# STENON

Sachgerechte Validierung des Stenon FarmLab Sensorsystems unter Berücksichtigung von Messvolumen und Bodenheterogenität

### STENON

Anlass und Fragestellung



### Bodenuntersuchungen zeit- und kosteneffizient gestalten

Künftige Landnutzung erfordert eine präzisere Erfassung des Bodenzustands

- Präzisere Maßnahmen (Düngung, Bewässerung, Aussaat, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz) für mehr Ertrag und/oder Qualität
- Reduzierung der Umweltbelastung
- Nachweis von Umweltleistungen (Kohlenstoffspeicherung)

### Lösungsansatz: in-situ-Messung mit Sensoren

- Sofortige Verfügbarkeit der Daten
- Mehr Messungen durch geringere Kosten

⇒bessere zeitliche und räumliche Anpassung von Maßnahmen

### Unterschiede zwischen konventionellen Analyseverfahren und in-situ Sensoren



- Probenkonditionierung entfällt, schnelle Messung, ohne Trennung, unkontrollierte Bedingungen
- oftmals andere Messprinzipien

### **Konventionell** (Messung *ex situ*)

Einstich, Probenentnahme

Verpackung, Zuordnung Konditionierung: Kühlung (für Nmin, Smin), Auftauen, Trocknen, Zerkleinern, Sieben, Wägen

Trennung (Extraktion) Messung im Labor

Berechnung

Bericht: Zuordnung, Übermittlung

### **Bodensensor** (Messung *in situ*)

Einstich

Messung im Freiland, Zuordnung

Berechnung

Bericht: Zuordnung, Übermittlung

### Neue Bodenuntersuchungsmethoden müssen zum etablierten System passen



#### Etabliertes System

- Feldversuche, langjährige empirische Basis
- Einheit aus Bodenuntersuchungsmethoden und Düngungsempfehlungen
- Rechtsnormen
- Anerkennung in der Praxis

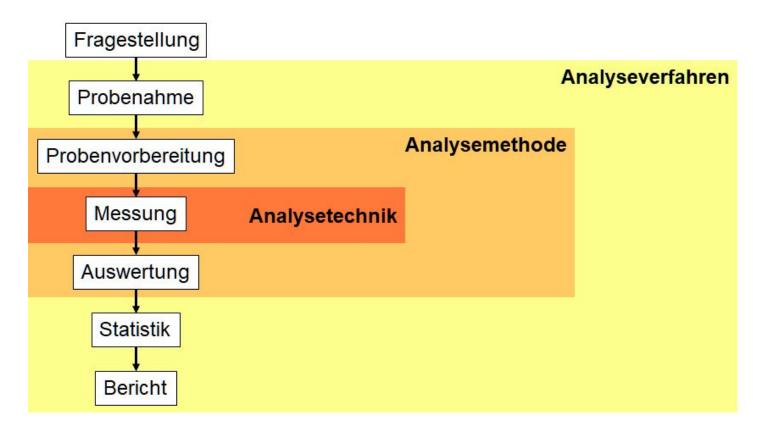
⇒ Wie können neue Bodenuntersuchungsmethoden sachgerechte validiert werden?

### STENON

Variationsursachen bei der Bodenanalyse

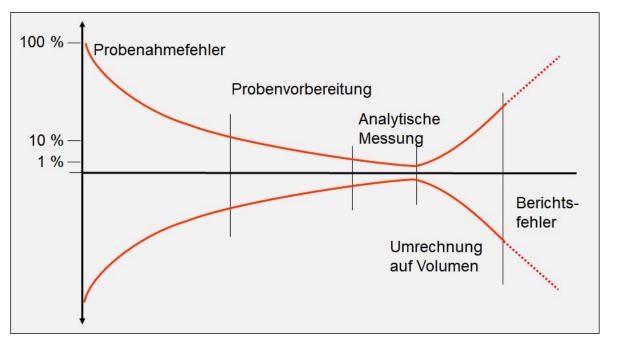
### Analyseverfahren: Chemische Sichtweise





### Variationsursachen im Analyseverfahren





#### **Beprobung**

- Probenahme-Abstand
- Probenahme-Volumen
- Abdeckung der Fläche
- Zuordnungsfehler

