



Die Schweizer Bestimmungsmethoden für pflanzenverfügbare Gehalte an Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) im Boden

Möglichkeiten, Grenzen und Entwicklungspotential

J. Hirte¹, F. Liebisch¹, O. Heller¹, P. Weisskopf¹, I. Weyermann², P. Baumann³,
A. Keller³, D. Bürge¹

¹ Agroscope, ² Agridea, ³ Kobo

BDU Kolloquium

13.04.2022



Gliederung

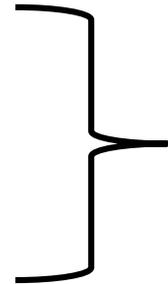
P, K, Ca, Mg-Bestimmung im Boden

- Anwendungsbereiche
- Informationsquellen

Probenahme

Analytik

Interpretation



- Referenzmethoden
- Problematik
- Lösungsansätze

Ausblick





P, K, Ca, Mg-Bestimmung im Boden



im Feld genommene
Bodenprobe



Extraktion und Messung
der Nährstoffe



Interpretation
der Messwerte

- Repräsentation pflanzenverfügbarer Nährstoffpools \neq Gesamtgehalte
- unterschiedlich starke Extraktionsmittel für unterschiedliche Nährstoffpools
- Kalibration der extrahierbaren Nährstoffmengen anhand Leistung von Pflanzenbeständen



Anwendungsbereiche

Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

Anwendung	Warum?	Was?
Düngeplanung	Korrektur der Düngennorm	P, K, Mg + Bodeneigenschaften*
Ökologischer Leistungsnachweis	Voraussetzung für Ausrichtung von Direktzahlungen	P, K + Bodeneigenschaften
Agrarumweltmonitoring	Verlagerungsrisiko von P aus Boden in Gewässer	P + Bodeneigenschaften (P-Gesamtgehalt, Erosionsrisiko, Drainageanbindung)†

*Bodeneigenschaften: pH, Körnung, Humus (C_{org})

†derzeit nicht verfügbar / verknüpfbar



Informationsquellen

Grundlagen:

- Schweizer Referenzmethoden
- Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen (GRUD)

Verordnungen und Richtlinien:

- Direktzahlungsverordnung (DZV)
- KIP-Richtlinien für den ÖLN
- Prestations écologiques requises (PER) règles techniques (PIOCH)

Protokolle und Merkblätter (der Umweltlabore, Lohnunternehmen, Institute)



Probenahme: Referenzmethoden



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick



- nach Ernte, möglichst nach demselben Fruchtfolgeglied



- einheitlich bewirtschaftete Fläche



- zylindrischer Probenstecher mit geringem Durchmesser (2-4 cm) und Auffanggefäß



- 20-25 Einstiche in 0-10 cm (Grasland) oder 0-20 cm (Ackerkulturen) Bodentiefe



- im Auffanggefäß zu Mischprobe vereinigen, abfüllen, beschriften



Probenahme: Problematik



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

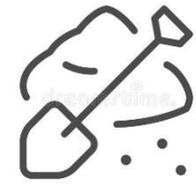
- obligatorische Zusatzinformationen nicht klar:
Probenahmedatum, Betrieb, Flächenzuordnung, Kultur(gruppe), Probenahmetiefe
- widersprüchliche Informationen zu Praxistauglichkeit:
Durchmesser des Probestechers (2-4 cm), Anzahl Einstiche (20), Teilung der Mischprobe (nein) → 1.6–6.5 kg Probenmenge vs. 0.5–1 kg Laborkapazität pro Probe
- keine Informationen zu Umgang mit Unterboden
- uneinheitliche / fehlende Angaben:
 - Ober- und Untergrenze Bodenprobe: 0 vs. 2 cm und 20 vs. 25 cm
 - Grösse der Beprobungseinheit für ÖLN Untersuchungspflicht

