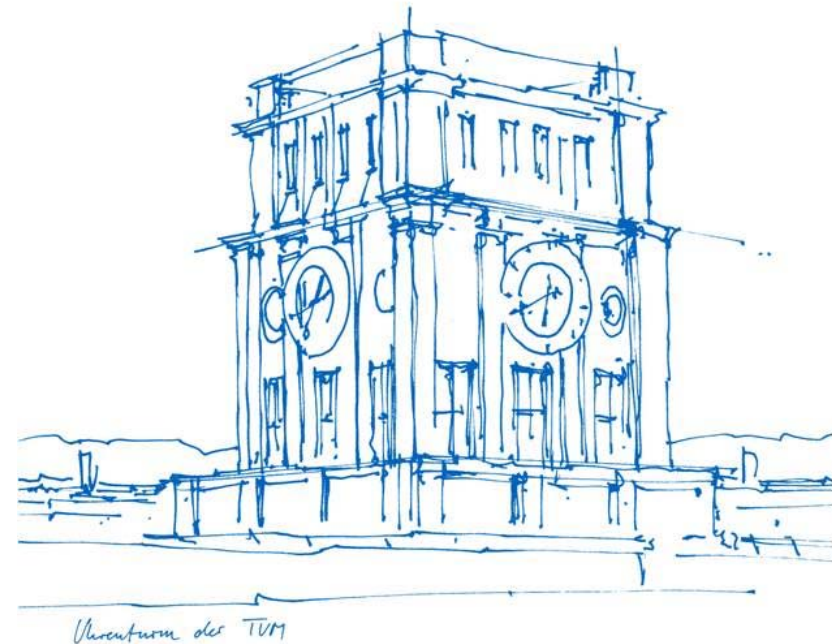


P-Verfügbarkeit mittels Kalkung optimieren

Sabine von Tucher

Professur für Crop Physiology
TUM School of Life Sciences

TU München



Inhalt

Hintergrund

- Das P-Dilemma: zwischen P-Mangel und Eutrophierung
- Bedeutung des pH Werts für die P-Verfügbarkeit des Bodens
- Rolle der Pflanze für die Nutzung von Boden-P

Material und Methoden

- Langzeitfeldexperiment:
Wirkung langjährig unterschiedlicher Kalkung und P-Düngung

Ergebnisse

- Erkenntnisse nach mehr als 40 Jahren

Zusammenfassung und Ausblick

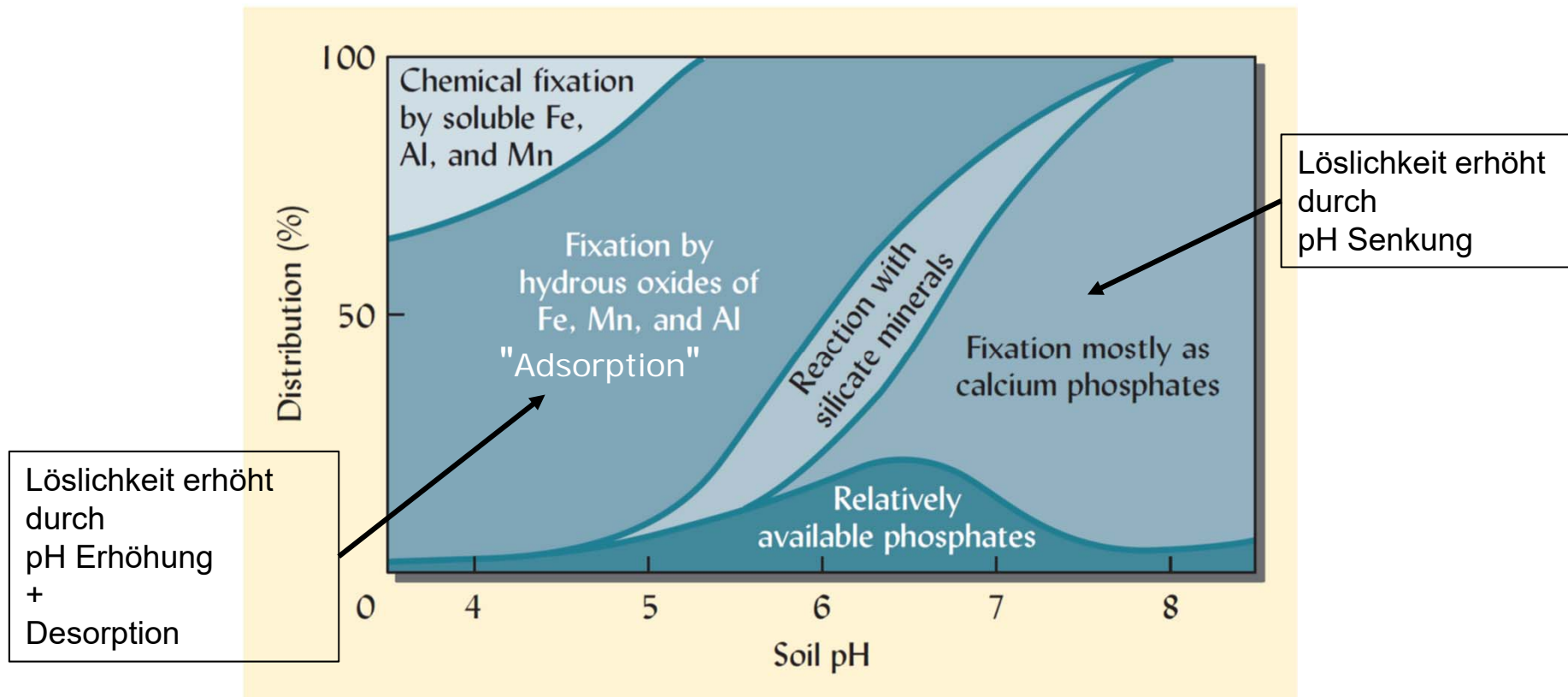
- Was bleibt weiterhin zu tun?