### **Probenvorbereitung**

- Homogenisierung,
- Zerkleinern, Sieben, Teilen
- Extraktion (Lösung, Filterung)

### **Analytische Messung**

- Kalibrations- und Blindwertfehler
- Messvarianz

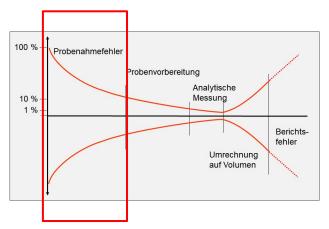
### **Berechnung & Bericht**

### Varianz bei der Probenahme



Mögliche Varianzursachen bei der Probengewinnung (bis zu 90 %):

- ungleichmäßige Beprobungstiefe
- ungleichmäßige Mengen im Bohrstock wegen Dichteunterschieden, Trockenheit ...
- die falsche räumliche Zuordnung der Proben (GPS-Fehler, Beschriftungsfehler)
- die Verschleppung von Material im Bohrstock und im Mischbehälter
- systematische Materialverluste
- Abweichungen von der Probenahmestrategie









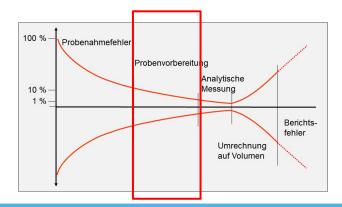


### Fehler bei der Probenvorbereitung und analytischen Messung

#### **Probenvorbereitung:**

Gefrieren, Auftauen, Trocknung, Zerkleinerung, Homogenisierung, Siebung, Extraktion, Entnahme von Aliquoten, Wägung

- Chemische Veränderungen
- Sortierung des Material durch Schwerkraft, Materialunterschiede

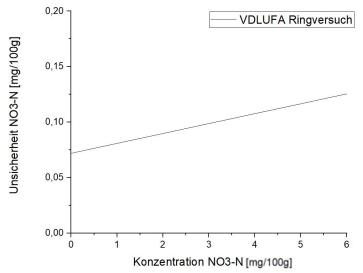


### Fehler bei der analytischen Messung

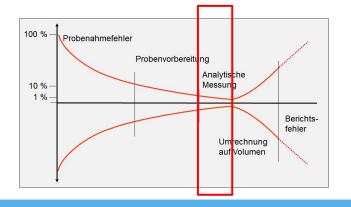


### **Fehler bei der analytischen Messung** (in und zwischen Laboren)

- Kalibrations- und Blindwertfehler
- Messvarianz



VDLUFA Unsicherheit-Ringversuch METHODENBUCH I: 7. Teillfg. 2016 - E 5 Ermittlung von Messunsicherheiten □ sehr geringer Fehler (quasi vernachlässigbar)



### Berechnungsfehler, Berichtsfehler, Datenübertragungsfehler

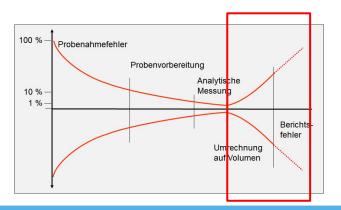


### Berechnungsfehler Lagerungsdichte

Umrechnung auf Volumen -> nächste Folie

### Berichtsfehler, Datenübertragung

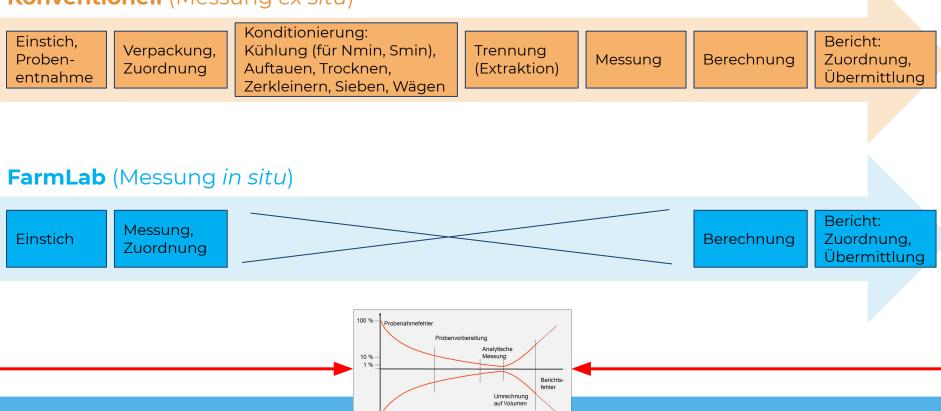
- fehlerhafte Einträge (Proben ID verwechselt, Spalte verwechselt)
- Formatierung ("." ",")