Referenzmethoden

Weitere Quellen



Probenahme: Lösungsansätze



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- Aktualisierung der Referenzmethoden, v.a. im Bereich Probenahme:
 - Klärung Durchmesser des Probestechers, Anzahl Einstiche und Teilung der Mischprobe
 - Klärung Anforderungen an Homogenität und Grösse einer Beprobungseinheit und obligatorische Zusatzinformationen
 - Berücksichtigung von automatisierten Probenahmemethoden
- Vereinheitlichung der Angaben in relevanten Informationsquellen, v.a. Probenahmetiefe
- einheitliches Probenahmeprotokoll inkl. Kurzanleitung als Zusatz zu Referenzmethoden für Standardisierung der Probenahme





Analytische Bestimmung: Referenzmethoden



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- 40°C trocknen, 2 mm sieben, Rückstände entfernen
- Extraktion mittels CO₂-gesättigtem Wasser (CO₂), Calciumchlorid-Lösung (CC), Wasser (H₂O10) oder Ammoniumacetat-EDTA (AAE10)

Extraktionsmittel		Nährstoff	Nährstoffpool	Kulturgruppe	Interpretierbarkeit	Methoden-Code	
Bezeichnung	Stärke*					Extraktion	Messung
CO₂	schwach	P, K	direkt pflanzenverfügbar	Ackerkulturen, Grasland	keine Einschränkungen	CO2-Ex	CO2-K, CO2-P
CC	schwach	Mg	direkt pflanzenverfügbar	Ackerkulturen, Grasland	keine Einschränkungen	CCMg-Ex	CC-Mg
H₂O10	schwach	P, K, Mg	direkt pflanzenverfügbar	Spezialkulturen*	P: Boden-pH ≥ 5.0 und ≤ 7.8	H2O10-Ex	H2O10-K-Mg, H2O10-P
AAE10	stark	P, K, Mg, Ca	Reserve	alle	P, Mg: Boden-pH ≤ 6.8	AAE10-Ex	AAE10-K-Ca-Mg, AAE10-P

* Gemüse, Obst, Beeren, Wein



Analytische Bestimmung: Referenzmethoden



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- Messung der Nährstoffe im Extrakt:
 - P: Fotometrie (mineralischer Anteil)
 - K, Ca, Mg: Spektrometrie (Gesamtgehalt)
- pH: Wasser
- Körnung: Sedimentationsmethode
- C_{org} : Dichromat- oder Temperaturgradientenmethode

} alternativ: Fühl- / Sichtprobe



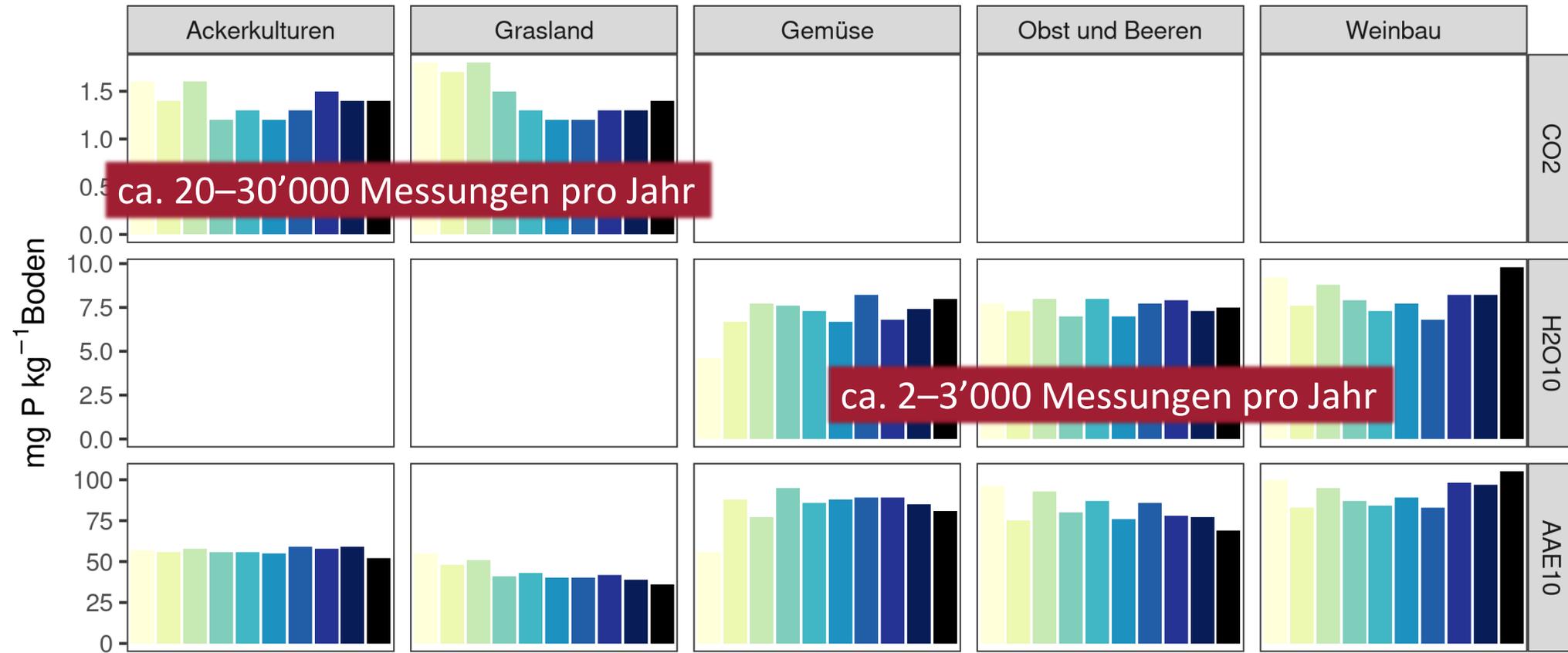


Analytische Bestimmung: Problematik



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- CO₂- und H₂O₁₀-Methode nicht linear -> Kulturgruppen nicht vergleichbar



ÖLN-Daten: 2010 2011 2012 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020

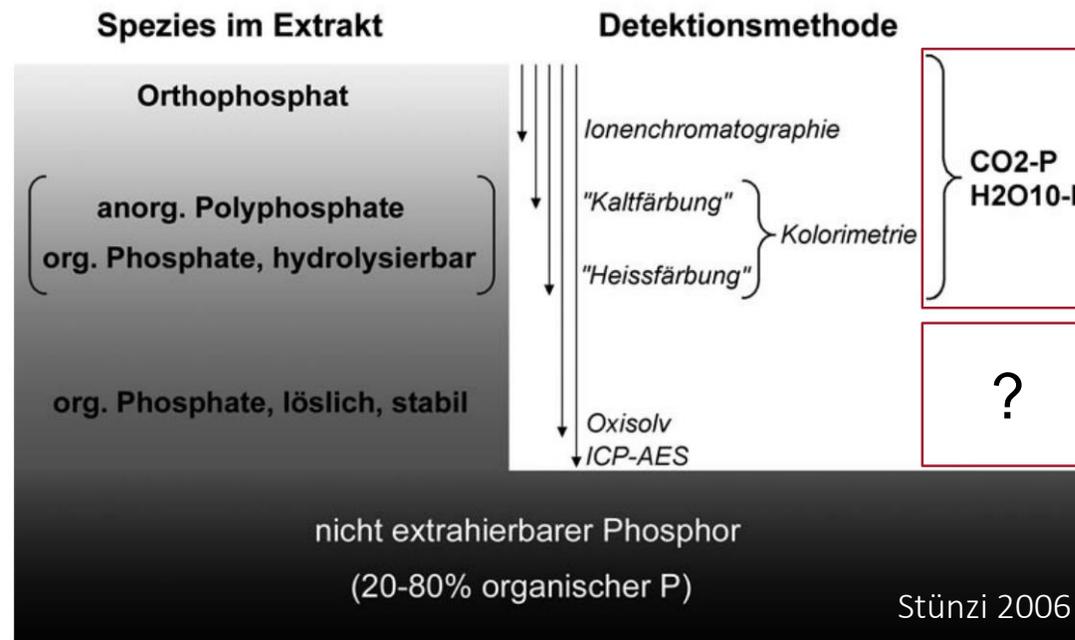


Analytische Bestimmung: Problematik



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- verschiedene Messmethoden -> verschiedene P-Spezies in Extrakten, keine Referenzmethode und Interpretationstabellen für spektrometrisch gemessenen P



- hohe Ungenauigkeit der Fühl- / Sichtprobe, analytische Methoden nicht «massentauglich»

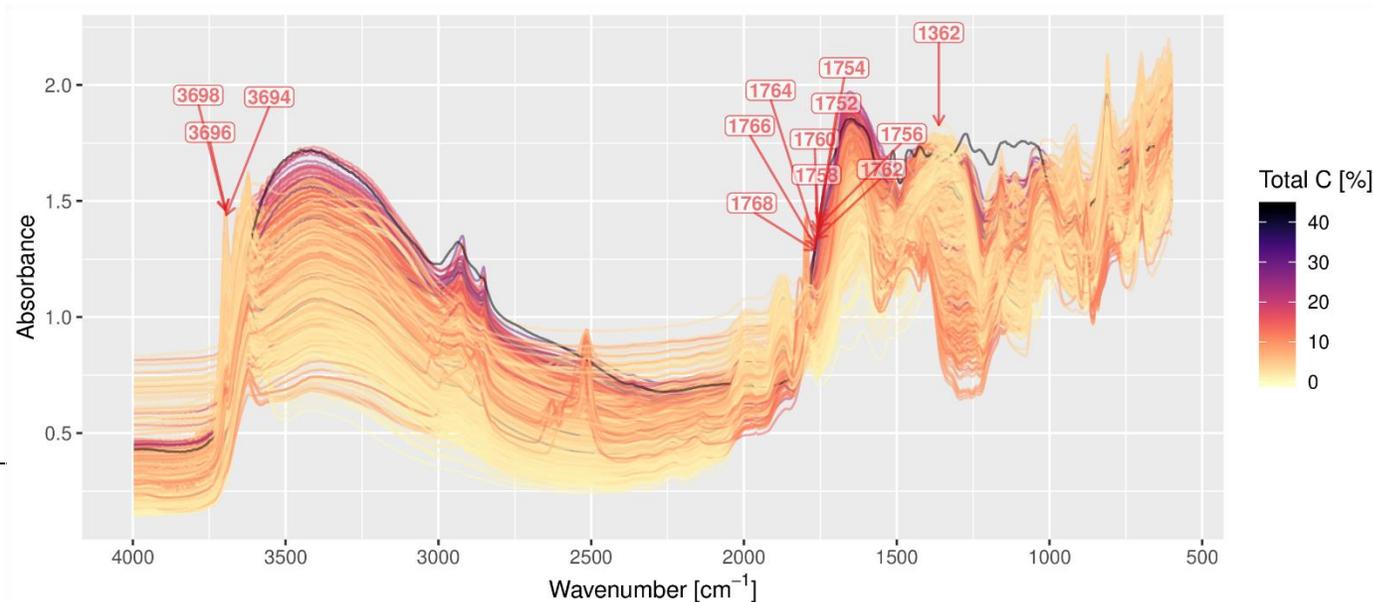


Analytische Bestimmung: Lösungsansätze



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- Vereinheitlichung der schwachen Extraktionsmethoden CO₂, CC und H₂O₁₀
- Erweiterung der Referenzmethoden für P-Messung mittels Emissionsspektroskopie in den Extrakten
- Entwicklung und Validierung neuer Methoden für Körnung und C_{org}:
Messungen im nahen und mittleren Infrarot-Bereich (NIRS-MIRS) und Kalibration mit analytisch bestimmten Bodenparametern, z.B. pH, Tongehalt, C, Ca, Mg



