



# Phosphataneignung verschiedener Kulturpflanzen und Konsequenzen für die Bodenanalytik

**Sven Schubert**

Institut für Pflanzenernährung (iFZ)  
Justus-Liebig-Universität  
Heinrich-Buff-Ring 26-32  
35392 Gießen

<http://www.uni-giessen.de/fbz/fb09/institute/plant-nutrition/>  
E-Mail: [sven.schubert@ernaehrung.uni-giessen.de](mailto:sven.schubert@ernaehrung.uni-giessen.de)

# Nährstoffaneignung von Pflanzen erfordert drei verschiedene Prozesse:

## 1. Nährstoffaufnahme

→ Überwindung der Plasmamembran von Wurzelzellen ( $H^+$ /Phosphat-Cotransport)

## 2. Nährstofftransport zur Wurzeloberfläche

→ Für Phosphat hauptsächlich Diffusion

## 3. Nährstoffmobilisierung

→ Sekretion von Protonen, Hydroxylionen, organischen Anionen, Elektronen, Phenolen, Phosphatasen

# Nährstoffaneignung von Pflanzen erfordert drei verschiedene Prozesse:

## 1. Nährstoffaufnahme

→ Überwindung der Plasmamembran von Wurzelzellen ( $H^+$ /Phosphat-Cotransport)

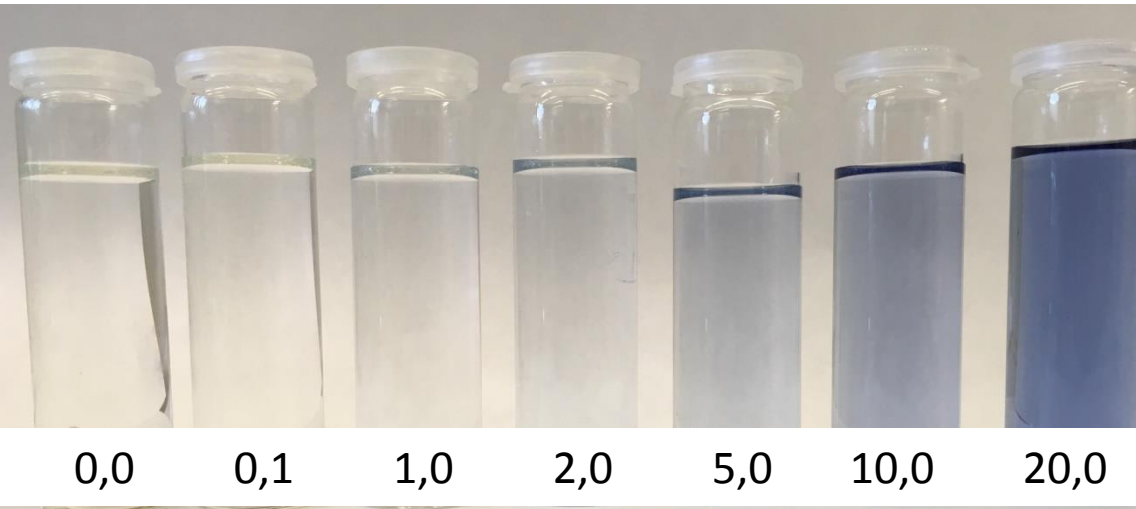
## 2. Nährstofftransport zur Wurzeloberfläche

→ Für Phosphat hauptsächlich Diffusion

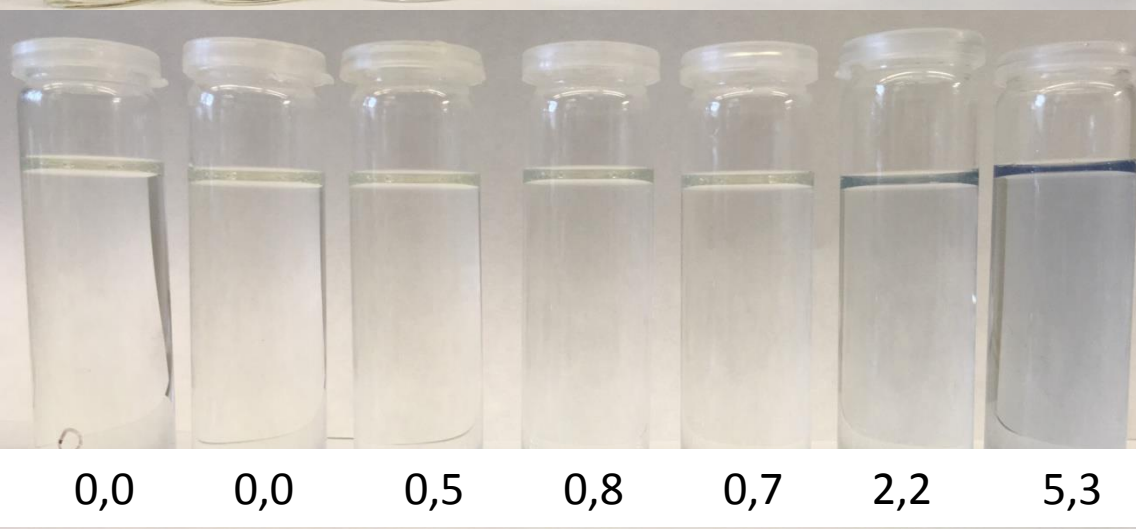
## 3. Nährstoffmobilisierung

→ Sekretion von Protonen, Hydroxylionen, organischen Anionen, Elektronen, Phenolen, Phosphatasen

# Phosphat-Aufnahme junger Maiskeimlinge aus einem Testmedium ( $0,1 \mu\text{M CaCl}_2 + x \mu\text{M KH}_2\text{PO}_4$ ) während einer Testphase von 10 h



Vor dem Experiment



Nach dem Experiment

$a_{\min}$ -Wert:  $< 0,1 \mu\text{M}$ )

# Nährstoffaneignung von Pflanzen erfordert drei verschiedene Prozesse:

## 1. Nährstoffaufnahme

→ Überwindung der Plasmamembran von Wurzelzellen ( $H^+$ /Phosphat-Cotransport)

## 2. Nährstofftransport zur Wurzeloberfläche

→ Für Phosphat hauptsächlich Diffusion

## 3. Nährstoffmobilisierung

→ Sekretion von Protonen, Hydroxylionen, organischen Anionen, Elektronen, Phenolen, Phosphatasen

# Die Diffusion von Nährstoffen wird durch das Fick'sche Diffusionsgesetz beschrieben:

$$F = -D \frac{da}{dx}$$

**F = Diffusion**

D = Diffusionskoeffizient

a = Ionenaktivität

x = Abstand zur Wurzel

da/dx = Aktivitätsgradient

## Voraussetzungen für guten Transport zur Wurzel:

- Niedriger  $a_{\min}$ -Wert (erfüllt)
- Große Wurzeloberfläche (Gräser, Mykorrhiza)
- Gute Bodenstruktur (!)
- Gute Wasserversorgung des Bodens (!)

# Diffusionskoeffizienten verschiedener Medien ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )

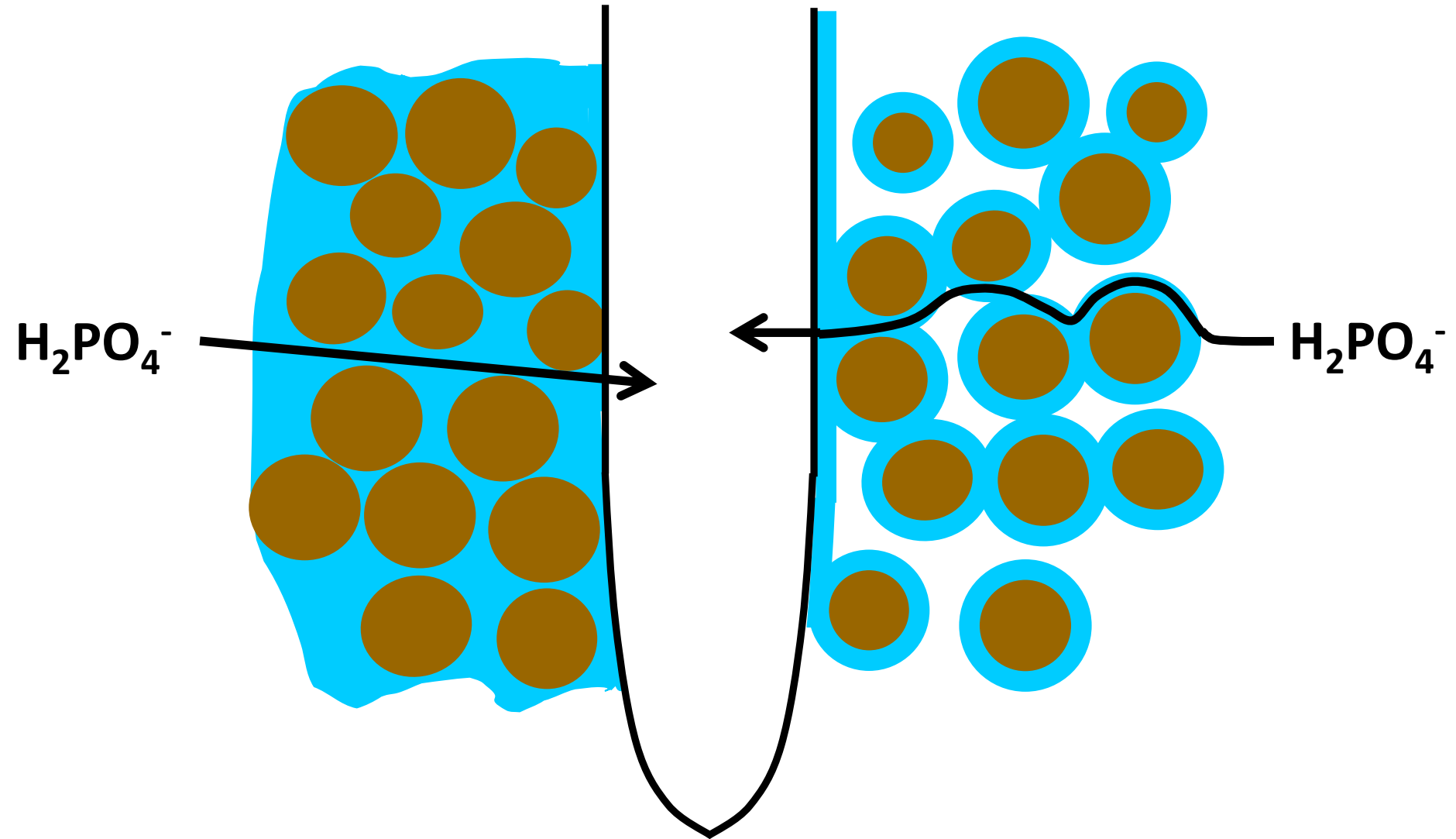
(Nye 1979)

---

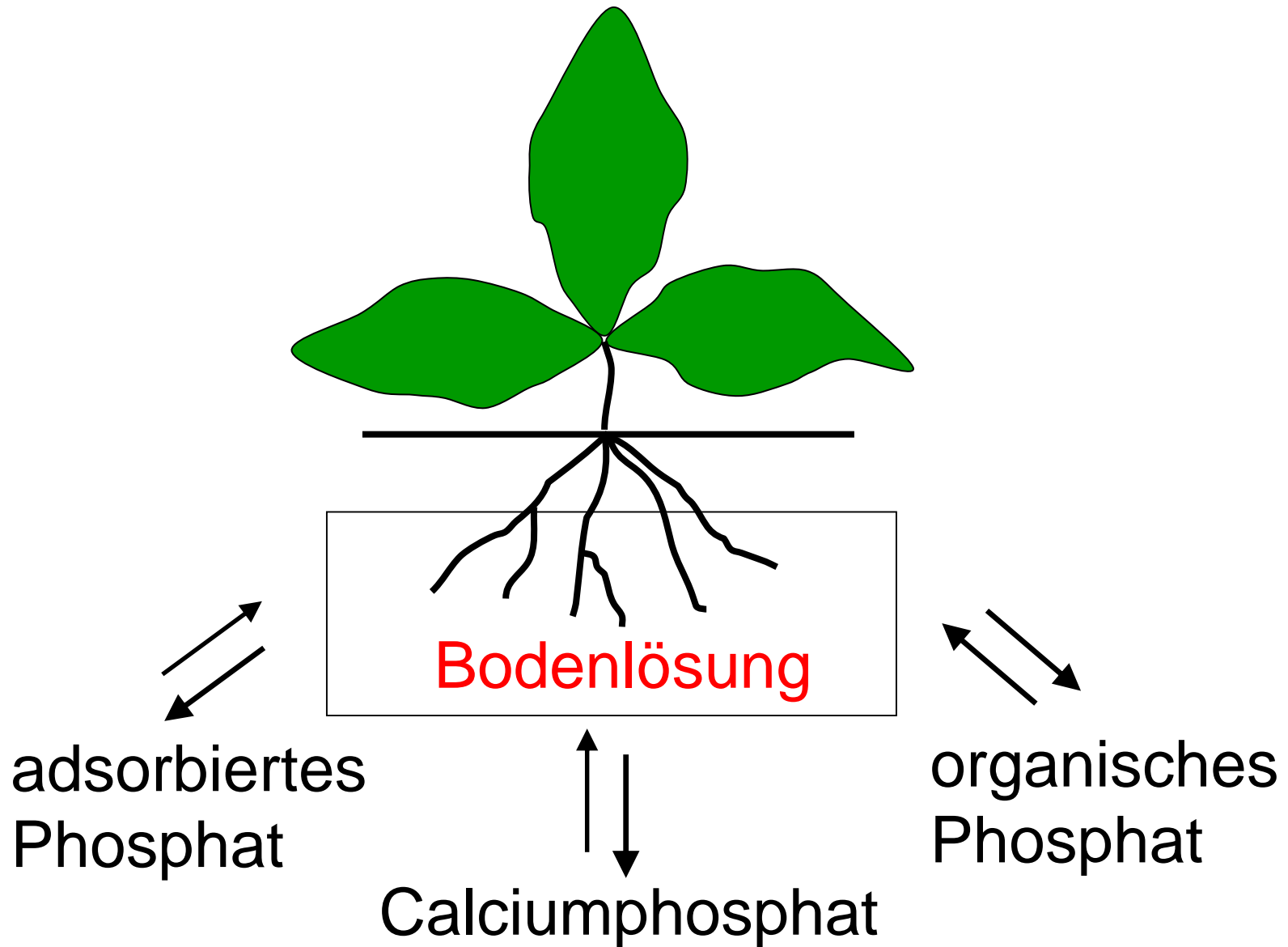
Medium	Diffusionskoeffizient
Wasser	$10^{-9}$
$\text{Cl}^-$ und $\text{NO}_3^-$ in feuchten Böden	$10^{-10}$
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ in feuchten Böden	$10^{-11}$

---

# Austrocknung des Bodens verlängert die Diffusionswege:



# Phosphatdynamik



# Nährstoffaneignung von Pflanzen erfordert drei verschiedene Prozesse:

## 1. Nährstoffaufnahme

→ Überwindung der Plasmamembran von Wurzelzellen ( $H^+$ /Phosphat-Cotransport)

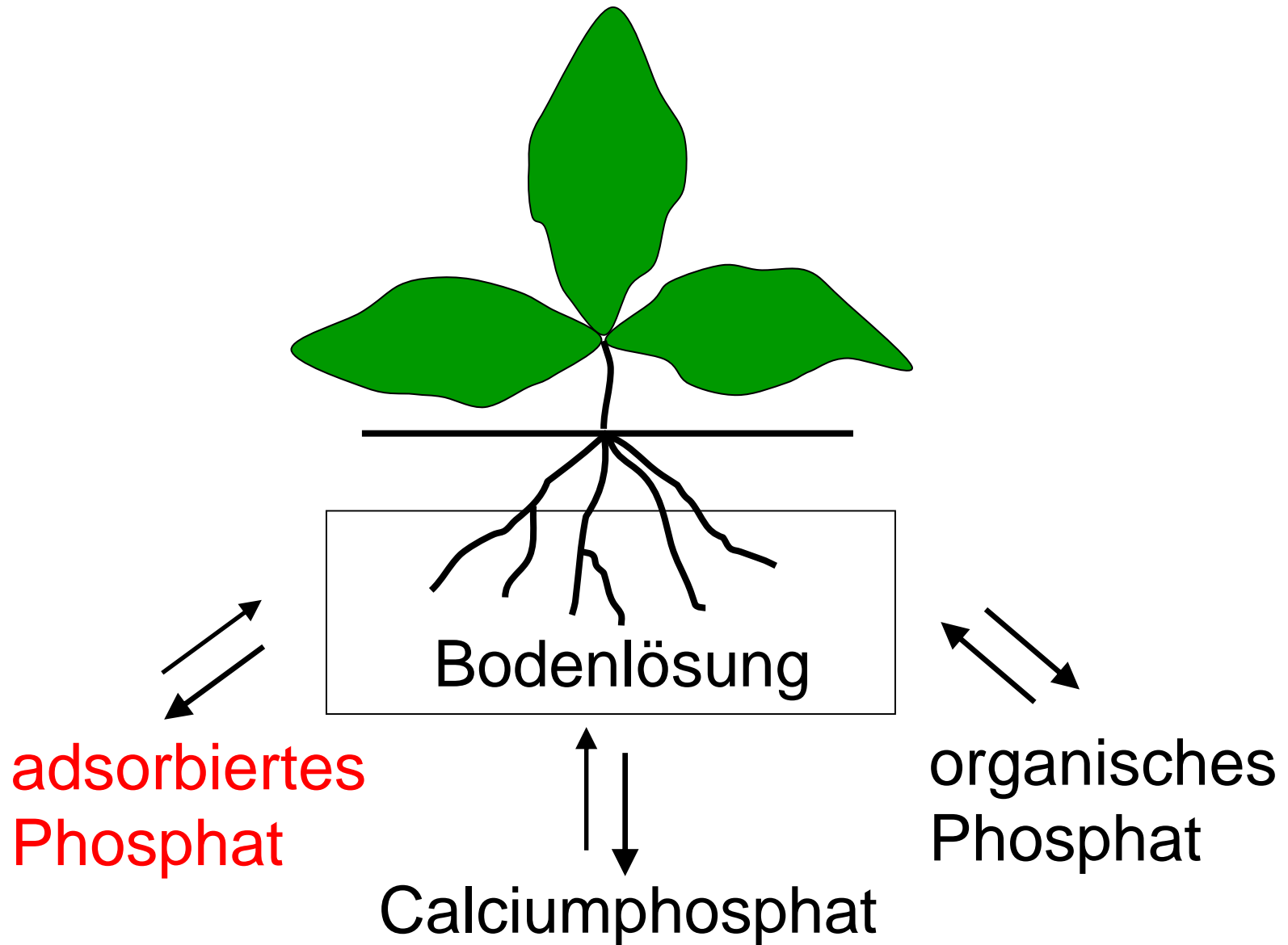
## 2. Nährstofftransport zur Wurzeloberfläche

→ Für Phosphat hauptsächlich Diffusion

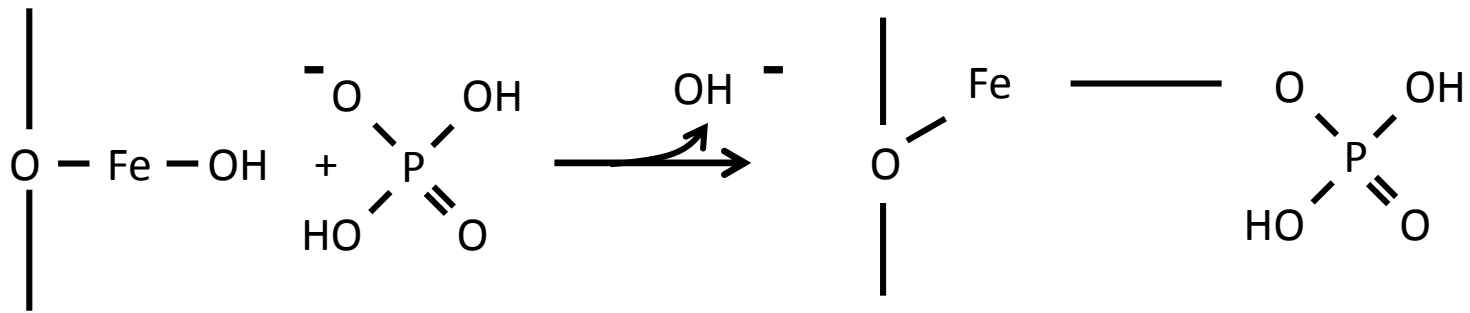
## 3. Nährstoffmobilisierung

→ Sekretion von Protonen, Hydroxylionen, organischen Anionen, Elektronen, Phenolen, Phosphatasen

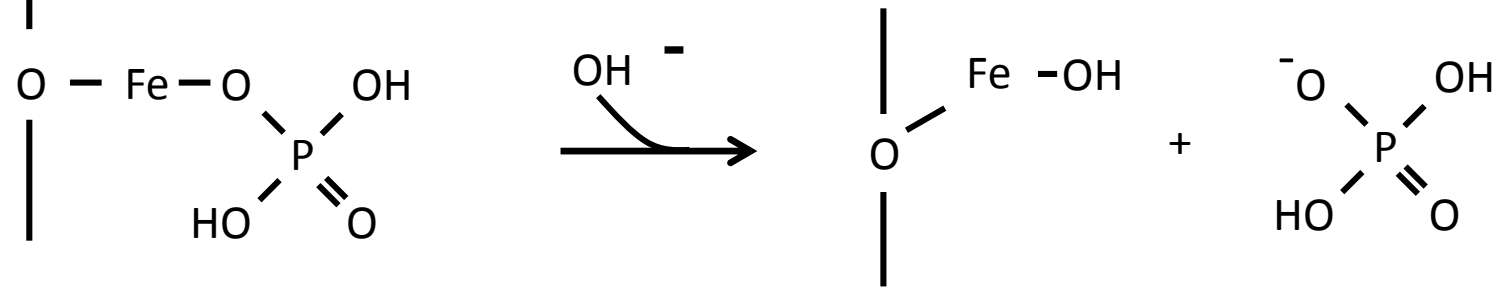
# Phosphatdynamik



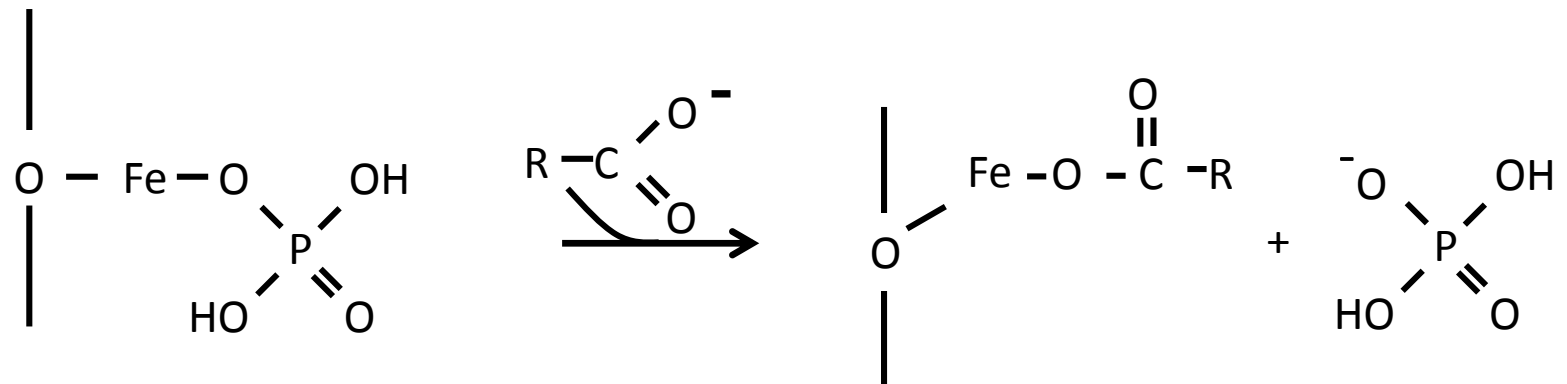
### Phosphat-Adsorption



### Phosphat-Desorption



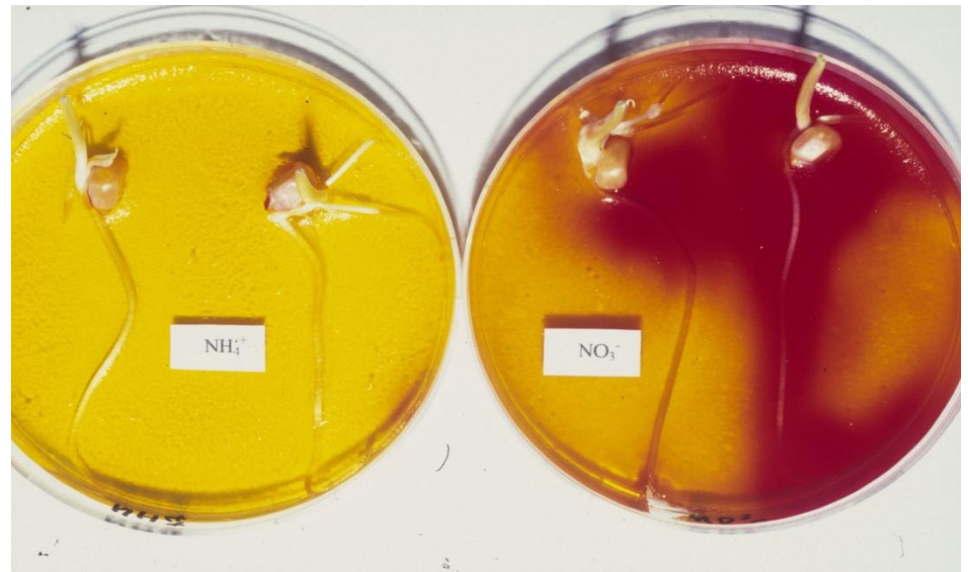
### Phosphat-Desorption



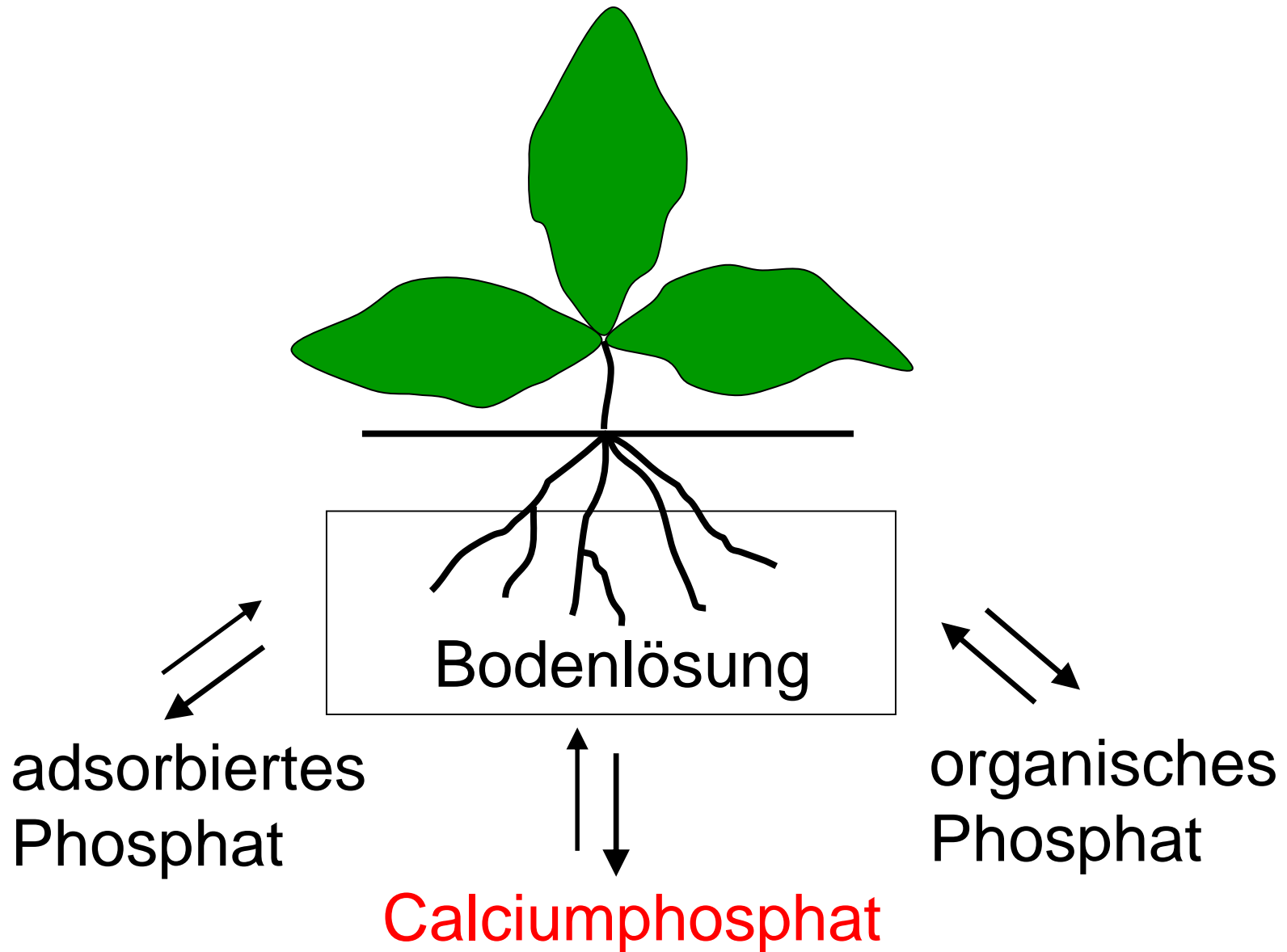
# Phosphat-Desorption:

**Abscheidung von Hydroxylionen und organischen Anionen bei:**

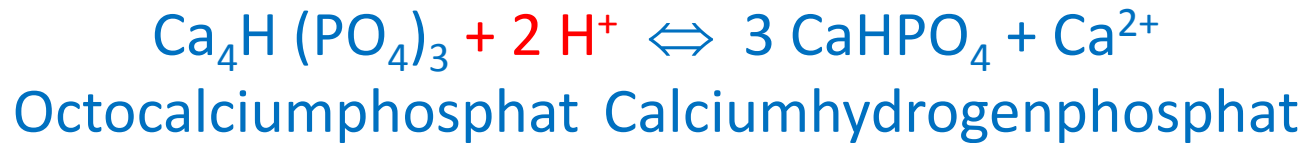
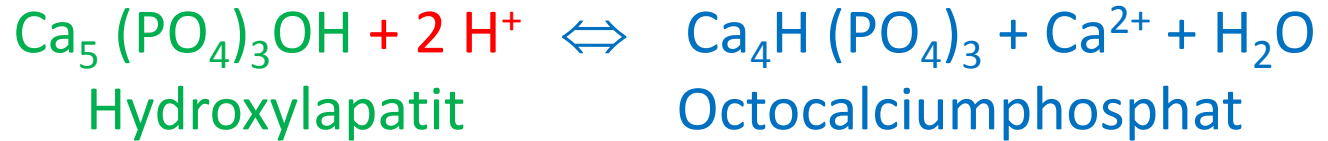
- 1. physiologisch alkalischer Ernährung**
- 2. besonderen Strategien**
  - Raps, Zuckerrübe
  - Weißlupine



# Phosphatdynamik



# Dynamik der Calciumphosphate:



## Protonenabscheidung von Pflanzen bei

### 1. physiologisch saurer Ernährung:

- stabilisierte Ammoniumernährung
- N<sub>2</sub>-Fixierung von Leguminosen
- CULTAN-Verfahren

### 2. Besonderen Strategien:

- Raps
- Weißlupine



# Wachstum von Weizen mit:

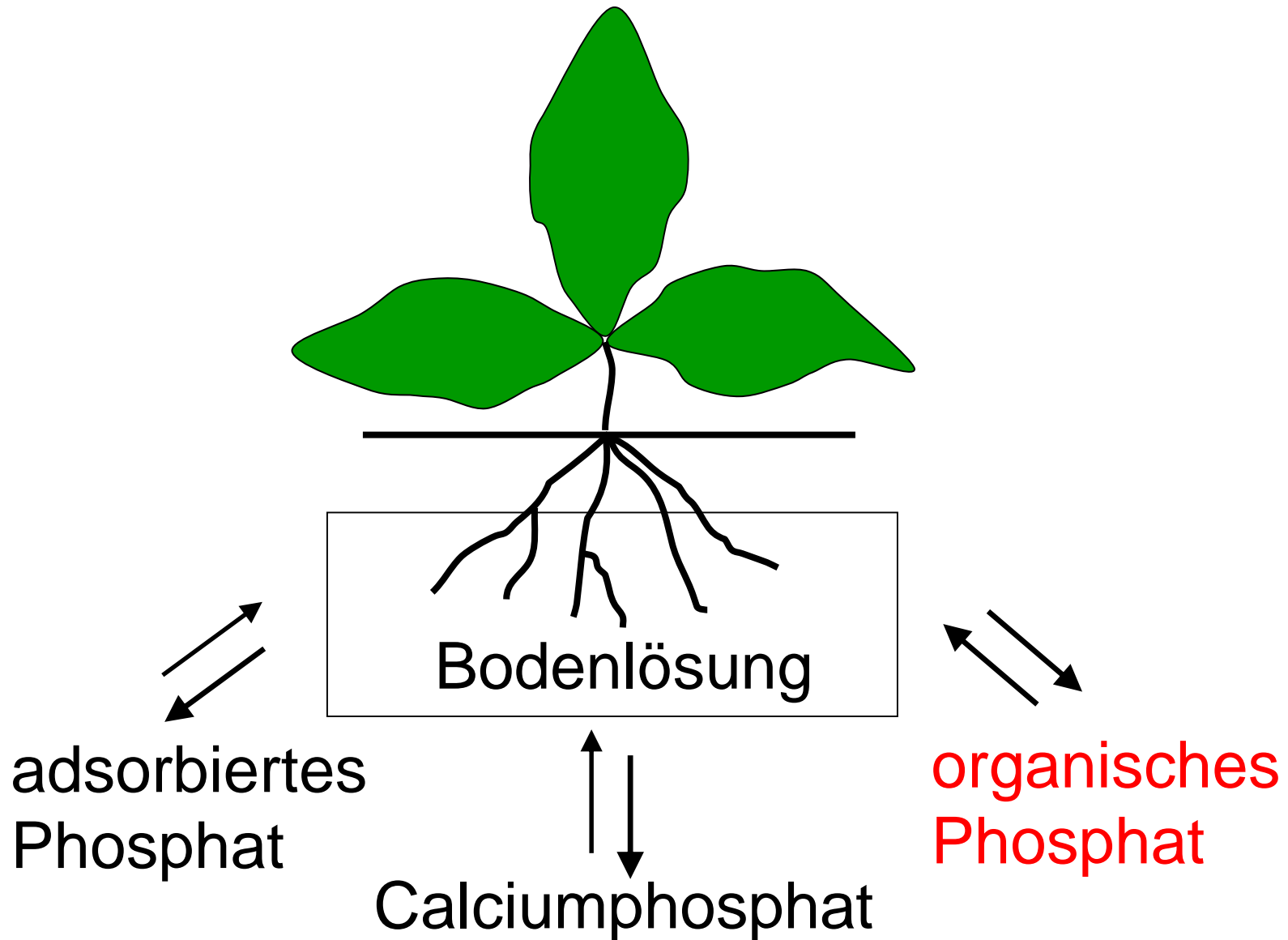
Superphosphat

Rohphosphat

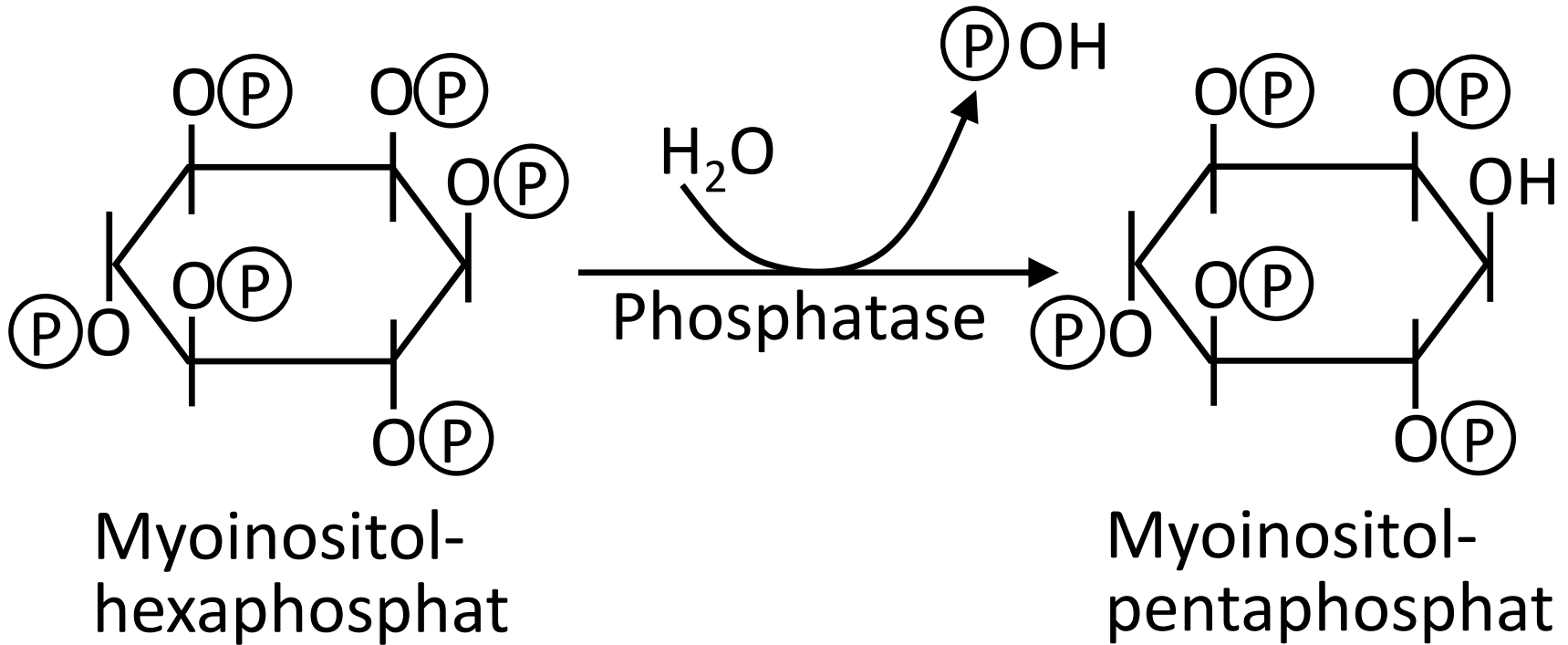
ohne  
Phosphatdüngung



# Phosphatdynamik



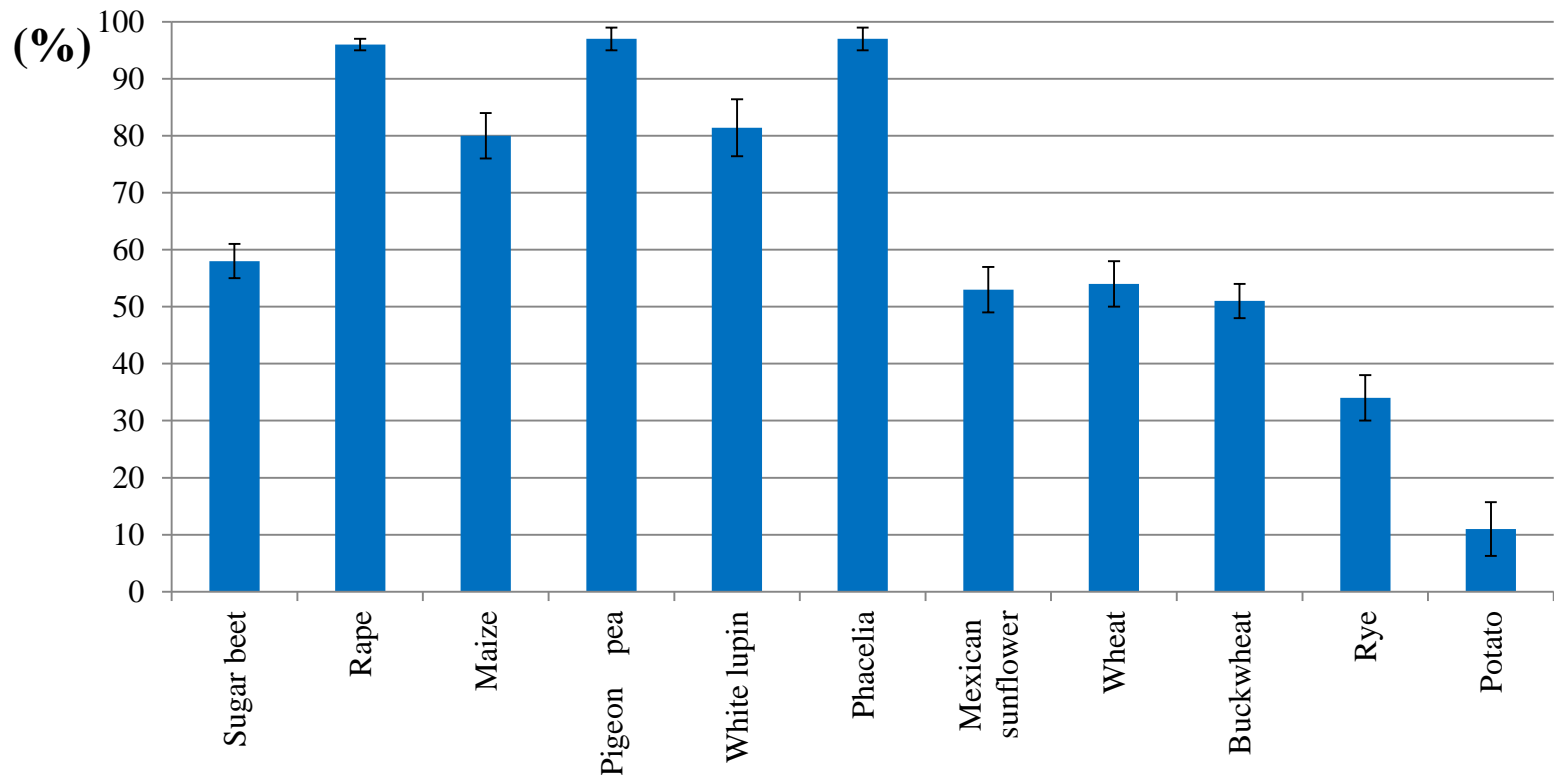
# Mineralisierung von organischem Phosphat



# Relative Aneignungseffizienz für organisches Phosphat von verschiedenen Pflanzenarten in einem biologisch inaktiven Boden

(Steffens, Leppin, Luschin-Ebengreuth, Yang und Schubert:  
J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 765-771, 2010 modifiziert)

## Relative P-Aneignungseffizienz



# Kinetische Parameter der Aktivität der Sauren Phosphatase von Kartoffel und Raps

(Schubert, Steffens, Eitenmüller, unveröffentlicht)

	Kartoffel cv. Belana	Kartoffel cv. Marabel	Raps cv. Carousel
$k_m$ ( $\mu\text{M}$ )	2205	5069	467
$V_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol m}^{-1} \text{min}^{-1}$ )	0,11	0,12	0,04

# Kinetische Parameter der Aktivität der Sauren Phosphatase von Kartoffel und Raps

(Schubert, Steffens, Eitenmüller, unveröffentlicht)

	Kartoffel cv. Belana	Kartoffel cv. Marabel	Raps cv. Carousel
$k_m$ ( $\mu\text{M}$ )	2205	5069	467
$V_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol m}^{-1} \text{min}^{-1}$ )	0,11	0,12	0,04

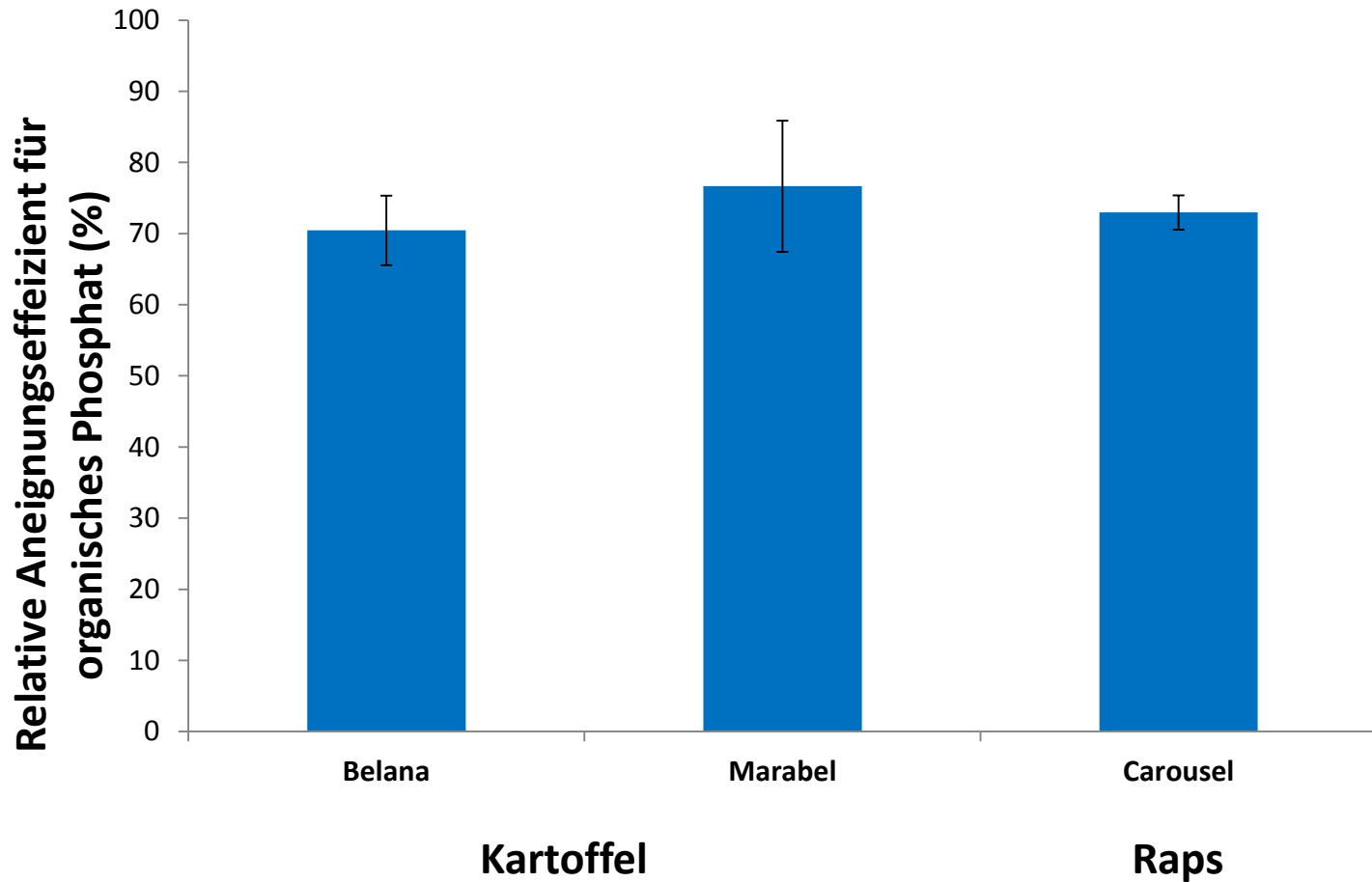
# Kinetische Parameter der Aktivität der Sauren Phosphatase von Kartoffel und Raps

(Schubert, Steffens, Eitenmüller, unveröffentlicht)

	Kartoffel cv. Belana	Kartoffel cv. Marabel	Raps cv. Carousel
$k_m$ ( $\mu\text{M}$ )	2205	5069	467
$V_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol m}^{-1} \text{min}^{-1}$ )	0,11	0,12	0,04

# Relative Aneignungseffizienz für organisches Phosphat von Kartoffel und Raps in einem biologisch aktiven Boden

(Schubert, Steffens und Eitenmüller, unveröffentlicht)



# Richtwerte für Phosphor-Gehaltsklassen (VDLUFA 2018)

---

Gehaltsklasse	Richtwert (mg CAL-P 100 g <sup>-1</sup> )
A	< 1,5
B	1,5-3,0
C	3,0-6,0*
D	6,0-12,0
E	> 12,0

---

\*In Trockengebieten (< 550 mm a<sup>-1</sup>) erhöht sich der obere Wert auf 7,5 mg g<sup>-1</sup>

# Einfluss der P-Düngung (100 mg P/100 g Boden) in Form von Na-Hexaphytat und $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ auf die extrahierbare P-Menge

(Steffens, Leppin, Luschin-Ebengreuth, Yang und Schubert:  
J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 765-771, 2010 )

---

Method	Kontrolle	Na-Hexaphytat	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
Mehlich-III	8,52 ( $\pm 0,15$ )	10,01 ( $\pm 0,01$ )	86,20 ( $\pm 9,84$ )
P-Wasser	1,21 ( $\pm 0,06$ )	1,40 ( $\pm 0,07$ )	31,45 ( $\pm 2,74$ )
Olsen	3,33 ( $\pm 0,17$ )	2,71 ( $\pm 0,17$ )	67,06 ( $\pm 5,22$ )
CAL	4,53 ( $\pm 0,44$ )	5,12 ( $\pm 0,35$ )	80,42 ( $\pm 5,82$ )
DL	8,46 ( $\pm 0,15$ )	8,58 ( $\pm 0,11$ )	79,29 ( $\pm 5,65$ )
EUF	4,16 ( $\pm 0,11$ )	5,61 ( $\pm 0,28$ )	47,34 ( $\pm 3,80$ )

(1.+2. Fraktion)

---



**H<sup>+</sup>-Sekretion von Proteoidwurzeln der Weißlupine**

(Yan, Zhu, Müller, Zörb und Schubert: Plant Physiol. 129, 1-14, 2002)

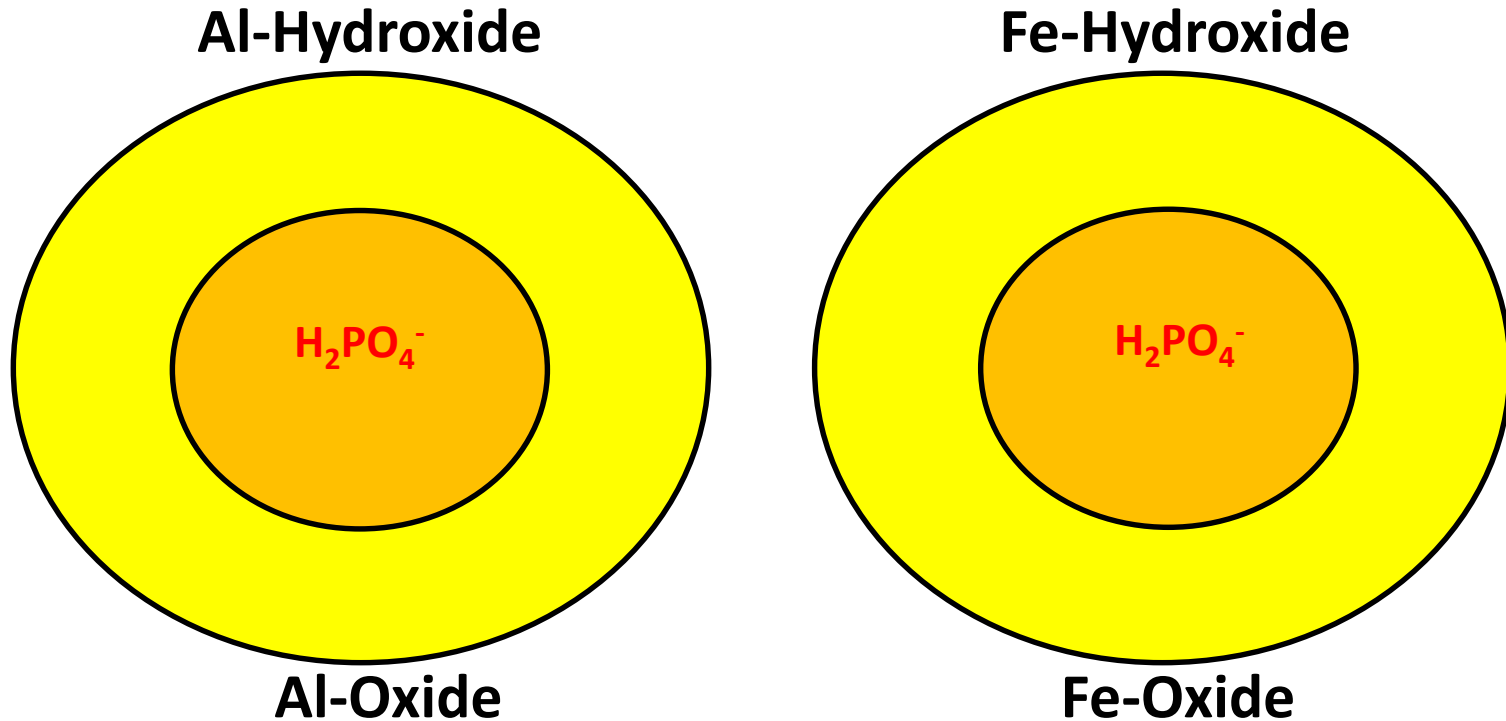
# Exsudate der Proteoidwurzeln:

- **Organische Anionen:** Mobilisierung von anorganischem Phosphat (Ca-P, Al-P, Fe-P)
- **Protonen:** Mobilisierung von Calciumphosphaten
- **Saure Phosphatase:** Mobilisierung von organisch gebundenem Phosphat
- **Phenole:** Hemmung des raschen Abbaus von Wurzelexsudaten und reduzierende Wirkung
- **Elektronen:** Membran-gebundene Reduktase

# Exsudate der Proteoidwurzeln:

- **Organische Anionen:** Mobilisierung von anorganischem Phosphat (Ca-P, Al-P, Fe-P)
- **Protonen:** Mobilisierung von Calciumphosphaten
- **Saure Phosphatase:** Mobilisierung von organisch gebundenem Phosphat
- **Phenole:** Hemmung des raschen Abbaus von Wurzelexsudaten und reduzierende Wirkung
- **Elektronen:** Membran-gebundene Reduktase

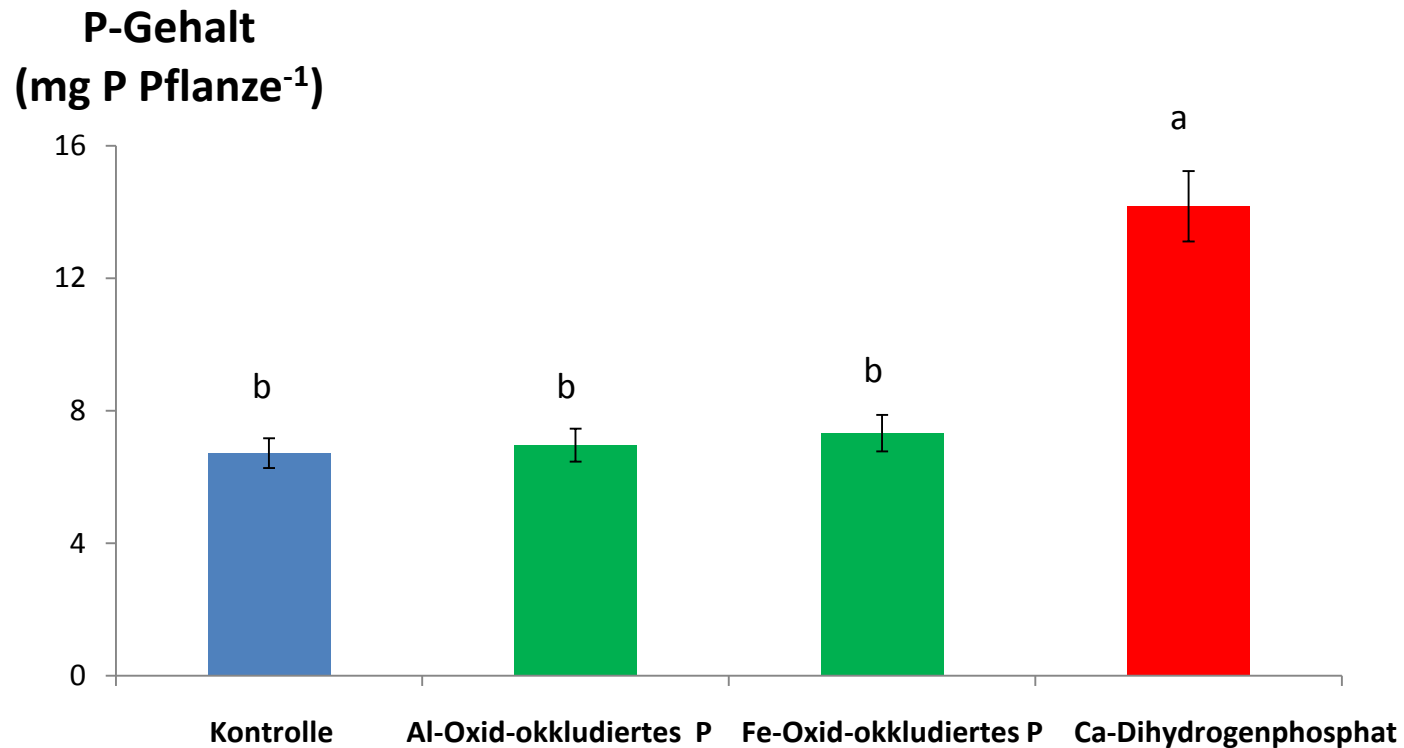
## Phosphat-Okklusion durch Al-Oxide/Hydroxide und Fe-Oxide/Hydroxide:



Mobilisierung von okkludiertem P durch Reduktionsprozesse:

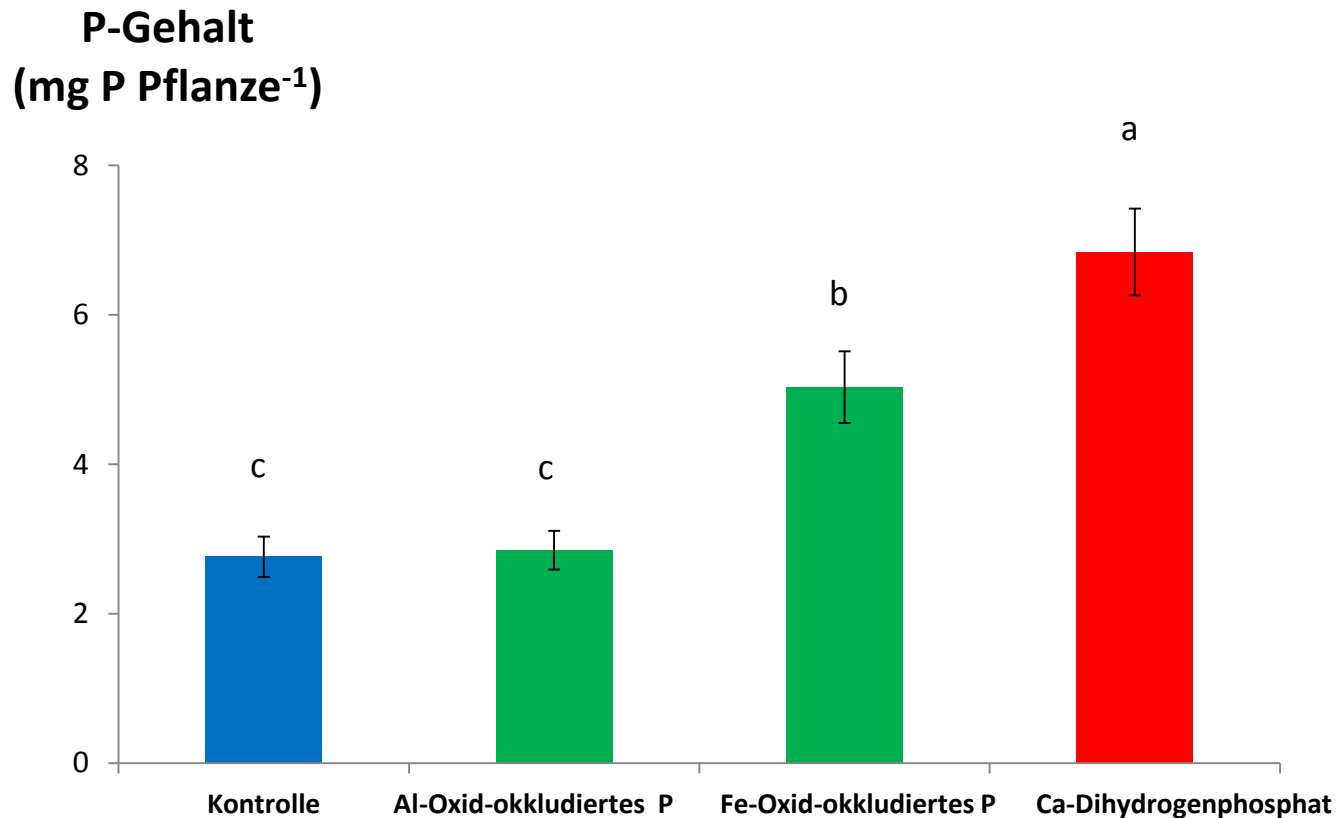


# Verfügbarkeit von okkludiertem Phosphat für Mais (Schubert, Steffens und Ashraf, JPNSS eingereicht)



# Verfügbarkeit von okkludiertem Phosphat für die Weißlupine

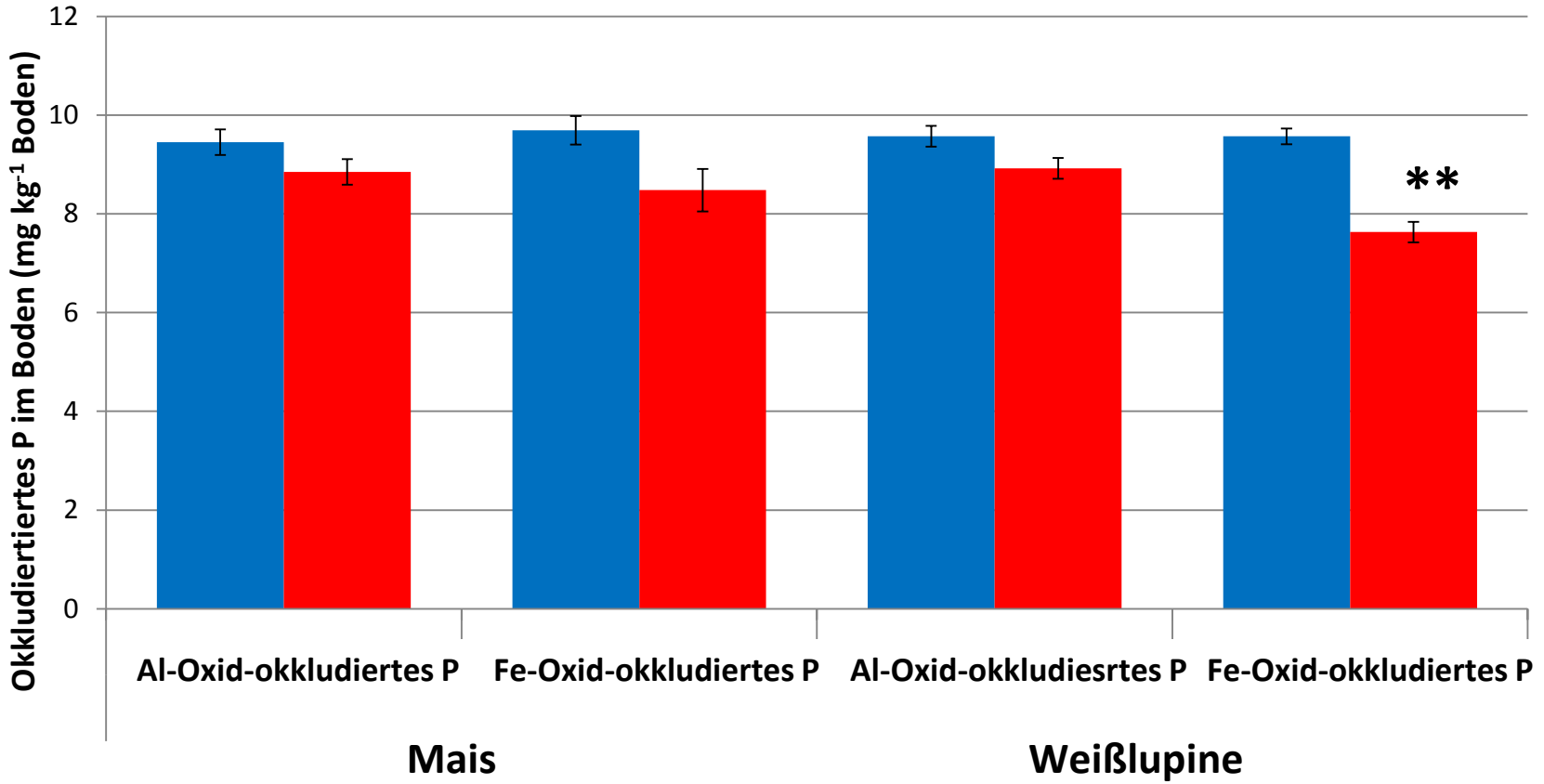
(Schubert, Steffens und Ashraf, JPNSS eingereicht)



# Einfluss von Mais und Weißlupine auf okkludiertes Phosphat im Boden (Schubert, Steffens und Ashraf, JPNSS eingereicht)

- Zur Aussaat
- Zur Ernte

\*\* P = 1%



# Schlussfolgerungen:

- In der Bodenanalytik wird dringend eine Routinemethode benötigt, die organisch gebundenes Phosphat erfasst.
- Die Dynamik von organisch gebundenem Phosphat ist wichtig für die P-Verfügbarkeit, wird jedoch bisher nicht vollständig verstanden.
- Eine hohe biologische Aktivität des Bodens fördert die P-Verfügbarkeit.
- Verschiedene Pflanzenarten verfügen über unterschiedliche Fähigkeiten, sich bestimmte Bodenphosphate anzueignen. Dies sollte in geeigneten Fruchtfolgen und mit Zwischenfrüchten genutzt werden, um die P-Reserven der Böden zu nutzen.