### Analyseverfahren im Vergleich

### **STENON**

### **Konventionell** (Messung *ex situ*)

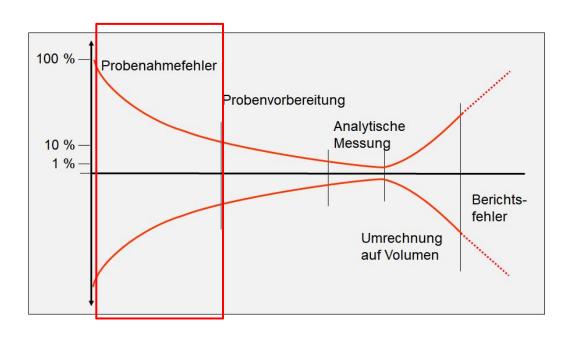


### STENON

Der Beprobungsbereich als Variationsursache bei der Bodenanalyse



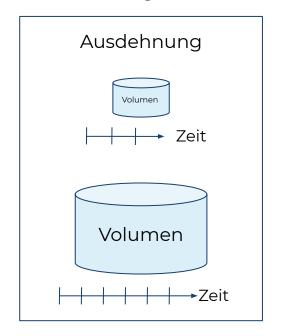
## Die Probenahmevarianz ist Hauptursache für Fehler/Variabilitäten

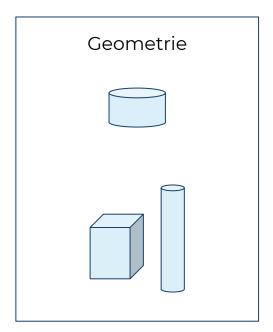


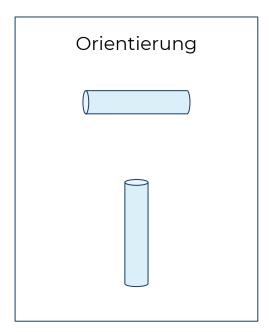
### Stützung (Sample Support): Ausdehnung, Granularität



Stützung (Geostatistik): Ausdehnung (Zeit, Fläche, Volumen), Geometrie und Orientierung des erfassten Bereichs







# Unterschiede der Stützung bei Bodensensor und **STENON** konventioneller Beprobung

Impedanzspektroskopie



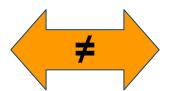
Messvolumen ca. 19 cm<sup>3</sup>

Optische Spektroskopie



Messvolumen ca. 0.9 cm<sup>3</sup>

Messung an identischem Material nicht möglich

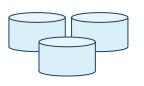


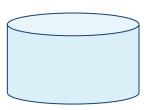




### Auswirkung unterschiedlichen Volumens







- Mit zunehmender Ausdehnung verringert sich die Mikrovarianz
- Bei Vergleichen verbessert sich oft die Korrelation mit zunehmendem Volumen
- => Change of support problem, modyfiable areal unit problem
- => Untersuchung des Volumeneffektes bei der Validierung des FarmLab Bodensensorsystems

### STENON

Material & Methoden

# We are the innovator and market leader in real-time soil analysis technology



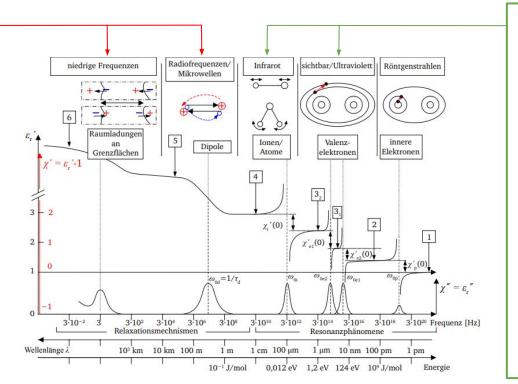
### Fusion verschiedener Messprinzipien

### **STENON**

Elektrische Impedanzspektroskopie



Messvolumen ca. 19 cm<sup>3</sup>



Elektromagnetisches Spektrum und Messprinzipien

Optische Spektroskopie



Messvolumen ca. 0.9 cm<sup>3</sup>

### Referenzmethoden: Übersicht



Die Analysemethoden sind die typischen VDLUFA Standard-Methoden (Verbandsmethoden nach VDLUFA Methodenhandbuch und DIN)

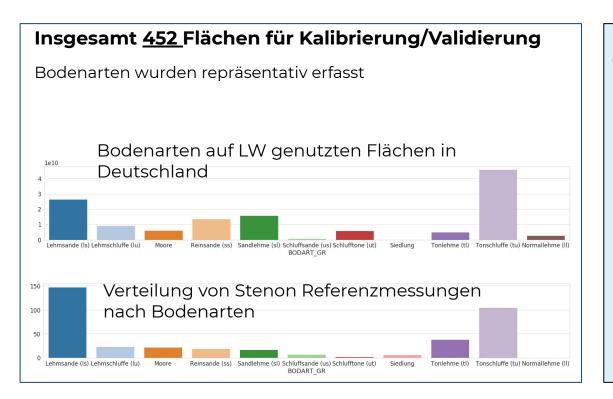


- Nmin und NO<sub>2</sub>: Bassler & Hoffmann (1997)
- 2. **Nt**: Dumas-Methode
- 3. **Corg und Humus**: Veraschung, Korrektur für  $CO_3^{2-}$ . Humus aus Corg berechnet
- 4. **P und K**: CAL-Extraktion
- 5. **Mg**: CaCl<sub>2</sub>-Extraktion
- 6. **pH**: in CaCl<sub>2</sub>-Lösung
- 7. **H<sub>2</sub>O**: Gravimetrisch, vor und nach Trocknung bei 105° C
- 8. **Textur**: Kombination von Nasssiebung und Pipettmethode nach Köhn

Analysen durch 3 bzw. 5 zertifizierter Labore, darunter agrolab, Eurofins, LUFA Speyer

### Untersuchungsstandorte: Gemüsebau- und Ackerböden in Deutschland





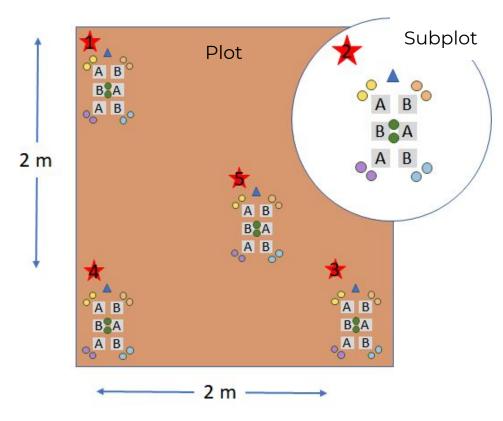
### Untersuchung des Volumeneffekts

Region 1 - 2021: 42 Flächen, 3 Labore Pro Plot 15 Referenzdatensätze, insgesamt 42 \* 15 = 630 FarmLab: 42 \* 30 = 1260

Region 2 - 2021: 40 Flächen, 5 Labore Pro Plot 25 Referenzdatensätze, insgesamt 40 \* 25 = 1000 FarmLab: 40 \* 30 = 1200

### Beprobungsschema

### **STENON**



- A FarmLab
- **B** Positionen

Messvolumen 19 cm<sup>3</sup>, 0.9 cm<sup>3</sup>

- Bodenchemie und
- Wasser
- Labore 1 bis 5

Messvolumen ca. 320 cm<sup>3</sup>, FM ca. 500 g



### Statistische Analyse:

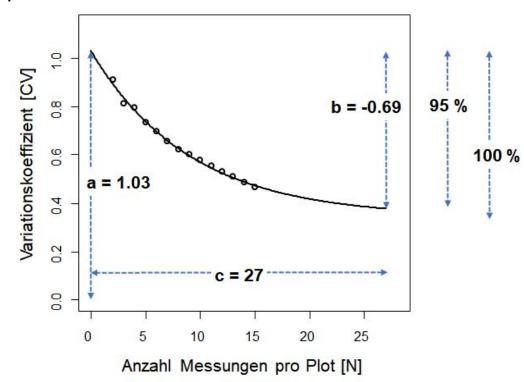
### **STENON**

Abhängigkeit des Variationskoeffizienten CV von der Anzahl der Messungen pro Plot

$$CV = a + b(1 - \exp(-3N/c))$$

#### Parameter c:

Anzahl der Messungen um auf 95% der hypothetischen CV-Absenkung zu kommen



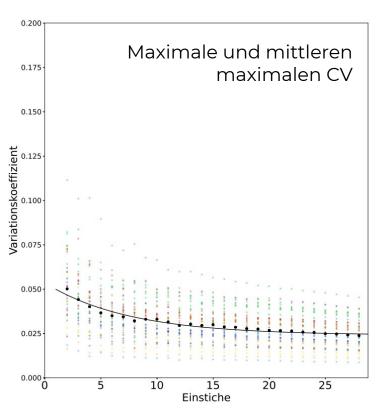
Statistische Analyse:

Abhängigkeit des Variationskoeffizienten von der

Anzahl der Messungen pro Plot

Für FarmLab und Labordaten:

- Für jede Anzahl (2 bis N) von Einstichen/Proben pro Plot
  - 1.1. Auswahl des maximalen CV pro Plot
  - 1.2. Berechnung des mittleren maximalen CV
- 2. Anpassung der Funktion an die mittleren *CV* in Abhängigkeit von *N*



### Statistische Analyse:

**STENON** 

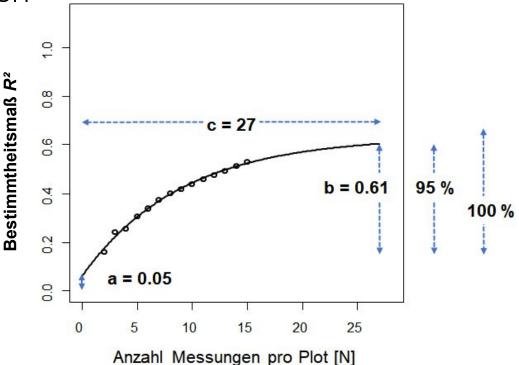
Bestimmung der Abhängigkeit von R² von der

Anzahl der Einstiche/Proben

$$R^2 = a + b(1 - \exp(-3N/c))$$

#### Parameter c:

Anzahl der Messungen um auf 95% des hypothetischen maximalen  $R^2$  zu kommen

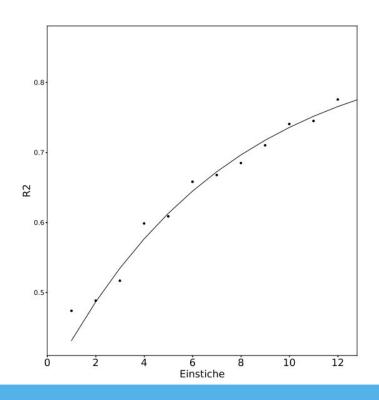


### Statistische Analyse: Bestimmung der Abhängigkeit von R<sup>2</sup> von der Anzahl der Einstiche/Proben



#### Für FarmLab und Labordaten:

- 1. Auswahl von 2 Labore als Referenz.
  - 1.1. Berechnung des Mittelwertes pro Plot
  - 1.2. Nutzung der übrigen Labordaten zur Variation von N in Schritt 2 und 3
- Für jede Anzahl (2 bis N) von Einstichen/Proben pro Plot
  - 2.1. Berechnung des  $R^2$  für jede Kombination
  - 2.2. Berechnung des minimalen  $R^2$  zwischen Stichprobe und Referenz
- 3. Anpassung der Funktion an die minimalen R² in Abhängigkeit von N



### STENON

Ergebnisse

### Anzahl der Proben zur Optimierung des CV

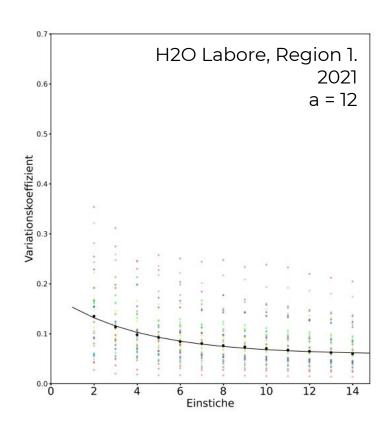


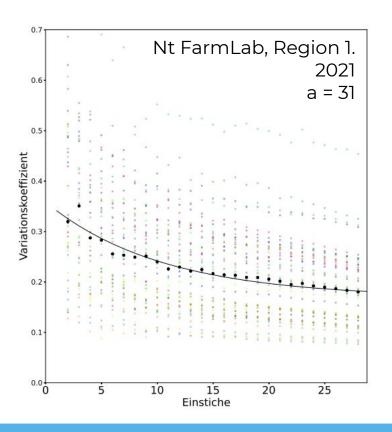
Boden- parameter	рН	P-CAL	K-CAL	Mg- CaCl <sub>2</sub>	Corg	H <sub>2</sub> O	Nmin	NO <sub>3</sub>	Nt	MW
FarmLab Region 1/2021	23	23	15	20	18	18	24	25	31	22
Konventionell Region 1/2021	14	14	14	24	17	12	26	27	_*	19
FarmLab Region 2/2021	16	18	28	17	24	26	31	20	19	22
Konventionell Region 2/2021	18	21	30	14	17	19	24	24	18	21

<sup>\*</sup> Kein sinnvolles Ergebnis

### CV Region 1 - 2021

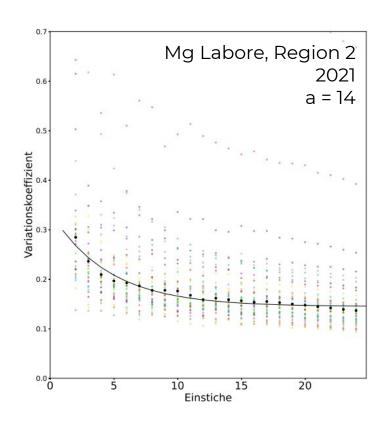


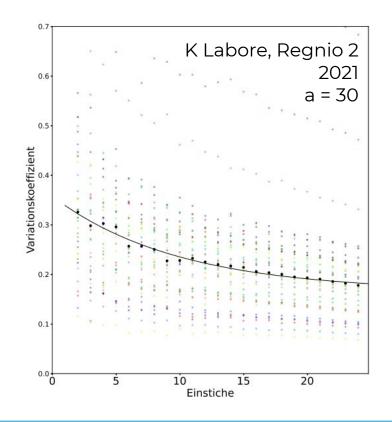




### CV Region 2 - 2021







### Anzahl der Proben zur Optimierung von R<sup>2</sup>

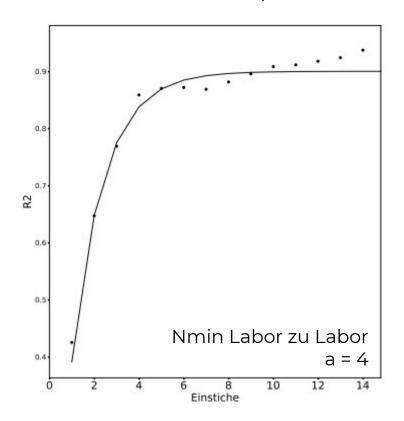


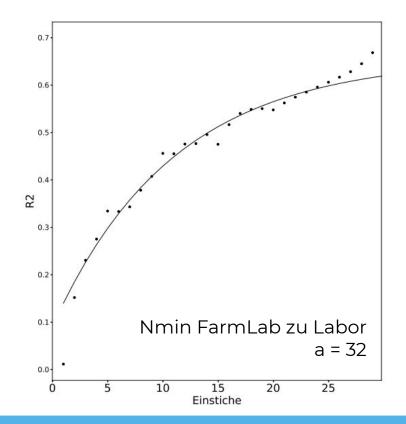
Bodenparameter	рН	P-CAL		Mg- CaCl <sub>2</sub>	Corg	H <sub>2</sub> O	Nmin	NO <sub>3</sub>	Nt	MW
FarmLab gegen Labormittel- werten	20	29	(40*)	24	34	17	32	30	27	19
Einzellabore gegen Labormittel	9	9	16	8	9	6	4	5	6	8

<sup>\*</sup> Vorläufiges Messverfahren für K, Beta-Version

# Korrelation (R<sup>2</sup>) für **Nmin** in Abhängigkeit von der Anzahl Proben/Einstiche

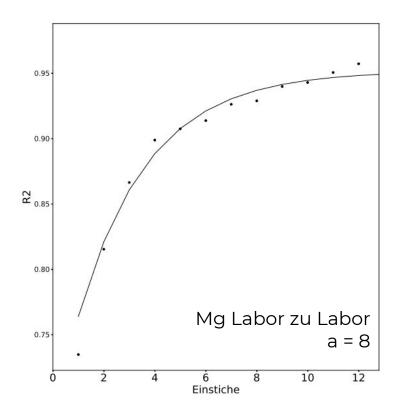


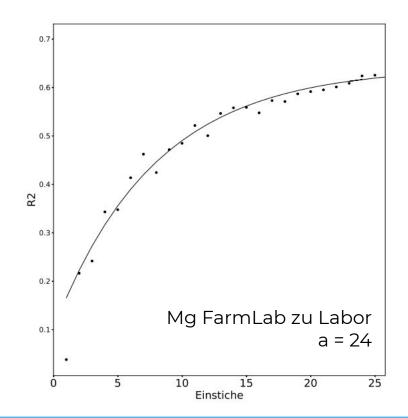




### Korrelation (R²) für **Mg** in Abhängigkeit von der **STENON** Anzahl Proben/Einstiche

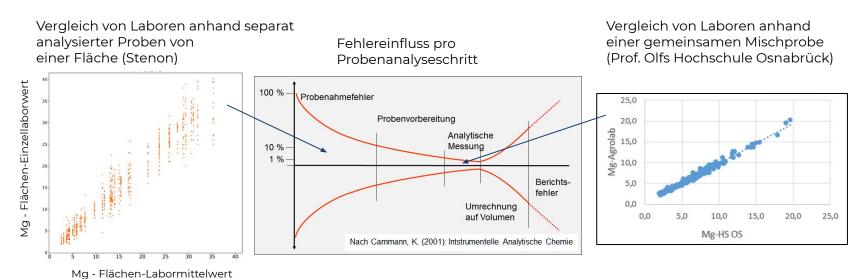




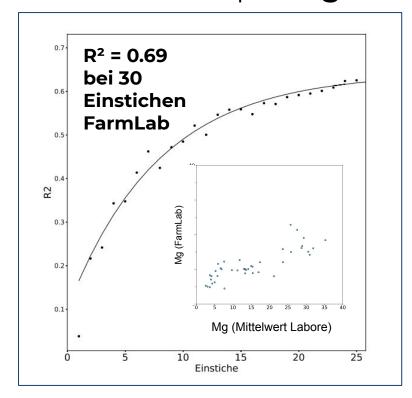


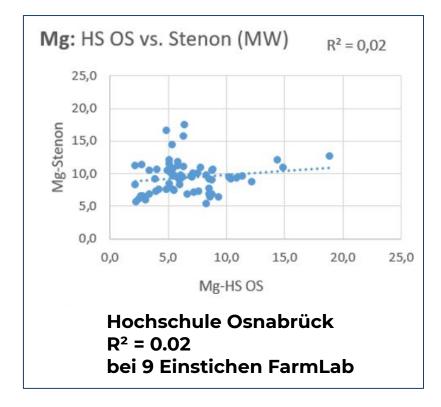


### Ungeeigneter Validierungsansatz (Mg)



# Konsequenz unzureichender Anzahl von Einstichen: Beispiel **Mg**





### STENON

Schlussfolgerungen

# Schlussfolgerungen für die Validierung von Bodensensoren



Stützung von Sensor und konventioneller Bodenprobe können unterschiedlich sein

Stützung (Messvolumen) des Sensors und die Mikrovarianz beachten

→ Für FarmLab sind 17 bis 34 Einstiche nötig (Durchschnitt: 19)

Der Laborfehler, bestimmt anhand von Mischproben, ist kein Vergleichsmaßstab da hierbei der Probenahmefehler vernachlässigt wird

