

Alternative Bodenuntersuchungssysteme im Vergleich zur VLDUFA-Methode und Auswirkungen auf die Düngung

Prof. Dr. Kurt Möller

Referat Pflanzenbau, LTZ Augustenberg, Außenstelle Forchheim, Karlsruhe

Pflanzenbautagung Groitzsch

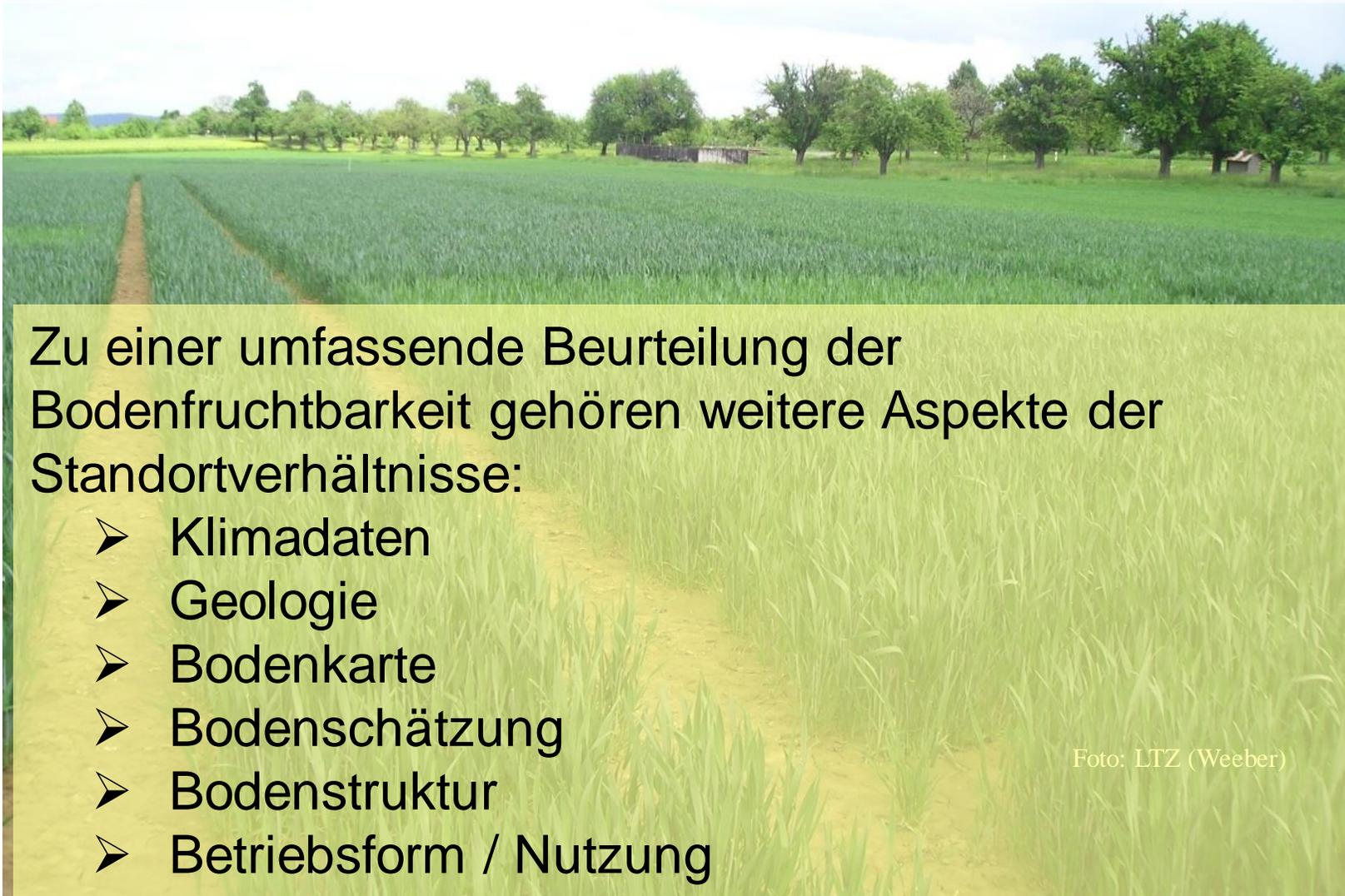
23. Februar 2024

Gliederung

- Grundlagen der Laborverfahren
- Grundlagen der Interpretation bzw. Ausarbeitung von Empfehlungen
 - Standardverfahren (Nährstoffmethoden)
 - Alternative Verfahren (KAK-Methoden)
- Auswirkungen auf Düngeaufwand und Ertrag (Umwelt)
- Gesamtfazit

Chemische Bodenuntersuchung:

Charakterisierung von Teilaspekten der Bodenfruchtbarkeit: **Nährstoffe / pH-Wert / C_{org} (Humus)**



Zu einer umfassende Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit gehören weitere Aspekte der Standortverhältnisse:

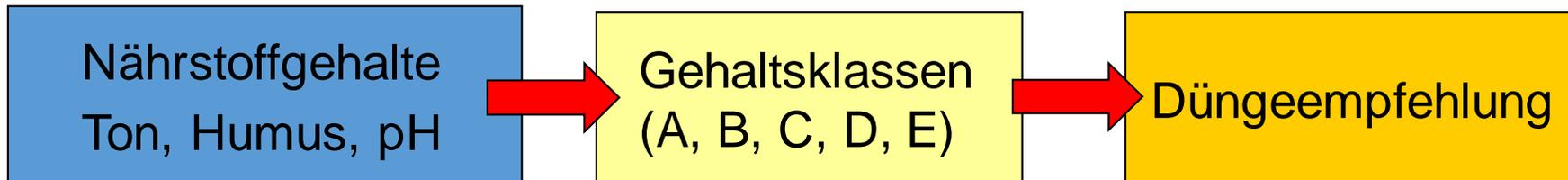
- Klimadaten
- Geologie
- Bodenkarte
- Bodenschätzung
- Bodenstruktur
- Betriebsform / Nutzung

Foto: LTZ (Weeber)



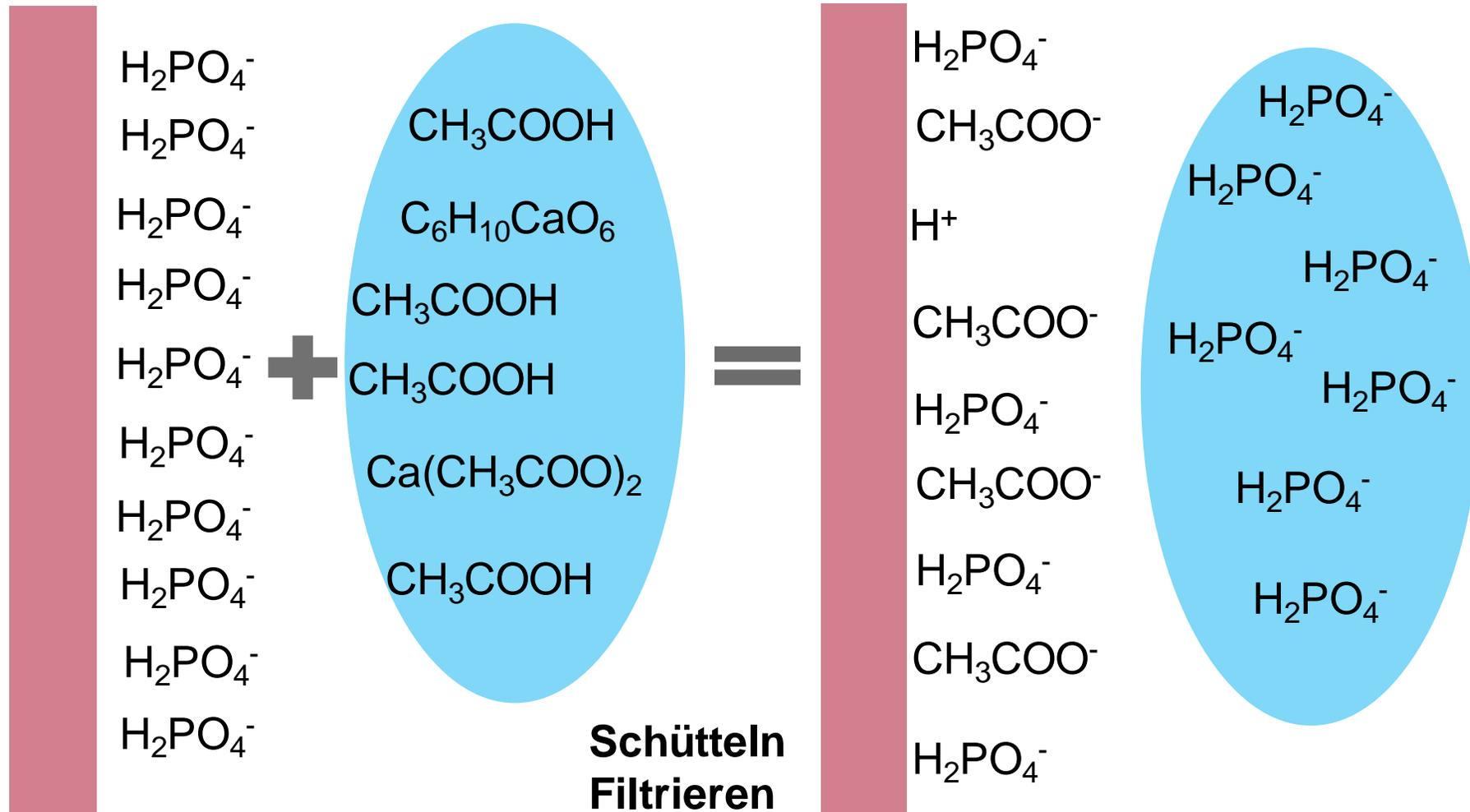
Untersuchung im Labor (CAL-Methode):

- Bodenprobe: luftgetrocknet, gemischt, < 2mm gesiebt
- Extraktion: 5 g Boden mit 100 ml Extraktionslösung (Ca-Acetat, Ca-Lactat, Essigsäure, pH-Wert 4,1)
- 90 min Schütteln, Filtration
- Analyse von Kalium und Phosphor - Ergebnisse in mg K (K_2O) und P (P_2O_5) pro 100g Boden (international: kg Boden)
- Zuordnung zu P- und K-Gehaltsklassen



Anionenaustausch/Säureaufschluss: z. B. P_{CAL} (0,3 M CH_3COOH + 0,05 M $C_6H_{10}CaO_6$ + 0,05 M $Ca(CH_3COO)_2$)

Austauschlösung



Standardverfahren für die Bodenuntersuchung in Baden-Württemberg

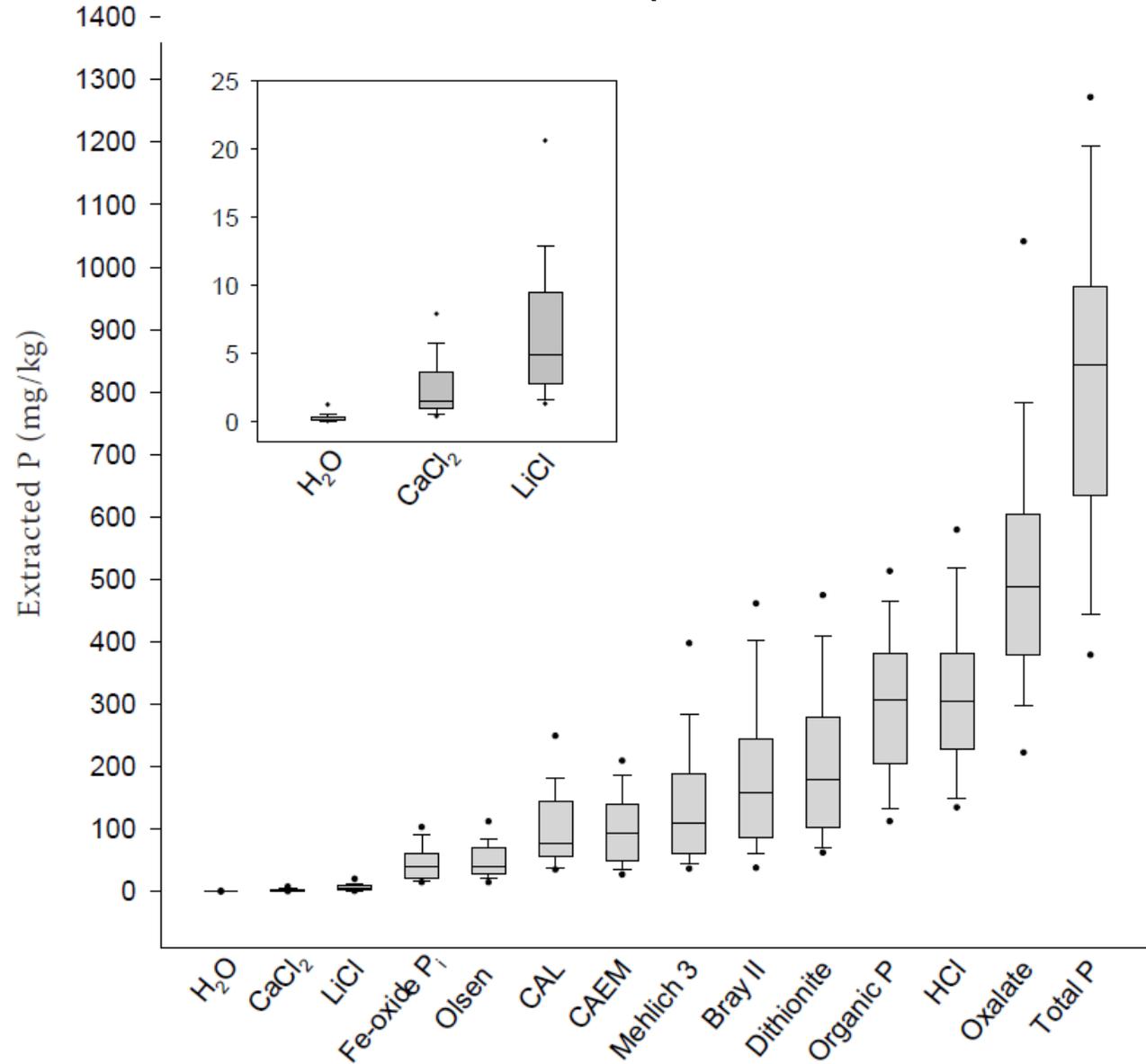
Parameter	Extraktionslösung
pH-Wert	0,01 M CaCl ₂
P and K	CAL-Lösung (Calcium-Acetat-Lactat)
Mg	0.0125 M CaCl ₂
B, Cu, Zn, Fe, Mn	CAT-Lösung: CaCl ₂ /DTPA (Diethylentriaminpentaessigsäure)
Mo	Heißwasser
NO ₃ , NH ₄ , SO ₄	0.01 M CaCl ₂

Fingerprobe zur Eingruppierung von Bodenart und Humusgehalt

Vielfalt der Methoden zur Bodenuntersuchung

- **Extraktionsmittel:**
 - **Wasser:** lösliche Salze (z. B. EUF Methode, P_{H_2O})
 - **Organische Säuren:** „Simulation“ von Nährstoffaufnahme durch Pflanzen (z. B. CAL-Methode bei P und K)
 - **Komplexbildner:** Spurenelemente (z. B. CAT-Methode)
 - **Salzlösungen** (Austausch-Lösungen): Kationen im Überschuss tauschen Kationen von Sorptionsflächen (Zugabe von Ba oder NH_4^+ in den KAK-Methoden)
 - Auch **Kombinationen** sind üblich, oder verschiedene Extraktionsmethoden für ein Element
- Anschließend Filtrierung und Messung der Elementkonzentration
- Abschließend Umrechnung und Einordnung der Ergebnisse:
 - Nährstoffverfügbarkeit (“sufficiency level of available nutrients”) und
 - KAK-Methoden: Kationenbelegung am Austauscher/Basensättigung (“basic cation saturation ratio”)

Extrahierte P-Mengen in Abhängigkeit der verwendeten Methode (Wünscher et al. 2015)



Fazit

- Chemische Bodenuntersuchung soll Teilaspekte der Bodenfruchtbarkeit beschreiben (Nährstoffe, pH-Wert, C_{org} bzw. Humus)
- Abfolge: repräsentative Probenahme – Probenaufbereitung – Extraktion und Filtrierung – Messung
- Extraktionsmittel lösen die Nährstoffe aus der Boden-probe: je stärker, desto höher der extrahierte Anteil
- Es gibt eine große Vielfalt an Extraktionsmitteln: Nachahmung des Extraktions-/Aneignungspotenzials der Kulturpflanzen (pH-Abhängigkeiten, etc.)

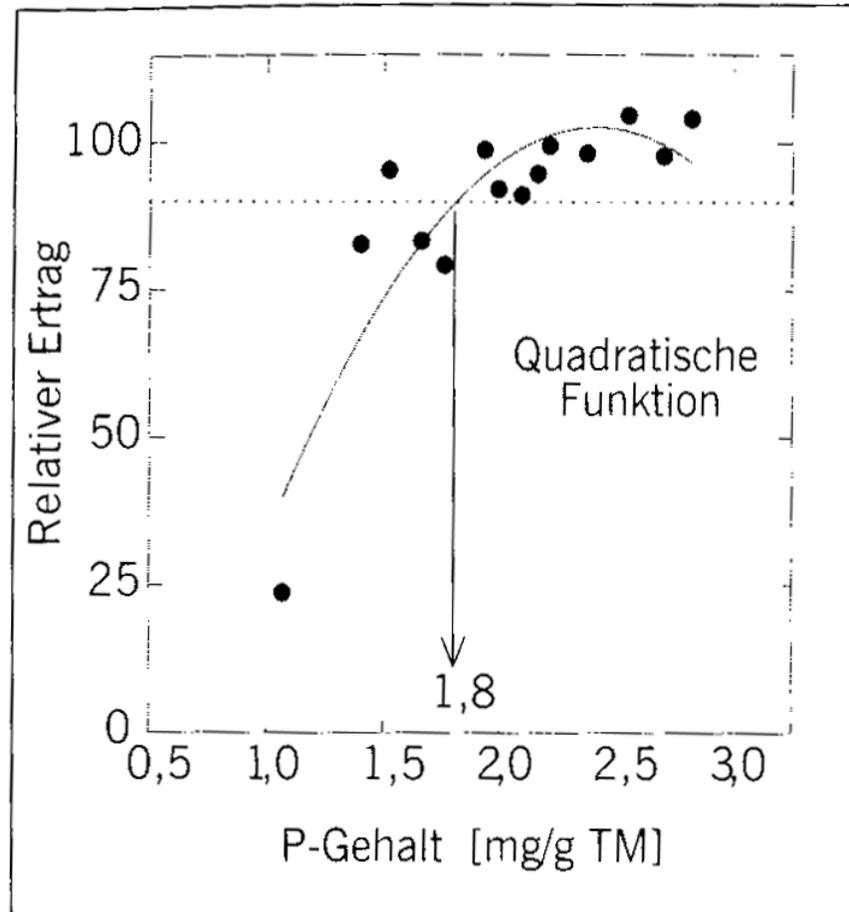
Unterschiede in den Beratungskonzepten

Nährstoffmengen („sufficiency level of available nutrients“)	Nährstoffverhältnisse: Albrecht-System („basic cation saturation ratios“)
LUFA-Labore, LKP-Labore (EUF-Methode)	„Albrecht-Labore“: Kinsey, Levende Jord, Unterfrauner, etc.
Gehaltsklassen für P, K, Mg, pH	Basensättigung (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , ggf. H ⁺)
Gehaltsklasse C:, ggf. Zu- bzw. Abschläge bei Abweichungen	- Verhältnis der sog. Basen zueinander: Ca: 68 %, Mg: 12 %, K: 4 %, Na: ca. 1 %
Überprüfung durch mehrjährige Feldversuche, Abstimmung in Gremien (in Deutschland VDLUFA-Standpunkte)	Keine Überprüfung durch Feldversuche notwendig
30 bis 40 Euro	70 bis 400 Euro

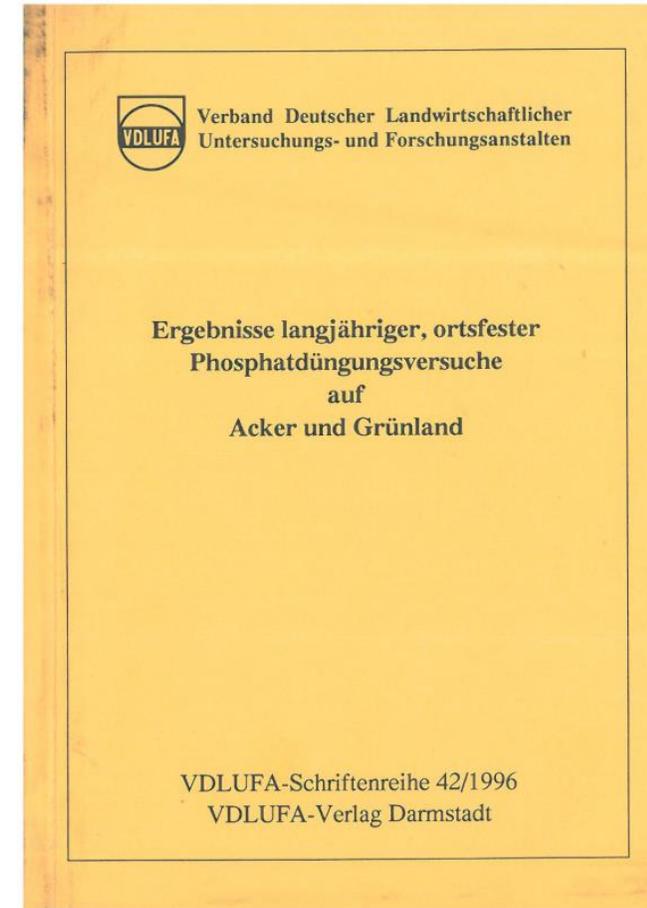
Konzept Nährstoffmengen (“sufficiency level of available nutrients”) (VDLUFA)

- Fokus: ausreichende Verfügbarkeit von Nährstoffen durch Analysen der Makro- und Mikronährstoffe
- Grundsätzlich: Ca ist in Böden mit einem pH-Wert im optimalen Bereich ausreichend vorhanden
- Anpassung der Werte an spez. Standorteigenschaften (C_{org} -Gehalt, Tongehalt, Wasserangebot, etc.)

Ermittlung von Grenzwerten und Düngeempfehlungen aus Versuchen

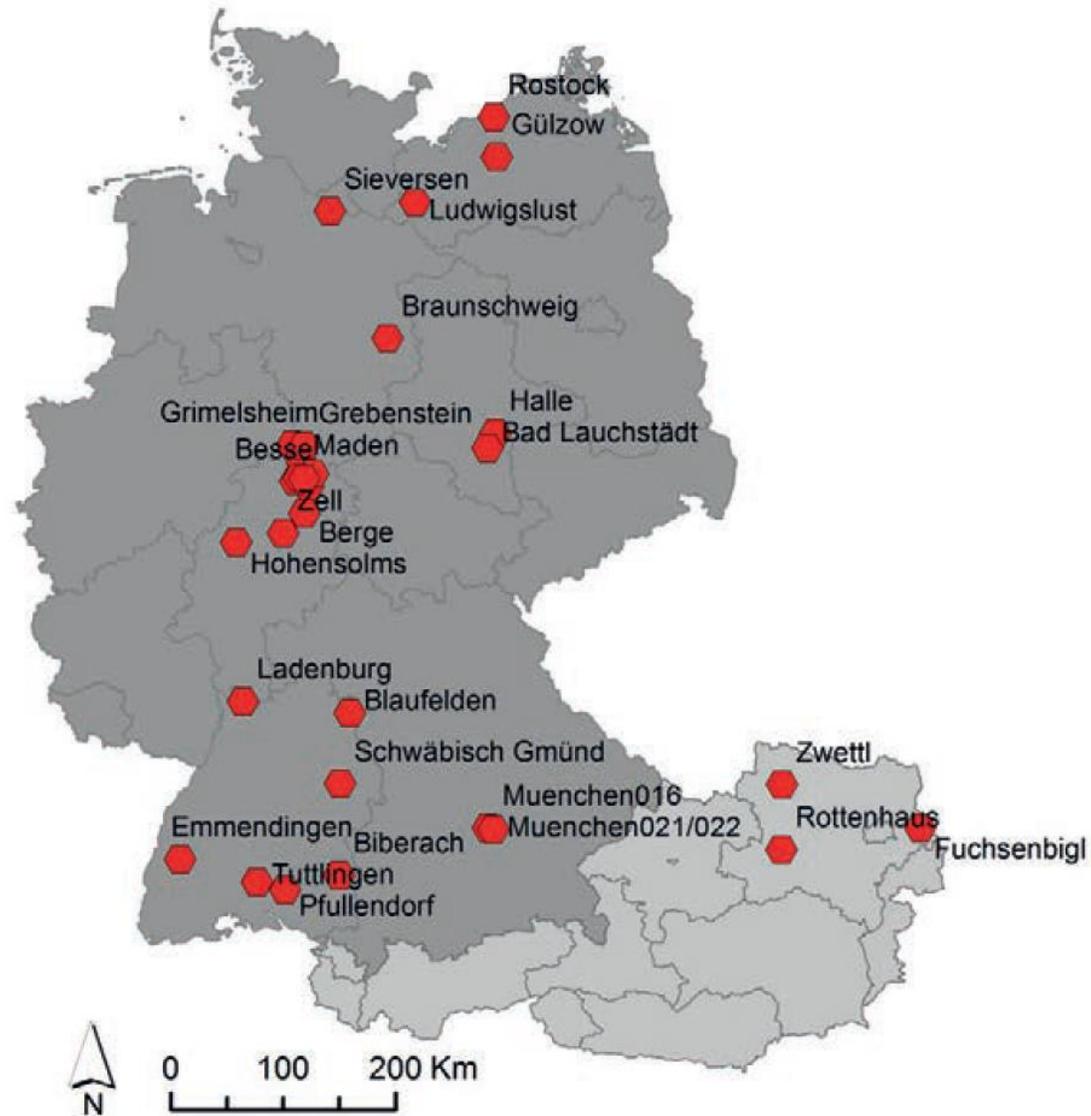


**Ermittlung des Ertragsgrenzwertes für P
aus einem Feldversuch mit Luzerne**
(Wissemeier, 2003 in Anlehnung an Dow und Roberts, 1983)

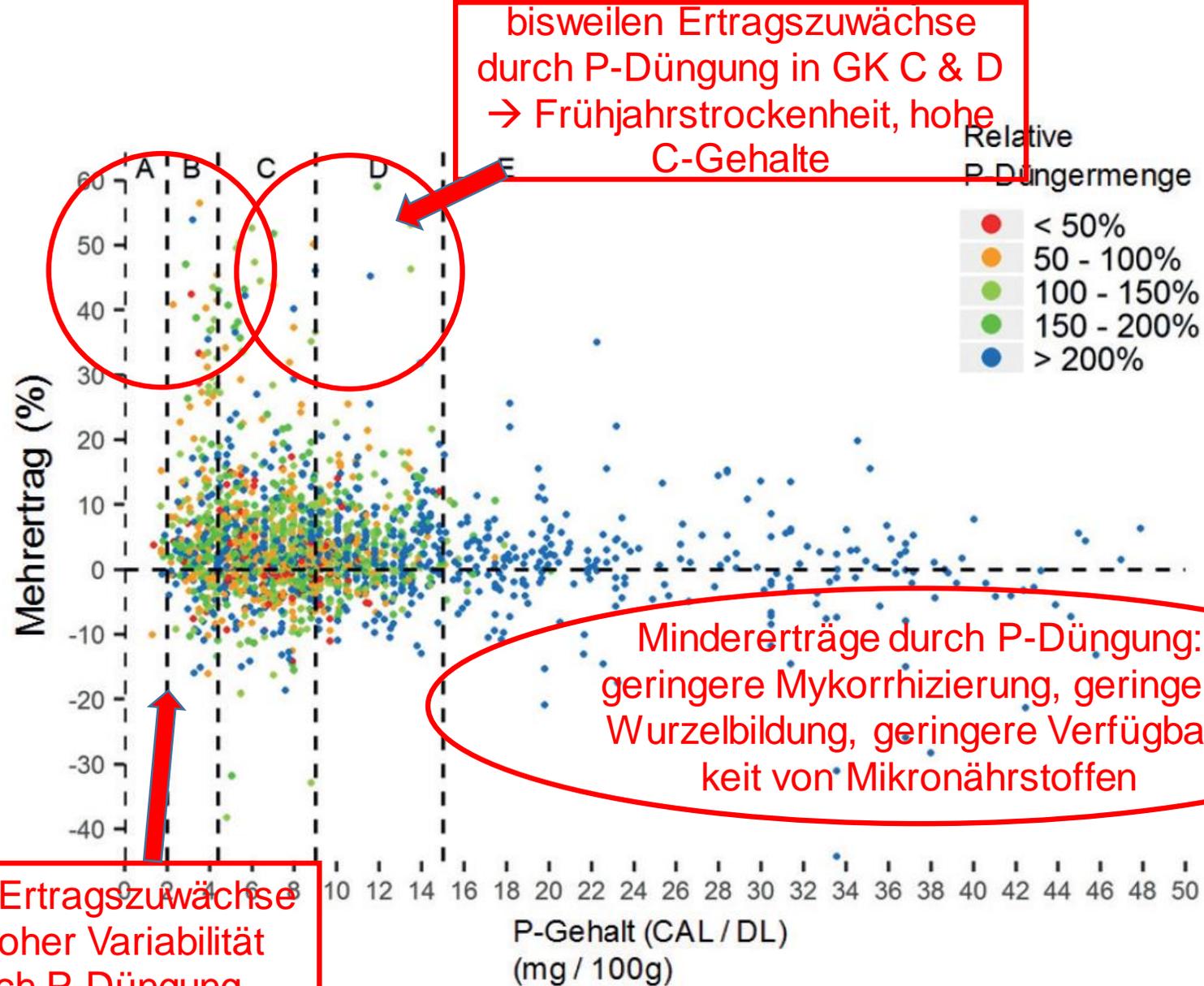


Auswertung für Acker:
Phosphor: 204 Versuche
Kalium: 192 Versuche

Beispiel für die Verteilung von P-Versuchsstandorten (Buczko 2019)



Relative Mehrerträge durch P-Düngung als Funktion des Boden-P-Gehalts (Buczko 2019)



bisweilen Ertragszuwächse durch P-Düngung in GK C & D → Frühjahrstrockenheit, hohe C-Gehalte

A B C D

Relative P Düngermenge

- < 50%
- 50 - 100%
- 100 - 150%
- 150 - 200%
- > 200%

Mindererträge durch P-Düngung: geringere Mykorrhizierung, geringere Wurzelbildung, geringere Verfügbarkeit von Mikronährstoffen

häufig Ertragszuwächse bei hoher Variabilität durch P-Düngung

P-Gehalt (CAL / DL) (mg / 100g)

Fazit

- Beratungskonzepte der Standardmethoden (z. B. VDLUFA) beruhen auf ausreichende Mengen an Nährstoffen im Kontext der Bodeneigenschaften
- Beratungskonzept Albrecht-Systeme beruht auf ausgewogenes Verhältnis der Kationen im Boden, unabhängig der Mengen
- Kalibrierung der Empfehlungen der Standardmethoden anhand zahlreicher Feldversuche
- allerdings: Empfehlungen auch vom Zeitgeist abhängig:
 - Zielkonflikt Produktivität und Umwelt
 - Art der Produktionsfunktion
 - Umgang Problemstandorte: z. B. Niedermoore, Vorsommertrockenheit
 - teilweise Rücksichtnahme auf ökonomische Gegebenheiten (z. B. viehstarke Regionen)
- keine Kalibrierung der Empfehlungen der „Albrecht-Systeme“ → Notwendigkeit der Kalibrierung wird teilweise als Schwäche ausgelegt

Recherche zu Albrecht-Methoden

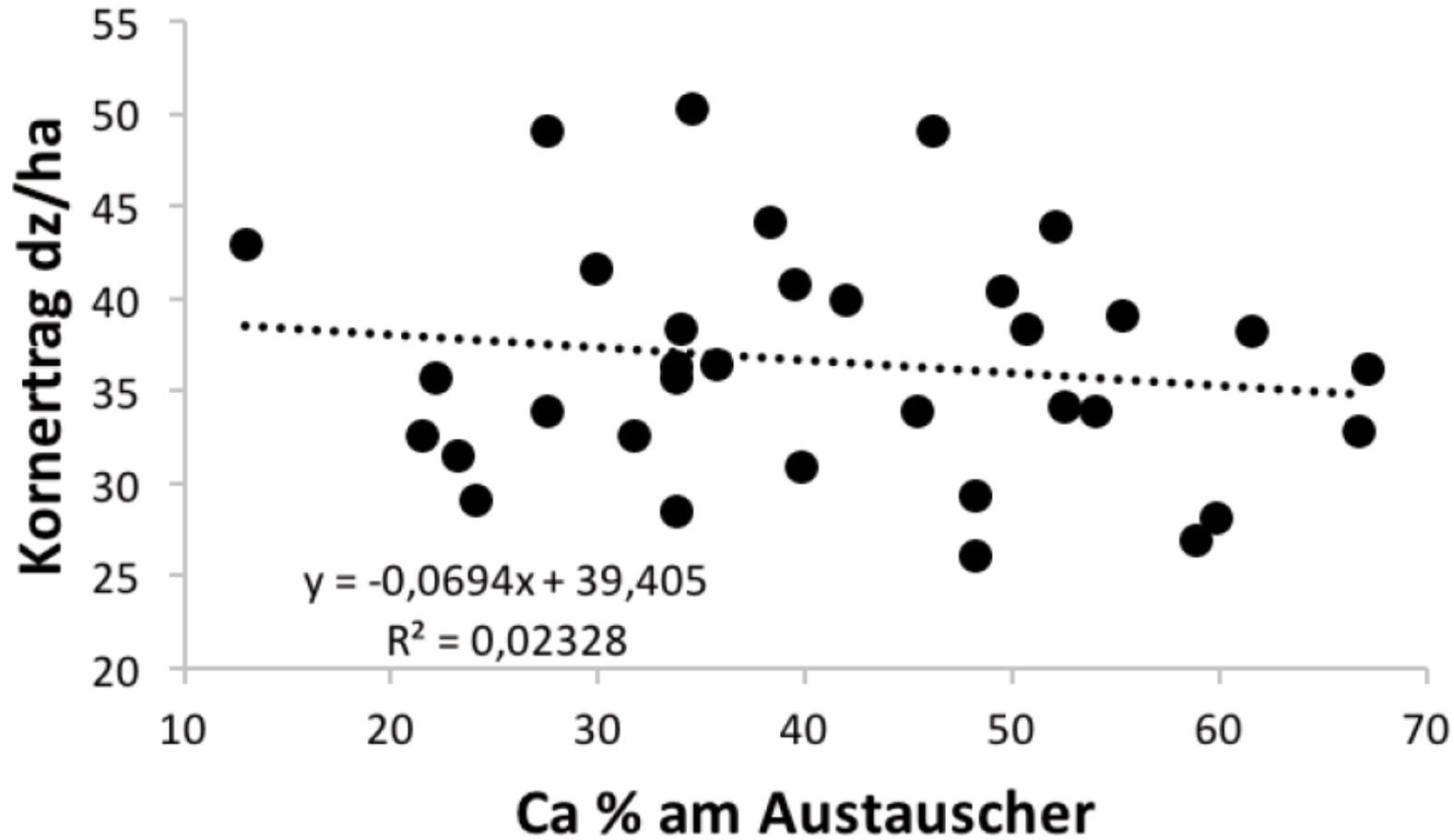
z. B.: www.scholar.google.de:

- “ideal soil” (1,2 Mio. Fundstellen)
- sufficiency level of available nutrients (ca. 100.000 Fundstellen)
- basic cation saturation ratios (ca. 220.000 Fundstellen)
- → überwiegend Mitte 20. Jahrhunderts
- In den vergangenen 30 – 50 Jahren Verwendung v.a. durch Demeter USA

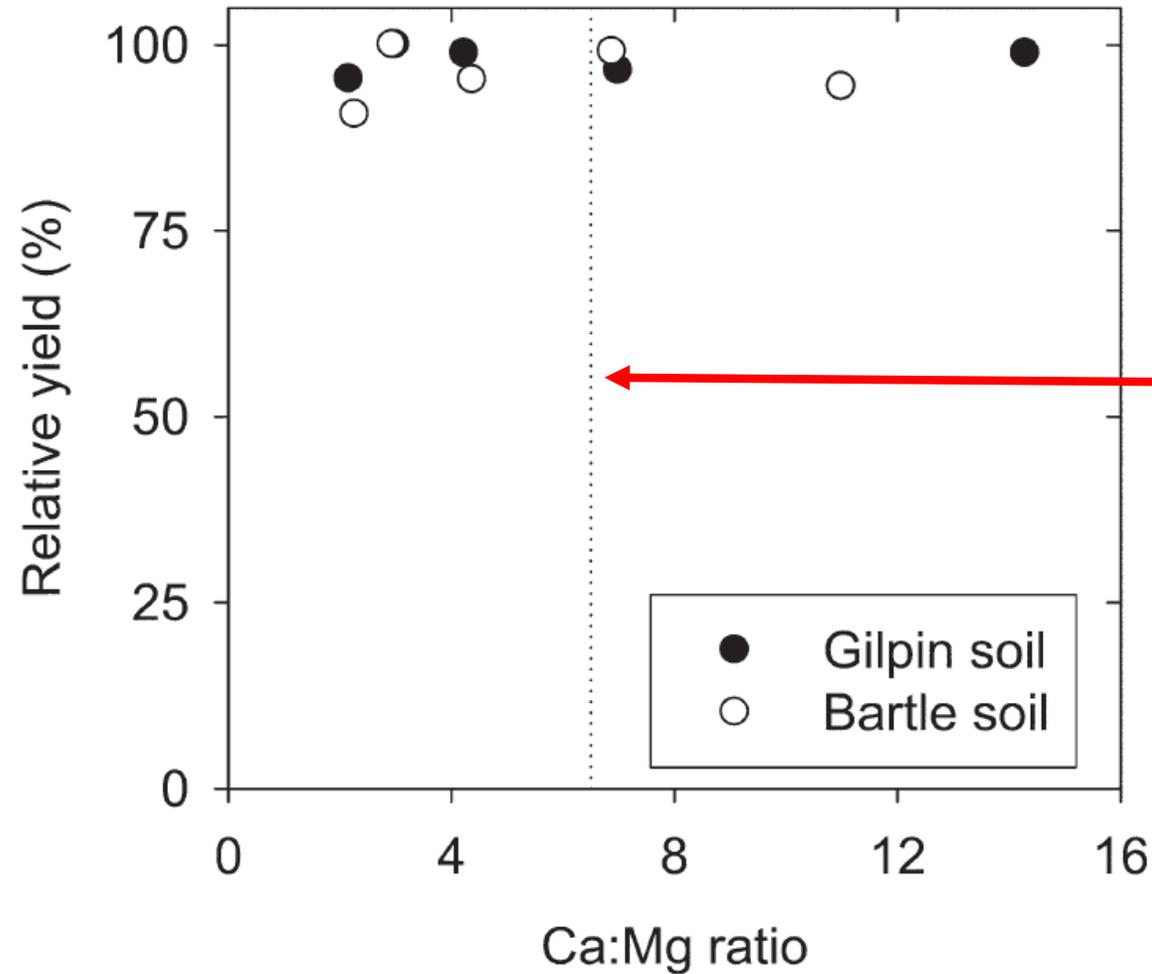
Methode Unterfrauner (ergänzt nach Nätscher 2015)

- Ziel: Bodenfruchtbarkeit bewerten & Meliorationsmaßnahmen ableiten;
- Grundannahmen:
 - Pflanzen können nur begrenzt Nährstoffungleichgewichte im Boden ausgleichen
 - Bodenlösung hat eine Idealzusammensetzung;
 - Starke antagonistische Wirkung zw. Calcium, Magnesium und Kalium
- Fraktionierte P-Analyse → 4 Fraktionen
- Messung einer Vielzahl von Nährstoffen und Schwermetallen (118 Einzelparameter)
- Konzentrationen aus unterschiedlichen Fraktionen werden verglichen und in einem Computermodell verrechnet
- Kosten: 300 – 400 Euro je Probe

Korrelation zwischen der Ca²⁺-Belegung am Austauscher und dem Kornertrag von Hafer – Auswertung Versuche Niedersachsen (Lorenz 2016)

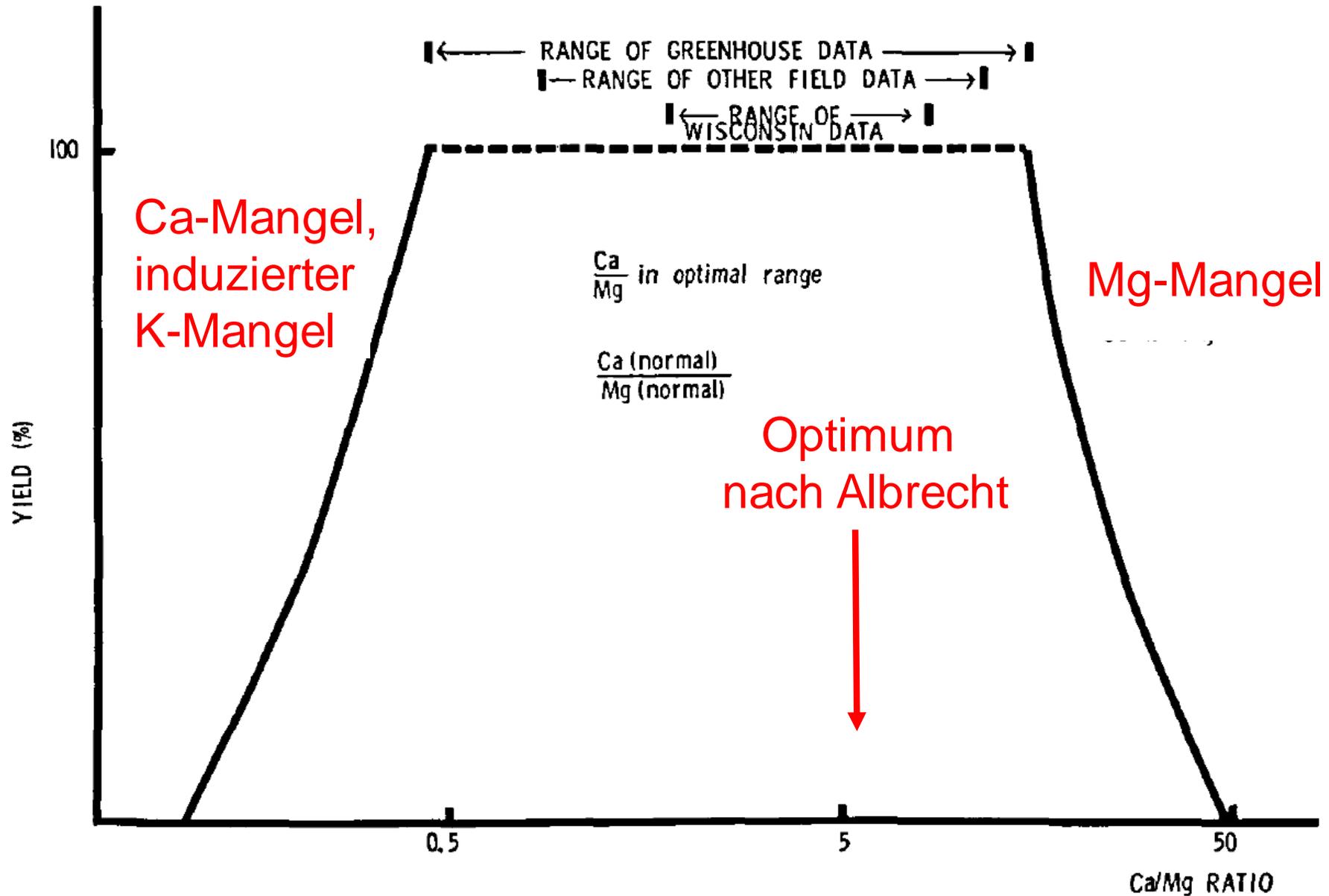


Wirkung des Ca:Mg-Verhältnisses (2.2:1–14:1) auf die relative Erträge von Hirse auf zwei verschiedenen Böden (McLean und Carbonell 1972)

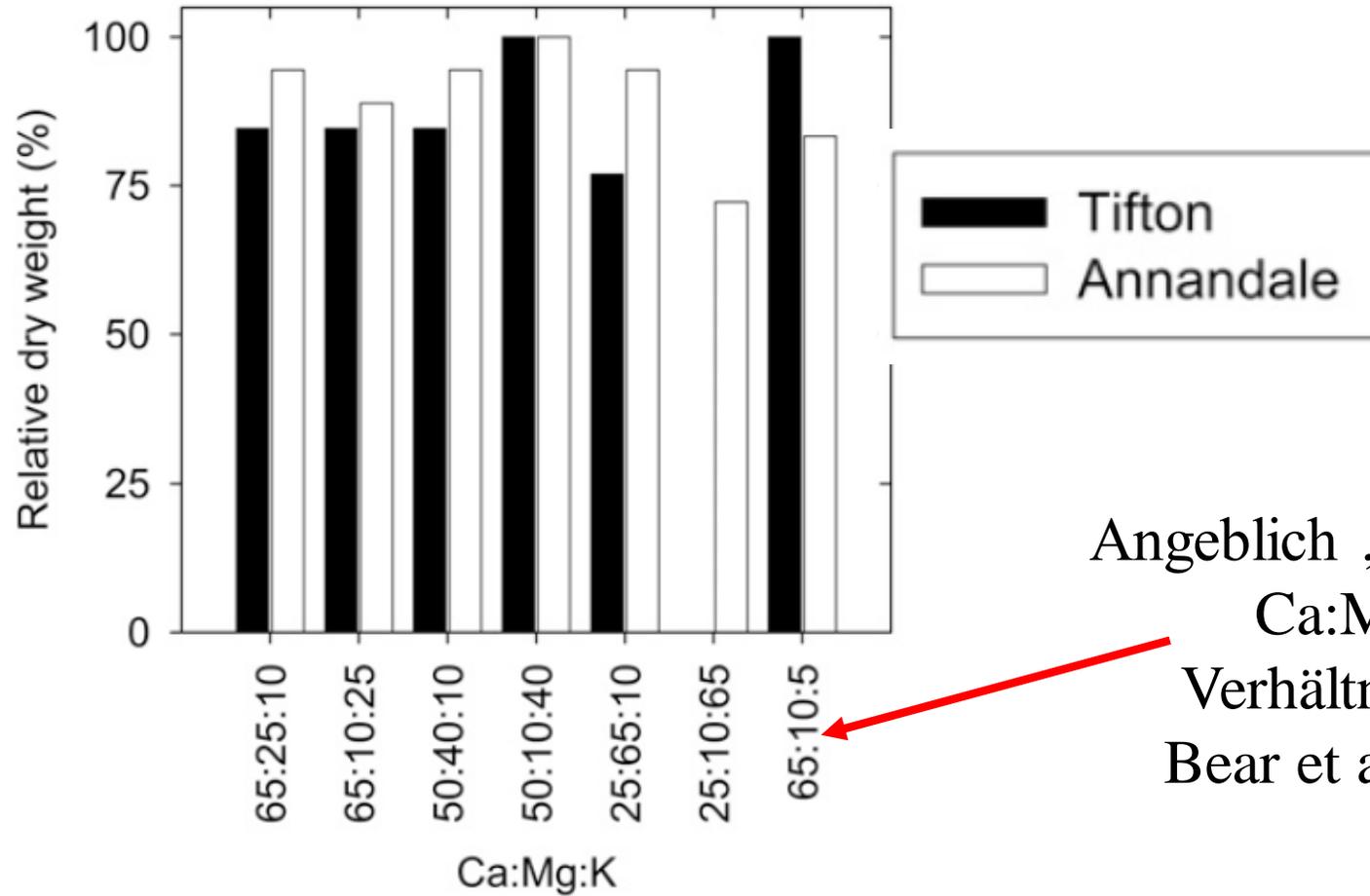


Angeblich „optimales“ Ca:Mg-Verhältnis nach Bear et al. (1945)

Einfluss der Ca/Mg-Verhältnisse auf den Ertrag (Simson et al. 1979)

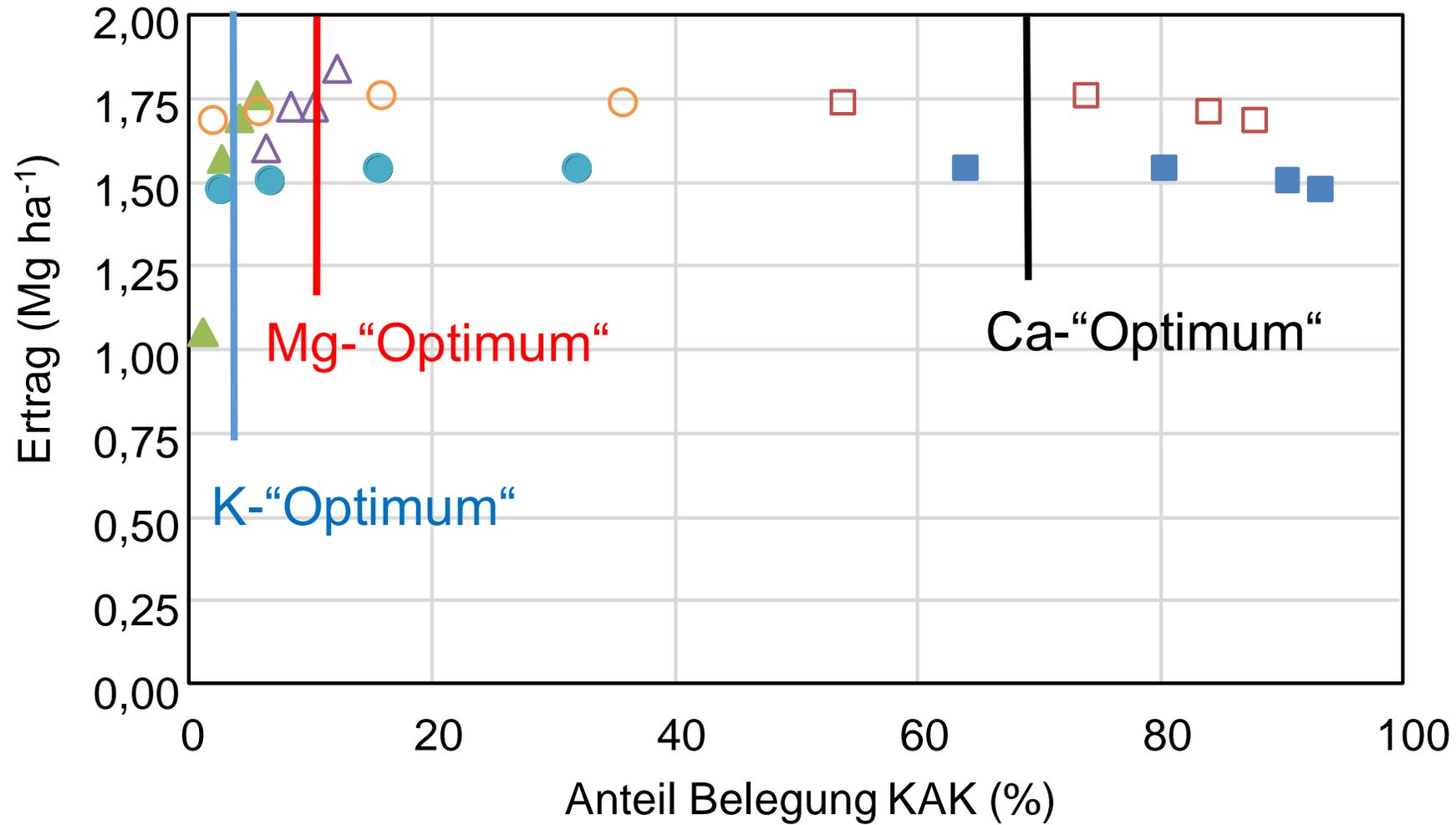


Wirkung Ca:Mg:K-Verhältnisse auf den Ertrag von Klee in zwei verschiedenen Böden (Giddens und Toth 1951)



Angeblich „optimales“
Ca:Mg:K-
Verhältnis nach
Bear et al. (1945)

Ertrag und Zusammensetzung Grasbiomasse in Abhängigkeit der Kationenbelegung im Boden (Salmon 1964)



▲ K-Anteil Sayers

▲ K-Anteil Woburn

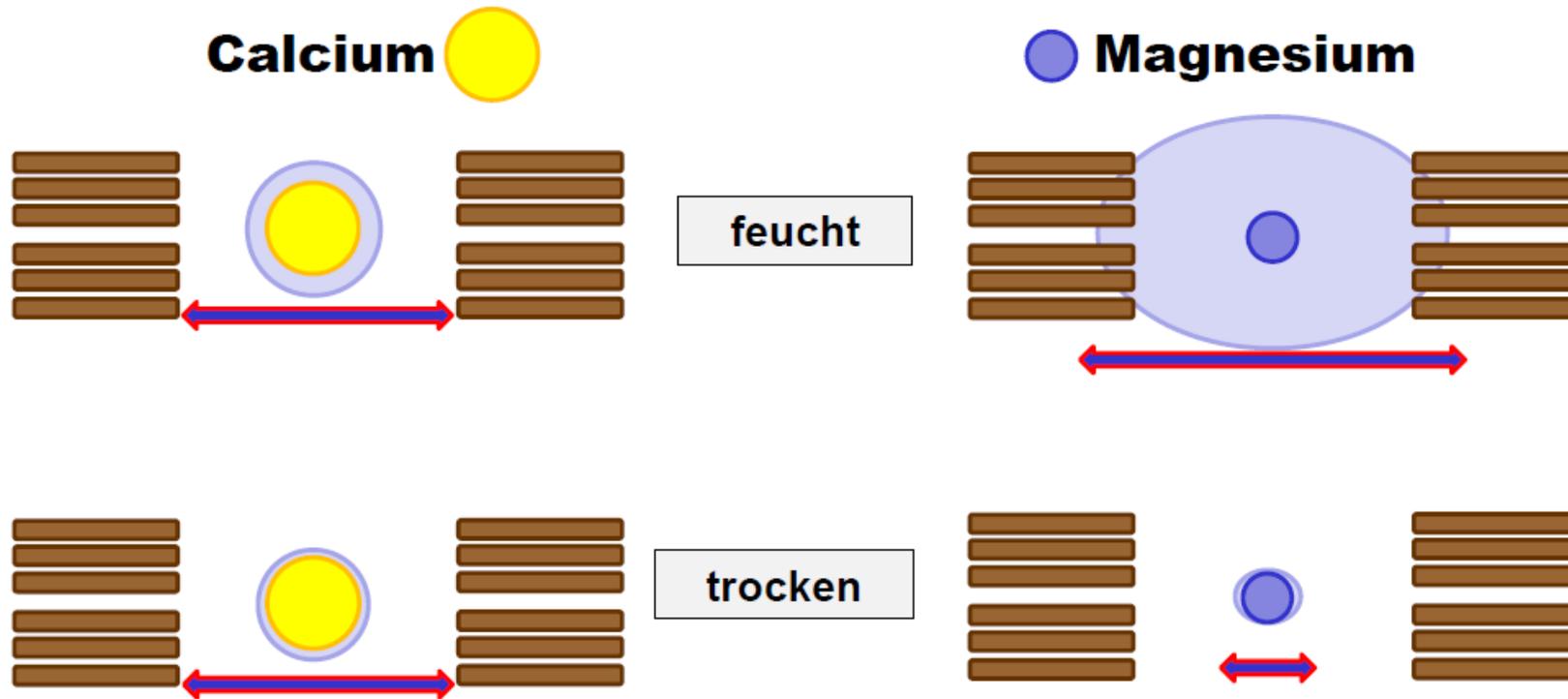
○ Mg-Anteil Woburn

● Mg-Anteil Sayers

□ Ca-Anteil (Woburn)

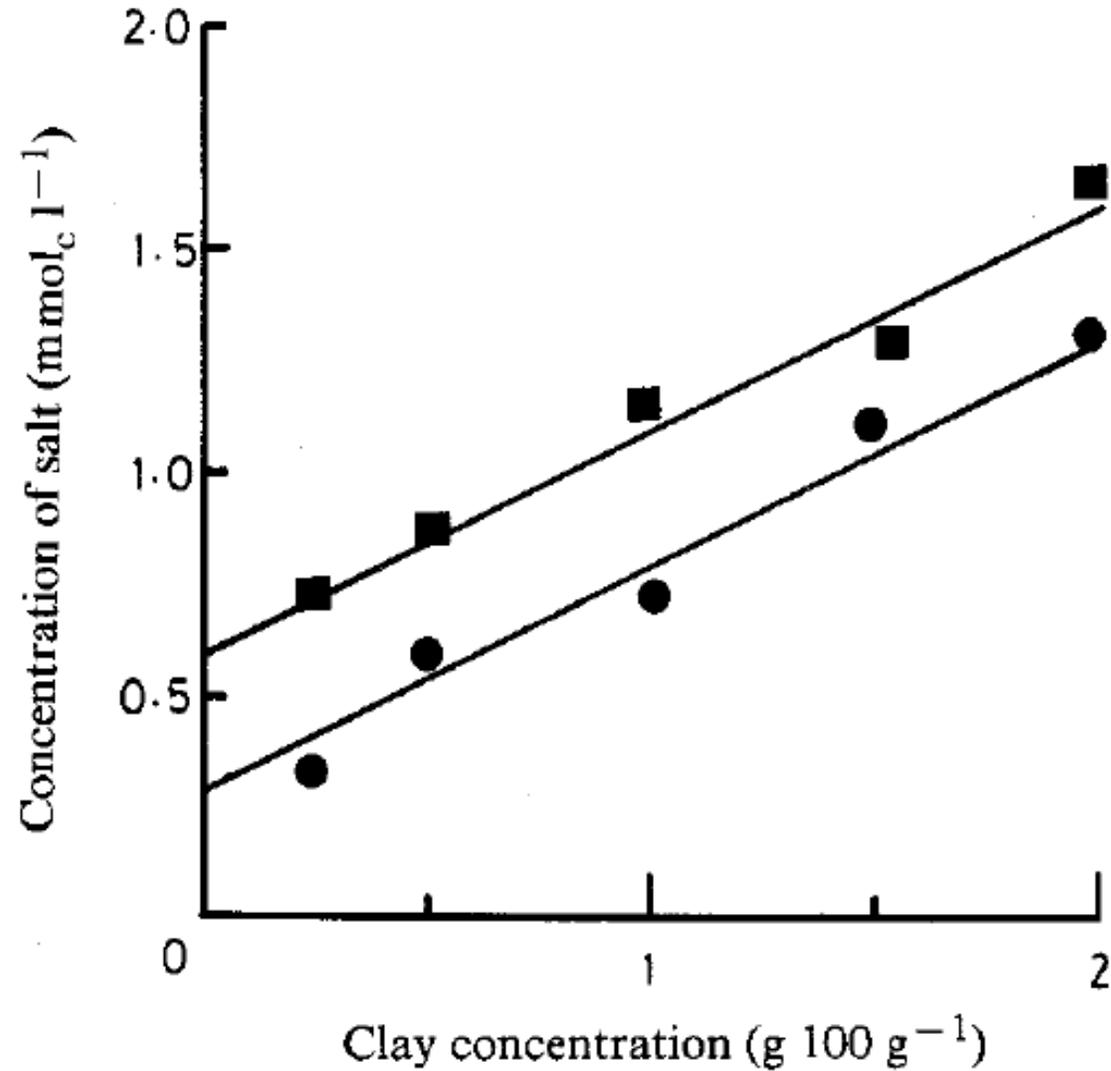
■ Ca-Anteil (Sayers)

Bodenstruktur durch Ca und Mg (nach Unterfrauner 2014)

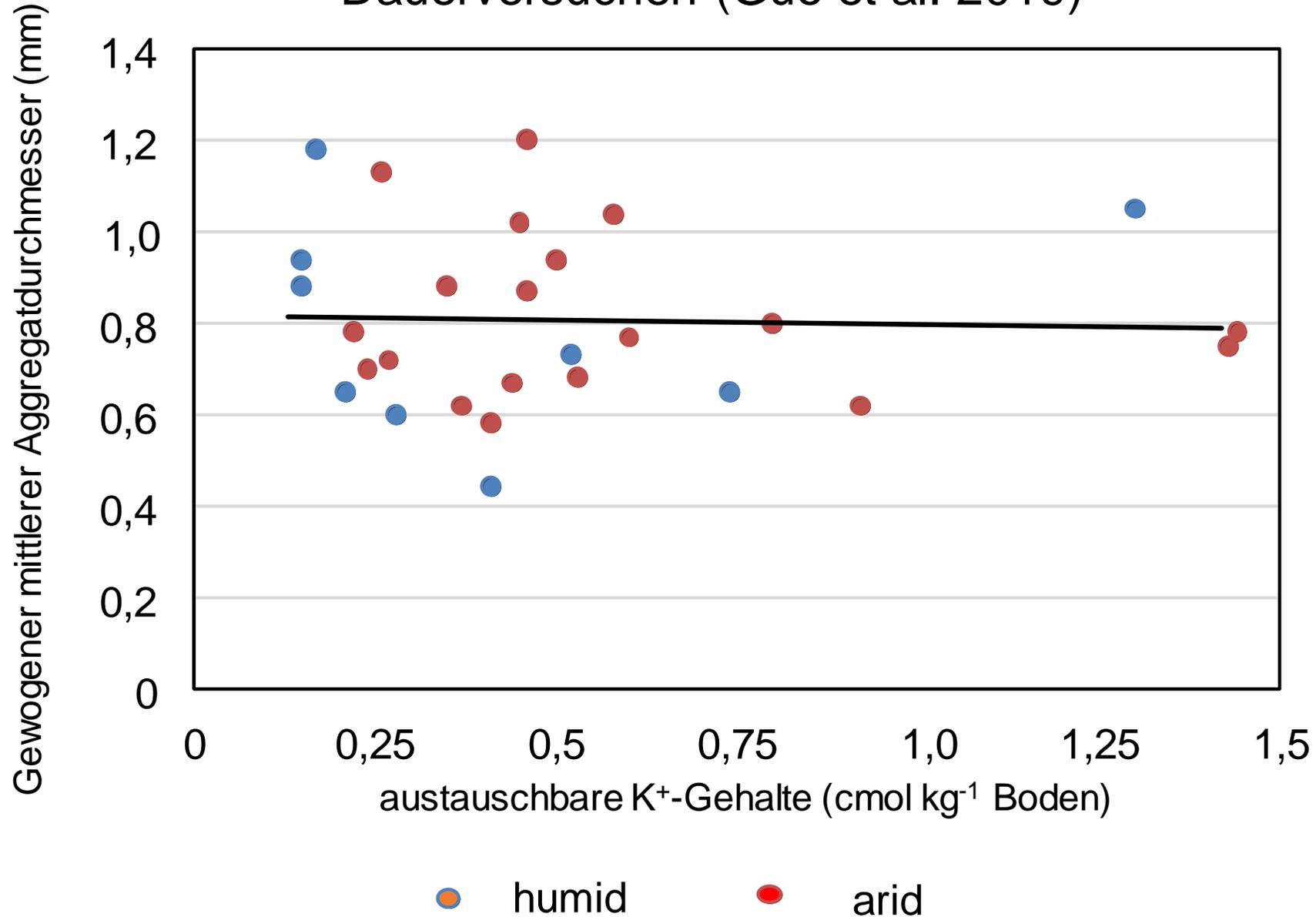


Philosophie: Mg hat viel größere Hydrathülle als Ca
→ Boden wird dispergiert

Aggregatbildung ($\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$) nach Zugabe von CaCl_2 bzw. MgCl_2 zu einem Lehmboden (Rengasamy et al. 1986)



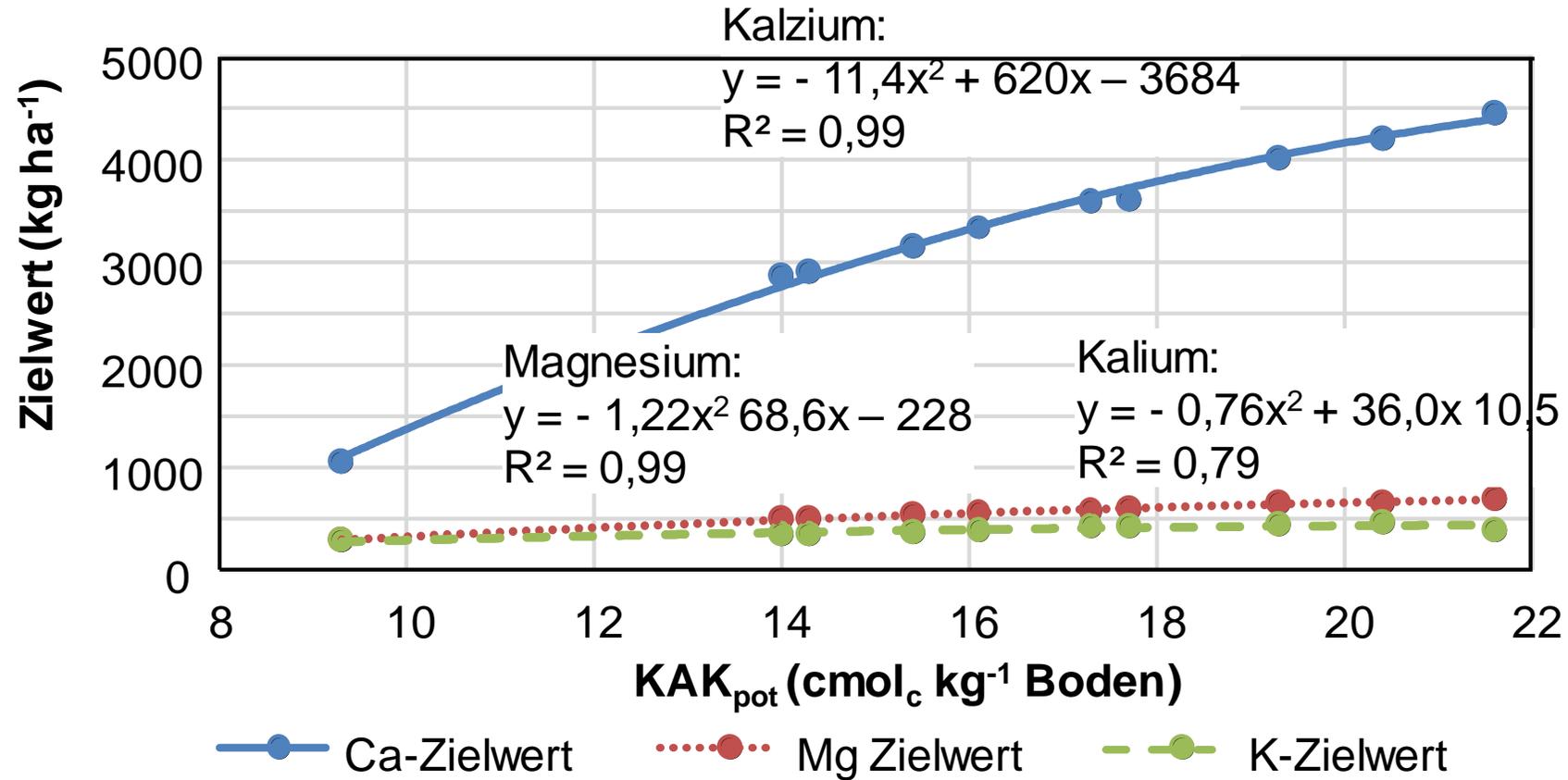
Beziehung zwischen den Gehalten an austauschbarem K⁺ und dem gewogenen mittleren Aggregatdurchmesser in neun Dauerversuchen (Guo et al. 2019)



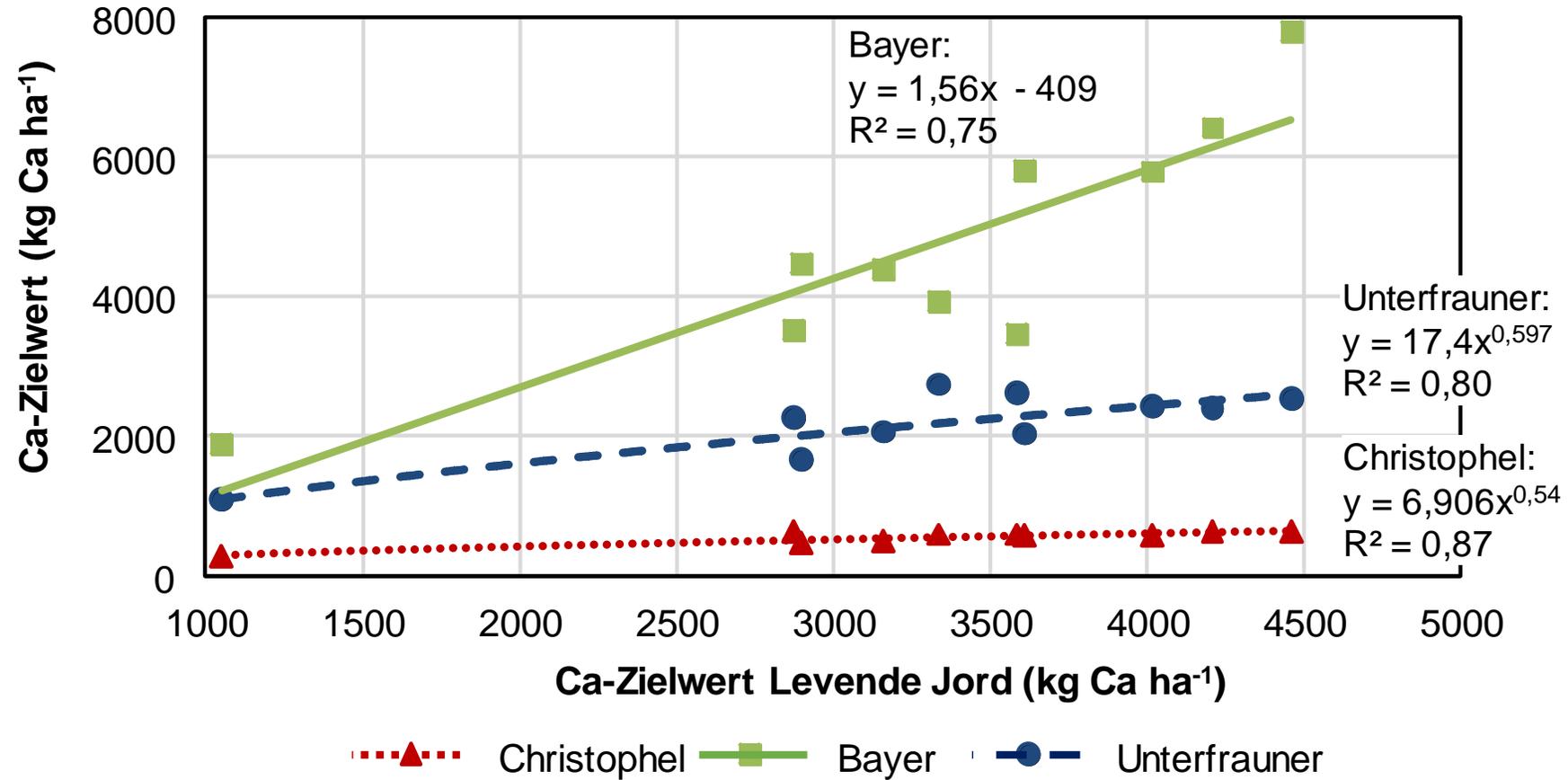
Untersuchungen

- Voruntersuchungen:
 - 41 Proben aus BaWü: Vergleich Lebende Jord vs. LUFA
- Daraus: zehn Bodenproben aus verschiedenen Regionen BaWü's an drei weitere Labore versandt
 - Bayer
 - Christophel
 - Unterfrauner
- Ergebnisse und Empfehlungen verglichen

Beziehung zwischen der pot. KAK und den Zielwerten für Ca, Mg und K nach Levende Jord



Beziehung Ca-Zielwerte nach Levende Jord vs. der übrigen alternativen Labore



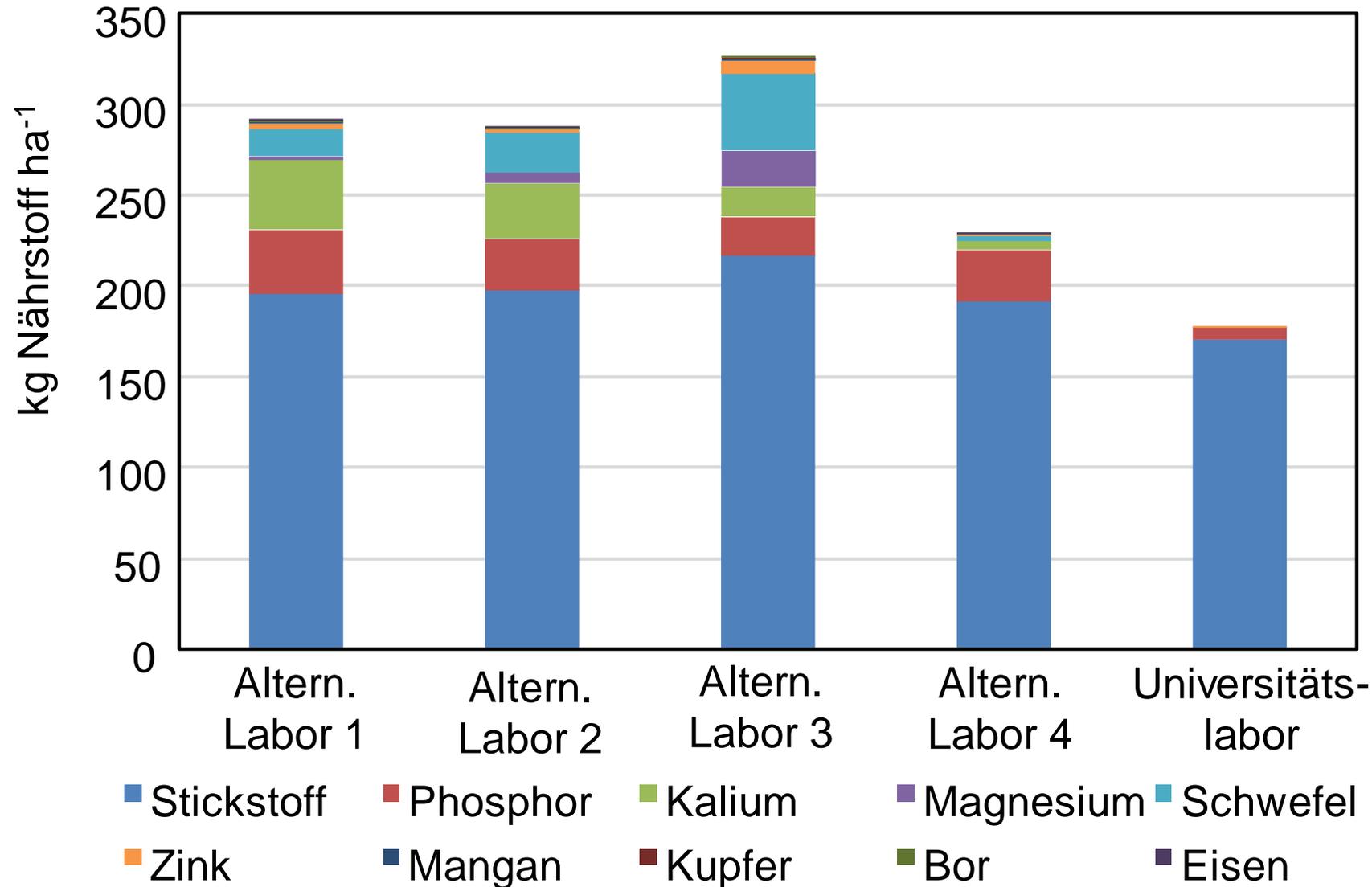
Vergleich der Düngungsempfehlungen (kg ha⁻¹)

	VDLUFA	Christophel	Bayer	Unterfrauner	Levende Jord
Kalk	1530	129	0	2555	122
Gips	0	834	757	957	0
Kieserit	23	213	170	0	0
Dolomit	1296	218	55	1403	165
Patentkali	39	179	123	76	18
Schwefel elementar	-	32	22	27	0
Natursalz	0	60	47	0	156
TSP-Äquivalente	113	17,5	97,4	-	0

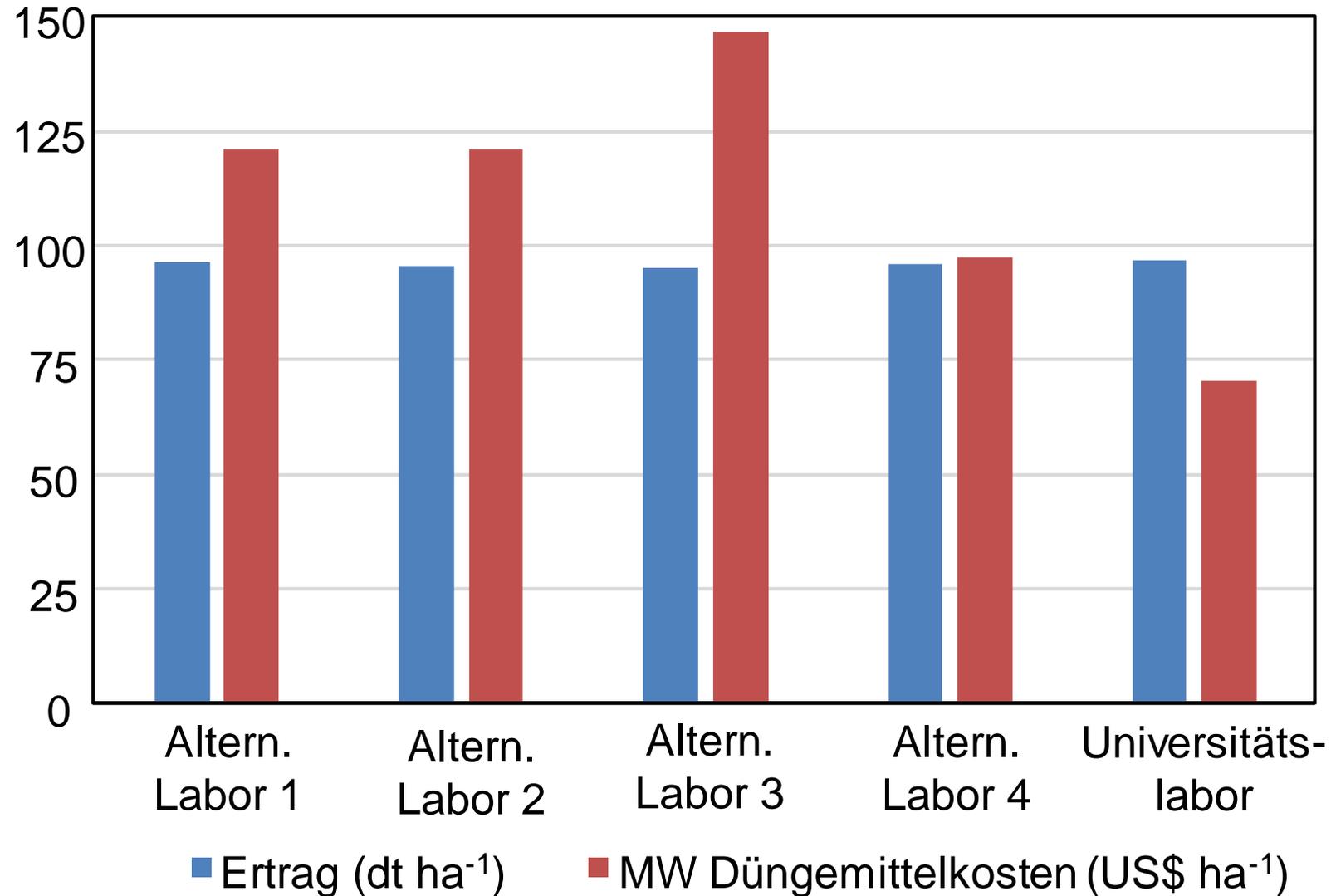
Vergleich der Inputmengen für einzelne Elemente (kg ha⁻¹)

	VDLUFA	Christophel	Bayer	Unterfrauner	Levende Jord
Ca	406	243	173	910	48,8
Mg	441	91,0	44,7	690	88,8
K	19,4	89,6	61,6	75,5	9,0
Na	0	23,4	18,3	0,0	61,0
S	13,4	297	283	170	7,9
P	52	17,5	44,8	-	12,3

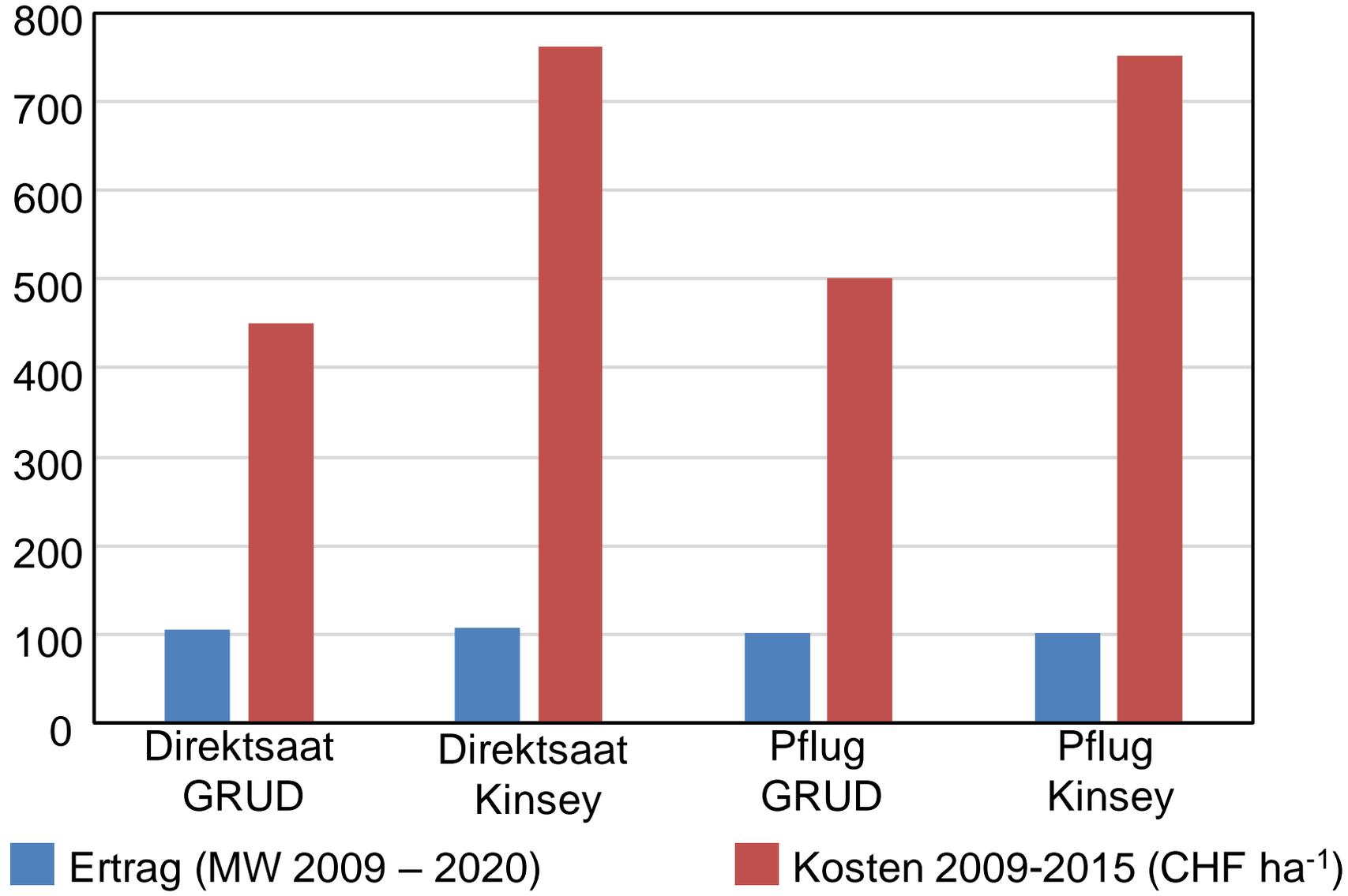
Düngungsmiteinsatz auf Basis der Empfehlungen von 5 Laboren auf 4 Standorten über 7 Jahre (Olson et al. 1982)



Düngungsmittelkosten und Erträge von Düngestrategien auf Basis von Empfehlungen von 5 Laboren auf 4 Standorten über 7 Jahre (Olson et al. 1982)



Ertrag und Düngemittelkosten (ohne N) im Dauerversuch Bodenbearbeitungs- & Bodenuntersuchungsmethoden Oberacker/CH 2009- 2020 (Flisch, unveröffentl.) (GRUD = LUFA)

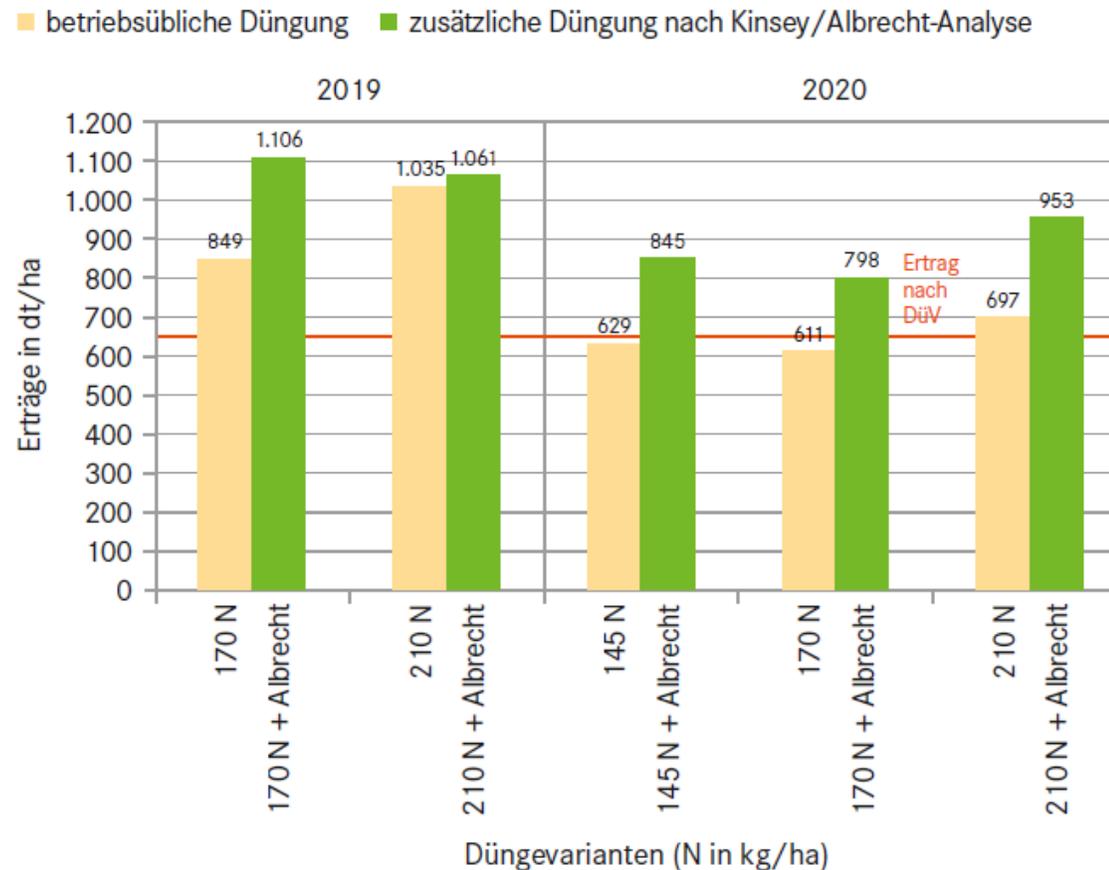


Höhere Erträge bei Düngung nach Kinsey-Albrecht (Dümig et al. 2021)??

Tabelle: Düngevarianten in den Jahren 2019 und 2020 mit ausgebrachten Nährstoffmengen

Varianten	N	S	B	K ₂ O
2019				
kg/ha				
Var1-betriebsüblich	170	-	-	133
Var1-nach Albrecht	170	80	2	333
Var2-betriebsüblich	210	-	-	133
Var2-nach Albrecht	210	80	2	333
2020				
Var3-betriebsüblich	145	-	-	280
Var3-nach Albrecht	145	80	2	280
Var4-betriebsüblich	170	-	-	280
Var4-nach Albrecht	170	80	2	280
Var5-betriebsüblich	215	-	-	280
Var5-nach Albrecht	215	80	2	280

Abb. 2: Erträge von Knollensellerie in dt/ha



Fazit Albrecht-Systeme

- Basis Düngungsberatung: feste Nährstoffverhältnisse in Abhängigkeit der KAK_{pot} ,
- Mengen in Abhängigkeit der Masse spielen keine Rolle
- keine experimentelle Validierung → vorliegende Untersuchungen belegen das Gegenteil:
 - Nährstoffverhältnisse wirken sich im Pflanzenversuch nicht auf Ertrag aus
 - Keine Belege für Effekte auf Aggregatstabilität und Bodenleben
- bei niedriger KAK: Gefahr von K-Mangel
- bei hoher KAK: K-Überdüngung
- je nach Labor systematische S-Überdüngung →
 - erhöhte S-Auswaschungsgefahr
 - Aber: Behebung von S-Mangel
- Vorteile: systematischere Messung von Schwefel und Spurenelementen (Leistung erhält man in jedem LUFA-Labor)

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit