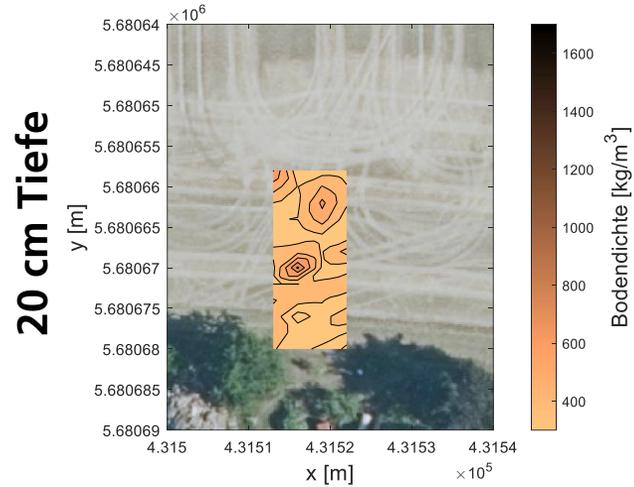
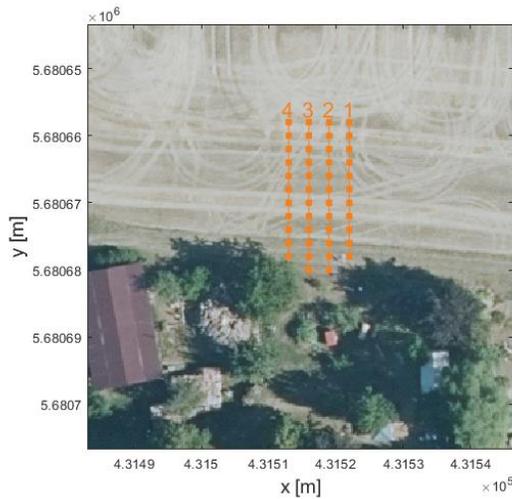
Auswertung am Beispiel der Messkampagne Petershain (Kamenz) 2022

Zielstellung

- Funktionstest unter realen Bedingungen
- Erstellung einer 3D Karte des Untergrundes

Messablauf:

- 4 Profile a 20 m bzw. 22 m Länge
- Messpunkt alle 2 m
- Profile mit 3 m Abstand
- Anregungsfunktion Sweep 50-500 Hz



Wichtigste Projektergebnisse und Verwertung

WAS - Die im Projekt entwickelte Lösung und Technologie

- Nutzung von Oberflächenwellen
- Automatisierter Betrieb möglich
- Abgestimmt auf die Bedürfnisse des Landwirts mit Eindringtiefen bis ca. 2 m abgestimmt
- Ein derartiges System ist auf dem Markt derzeit nicht verfügbar.

Für WEN – Anwendungsbereiche

- Potenzielle Kunden sind Landwirte mit Äckern, deren Bodenstruktur leicht zu Verdichtungen führt.
- Vermarktungsstrategie gemeinsam mit Maschinenherstellern und Verleihern
- Großes Potential für jegliche Bodenuntersuchungen der obersten Bodenschicht (Adaption bis 5-10 m denkbar) → Baugrunduntersuchungen

WIE - Unser Angebot an Sie

- Vorstellung auf Foren und in Veröffentlichungen
- Weiterführung der Arbeiten in neuen Projekte (Machbarkeitsstudien für verschiedene Böden)
- Weitere Tauglichkeitstests in realer Feldumgebung

Kontakt



Dr. Bianca Weihnacht
Tel. +49 351 88815 536
bianca.weihnacht@ikts.fraunhofer.de

Robert Neubeck
Tel. +49 351 88815 663
robert.neubeck@ikts.fraunhofer.de

Prof. Dr. Ingolf Voigt
Tel. +49 36601 9301-2618
ingolf.voigt@ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer IKTS
Maria-Reiche-Str. 2
01109 Dresden
www.ikts.fraunhofer.de



Hyperspektral-Sensor auf Drohne: — Erstellung von Bodenparameter- Karten

Dr. Wolfgang Groß, Simon Schreiner

Hyperspektral-Sensor auf Drohne

Erstellung von Bodenparameter-Karten

Wieso?

Basis intensiver u. nachhaltiger Landwirtschaft ist Verständnis der Biosphäre.

→ **INFORMATIONSGEWINNUNG**
durch Monitoring

Je präziser die Anwendung, desto präziser muss Datengrundlage sein.

Resultat: Präventives Düngen und Schützen

Aktuelle Verfahren des Monitoring

- Ackerbesichtigung/Erfahrung
- Entnahme Bodenproben:
 - Wenige Proben
 - Große zeitliche Abstände
 - Laboranalyse & Interpolation

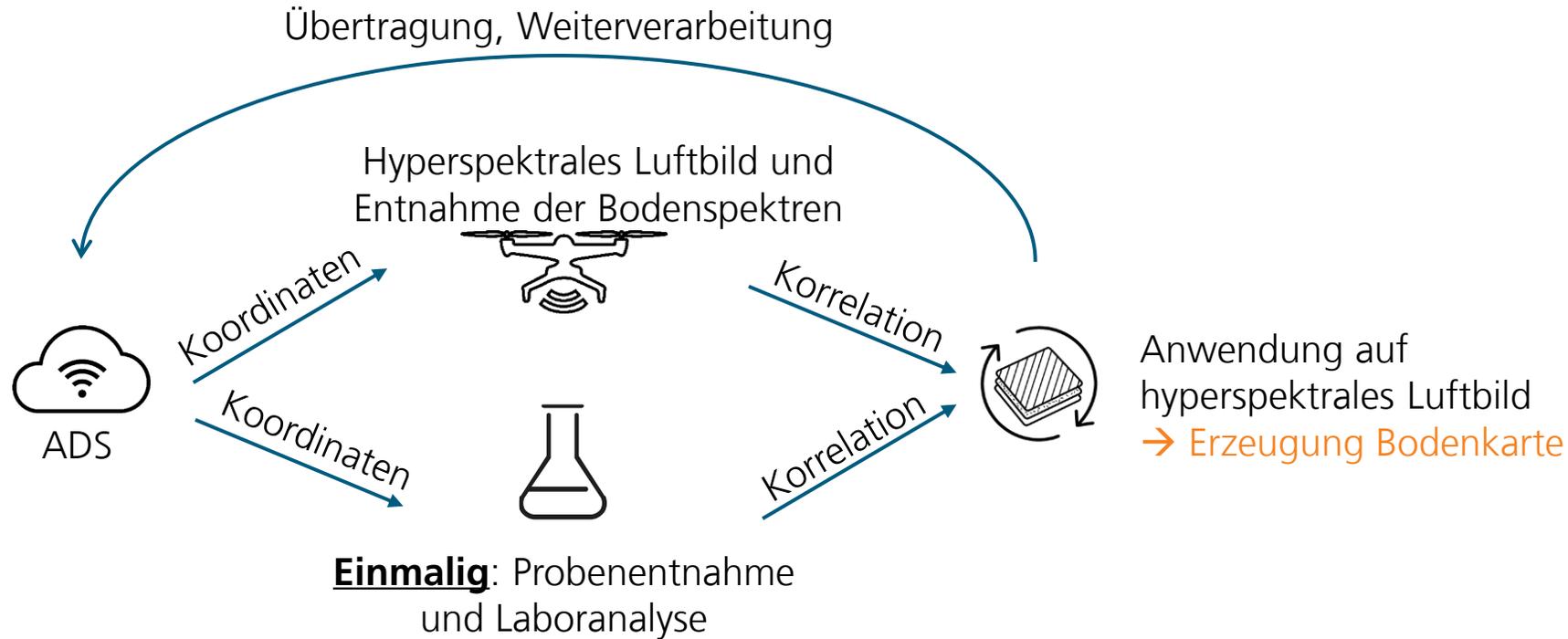
→ Ausweitung zu **aufwändig und teuer**



Hyperspektral-Sensor auf Drohne

Erstellung von Bodenparameter-Karten

Das Verfahren des Fraunhofer IOSB



Ziel: Erstellung von **Bodenparameter-Karten** (regelmäßig, standortspezifisch, flächendeckend/bildgebend, cm-Auflösung, Gesamt-N, K, Mg, ...)



Hyperspektral-Sensor auf Drohne

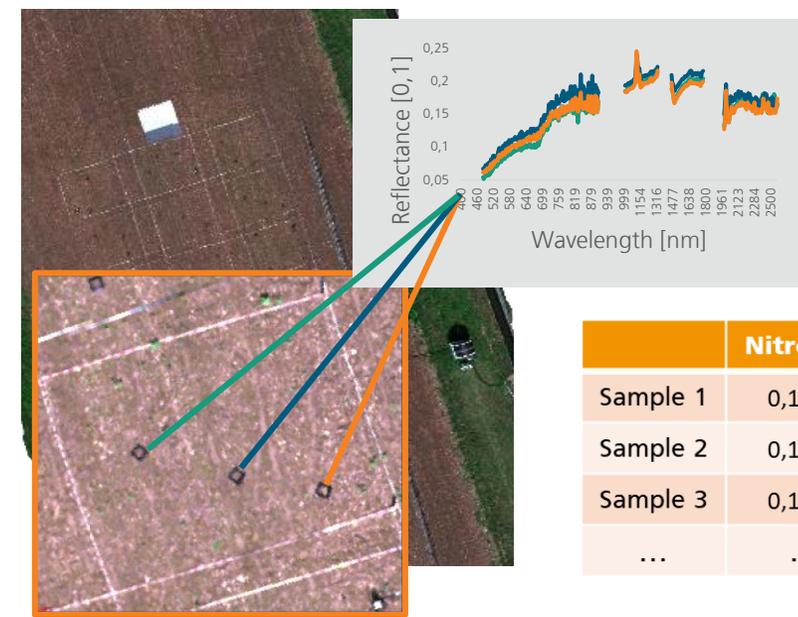
Erstellung von Bodenparameter-Karten

Aktueller Stand

- Verfahren an mehreren Standorten getestet
- Zeitnahe Auswertung großer Datenmengen (TBs)
- Relative Genauigkeit der Karten sehr hoch (z.B. wurde auf dem Acker NPK gedüngt?)
- Absolute Korrektheit der einzelnen Pixel schwankt

Mögliche Interessenten:

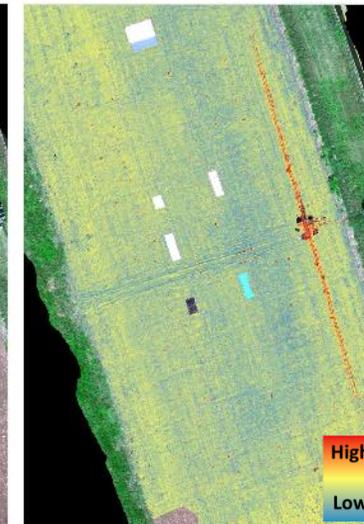
- ✗ **Landwirt/in: Anschaffungskosten!**
- ✓ **Dienstleister: Hersteller von Düngemittel, Pflanzenschutz, ...**



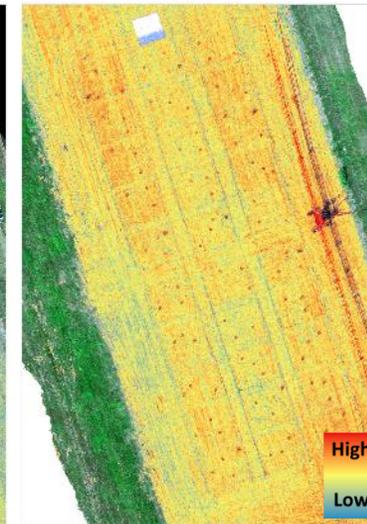
HS-Luftbild



N (vor Düngung)



N (nach Düngung)



Wichtigste Projektergebnisse und Verwertung

WAS - Die im Projekt entwickelte Lösung und Technologie

- Erstellung von Bodenparameterkarten aus der Luft
- Großflächige Anwendung möglich
- Benötigt einmalige Kalibration über Laborauswertung

Für WEN – Anwendungsbereiche

- Potenzielle Kunden Dienstleister, Maschinenringe
- Vermarktungsstrategie gemeinsam mit Dienstleistern
- Großes Potential für Bodenuntersuchungen der obersten Bodenschicht

WIE - Unser Angebot an Sie

- Vorstellung auf Foren und in Veröffentlichungen
- Weiterführung der Arbeiten in neuen Projekte (Machbarkeitsstudien für verschiedene Böden)
- Weitere Tauglichkeitstests in realer Feldumgebung

Kontakt



Dr. Wolfgang Groß
Tel. +49 7243 992-142
wolfgang.gross@iosb.fraunhofer.de

Simon Schreiner
Tel. +49 7243 992-319
simon.schreiner@iosb.fraunhofer.de

Fraunhofer IOSB
Gutleuthausstr. 1
72375 Ettlingen
<https://www.iosb.fraunhofer.de> | [LinkedIn](#) | [Twitter](#)