Hintergrund

Das P-Dilemma: zwischen P-Mangel und Eutrophierung

- Rohphosphate sind eine endliche Ressource.
- Natürliche Ökosysteme sind P-limitiert.
Hoch aufgedüngte Böden stellen eine permanent fließende Quelle für P-Verluste in Oberflächengewässer dar.
- P ist ein essenzielles Makroelement,
Bestandteil von Membranen, von DNA/RNA, E-Haushalt (ATP, Glc-Phosphate...),
 P_i Stoffwechselsteuerung...
P-Mangel führt zu erheblichen Ertragseinbußen.
 - Pflanzen haben Strategien entwickelt, um P aus knappen Bodenvorräten zu mobilisieren.
- P wird in den meisten Böden sehr stark an Oberflächen gebunden.
 - Die P-Konzentrationen in der Bodenlösung sehr gering.
 - Gedüngtes P ist im Boden wenig beweglich.
 - Die P-Formen des Bodens und die P-Konzentration der Bodenlösung sind stark vom pH-Wert abhängig.

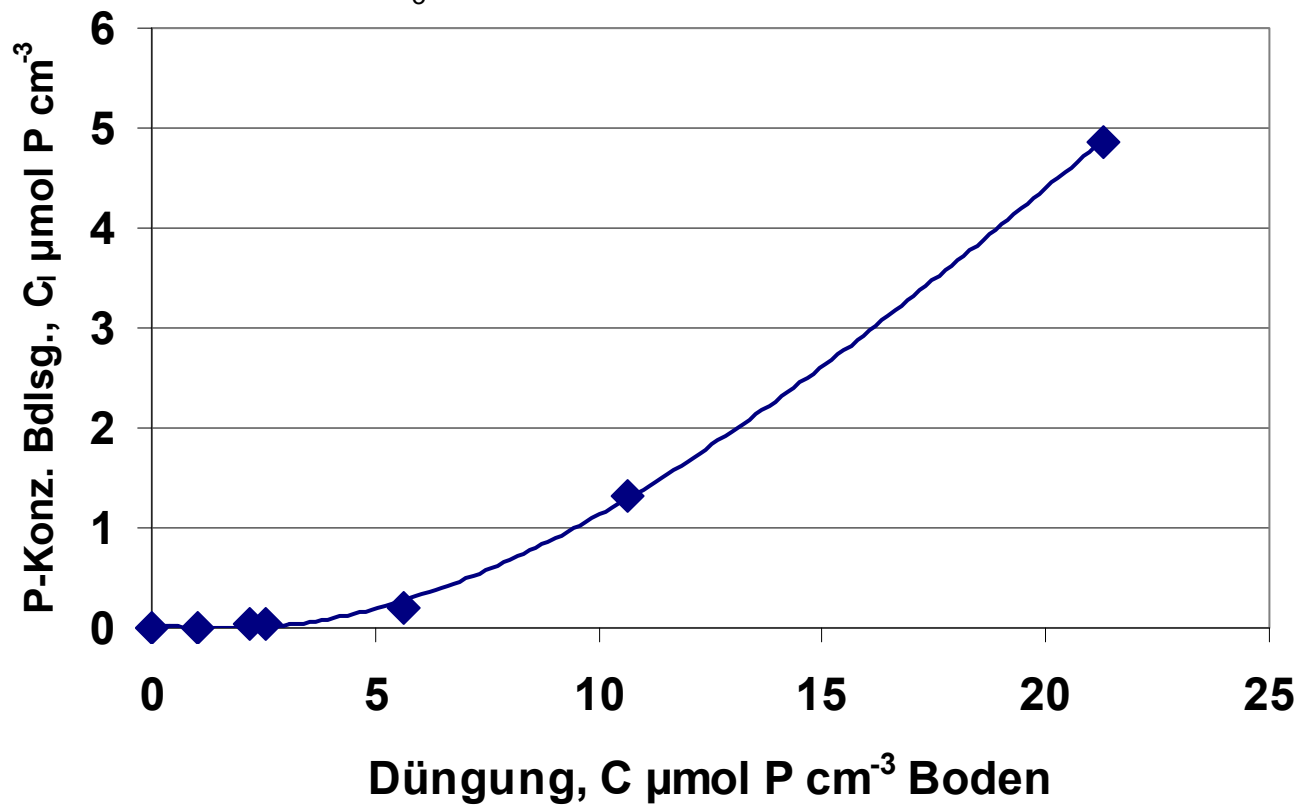
Einfluss des pH Wertes auf die P-Formen des Bodens



Weil, R.R. (2017) Nature and Properties of Soils. 15th edition. Global edition.

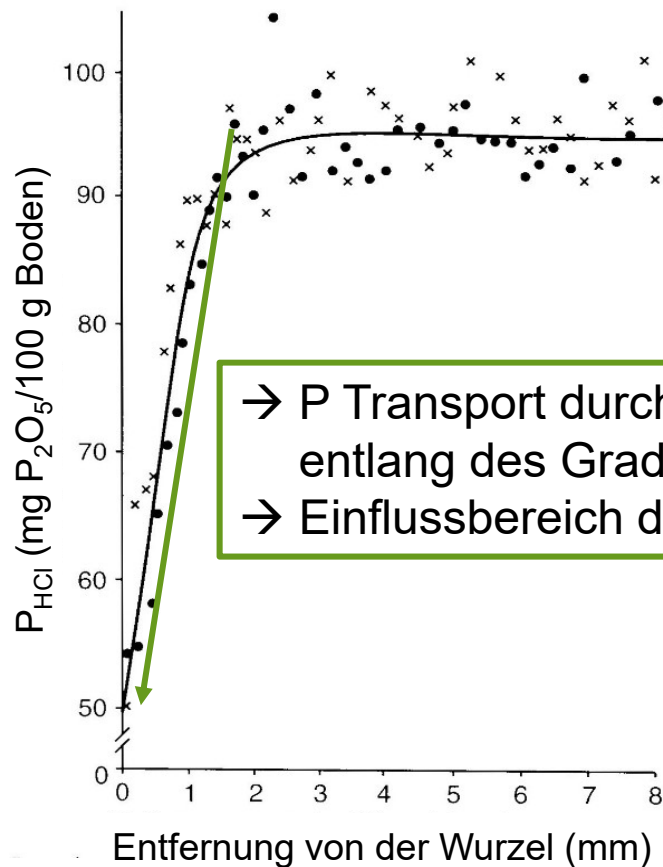
P-Zufuhr und P-Konzentration der Bodenlösung: Pufferung von P in Böden

$b = \Delta C / \Delta C_i$: PO₄ Pettenbrunn 3-400 (1000) Lu pH 5,0
 K üblich 10-50
 NO₃ 1



v. Tucher, 2006

Konsequenzen der hohen Oberflächen-Bindung: räumliche Beweglichkeit und Zugänglichkeit für die Wurzel stark eingeschränkt

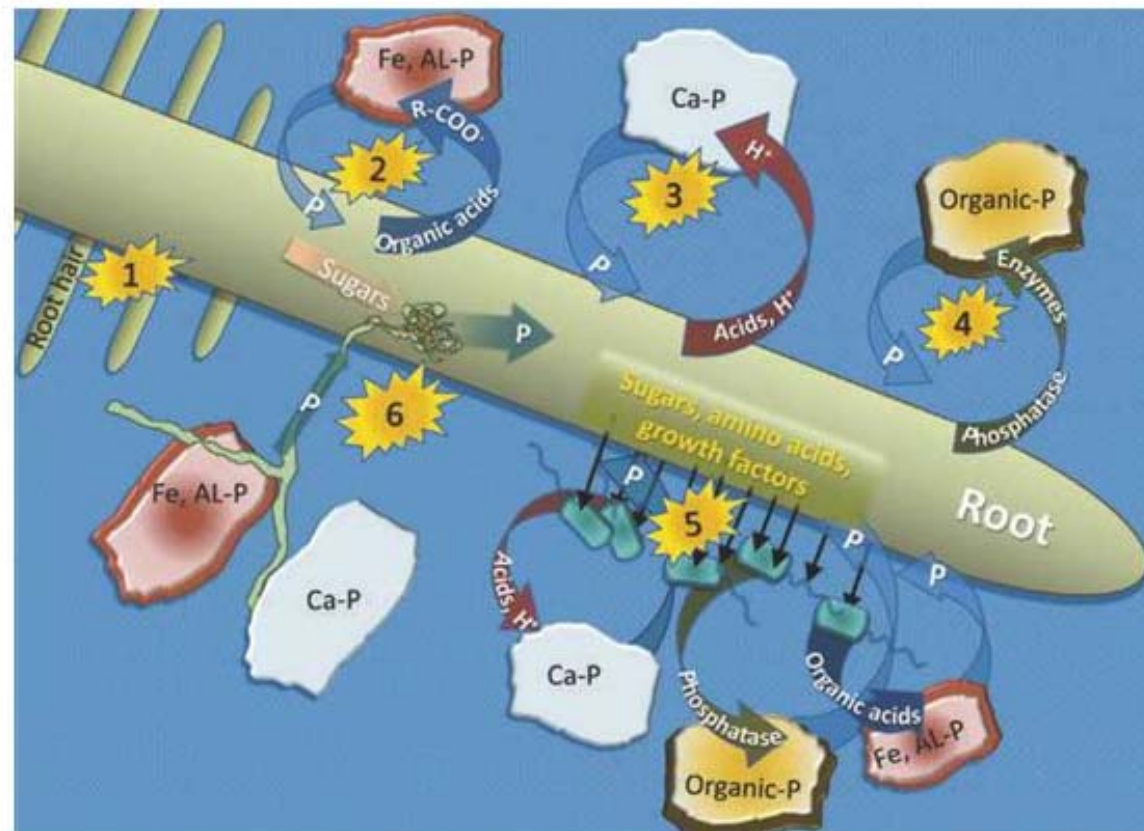


Phosphatverarmung in der Rhizosphäre von Rapswurzeln

(Kaselowsky, 1985)

Einfluss der Pflanze und der Bodenmikroorganismen auf die P-Verfügbarkeit

Strategien der P-Mobilisierung durch die Pflanze



- 1: Vergrößerung der Wurzeloberfläche
- 2: Chelatisierung von Fe, Al
- 3: Lösung von Ca-P durch saure Exsudate
- 4: Ausscheidung von Phosphatasen
- 5: Stimulierung von Mikroorganismen durch Wurzelausscheidungen
- 6: Etablierung einer Mykorrhiza

Weil, R.R. (2017) Nature and Properties of Soils. 15th edition. Global edition.

Konsequenzen für die Durchführung von Versuchen

1. Durch die starke Sorption und geringe räumliche Beweglichkeit von P wird ein längerer Zeitraum benötigt, um Versuchsflächen in einen stabilen Zustand mit unterschiedlicher P-Versorgung zu bringen.
2. Der pH-Wert hat einen bedeutenden Einfluss auf das Verhalten von P im Boden.
3. Die Kultur spielt für Fragen zur P-Verfügbarkeit eine entscheidende Rolle.

→ **Ortsfeste Langzeitfeldexperimente**

Material und Methoden

Langzeitfeldexperiment:

Wirkung langjährig unterschiedlicher Kalkung und P-Düngung

Anlagejahr: 1978

Standort: Dürnast bei Freising, Tertiärhügelland, schluffiger Lehm

Faktor 1 Kalkung:

zunächst Einfluss der Kalkformen Hüttenkalk und kohlenaurer Kalk seit 1990 Kalkungshöhe:

ohne Kalk, Ziel pH (1) 6,2-6,4, Ziel pH (2) 6,6-6,8

Faktor 2 P-Düngung: ohne P, 22 und 44 kg P/ha u. Jahr

→ 1,7-5,2 mg CAL-P / 100 g Boden in 0-25 cm

Fruchtfolge:

Zucker-/Futtermübe, Winter- (Sommer-) Weizen, Winter- (Sommer-) Gerste, Mais ab 2017

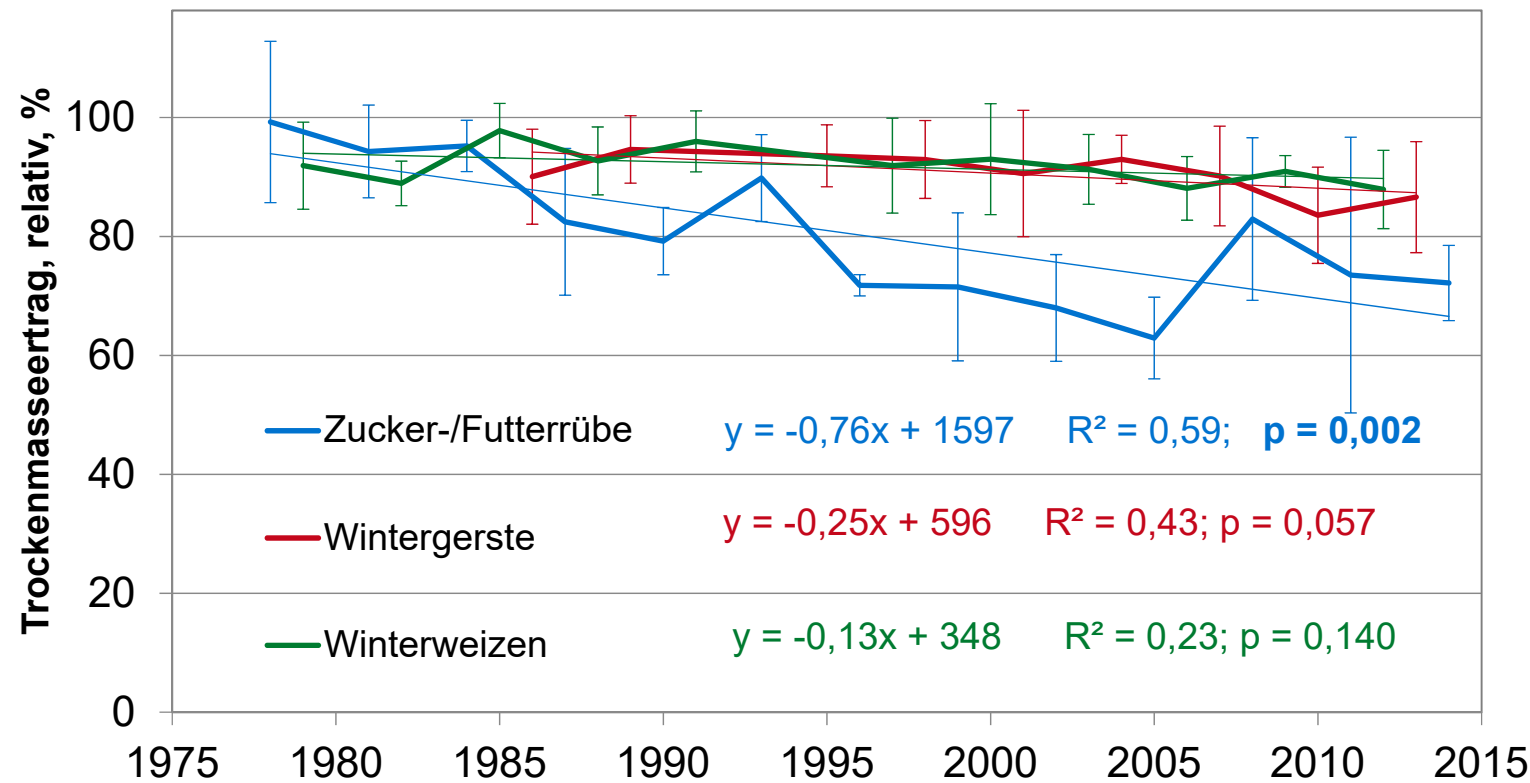
Versorgung mit N, K, u.a. Mineralstoffen bedarfsgerecht;

N Niveau: 130 (ZR) – 180 (WW) kg N/ha.

Ergebnisse

Langzeitentwicklung der Erträge und P Abfuhr

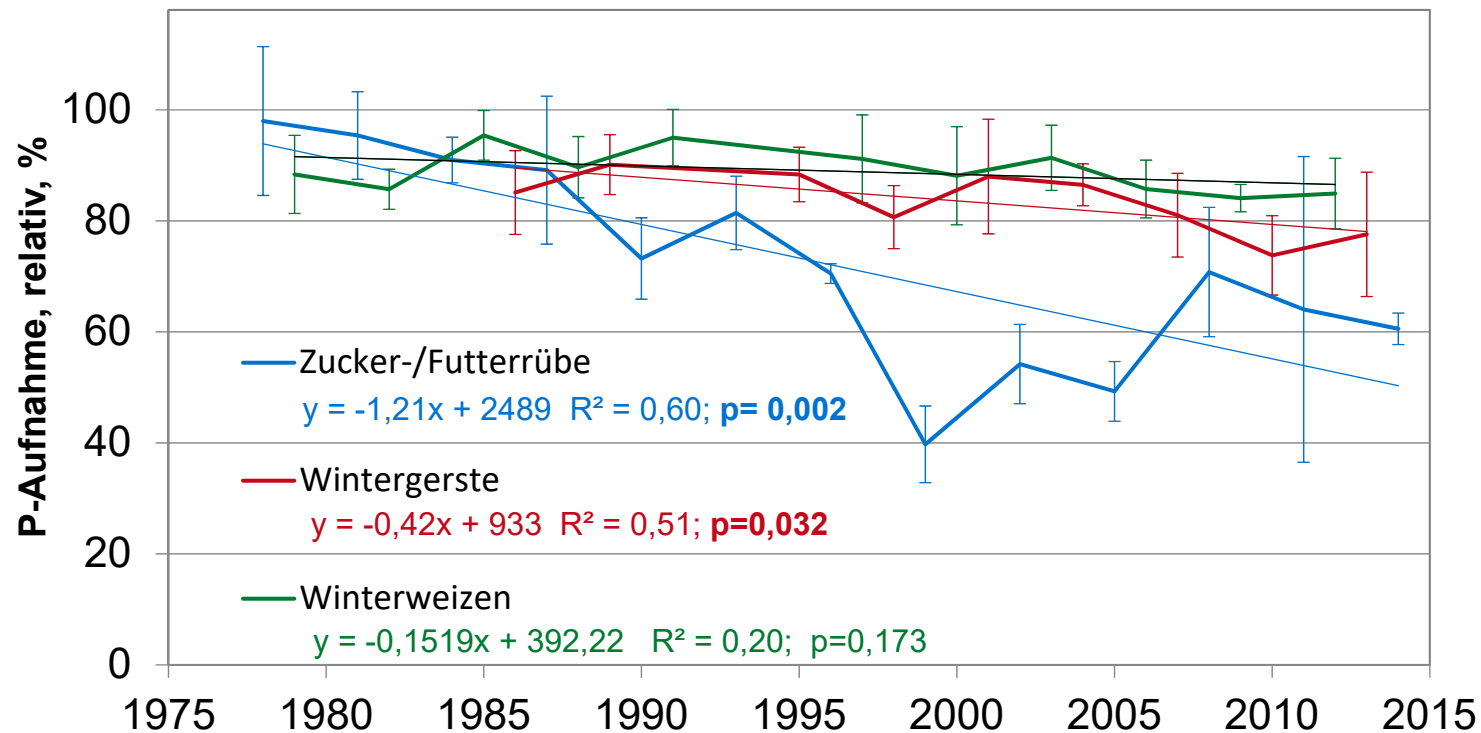
Einfluss unterlassener P-Düngung auf die Erträge im Vergleich zur optimalen P-Düngung (=100%) auf Ziel pH 6,2-6,4



Hörndl et al., 2018

Langzeitentwicklung der Erträge und P Abfuhr

Einfluss unterlassener P-Düngung auf die P-Abfuhr (Hauptprodukt) im Vergleich zur optimalen P-Düngung (=100%) auf Ziel pH 6,2-6,4



nur Zucker-/Futterrübe und Gerste sinken signifikant durch P0

=> Arten unterscheiden sich deutlich in ihrer Reaktion auf P0 bei optimalem pH

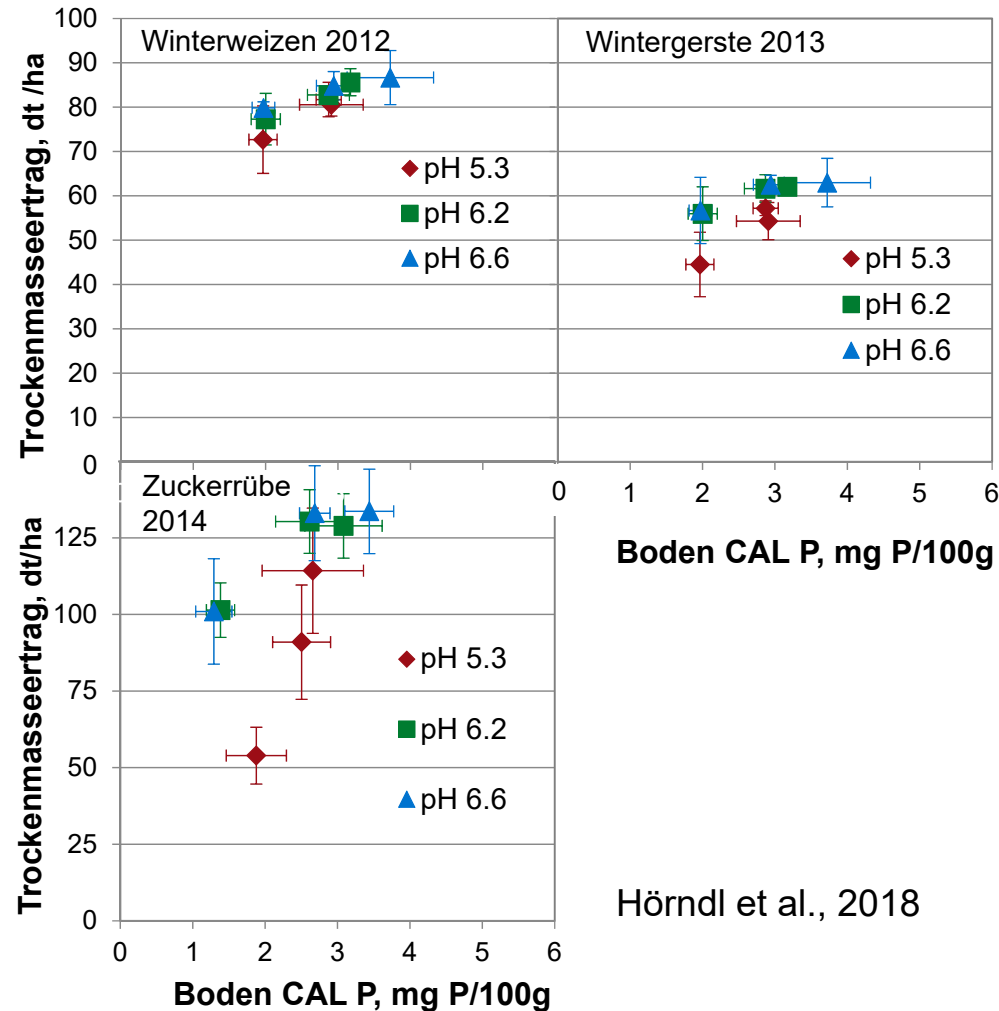
Hörndl et al., 2018

Langzeitwirkung (1978-2014) auf den Ertrag als Folge unterlassener P-Düngung **mit** (Ziel pH 6,0-6,4) und **ohne** Kalkung (pH 4,7-5,3)

Mittelwerte und Vertrauensintervalle (VI) der Relativerträge der letzten 9 Fruchtfolgen; P-gedüngte und gekalkte Behandlungen = 100%) (Hörndl et al., 2018)

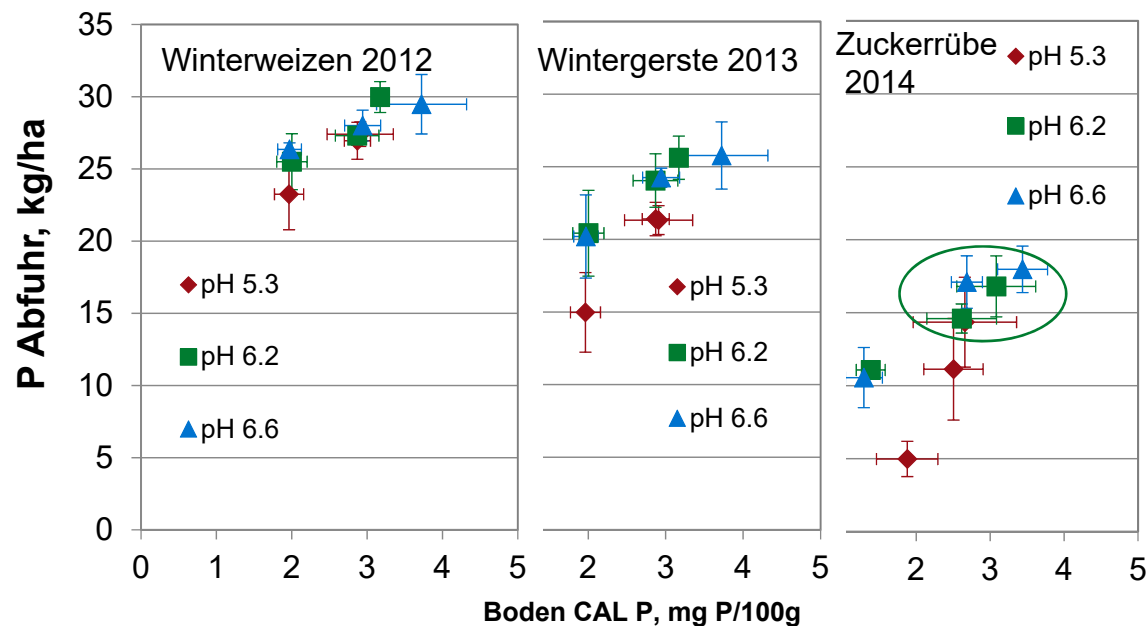
	Kalkung	Rel. TM-Ertrag	
	±	Mittelwert	VI
Zucker-/Futtermübe	+	74,4	70,1 - 78,7
	-	45,7	40,9 - 50,5
Winterweizen	+	92,2	90,1 - 94,3
	-	86,1	83,2 - 89,1
Wintergerste	+	90,6	88,0 - 93,1
	-	82,1	77,8 - 86,4

Einfluss langfristig unterschiedlicher P-Düngung und Kalkung auf die Beziehung zwischen Boden-P-Gehalt und Trockenmasseertrag von Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe der Jahre 2012-2014



Hörndl et al., 2018

Einfluss langfristig unterschiedlicher P-Düngung und Kalkung auf die Beziehung zwischen Boden-P-Gehalt und P-Abfuhr von Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe der Jahre 2012-2014

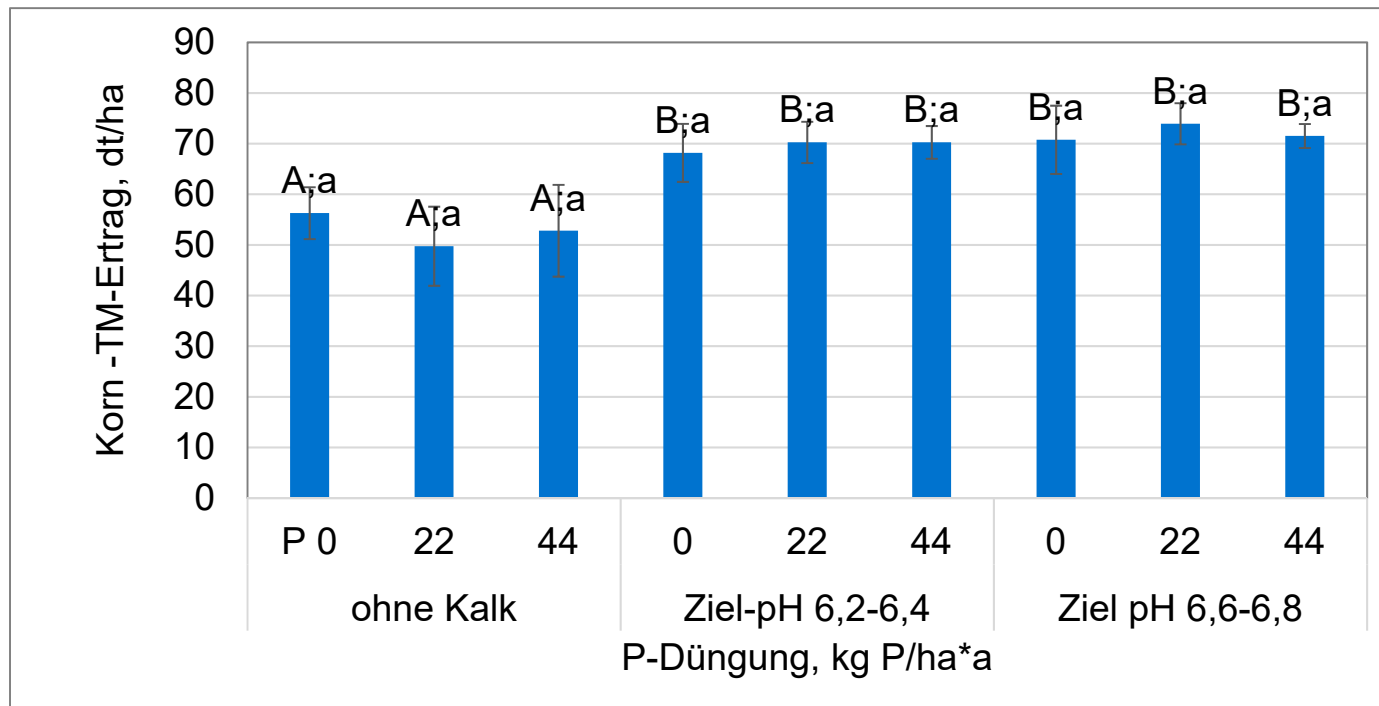


Hörndl et al., 2018

- Pflanzenarten unterscheiden sich sowohl in ihrer Sensitivität auf P-Gehalte als auch auf den pH-Wert des Bodens
- für P-sensitive Kulturen reicht bei suboptimalem pH die P-Düngung allein nicht, es muss auch gekalkt werden
- allein durch Kalkung wird Boden-P mobilisiert
- bei optimalen pH-Werten reicht ein geringerer P-Gehalt für hohe P-Aufnahmen

Effekt der Kalkung auf die P-Gehalte der Pflanze als Früh-Indikator knapper P-Versorgung

Kornertrag von Wintergerste 2021 nach langjährig unterschiedlicher Kalkung und Düngung

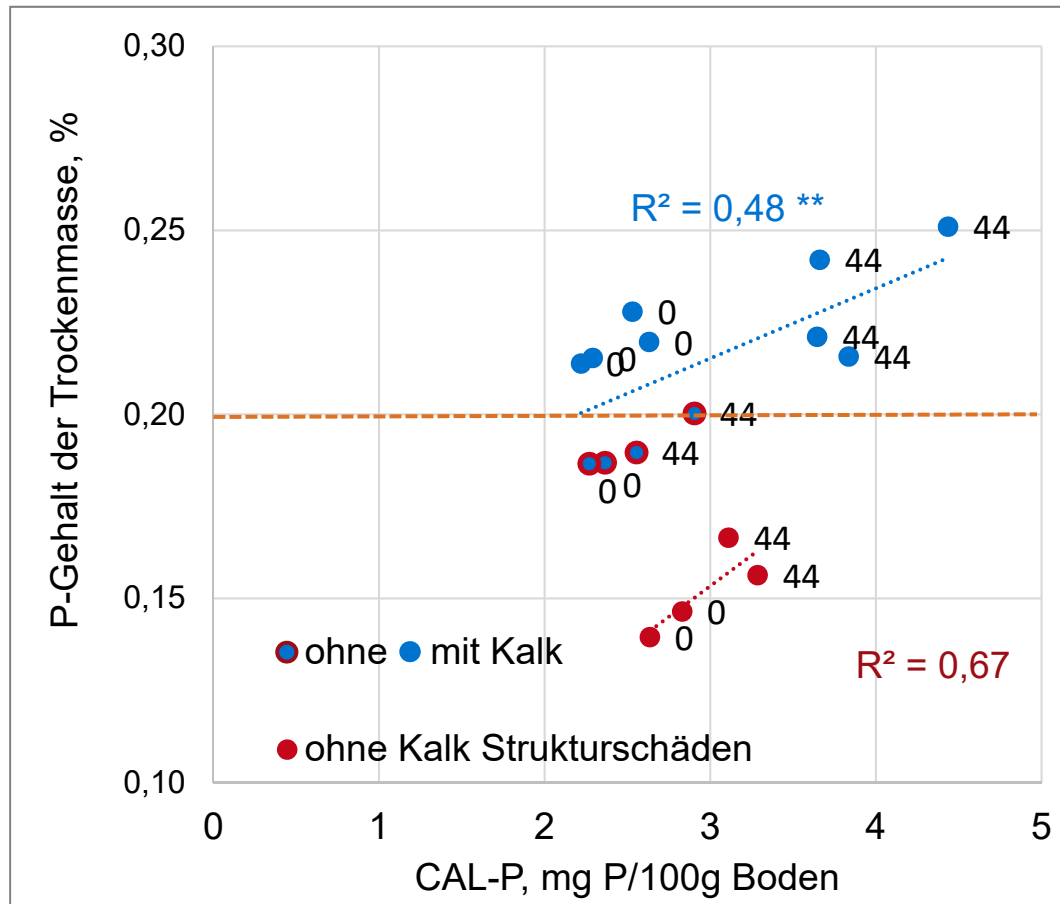


Großbuchstaben vergleichen Kalkwirkung; Kleinbuchstaben vergleichen P-Düngung

v. Tucher et al., 2022

→ Kornerträge reagieren meist wenig sensitiv für P-Düngung oder P-Gehalte der Böden

Gesamt P-Gehalt der Sprossbiomasse von Wintergerste 2021 nach langjährig unterschiedlicher Kalkung und P-Düngung (BBCH 59)



Bereich ausreichender P-Gehalte
 in der Gesamtpflanze in diesem
 Stadium:
 0,2 bis 0,5 % P in dry matter

v. Tucher et al., 2022

Bodenoberfläche im Versuch: Langzeitwirkung von Kalkung und P-Düngung Zustand 29.10.2015

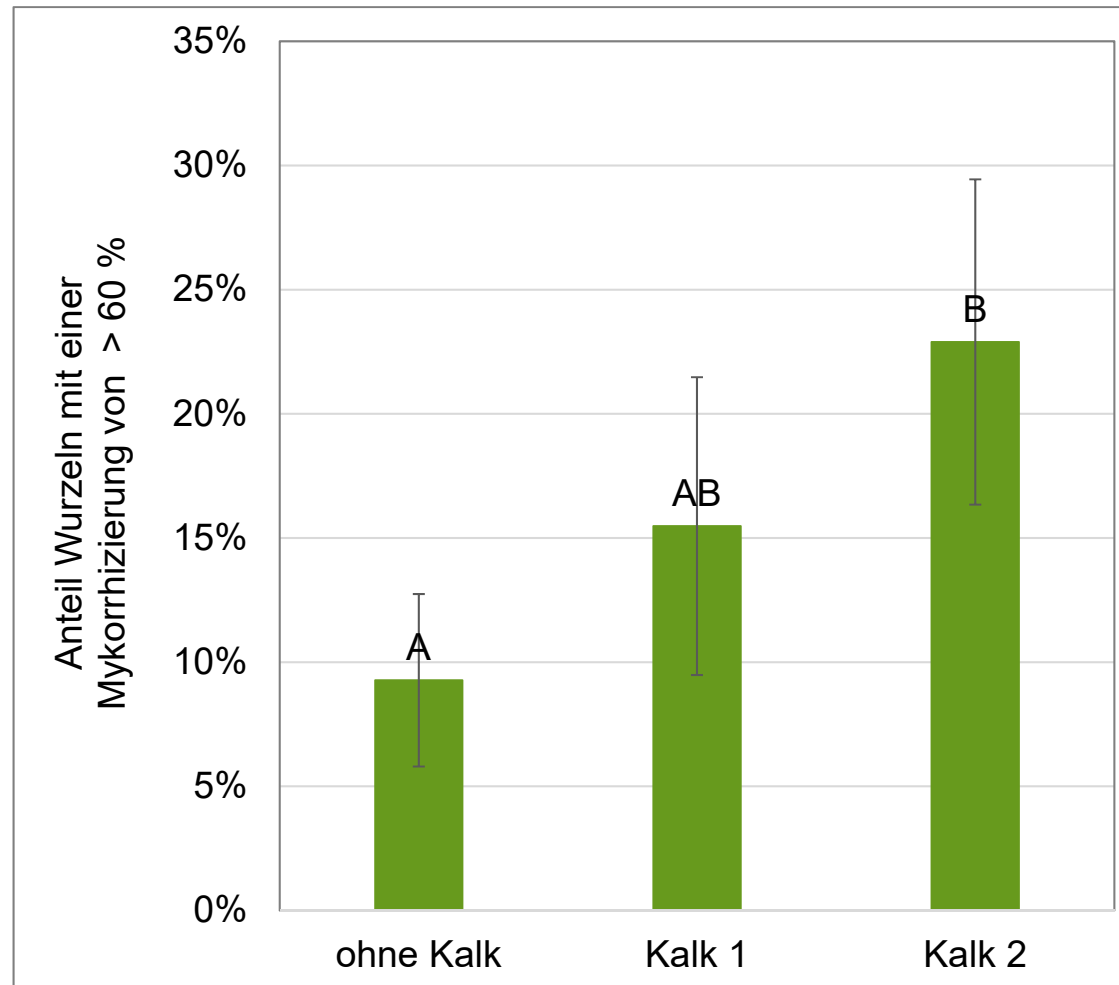
59 mm Niederschlag zwischen 04.10.-18.10.2015; trocken ab 19.10.2015

ohne Kalkung

Ziel-pH 6,3

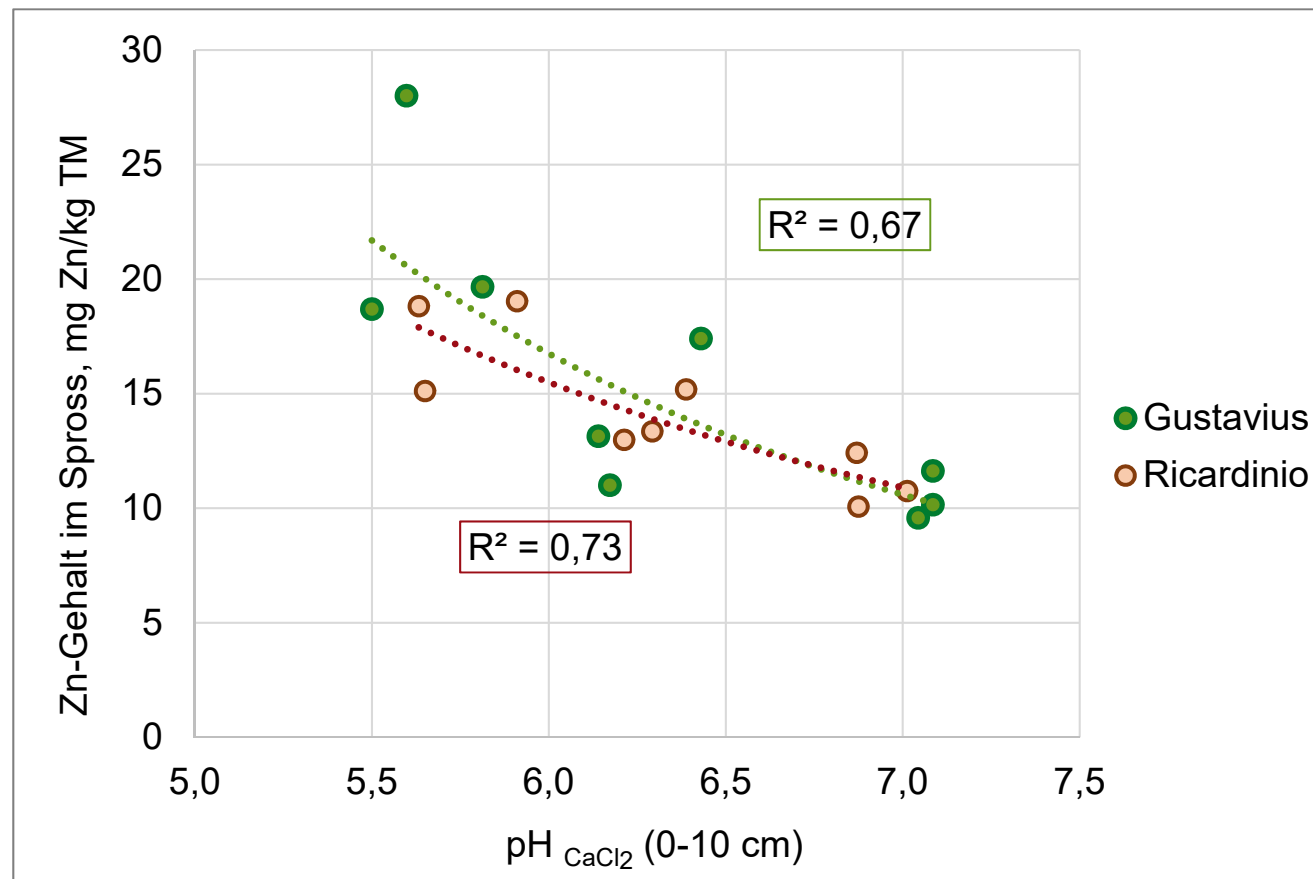


Effekt der Kalkung auf die Mykorrhizierung der Wurzel von Mais BBCH 13-15 (0-10 cm Tiefe, Mittelwert über Sorten und P-Düngestufen)



Thomopoulos, 2023

Einfluss hoher pH Werte in der obersten Bodenschicht auf den Zn-Gehalt der Biomasse von Mais (BBCH 13-15)



v. Tucher, unveröff.

Zn-Mangel an Mais Juli 2022



Zusammenfassung

- Der pH-Wert des Bodens hat einen erheblichen Einfluss auf die P-Verfügbarkeit für die Pflanze.
 - Die Wirkung einer P-Düngung ist auf Böden mit zu geringen pH-Werten unzureichend.
→ Auf solchen Böden ist zunächst der pH-Wert zu optimieren.
 - Pflanzenarten unterscheiden sich sowohl in ihrer Reaktion auf geringe P-Verfügbarkeit als auch auf standortspezifisch zu geringe pH-Werte.
 - Unzureichende Kalkung insbesondere in Kombination mit Strukturschäden reduziert das P-Aneignungsvermögen wachsender Pflanzen.
 - Zu hohe pH-Werte beeinträchtigen die Zn-Verfügbarkeit von Mais in erheblichem Maße.
- Standortspezifisch optimale Kalkung reduziert die für optimales Wachstum notwendigen P-Gehalte des Bodens.
- Geringere P-Gehalte der Böden verringern das P-Verlustrisiko in Oberflächengewässern.

Ausblick was bleibt weiterhin zu tun?

Klimawandel

P-Düngeempfehlung

- Werden Getreide weiterhin tolerant gegenüber weiter sinkenden P-Gehalten bleiben?
- Kann durch die Bewertung des P-Status der pflanzlichen Biomasse die P-Düngeempfehlung verbessert werden?
- Sollte der Boden-pH-Wert in die P-Düngeempfehlung einbezogen werden?
- ...

Bodenmikrobiologie

- Welche Rolle spielt die Mykorrhizierung für die Verfügbarkeit von P auf diesem Standort?
- Welchen Einfluss haben P-Gehalte des Bodens und Kalkung
 - auf die Mykorrhizierung
 - und andere bodenmikrobiologische Parameter des P- (N, C, S-) Umsatzes?
-

N-Ausnutzung und N-Emissionen

- Welchen Einfluss hat eine Kalkung durch Verbesserung der Bodenstruktur
 - auf die Emission an reaktiven N-Verbindungen
 - Ausnutzung an Düngestickstoff?
-

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Vielen Dank an alle Unterstützer und Förderer!

- Lehrstuhl für Pflanzenernährung TUM
- Professur für Crop Physiology TUM



Düngekalk-Hauptgemeinschaft
Bayerische Düngekalk



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung