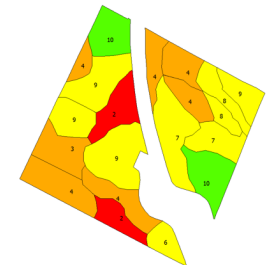
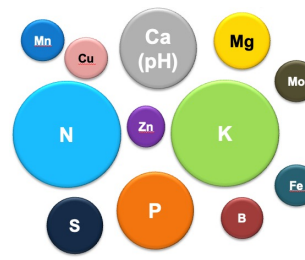


Welche Bodenanalyse ist zur Beurteilung der Versorgung mit pflanzenverfügbaren Nährstoffen geeignet?

Boden- und Düngungstag MV 2026 | 04.02.2026

Dr. Frank Lorenz | LUFA Nord-West | Oldenburg

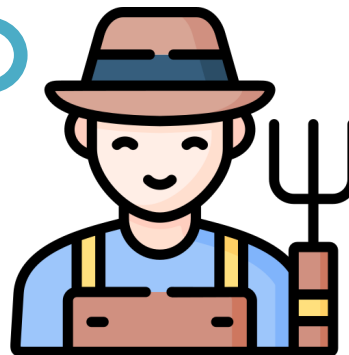


Was bedeutet denn
der Kationenaustausch?

Wie funktionieren die
Methoden nach Kinsey & Co?

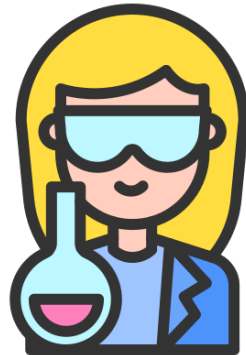
Woher kommen eigentlich
die Düngeempfehlungen?

Was soll ich jetzt
am besten tun?



Enno Schlaumeyer

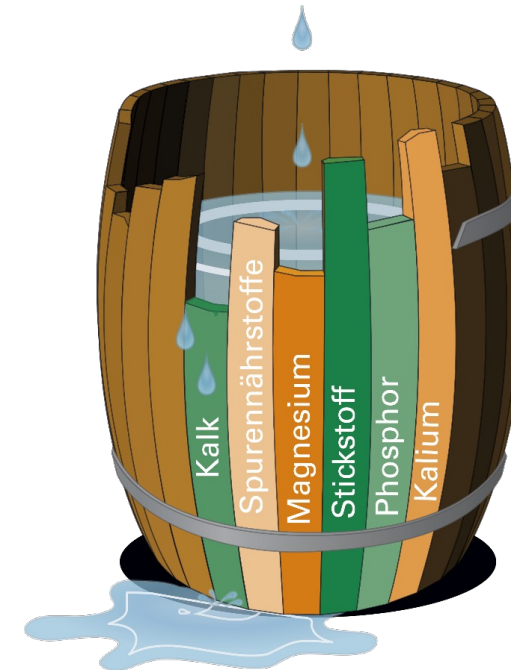
**Wir schauen uns zuerst
einige Grundlagen zu
Bodenuntersuchung und
Düngebedarf an!**



Dr. Terra Feldmann

Düngebedarf: Diese Fragen stehen am Anfang

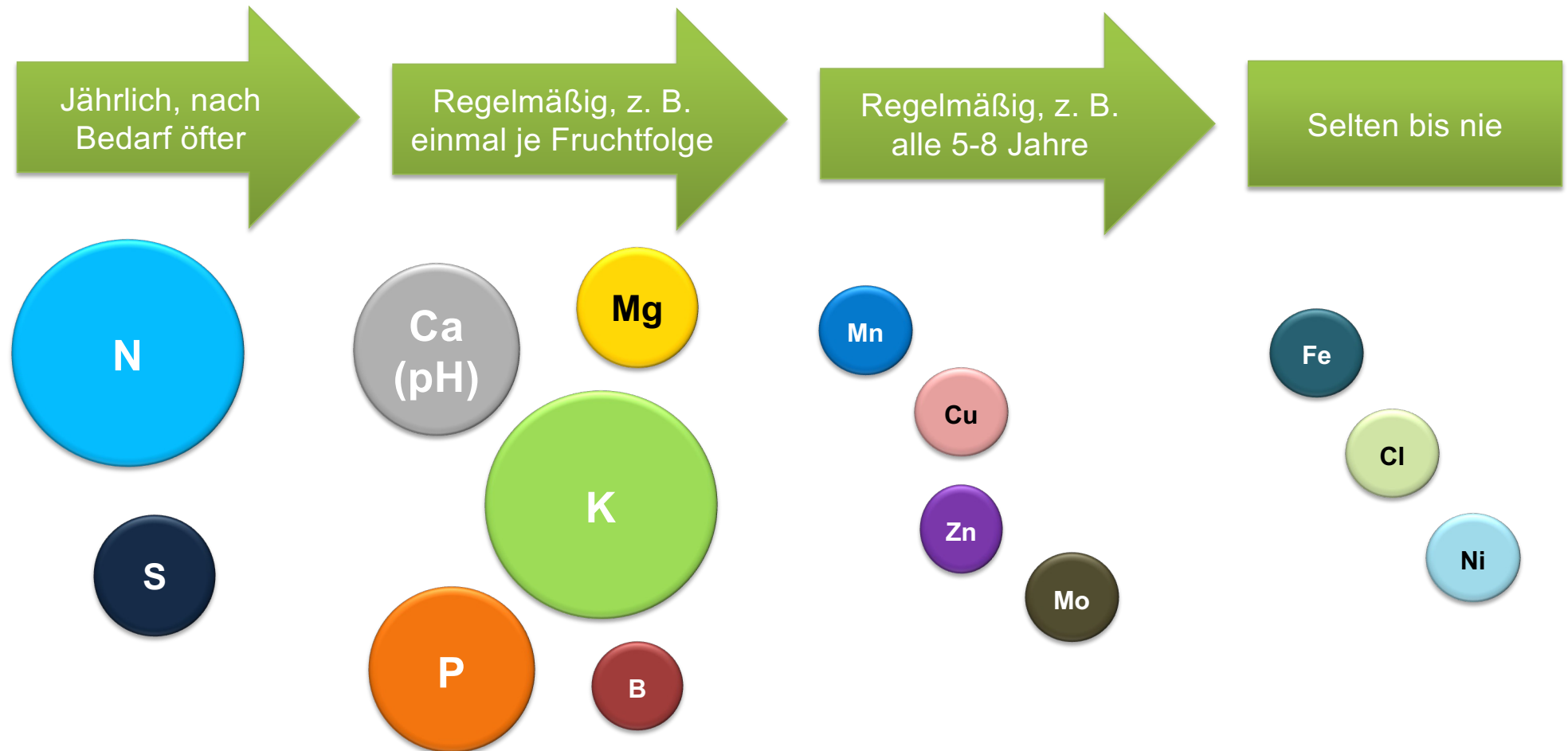
1. Reichen die im Boden vorhandenen Nährstoffgehalte für optimale Erträge und Qualitäten aus?
2. Falls nicht: Wieviel muss von welchem Nährstoff wann und wie zu welcher Kultur gedüngt werden?
3. Welche Analyse liefert dafür verlässliche Antworten?



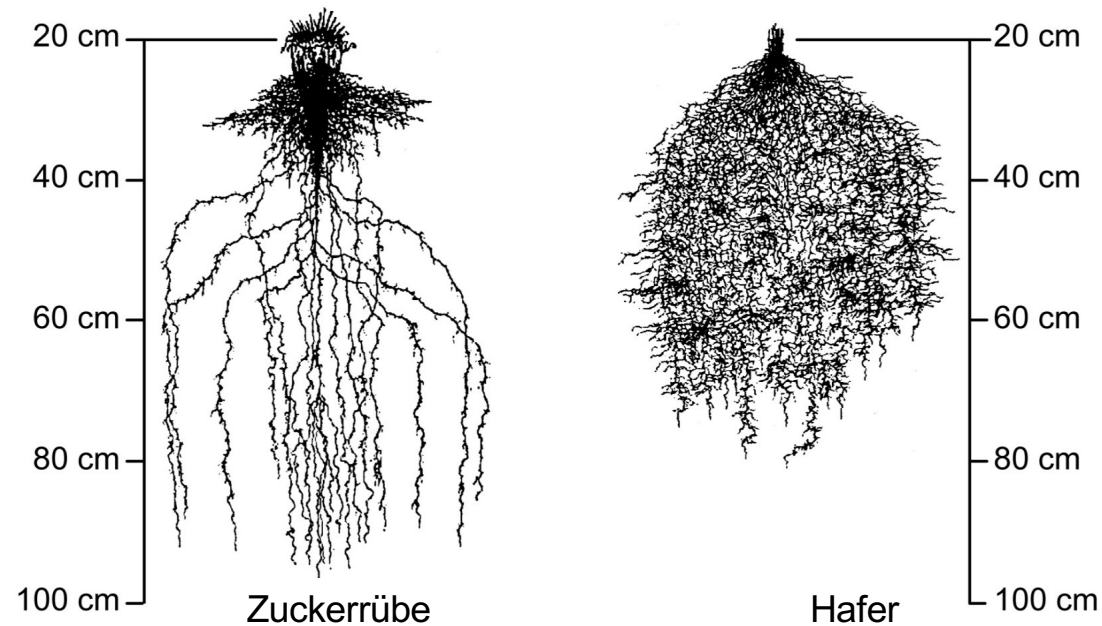
**Minimumtonne
nach Liebig**

Bild: rwz.de

Welche Boden-Nährstoffgehalte sollte man prüfen?



Pflanzen nehmen nur gelöste Nährstoffe auf!



Große
Kontaktoberfläche

pH-
Absenkung

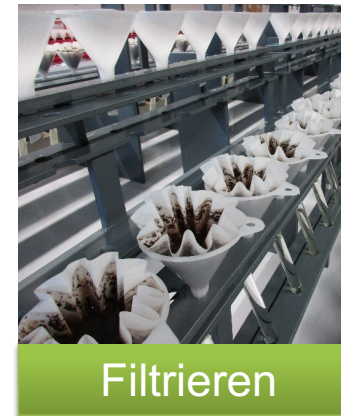
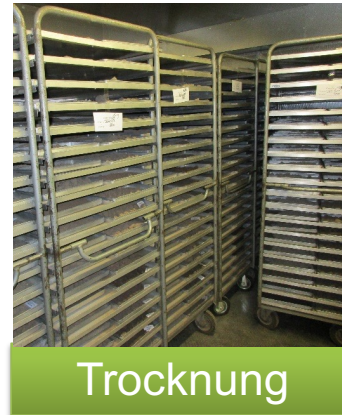
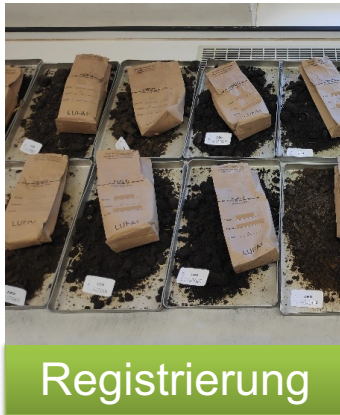
Ionen-Austausch
& Komplexierung

Assoziationen mit
Mikroorganismen

Wege der Nährstoffaufnahme durch die Wurzel

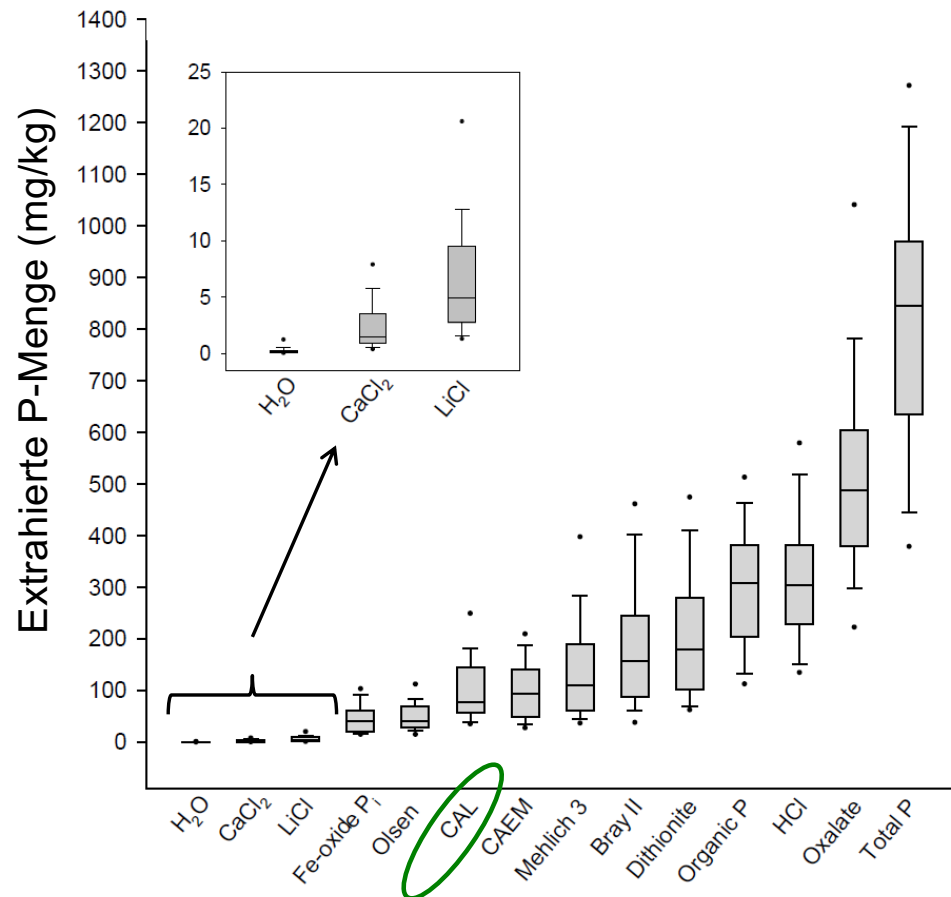
Bilder: Kutschera, L., & Lichtenegger, E. (1960). *Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen*. DLG Verlag, Frankfurt am Main.

So läuft die Bodenuntersuchung im Labor ab



Bilder: LUFA NRW

Extraktionsmittel: Annäherung an die pflanzliche Nährstoffaufnahme



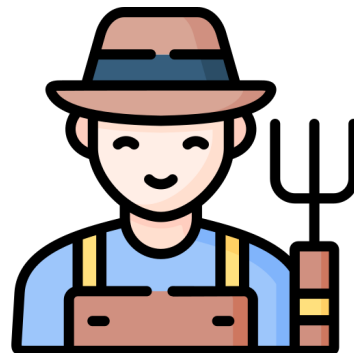
Verschiedene
Extraktionsverfahren
→ unterschiedliche
Ergebnisse!



Nährstoff-
Extraktionsmethoden
am Beispiel Phosphor

Wuenschel et al. (2015), *Plant Soil Environ.* Vol. 61, No. 2: 86–96

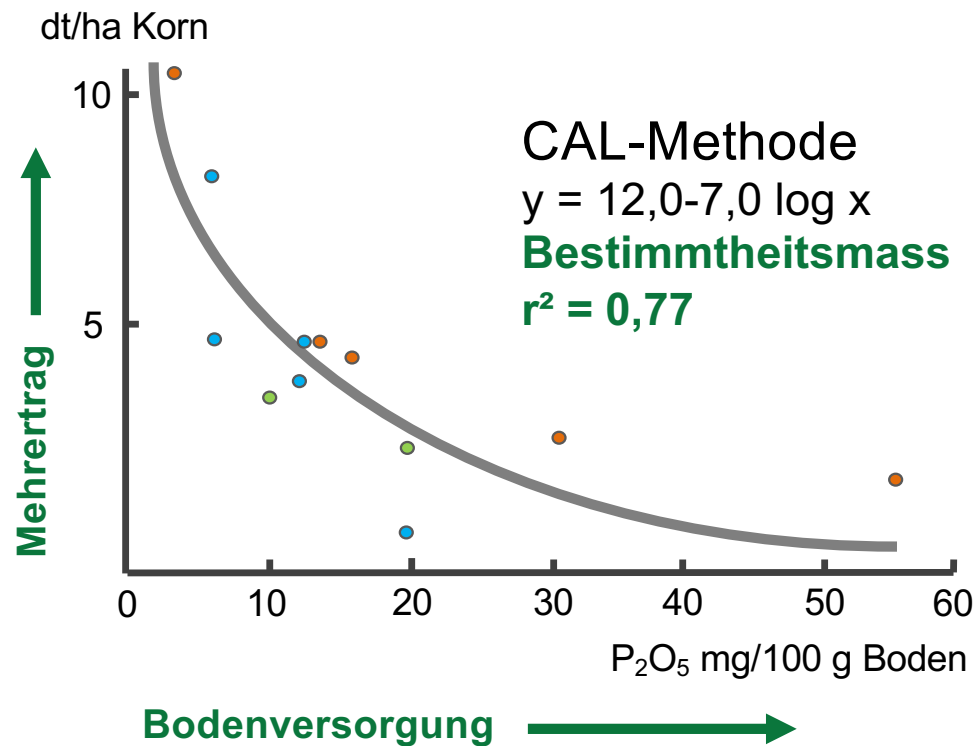
So kompliziert hätte ich
mir das nicht vorgestellt!
Wie findest du jetzt die
passende Methode
für Dünge-
empfehlungen?



Das finde ich in
Feldversuchen heraus.



Feldversuche zeigen, welche Methode aussagekräftig ist!

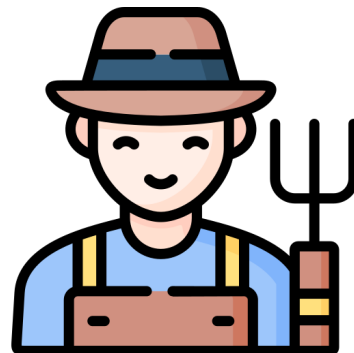


Mehrertrag in Abhängigkeit von der Bodenversorgung

Methode	Bestimmtheitsmass (%)
CAL	77
DL	75
H ₂ O	75
AL	72
Olsen	49
Bray I	48
P gesamt	47

nach Vetter, H., Früchtenicht, K., Mählhop, R. (1977). Untersuchungen über den Aussagewert verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden für die Ermittlung des Phosphatbedarfs. *Landwirtschaftliche Forschung*, 34, 121-132.

Wie komme ich nun vom
Ergebnis der Analyse zur
Düngeempfehlung?



Dafür lege ich Feld-
versuche an – auf
verschiedenen Bodenarten
mit unterschiedlicher
Nährstoffversorgung!



Nährstoff-Steigerungsversuche sind die Grundlage für Düngeempfehlungen!

**K-Gehalt zu
Versuchsbeginn 1985:
5 mg K_{CAL}/100 g Boden
(= Gehaltsklasse B)**

Variante 1: ohne K
Variante 2: 0,5-facher Entzug
Variante 3: 1,0-facher Entzug
Variante 4: 1,5-facher Entzug
Variante 5: 2,0-facher Entzug

Düngermengen in kg/ha K₂O

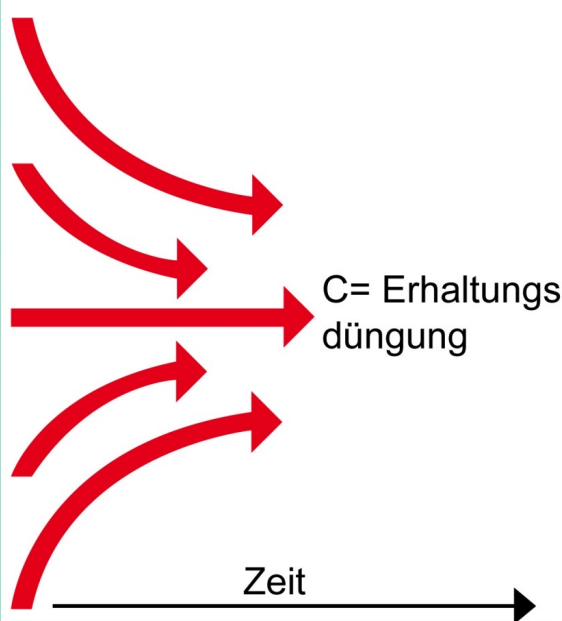
mg K/100 g Boden | Gehaltsklasse



K-Dauerversuch Celle, Kartoffeln 2003 (9mal berechnet)

Bilder: F. Lorenz

Die Düngeempfehlung hängt vom Nährstoffgehalt ab

Gehaltsklasse	Düngungsempfehlung	Ziel der Düngung: Gehaltsklasse C
A (sehr niedrig)	stark erhöhte Düngung	
B (niedrig)	mäßig erhöhte Düngung	
C (optimal)	Erhaltungsdüngung	
D (hoch)	1/2 Erhaltungsdüngung	
E (sehr hoch)	z. Zt. keine Düngung	

Nach VDLUFA

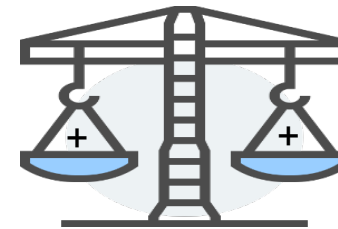
Zwei unterschiedliche Konzepte zur Düngebedarfsermittlung



Aufbau und Erhalt eines Nährstoffvorrats im Boden „VDLUFA“

Ziel:

Aufbau eines **Bodenvorrats an Nährstoffen** und
Ergänzung der abgefahrenen Nährstoffe

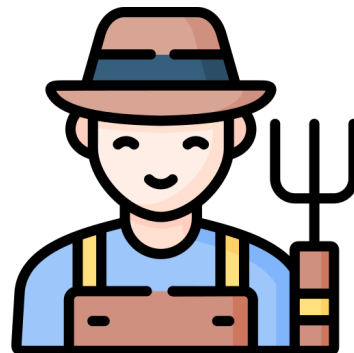


Belegung der Austauscher mit basischen Kationen und deren Verhältnis zueinander “Soil Balancing“

Ziel:

Ideales Verhältnis zwischen den **basischen Kationen** Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ sowie H^+

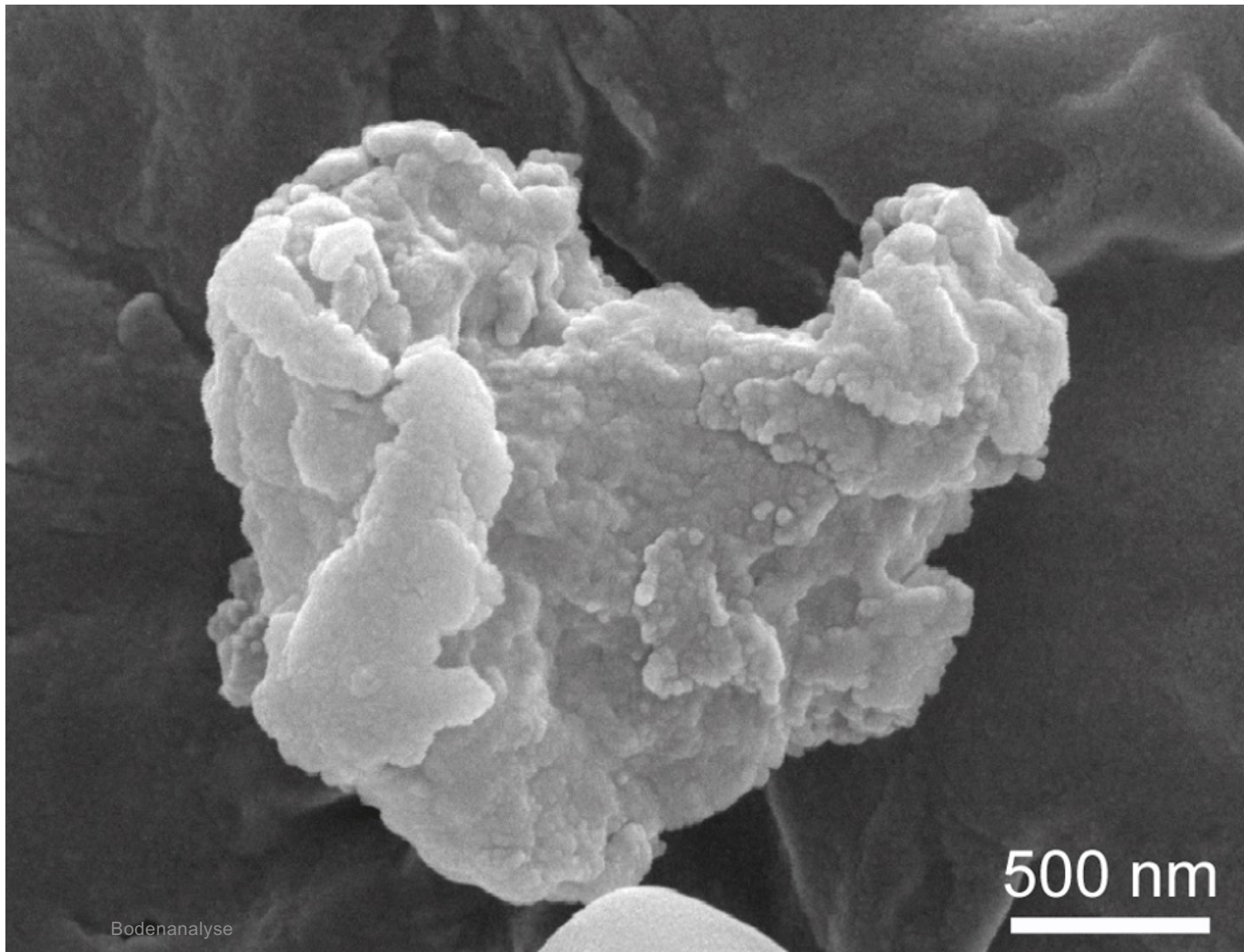
Wie geht denn das
Soil Balancing?



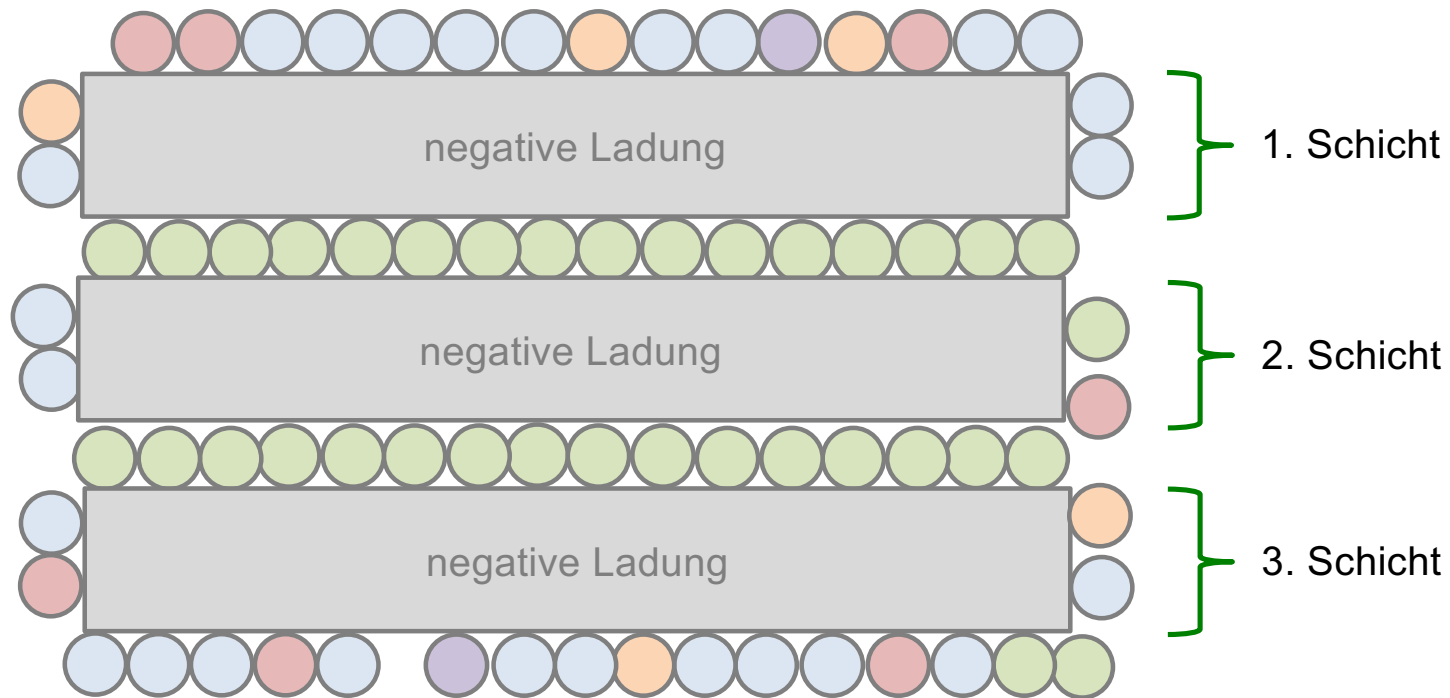
Um das zu verstehen,
schauen wir uns erst
den Kationen-
austausch an!



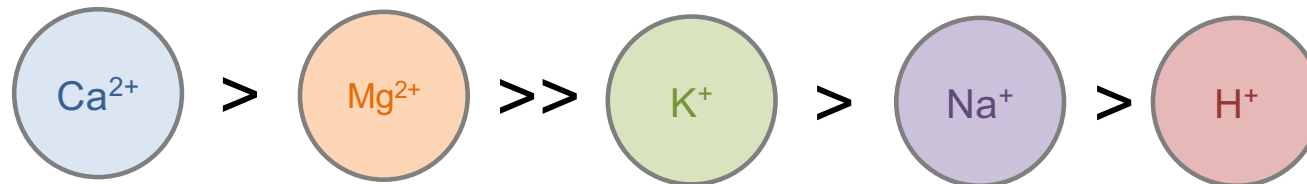
Tonmineral



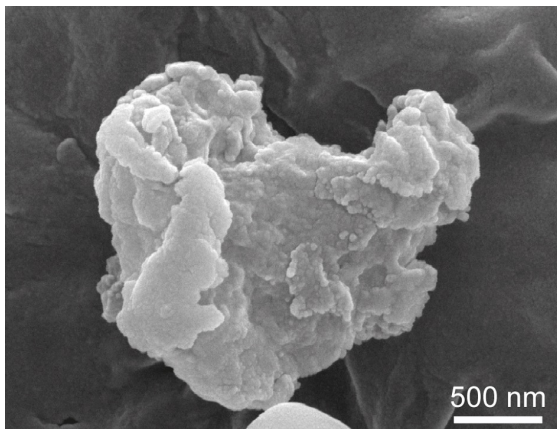
So sind Tonminerale aufgebaut



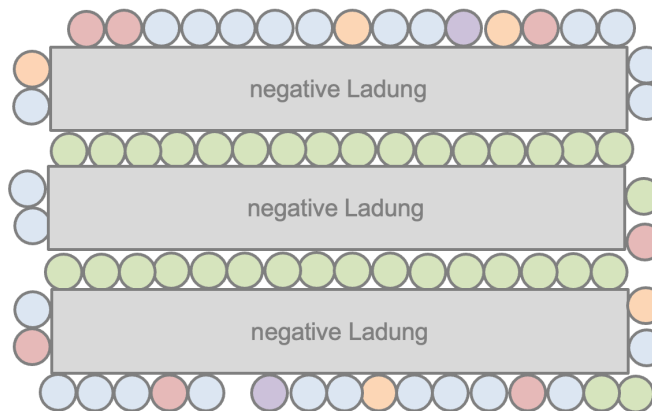
**Bindungsstärke
der Kationen:**



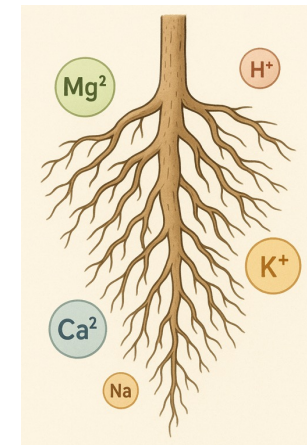
So funktioniert der Kationenaustausch



Ton- und Humsteilchen im Boden sind **negativ** geladen.



Positiv geladene Nährstoffe (Kationen) haften wie Magnete an den Teilchen.



Pflanzenwurzeln tauschen **H⁺ gegen Kationen** aus, um diese als Nährstoffe aufzunehmen.

Bild rechts: F.Lorenz/ChatGPT

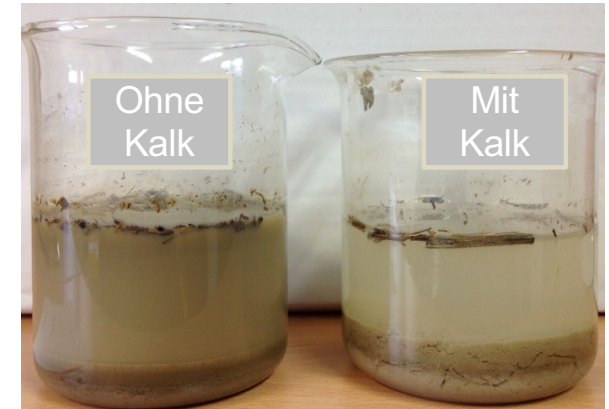
Kationenaustausch: Funktionen im Boden



Nährstoffspeicher



Nährstoffpuffer

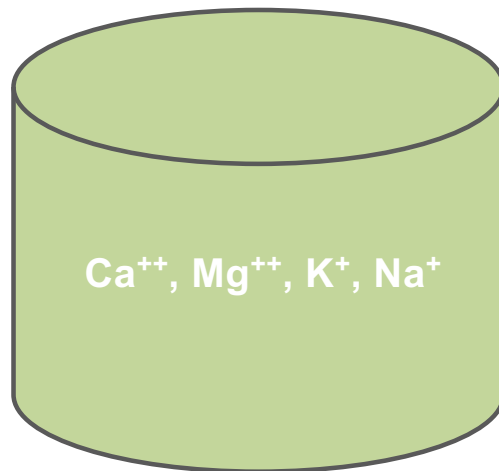


Strukturbildner

Bilder: Pexels/Achim Scholty auf pixabay, F. Lorenz

Was ist die Kationenaustauschkapazität (KAK)?

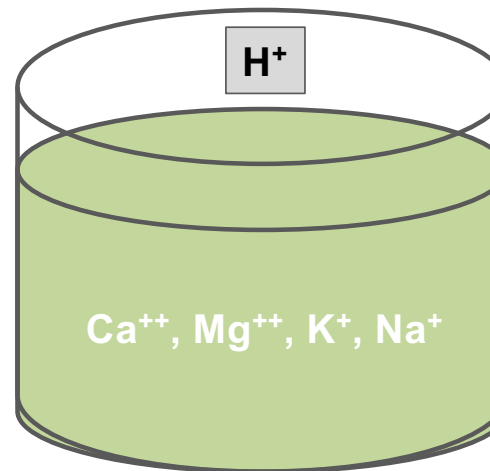
Wieviele Austauschplätze stehen zur Verfügung?



Potentielle KAK (KAK_{pot})

bei **pH ≥ 7**

Alle Austauschplätze sind
von Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} und Na^{+} belegt

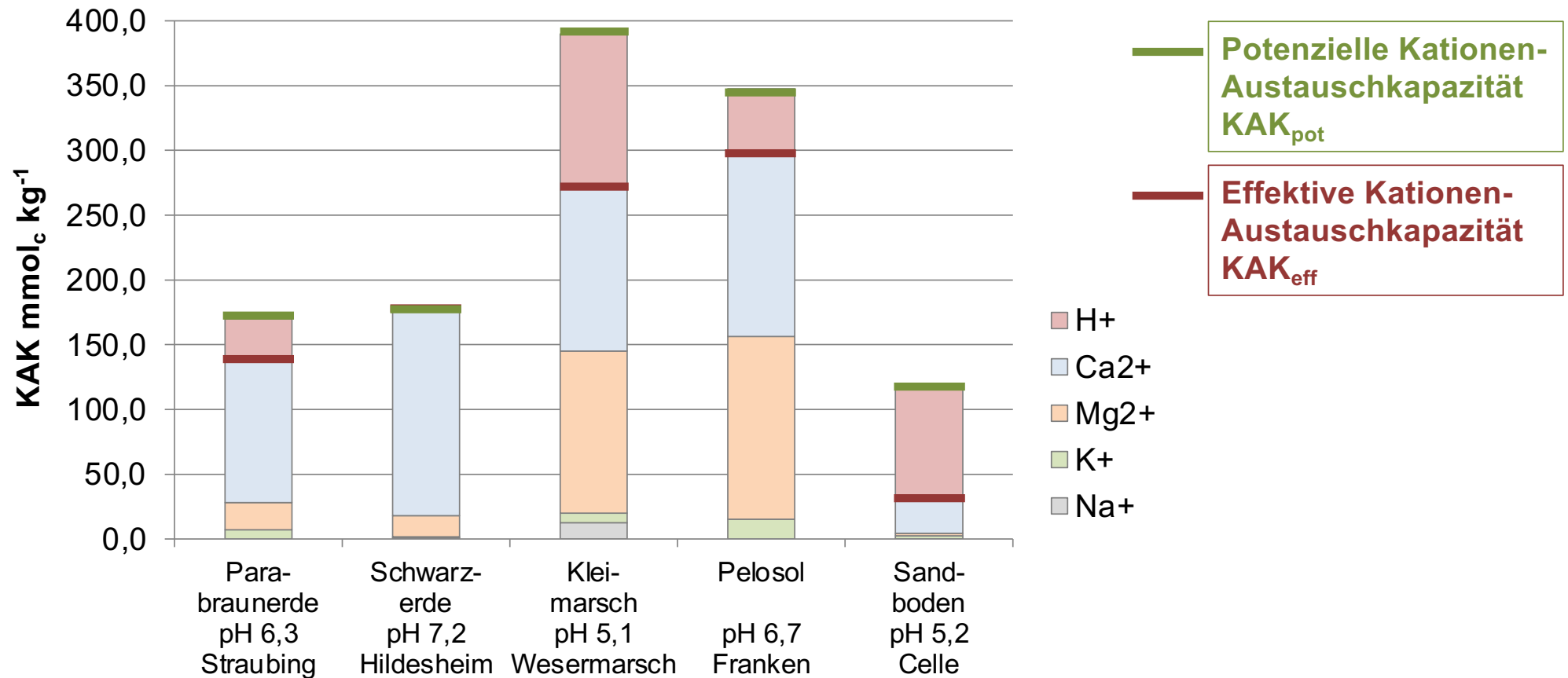


Effektive KAK (KAK_{eff})

bei **pH unter 7**

Ein Teil der Austauschplätze ist von
 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} und Na^{+} belegt,
der andere von H^{+} -Ionen

Der Standort bestimmt Austauschkapazität und Kationenbelegung



nach Angaben aus Schachtschabel et al. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Auflage, Enke Verlag Stuttgart.

Soil Balancing (BCSR) – Optimaler Bodenzustand durch optimale Kationenverhältnisse

- **Belegung der Austauscher** im Wesentlichen mit Calcium, Magnesium und Kalium
- Einstellung eines **idealen Nährstoffverhältnisses** an den Austauschern:

Element	Ideale Belegung am Austauscher
Ca ²⁺	60 bis 70 %
Mg ²⁺	10 bis 20 %
K ⁺	3 bis 5 %
Na ⁺	1 %
H ⁺ (Säure)	10 bis 15 %
Andere Kationen	2 bis 4 %

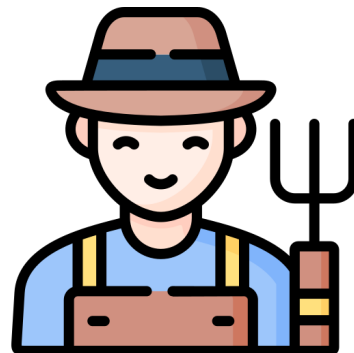
- Weitgehende **Neutralisation** der Bodensäure → hoher pH-Wert

Vergleich pH-Wert und Kalkungsempfehlung

Untersuchung und Bewertung nach VDLUFA				Ökol. Bodenbewertung durch Technisches Büro DI Unterfrauner			
Kalkung				Melioration			
Bodenart	pH-Wert (CaCl ₂)	pH-Gehalts- Klasse	Kalk (CaCO ₃) kg/ha	pH-Wert (KCl)	Kalk (CaCO ₃) kg/ha	Gips kg/ha	Dolomit (mit 40% MgCO ₃) kg /ha
S	5,1	C	1250	4,9	3520	390	1490
S	6,3	E	0	6,5	2430	380	3140
IS	5,5	C	1600	5,6	3700	450	2310
IS	5,7	C	1250	5,6	4810	560	2560
IS	5,6	C	1430	5,7	3360	480	3570
IS	5,6	C	1430	5,5	5610	810	5960
IS	5,6	C	1430	5,4	4100	560	3620
hIS	5,3	C	1250	5,2	5730	760	4760
hIS	5,3	C	1250	5,4	4620	610	3860
IS	6,0	D	0	6,3	2420	420	3980
S	5,8	D	0	5,7	4340	590	3950

Ackerflächen im Elbe-Weser-Dreieck, 2015

**Kann man diese Aussagen
wissenschaftlich belegen?**



**Darüber geben uns
wieder Versuche Auskunft.**

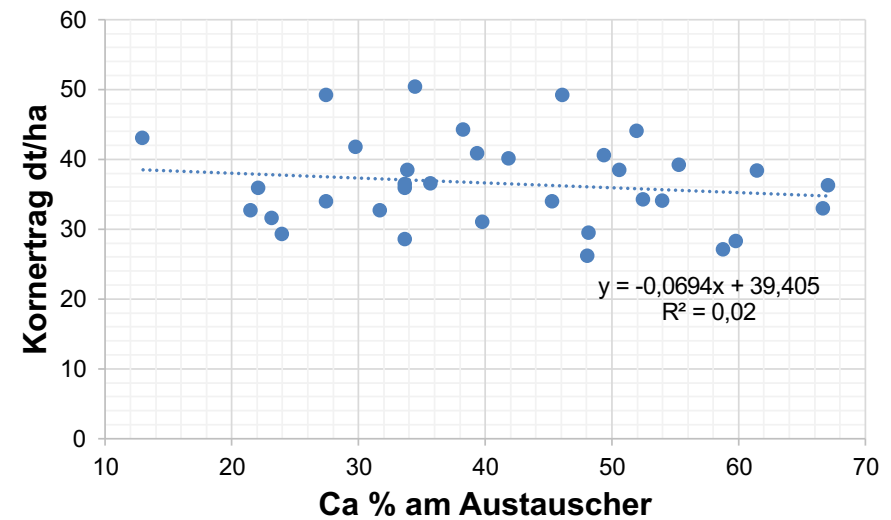
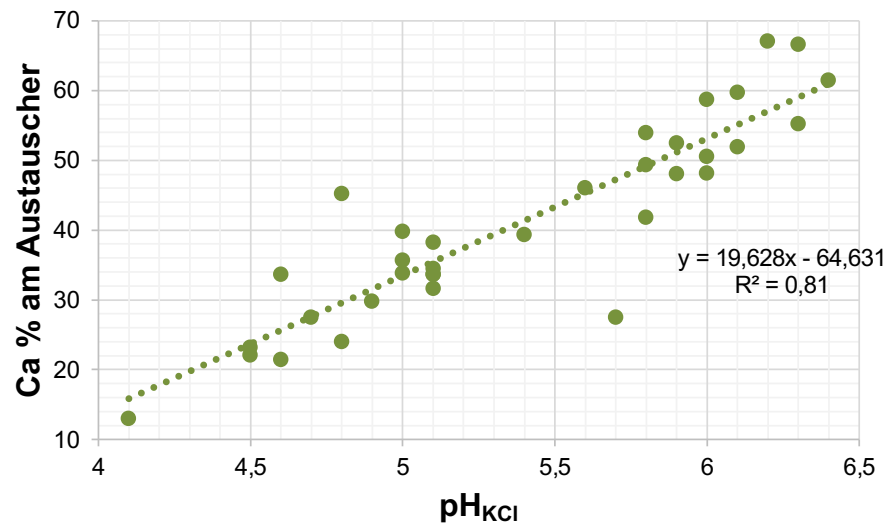


Basensättigung, Calciumversorgung und Ertragsfähigkeit



Versuchsfrage	Wie beeinflusst die Calciumversorgung die Ertragsfähigkeit von leichten Böden?
Durchführung	34 einjährige Versuche (1958)
Region	Weser-Ems-Gebiet
Böden	S und l'S, Humusgehalte 2,5 - 6,7 %
Versuchsfrucht	Hafer
Versuchsdüngung	75 kg/ha N als Ammonsalpeter

Einfluss von pH-Wert und Ca am Austauscher auf den Ertrag



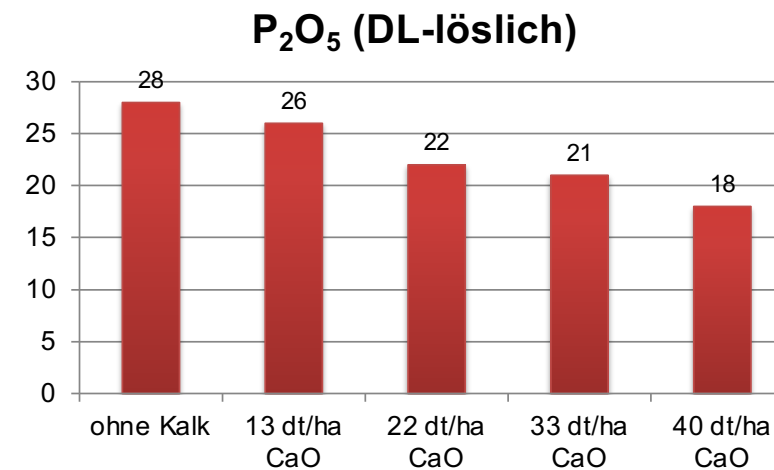
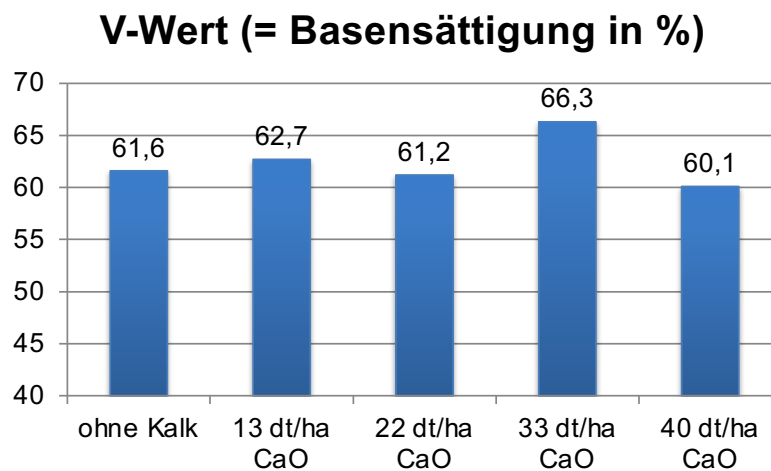
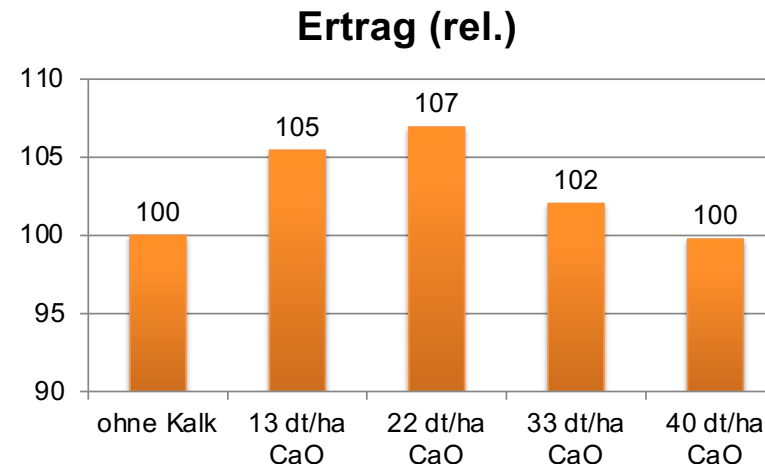
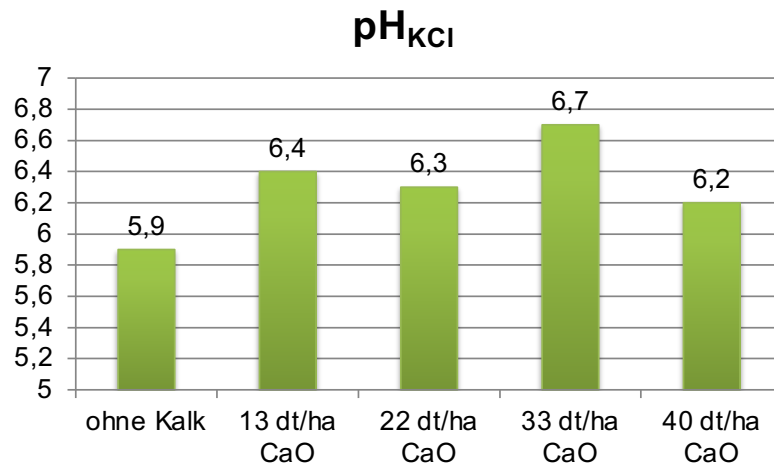
Daten aus Nieschlag, F. (1965): Kalkdüngungsversuche der LUFA Oldenburg 1928-1964. LUFA Oldenburg.

VR 824, Kalksteigerung (1960-1961)

Versuchsfrage	Wie wirken sehr hohe Kalkgaben auf Sandboden bei einem bereits optimal eingestellten pH-Wert?
Region	Groß Bersen, Emsland
Boden	Sand (Podsol), Humusgehalt 2,3 %, Ackerzahl 26
pH_{KCl} zu Beginn	5,9
Versuchsfrüchte	Sommergerste, Roggen
Versuchsglieder	30 dt/ha kohlensaurer Kalk (13 dt/ha CaO) 50 dt/ha kohlensaurer Kalk (22 dt/ha CaO) 75 dt/ha kohlensaurer Kalk (33 dt/ha CaO) 90 dt/ha kohlensaurer Kalk (40 dt/ha CaO)

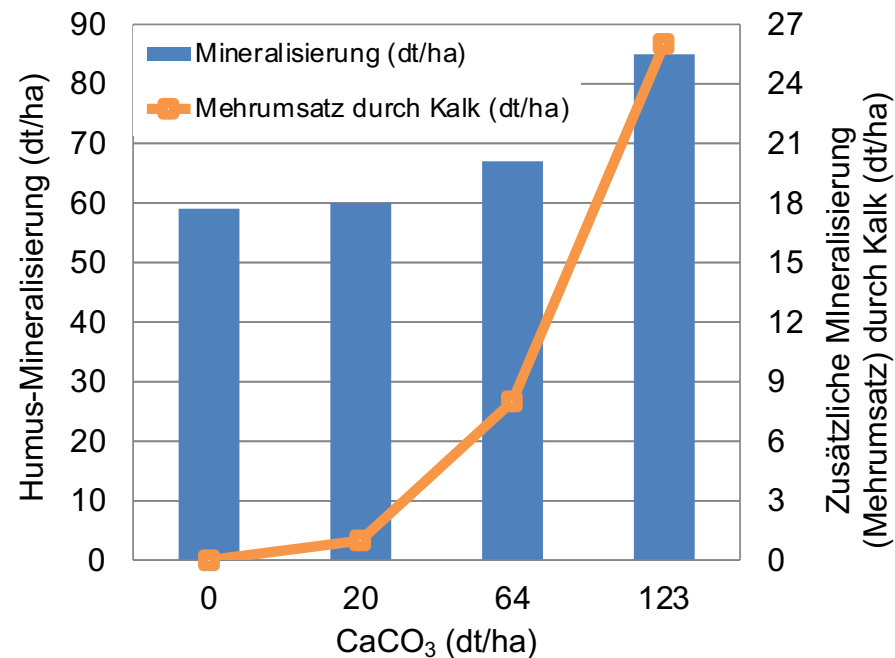
Daten aus Versuchsberichten der LUFA Oldenburg

Einfluss sehr hoher Kalkgaben auf Boden und Ertrag



Daten aus
Versuchsberichten
der LUFA
Oldenburg

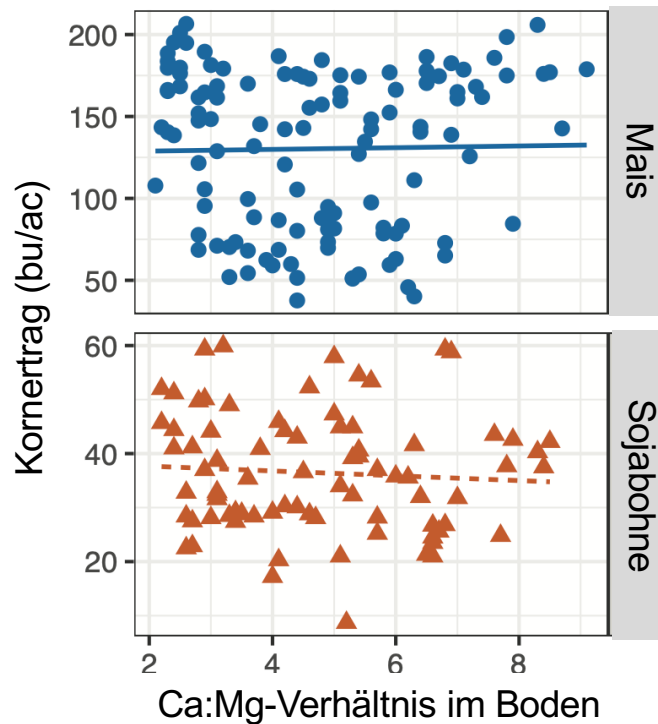
Leichte Böden: Humusabbau bei zu hohen Kalkgaben



Mineralisierung der organischen Substanz
in Abhängigkeit von der Kalkmenge innerhalb
von 13 Monaten (Eschboden, Emsland)

Schachtschabel, P. (1953). Die Umsetzung der organischen Substanz des Bodens in Abhängigkeit von der Bodenreaktion und der Kalkform. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 61(2), 146-163.

pH-Wert: Ertragswirksamer als das Ca:Mg-Verhältnis



Beziehung zwischen Kornertrag und Ca:Mg-Verhältnis im Boden bzw. Boden-pH-Wert
bei Mais (6 Jahre) und Sojabohnen (5 Jahre)

Leiva Soto, A., Culman, S. W., Herms, C., Sprunger, C., & Doohan, D. (2022): Managing soil acidity vs. soil Ca:Mg ratio: What is more important for crop productivity? *Crop, Forage & Turfgrass Management*, DOI: 10.1002/cft2.20210.

Ca:Mg-Verhältnis und Bodenstruktur auf lehmigen Böden

% Ca	0	25	50	75	100
% Mg	100	75	50	25	0

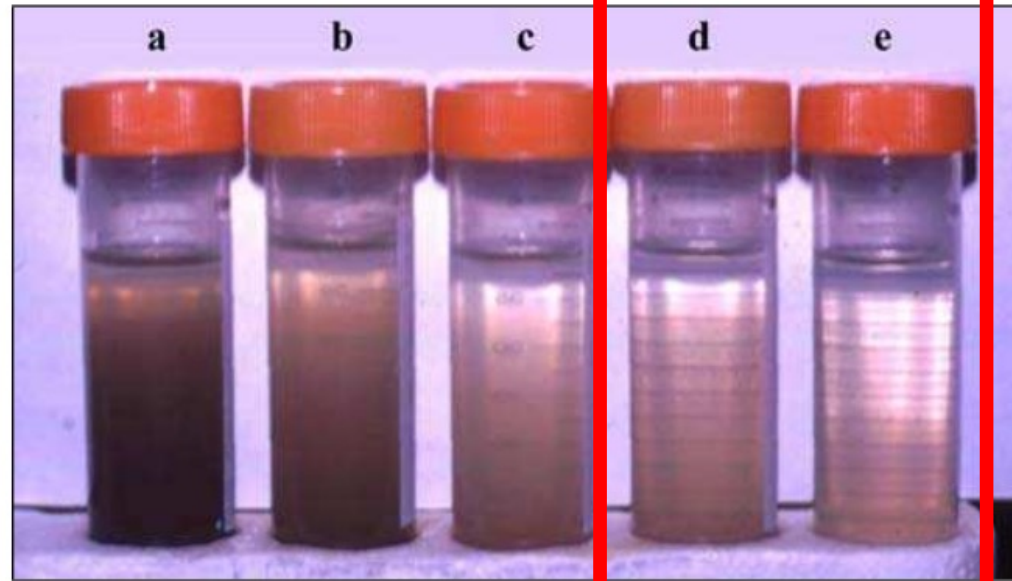


Figure 1. Photograph of the Catlin flocculation series after 24 hours of sedimentation. Treatments are a) 0:100, b) 25:75, c) 50:50, d) 75:25, and e) 100:0 ratios of Ca:Mg in 2.1 mmol L⁻¹ solution of calcium:magnesium sulfate.

Dontsova, K., & Norton, L. D. (1999, May). *Selected papers from the 10 th International Soil Conservation Organisation Meeting. Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory* (pp. 580-585).

MV: Systemvergleich LUFA – Kinsey – AKRA

Versuch Gülzow der LFA: Relativerträge aus den Jahren 2009, 2011 und 2012

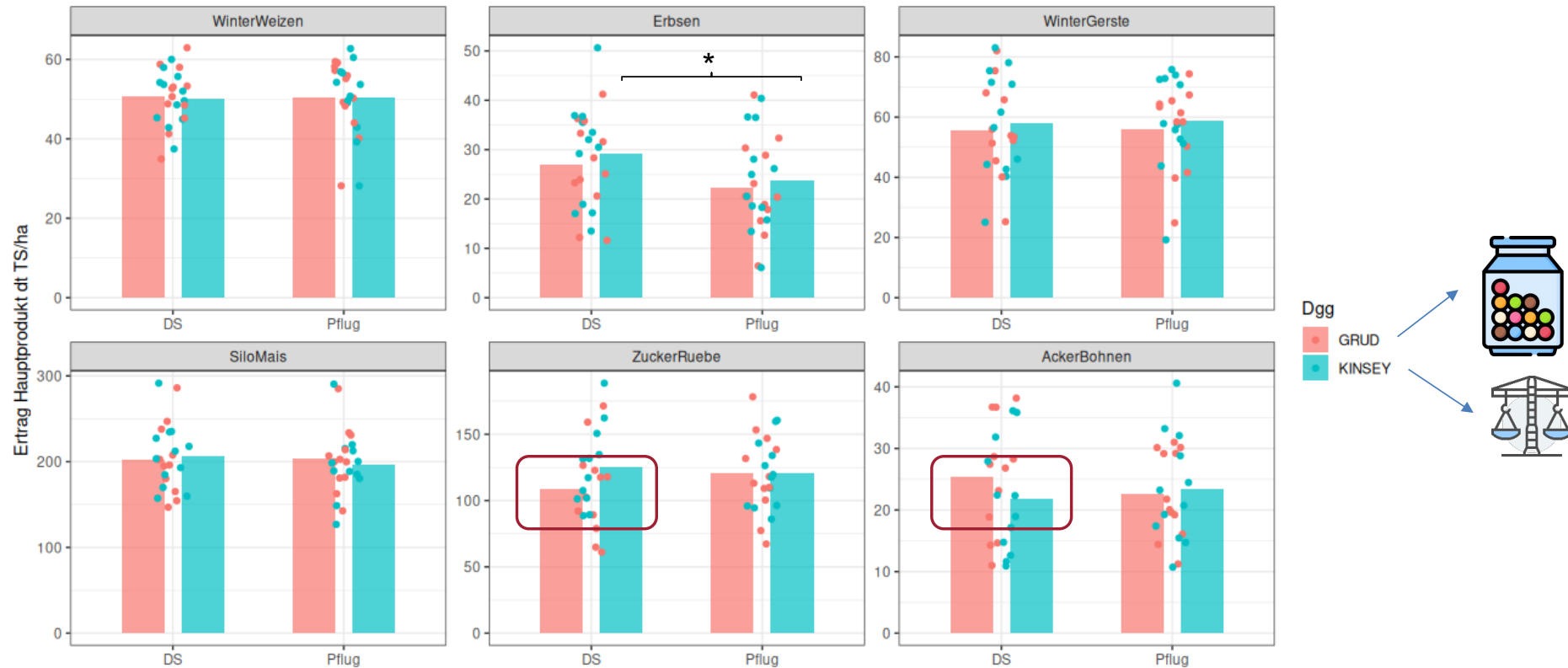
Düngungs- system	Winterweizen 2009	Wintergerste 2011	Winterraps 2012
Unbehandelt	100	100	100
Offizialberatung	94	94	102
System Kinsey	103	98	99
System AKRA	96	94	102

Keine statistisch signifikanten Unterschiede in Ertrag und Qualitätseigenschaften

Nährstoff-Gehaltsklassen zu Versuchsbeginn: A: Mo | B: pH | C: P, K, B | D: Mg | E: Cu, Mn, Zn

Lehmann, E. (2013): Ertrags- und Qualitätswirkung der N-Düngung in Abhängigkeit vom Grunddüngungssystem, <http://www.landwirtschaft-mv.de>

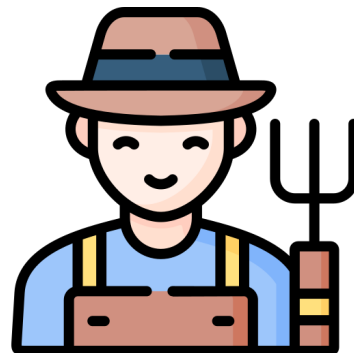
Schweiz: Systemvergleich GRUD – Kinsey



Ertragswirkung von Düngung nach GRUD und Kinsey bei Pflug- und Direktsaat im Dauerversuch GRUD – Kinsey bei Bern (CH) 2010 – 2022

Liebisch, F., Wittwer, R., Pérez y Ropero, M., Meier-Zimmermann, K., Chervet, A. (2025).
Ergebnisse des Düngungs-Vergleichs nach GRUD und Kinsey 2010-2022. Vortrag am 05.09., Agroscope.

Als Landwirt muss ich
an die Kosten denken, denn
die gehen von meinem
Gewinn ab.



Schlaue Leute haben
auch das berechnet.



Vergleich *GRUD* – *Kinsey*: Höhere Kosten durch Soil Balancing

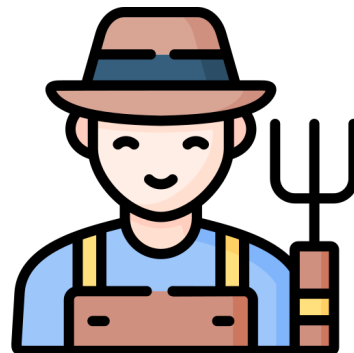
Düngung und Kosten je Fruchtfolge (6 Jahre) im Dauerversuch *GRUD* – *Kinsey* bei Bern (CH) 2010 – 2022

Gedüngte Mengen über 6 Jahre (kg/ha). Mittelwert über 2 Fruchtfolgeperioden.
Kosten in CHF (ohne Bodenanalyse- und Gerätekosten).

Bodenbe- arbeitung	Düngung nach GRUD	Düngung nach Kinsey
Direktsaat	1899	4124
Pflug	2221	4615

Liebisch, F., Wittwer, R., Pérez y Ropero, M., Meier-Zimmermann, K., Chervet, A. (2025).
Ergebnisse des Düngungs-Vergleichs nach *GRUD* und *Kinsey* 2010-2022. Vortrag am 05.09., Agroscope.

Sind die beiden Konzepte
„VDLUFA“ und „Soil
Balancing“ irgendwie
miteinander vergleichbar?



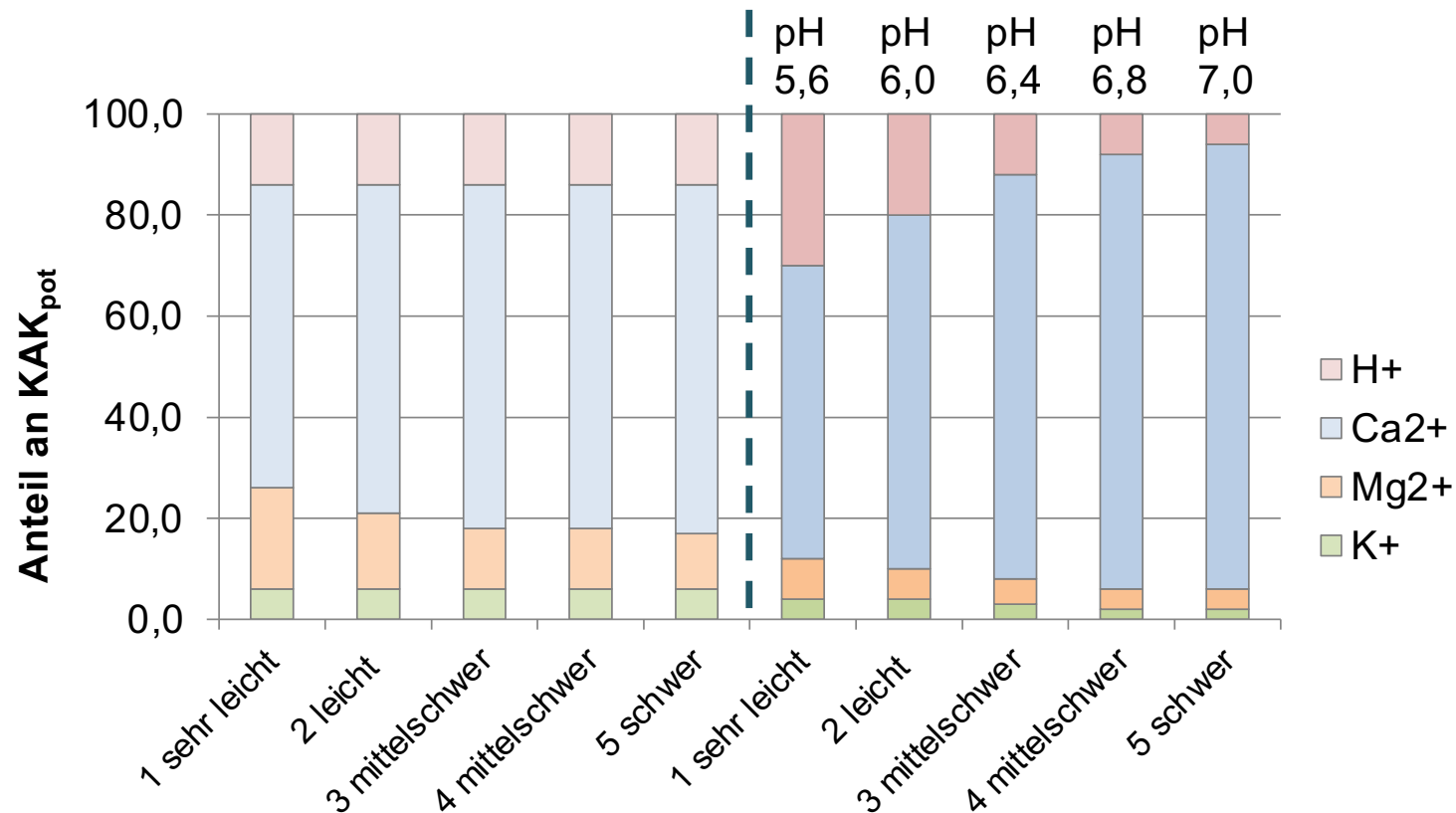
Tatsächlich ist das so. Es
gibt Unterschiede, aber
auch Gemeinsamkeiten.



Kationenbelag in Abhängigkeit von Düngesystem und Bodenart

Soil Balancing: Kationenbelag
wenig abhängig von der Bodenart

VDLUFA: bodenartabhängige
Einstellung des **pH-Wertes**

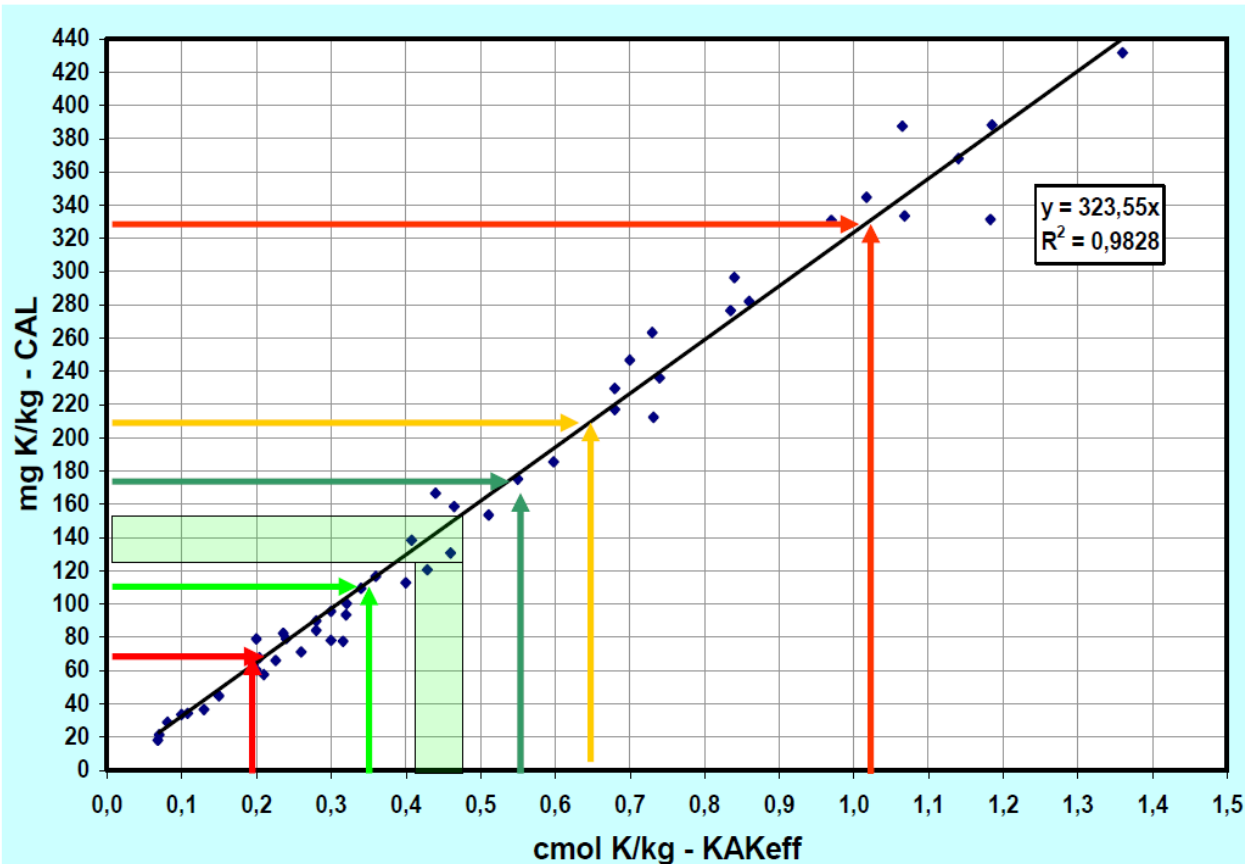


Gilt, wenn pH-Wert und Nährstoffe in Gehaltsklasse C sind!



Nach Egenolf, K. (2024): Vortrag auf der DLG-Wintertagung, Leipzig. Icon: freepik

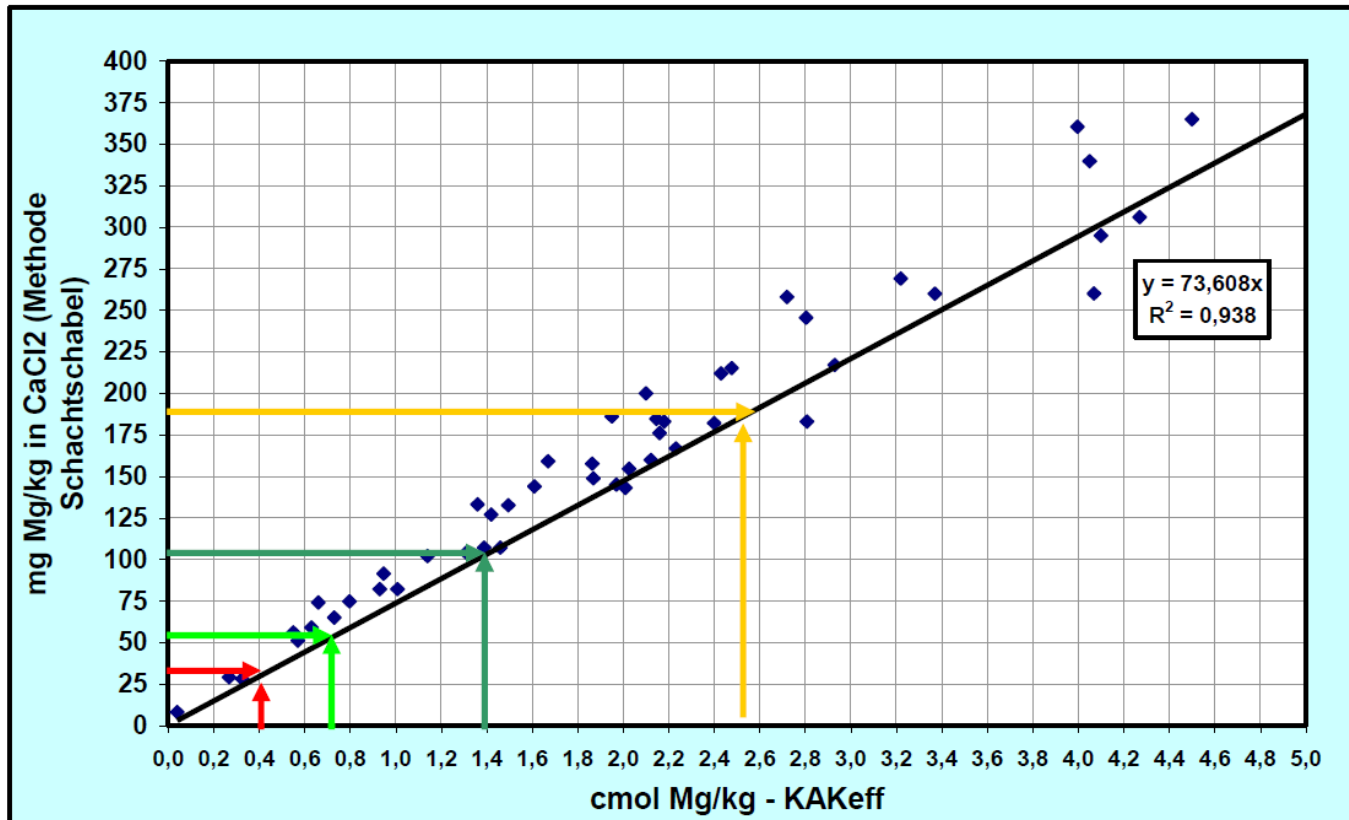
Gemeinsamkeit: Bodenuntersuchung auf K entspricht der K-Sättigung am Austauscher



Beziehung zwischen dem **Kaliumbelag am Austauscher** bei effektiver KAK und dem **K-Gehalt nach Bodenuntersuchung (CAL)** auf mittelschweren Böden Österreichs

Dersch (2015): Möglichkeiten und Grenzen der chemischen Bodenuntersuchung – Kationenaustauschkapazität. BioNet-Ackerbautage, 14.-15.12.2015

Gemeinsamkeit: Bodenuntersuchung auf Mg entspricht der Mg-Sättigung am Austauscher



Beziehung zwischen dem **Magnesiumbelag am Austauscher** bei effektiver KAK und dem **Mg-Gehalt nach Bodenuntersuchung** (CaCl₂) auf mittelschweren Böden Österreichs

Dersch (2015): Möglichkeiten und Grenzen der chemischen Bodenuntersuchung – Kationenaustauschkapazität. BioNet-Ackerbautage, 14.-15.12.2015

K:Mg-Verhältnis: Düngeempfehlung wird angepasst

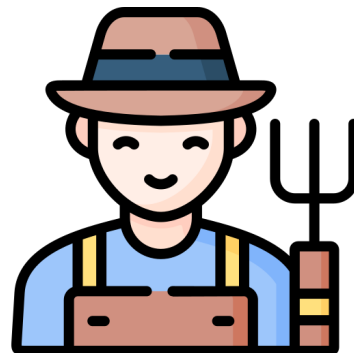
Korrektur der Mg-Gehaltsklassen bei hohen Kaligehalten

Bei K-Gehaltsklasse	A	B	C	D	E
	Mg-Gehaltsklasse				
A - D	A	B	C	D	E
E	A	A	B	C	D
F	A	A	A	B	C

Empfehlungen zur Grunddüngung der LWK Niedersachsen (Stand 09/2020)

https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/11622_Merkblatt_zur_Duengung_mit_Grund-_und_Spurennaehrstoffen

Einige Kollegen sagen, dass
„Soil Balancing“ auch noch
andere Vorteile bringen soll.
Was weißt du denn darüber?



Hier haben Forscher
aus den USA hinter die
Kulissen geschaut.



Weshalb nutzen Landwirte „soil balancing“, obwohl es für die Wirkung keinen wissenschaftlichen Nachweis gibt?



CFAES

OHIO AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER

Ohio State Soil Balancing Project

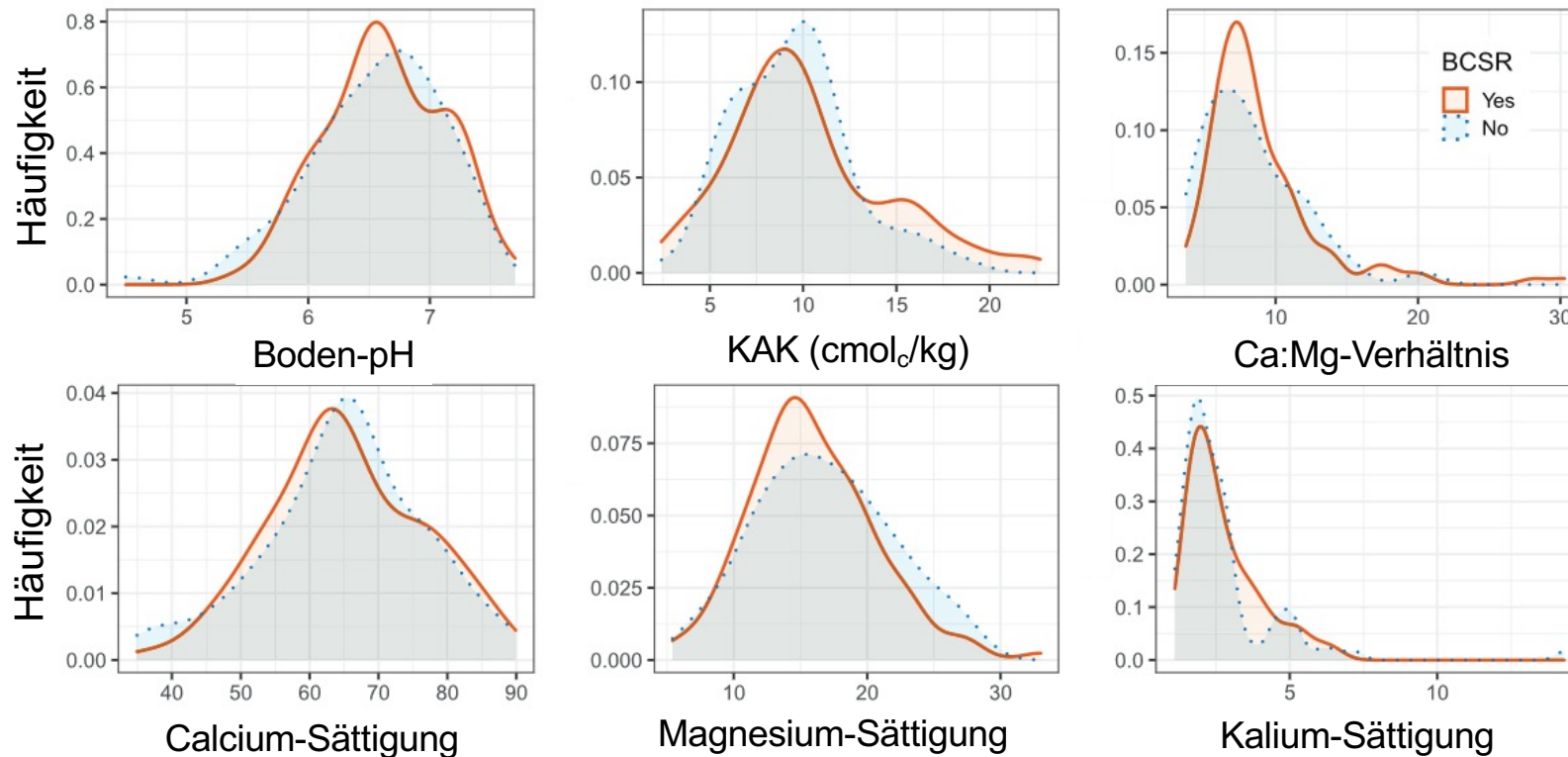
- **Umfragen** und **Interviews** mit Beratern und Bio-Maisanbauern (überwiegend Tierhalter)
- **Versuche** auch zu Fragen, die bisher in diesem Zusammenhang nicht untersucht worden waren:
 - **Bodenfruchtbarkeit**
 - **Produktqualität**

Bericht: https://offer.osu.edu/sites/offer/files/imce/Files/SB%20Practices%20Report_FINAL.pdf
Wissenschaftlicher Artikel: <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10165-y>

Die Ergebnisse des Reports

- In Versuchen **kein Effekt auf Ertrag, Produktqualität und Bodenqualitäts-Indikatoren**
- **pH-Wert**: stärkerer **Einfluss auf den Ertrag** als das Ca:Mg-Verhältnis
- Beobachtungen **mit zunehmendem Ca:Mg-Verhältnis**:
 - *Geringerer Boden-Eindringwiderstand auf einigen Versuchsflächen*
 - *Auf zwei Feldern geringerer Fuchsschwanzbesatz*
 - *Auf Böden mit niedrigerer KAK K-Mangel aufgrund zu hoher Ca-Gaben*
- Soil balancing und mengenbasierte Nährstoffuntersuchung werden **ergänzend angewendet**
- Landwirte verstehen unter „soil balancing“ nicht alleine die Optimierung von Nährstoffverhältnissen, sondern die **Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit** insgesamt
- Forschungsbedarf: Ertragswirkung hinreichend untersucht, andere Parameter sinnvoll

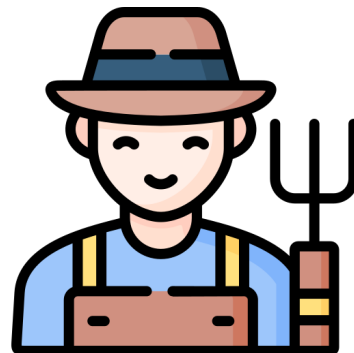
Keine Unterschiede ohne und mit Soil Balancing – führen beide Wege zum gleichen Ziel?



Verteilung der Bodeneigenschaften von Bio-Maisbetrieben (n = 195) basierend auf der **Einhaltung von Soil Balancing („Yes“, rote Linie)** oder **Nicht-Einhaltung („No“, blaue Linie)** durch die Betriebe

Culman, S. W., et al. (2021). *Agronomy Journal*, 113(6), 5623-5634.

**Langsam brummt mir der
Kopf vor so vielen Fakten.
Wie gehe ich denn jetzt am
besten vor?**



**Da habe ich ein paar
wichtige Punkte für dich!**



Gezielt beproben und untersuchen

pH-Wert
Gehaltsklassen
nach VDLUFA

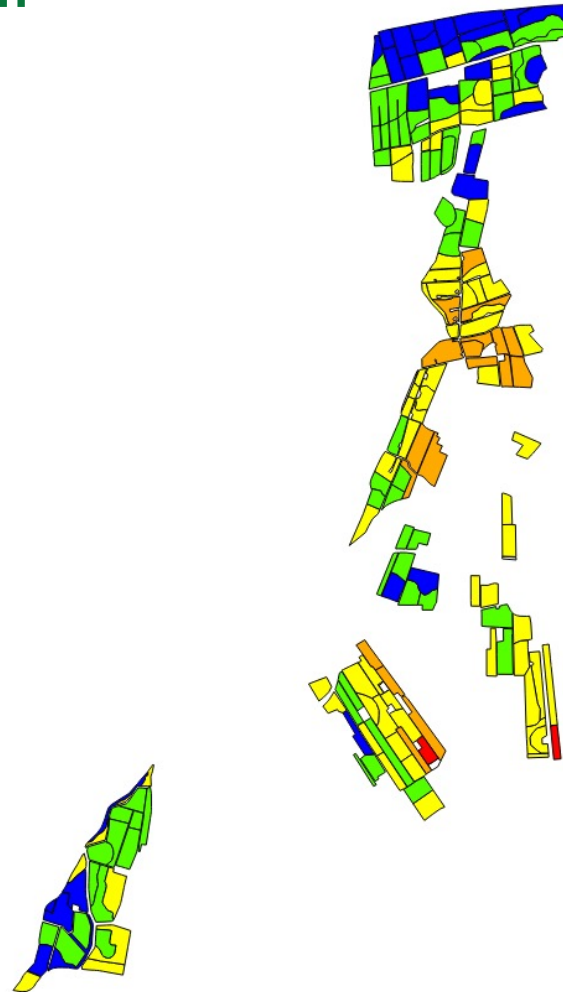
A

B

E

D

E



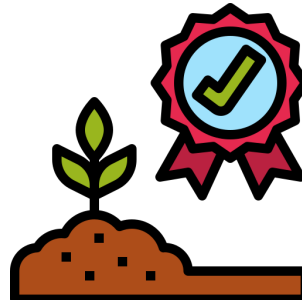
Kontrolle: On-Farm-Versuche und Pflanzenanalyse!



Analysieren



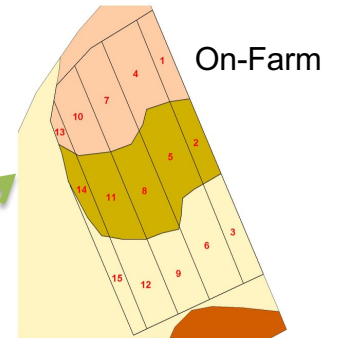
Interpretieren



Umsetzen



Kontrollieren



Icons: freepik; Bilder: F. Lorenz

**Vielleicht sollte ich die
Düngeempfehlungen doch
konsequenter umsetzen...**



Botschaften zum Mitnehmen



Düngeempfehlungen auf Grundlage einer **Bodenanalyse** leitet man am sichersten aus **regionalen Feldversuchen** ab.



Ein **standortgerechter pH-Wert ist wesentlich** und sichert in der Regel eine ausreichende Ca-Versorgung.

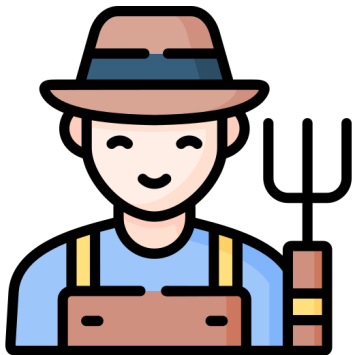


Für hohe Erträge und sichere Qualitäten benötigen wir **Nährstoffe in ausreichender Menge**.

Bodenuntersuchung: Ein Baustein im System *Bodenfruchtbarkeit*



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**



Kontakt:

Dr. Frank Lorenz

LUFA Nord-West

Tel. 0441 801-866

frank.lorenz@lufa-nord-west.de