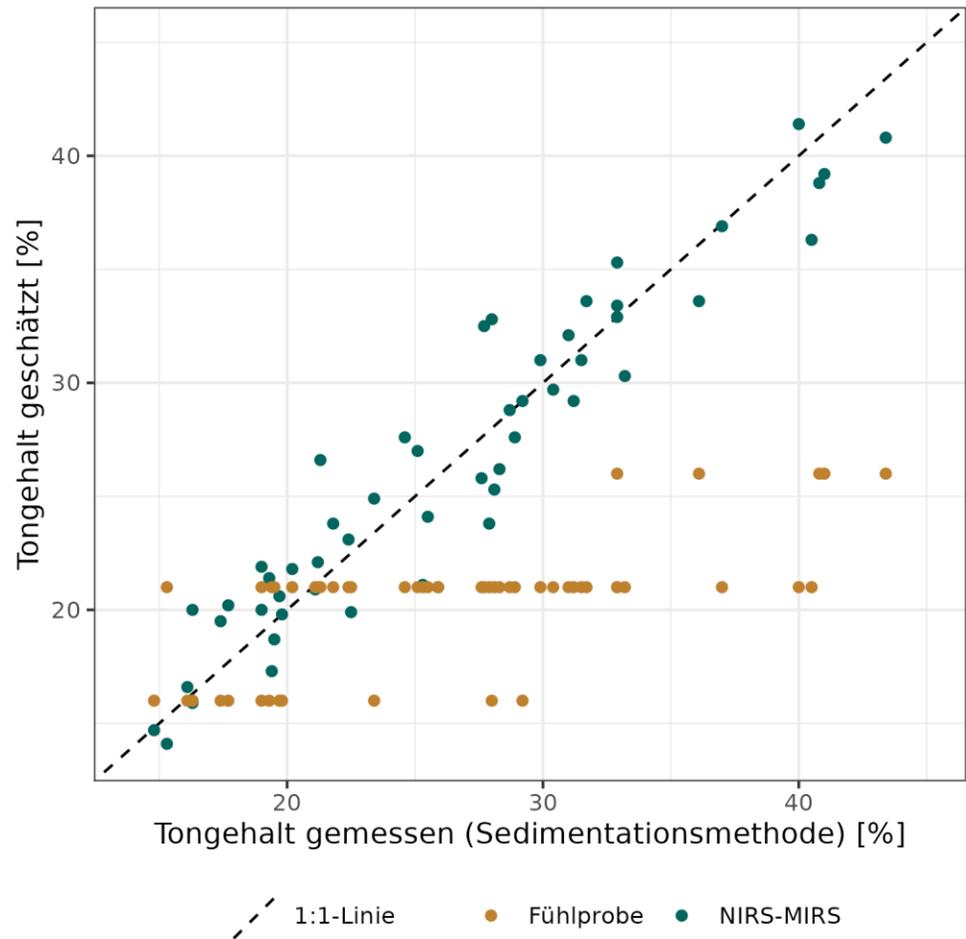
Mid-IR Absorptionsspektren und C-Gesamtgehalte (Elementaranalyse) von Bodenproben
Baumann et al. 2021 SOIL



Analytische Bestimmung: Lösungsansätze



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick



- Ablösung der Fühl- / Sichtprobe durch praxistaugliche analytische Methoden, welche hohen Durchsatz gewährleisten
- georeferenzierte Erhebung und Speicherung von Bodenparametern, welche sich wenig ändern



Interpretation nach GRUD: How to?



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- Einordnung der Nährstoffkonzentrationen in Extrakten mit Interpretationstabellen
- Zusatzinformationen: (pH), Tongehalt (z.T. Schluff- und Sandgehalt), C_{org}
- Einteilung in 5 Klassen:

Beurteilung	Versorgungsklasse
arm	A
mässig	B
genügend	C
Vorrat	D
angereichert	E

- Ableitung eines Korrekturfaktors

Tongehalt des Bodens

Boden-P	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,000–0,309	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2
0,310–0,619	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1
0,620–0,930	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
0,931–1,241	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
1,242–1,551	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6
1,552–1,862	1,0	1,0	0,8	0,6	0,0
1,863–2,172	1,0	0,8	0,6	0,0	0,0
2,173–2,482	0,8	0,8	0,4	0,0	0,0
2,483–2,793	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0
2,794–3,103	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
3,104–3,414	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
3,415–3,724	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
3,725–4,035	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
4,036–4,345	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
4,346–4,655	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
≥ 4,656	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

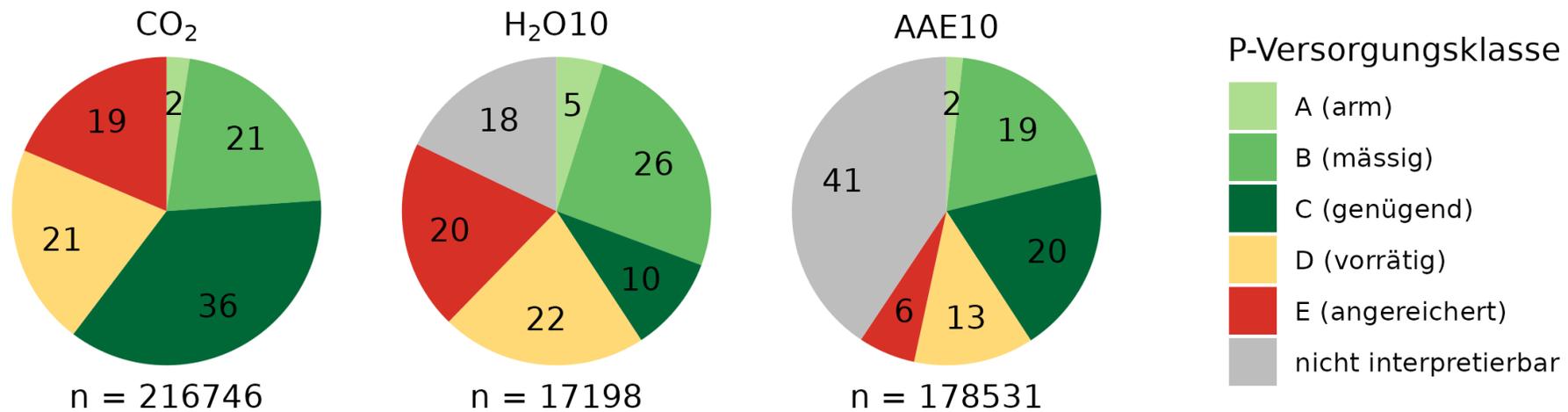


Interpretation nach GRUD: Problematik



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- keine Interpretationstabellen für P in H₂O10 für Böden mit pH ≤ 5.0 oder ≥ 7.8
- keine Interpretationstabellen für P in AAE10 für Böden mit pH ≥ 6.8



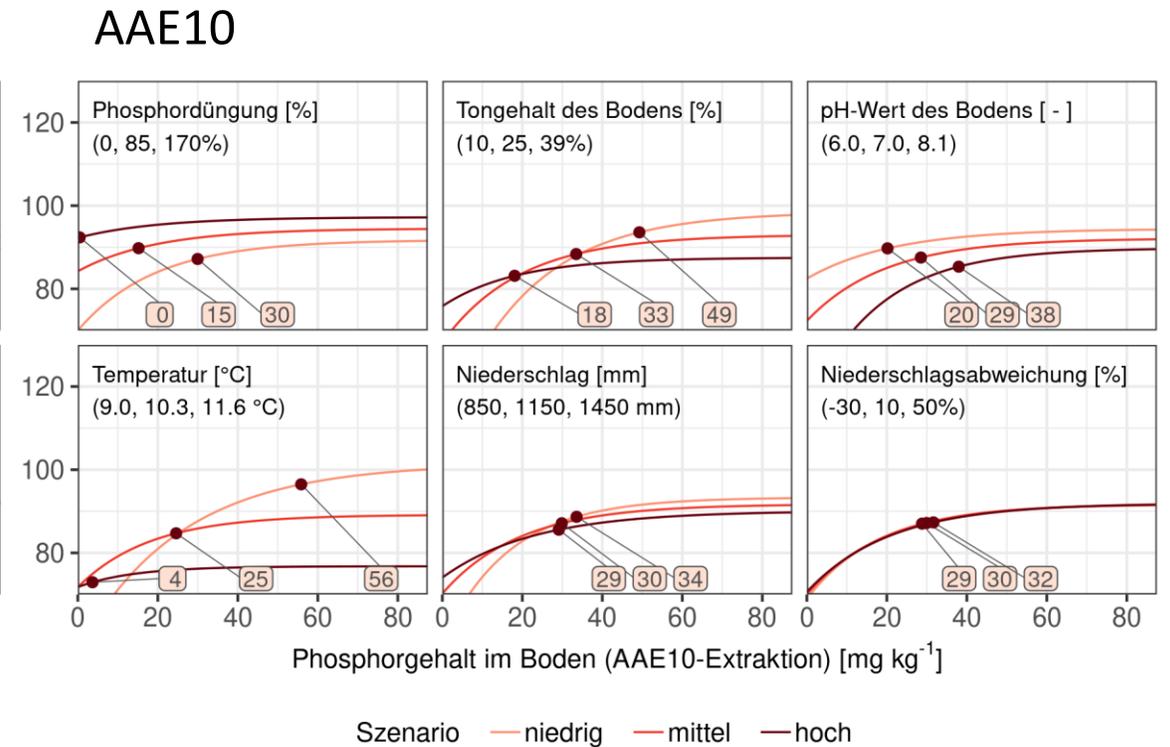
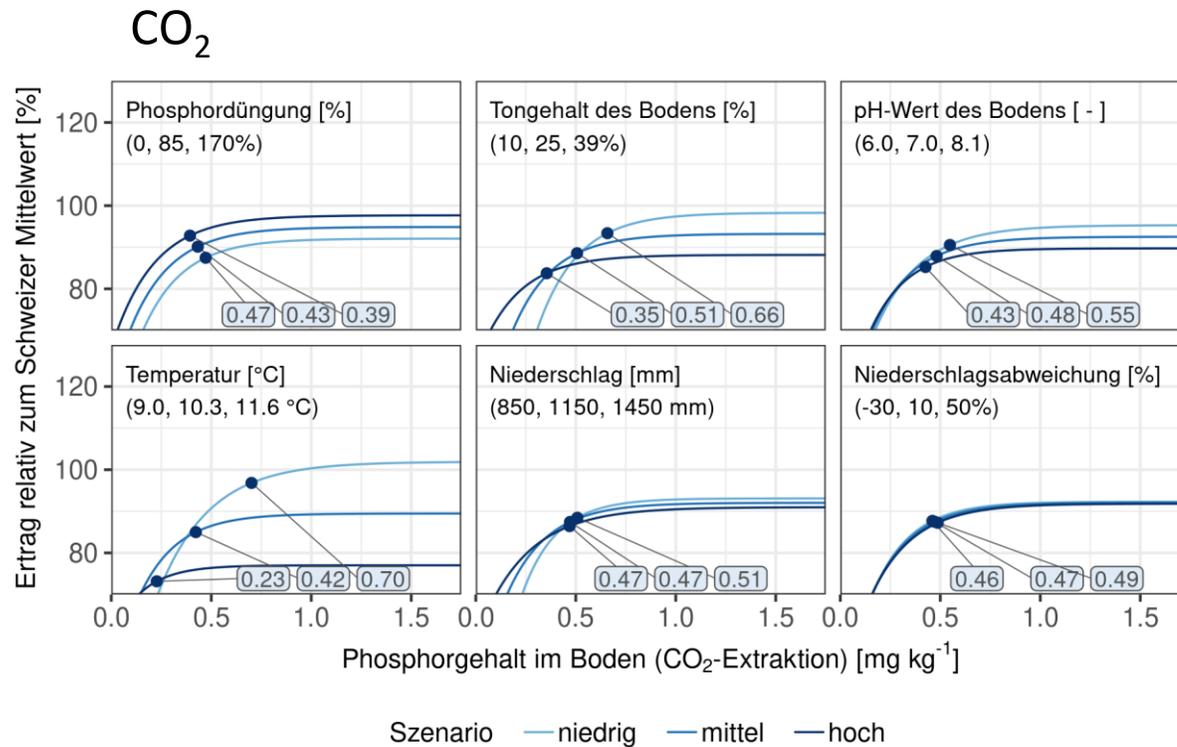


Interpretation nach GRUD: Problematik



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- keine Interpretationstabellen für Ca
- Standorteigenschaften werden in Interpretationstabellen wenig berücksichtigt



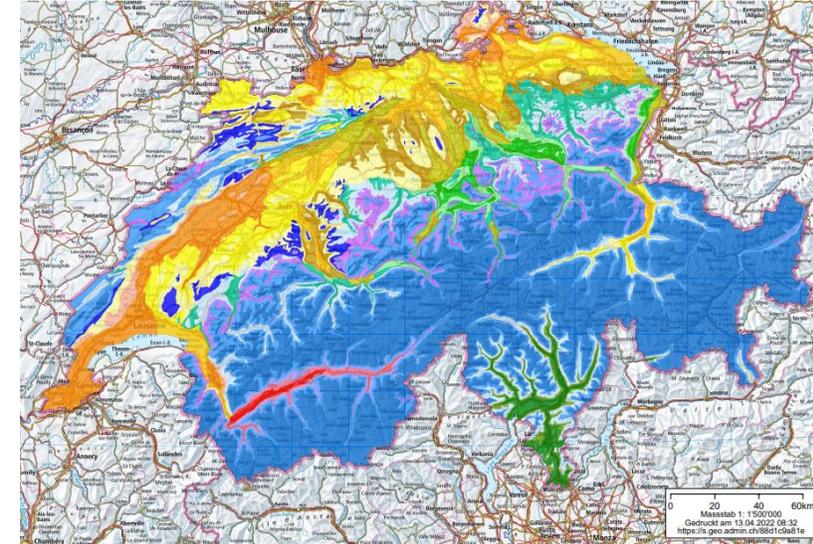


Interpretation nach GRUD: Lösungsansätze



Bestimmung
Probenahme
Analytik
Interpretation
Ausblick

- Überarbeitung und Erweiterung der Interpretationstabellen für P in H₂O10 und P und Mg in AAE10 für alle pH-Bereiche
- Berücksichtigung weiterer Standorteigenschaften: C_{org}, pH, Klima



Klimaeignungskarte swisstopo (www.geo.admin.ch)

langfristig:

- Ablösung klassenbasierter Interpretation durch numerische Modelle
- digitales Düngeempfehlungs-Tool
- automatisierte Verknüpfungen zu Metadaten und weiteren Bewirtschaftungsinformationen



Ausblick

Bestimmung
 Probenahme
 Analytik
 Interpretation
 Ausblick

Anwendung	Parameter	Methode und Problematik	Lösungsmöglichkeit
Bewirtschaftungsplanung (Düngung)	Aktuell erhobene Begleitvariablen	Körnung des Bodens Fühlprobe FLAWED Sedimentationsmethode	NIRS-MIRS
		Boden-pH Elektrochemische Messung	
		Organischer Bodenkohlenstoff Sichtprobe FLAWED Dichromatmethode Temperaturgradientenmethode	NIRS-MIRS
ÖLN und Agrarumweltmonitoring	Nährstoff	Verfügbare Phosphor im Boden Extraktion mit CO ₂ , H ₂ O ₁₀ oder AAE ₁₀ + Photometrie	Emissions-spektroskopie
	Nötige Zusatzinformationen	Klimavariablen Meteo-Datenbanken	Geo-Referenzierung
		Erosionsrisiko und Drainage-Anbindung Erosionsrisiko- und Drainagekarten	Geo-Referenzierung
Phosphor-Totalgehalt im Boden Salzsaure Ascheauszug + Photometrie		NIRS-MIRS	



Hirte J., Liebisch F., Heller O., Weisskopf P., Weyermann I., Baumann P., Keller A., Bürge D.

Die Schweizer Bestimmungsmethoden für pflanzenverfügbare Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium im Boden

Agroscope Science, 129, 2022, 1-20.

<https://doi.org/10.34776/as129g>

