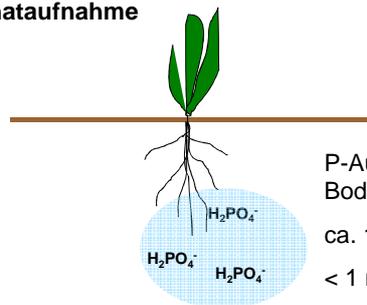


## Phosphat im Boden und Phosphatdüngung

Dr. Friedhelm Fritsch, DLR R-N-H, Abt. Landwirtschaft, Bad Kreuznach

### Phosphataufnahme

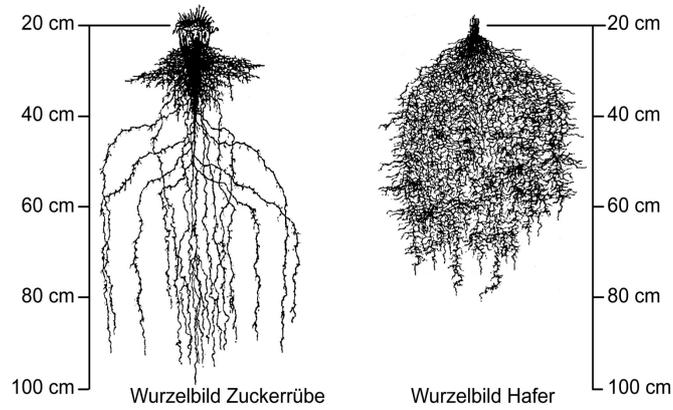


P-Aufnahme aus der  
Bodenlösung  
ca. 1 kg  $P_2O_5$ /ha gelöst  
< 1 mg/l Bodenlösung

P-Konzentration in der **Bodenlösung** sehr gering: meist < 1 mg P/l  
Ca, Mg, Nitrat-N: > 10 mg/l

**Anlieferung an die Wurzeloberfläche** überwiegend durch **Diffusion**  
(P-Aufnahme verursacht Konzentrationsunterschied, der die Diffusion beschleunigt)

## Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanze



*Kutschera, Wurzelatlas*

genotypische Unterschiede in der P-Aufnahme:

Wurzelgröße, Wurzelhaare, Rhizosphären-pH, Mycorrhiza

Mais, Zuckerrüben, Kartoffel < Gerste, Weizen < Hafer, Roggen

3



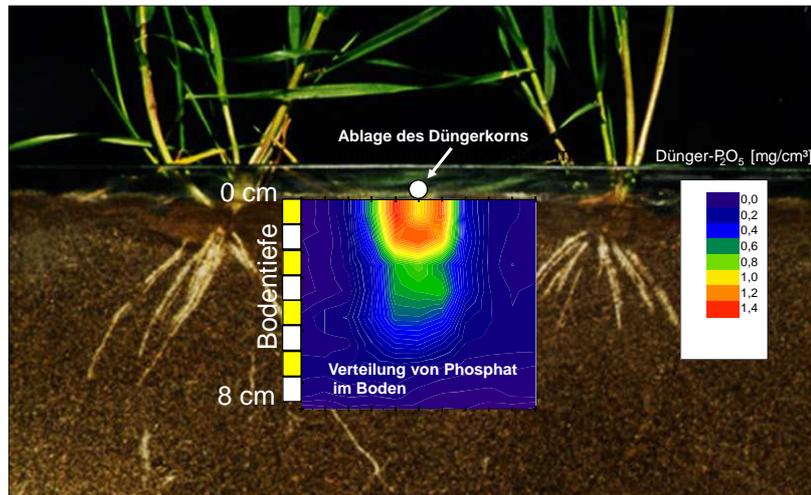
Dauerversuch  
Meckenheim/Rheinland,  
ACI Univ. Bonn

Symptome:  
Starrtracht  
Anthocyanbildung

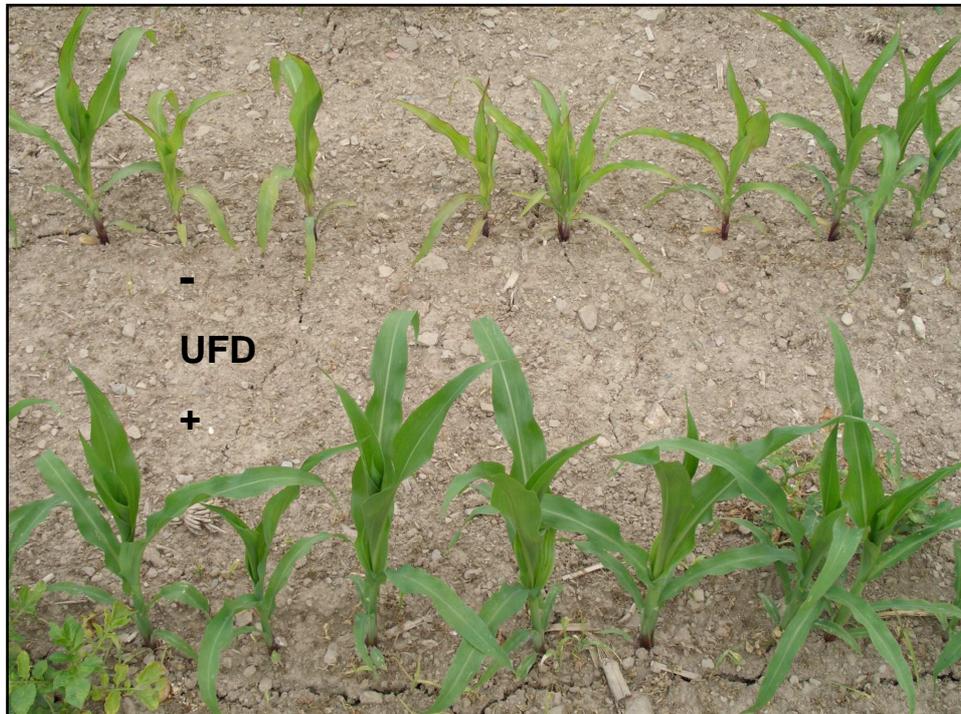
4

## Verteilung von Phosphat nach der Düngung

Phosphat wird im Boden nur über kürzeste Entfernungen verlagert



Quelle: Versuche BASF Aktiengesellschaft 2005



**Phosphor** im Boden: stark variierende Anteile anorganisch und organisch gebunden, in beiden Fällen fast ausschließlich als Orthophosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

**Organischer Phosphor** 20 bis 60 % des Gesamt-P im Boden

Anteil abhängig vom

- Gesamt-P-Gehalt
- Humusgehalt
- C:P-Verhältnis

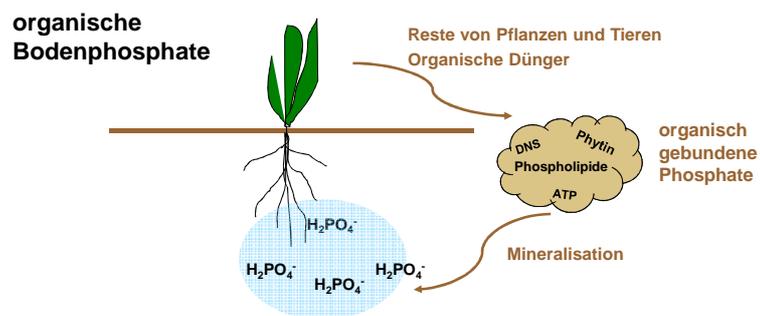
**Anorganischer Phosphor** 40 bis 80 % des Gesamt-P im Boden:

- Ca-Phosphate
- an Fe- und Al-Oxide/Hydroxide **adsorbierte** und okkludierte Phosphate
- Al- und Fe-Phosphate (Variscit, Strengit, Vivianit) im sauren Bereich

**Gesamtgehalt**

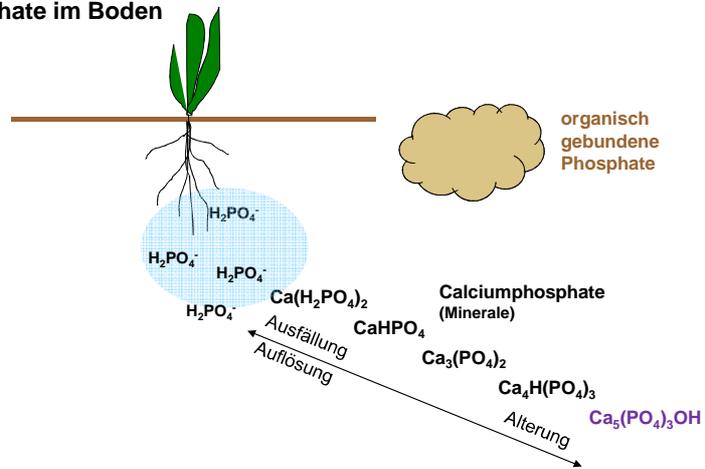
in Mineralböden 0,01 – 0,1 % P (= 450 – 4500 kg P/ha in 0–30 cm)

7



8

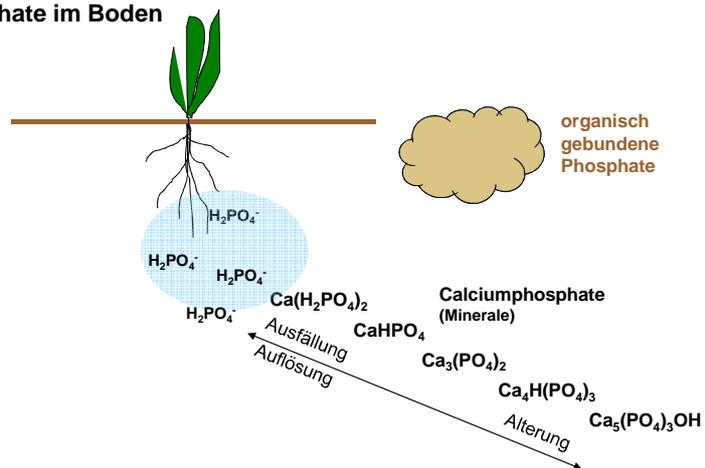
### Ca-Phosphate im Boden



$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  = Apatit = geologische Ursprungsform des Phosphats auf der Erde

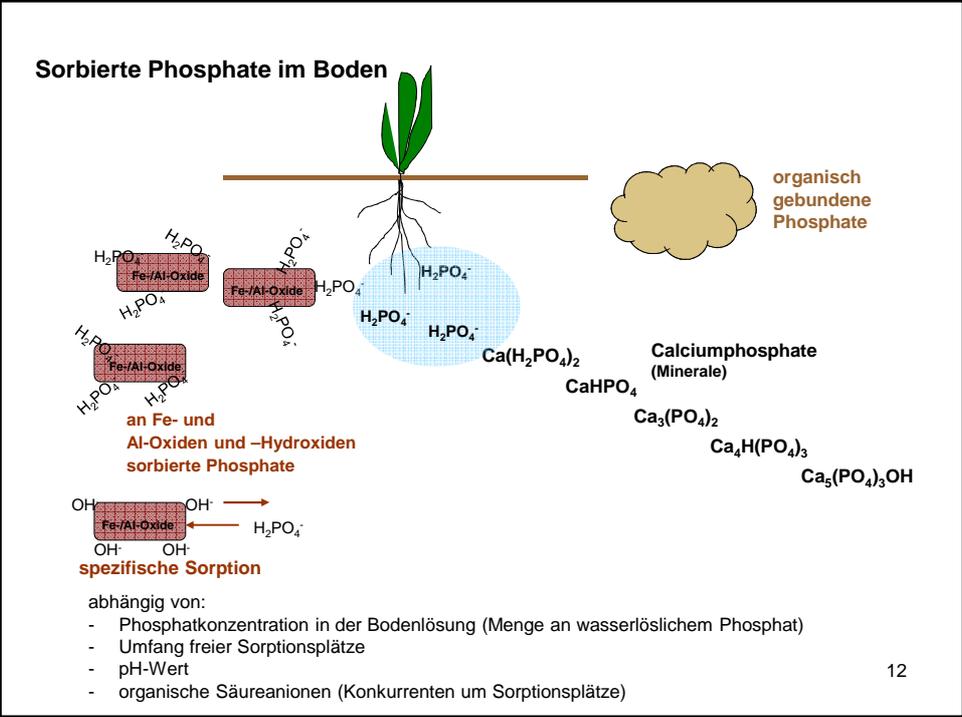
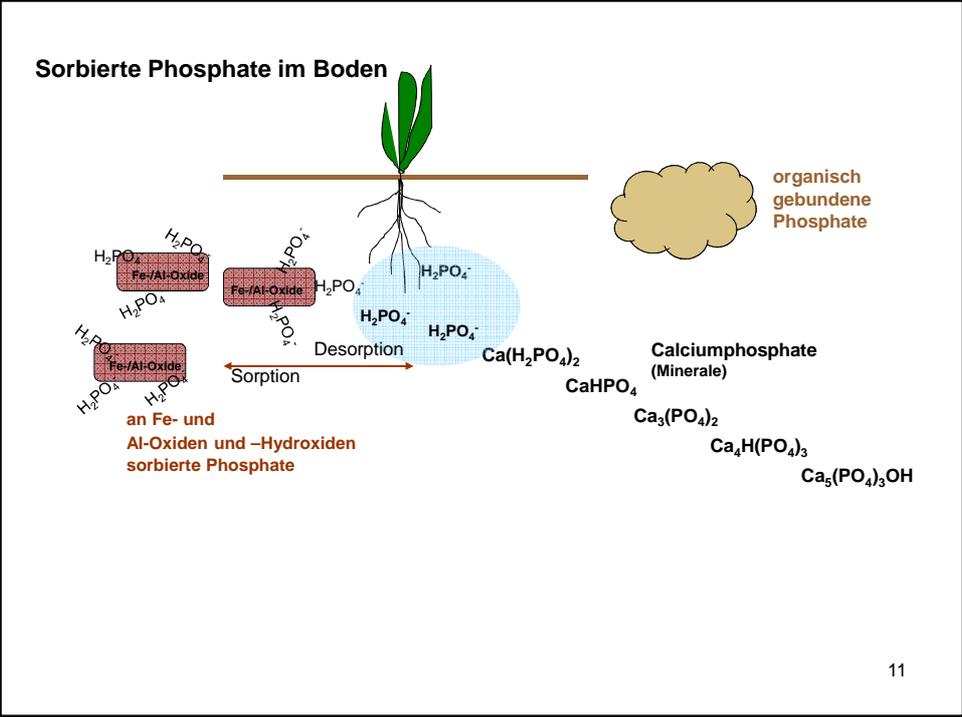
9

### Ca-Phosphate im Boden

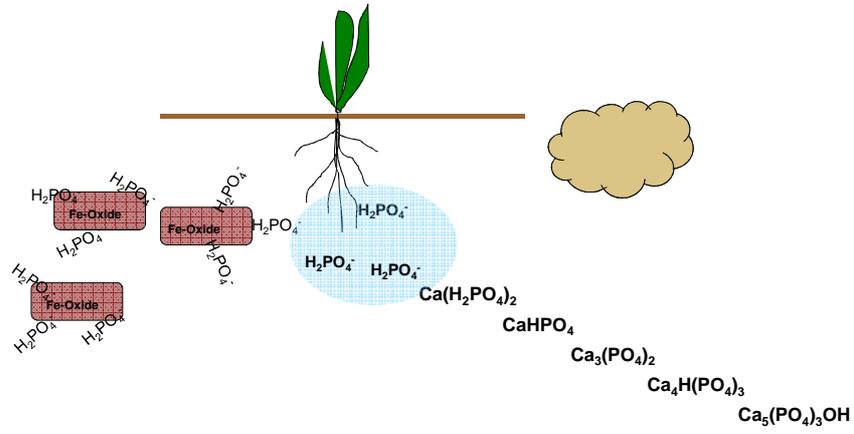


Je mehr  $\text{H}^+$  durch  $\text{Ca}^{++}$  ersetzt ist, um so geringer ist die Löslichkeit der Ca-Phosphate

10

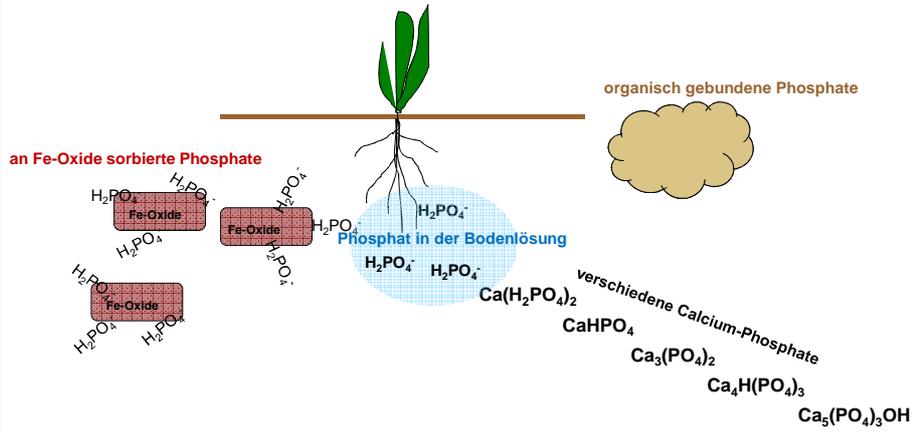


## Bodenphosphate



13

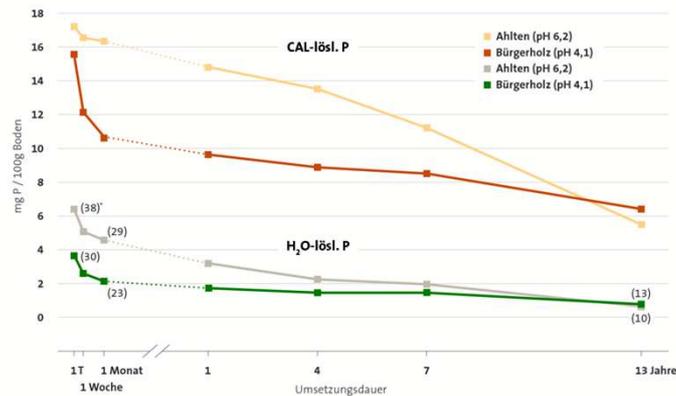
## Bodenphosphate



14

## Abnahme des CAL- und wasserlöslichen Phosphates nach einer P- Vorratsdüngung

**nitrogen**



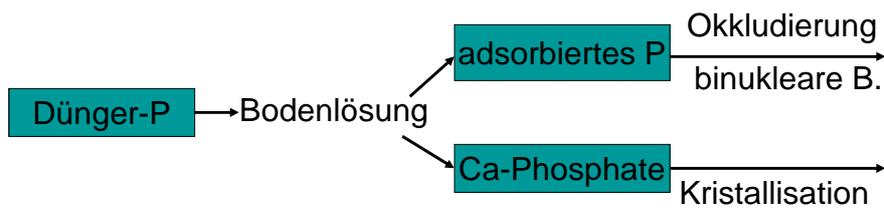
\* (%): Wasserlös. P in % CAL-P

Nitrophoska

Mehrwert mit Stickstoff

K+S Gruppe / 15

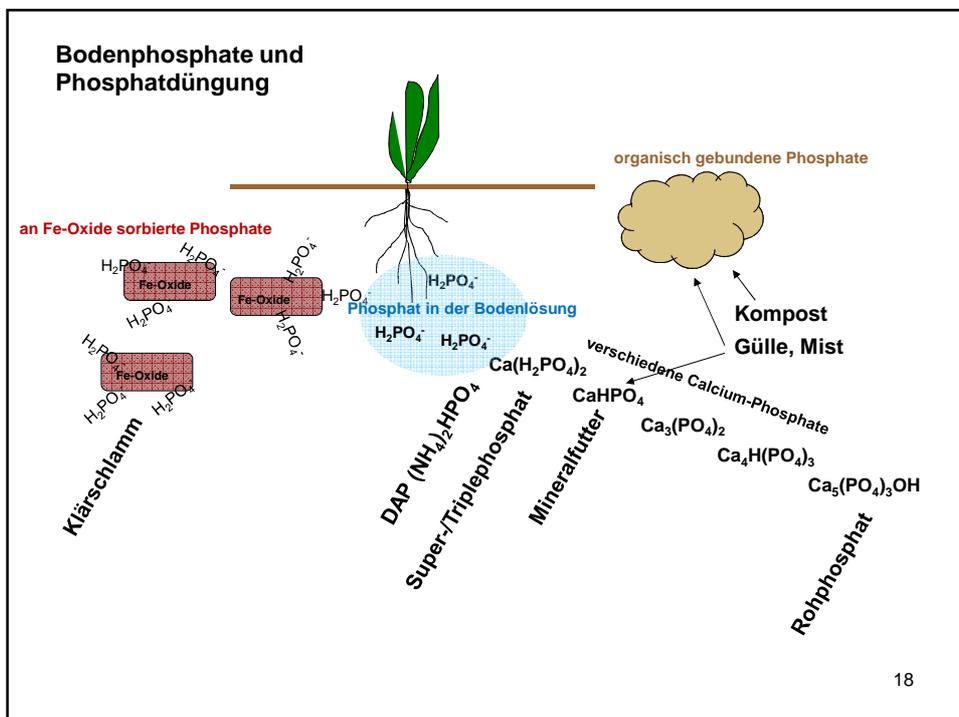
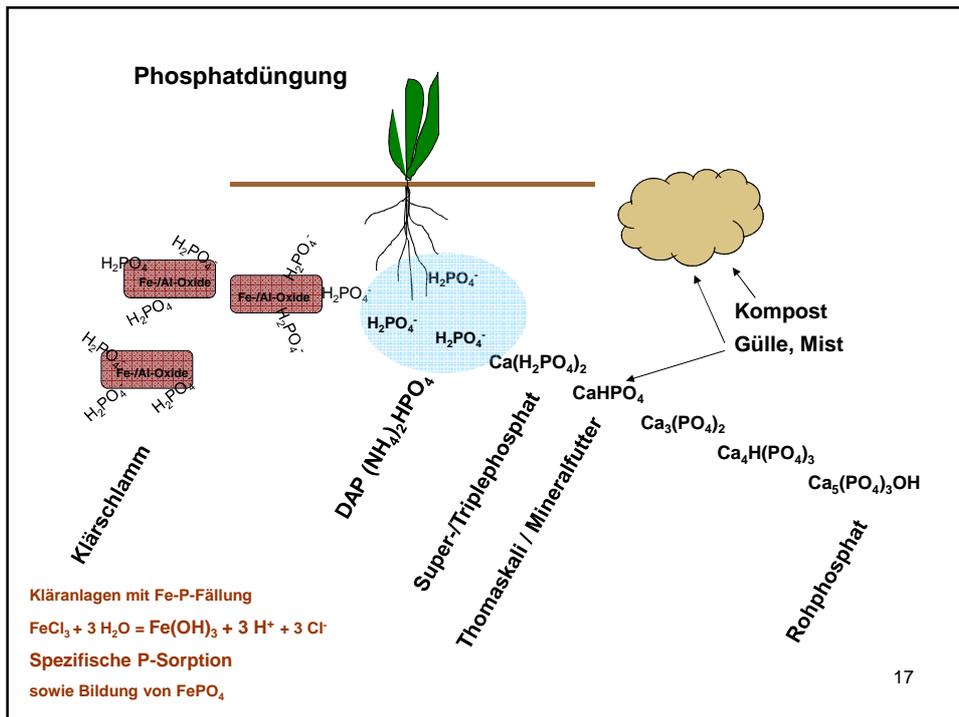
## P-Bindung im Boden und "P-Alterung"



### Alterung durch

- **Adsorption:** erfolgt insbesondere in Fe-/Al-Oxidreichen Böden lehmige Böden, Braunerden, Lößböden
- **Ca-Phosphate:** erfolgt in Ca-reichen bzw. Carbonatböden, aber auch in anderen, z.B. sandigen Böden (sofern Ca vorhanden)

16



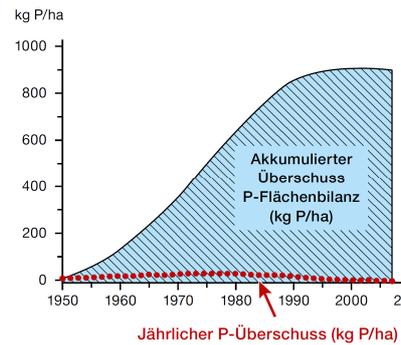
## Mineraldüngeraufwand in Deutschland seit 1878

[Statistisches Bundesamt und andere Quellen]

Jahr	Mineraldüngeraufwand (kg ha <sup>-1</sup> )		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1878/80	1	2	1
1900/04	3	9	4
1930/34	13	15	23
1950/51	27	24	50
1960/61	42	43	74
1970/71	83	66	91
1980/81	124	67	91
1993/94	93	24	37
2000/01	108	21	32
2010/11	107	17	26
2014/15	109	18	27

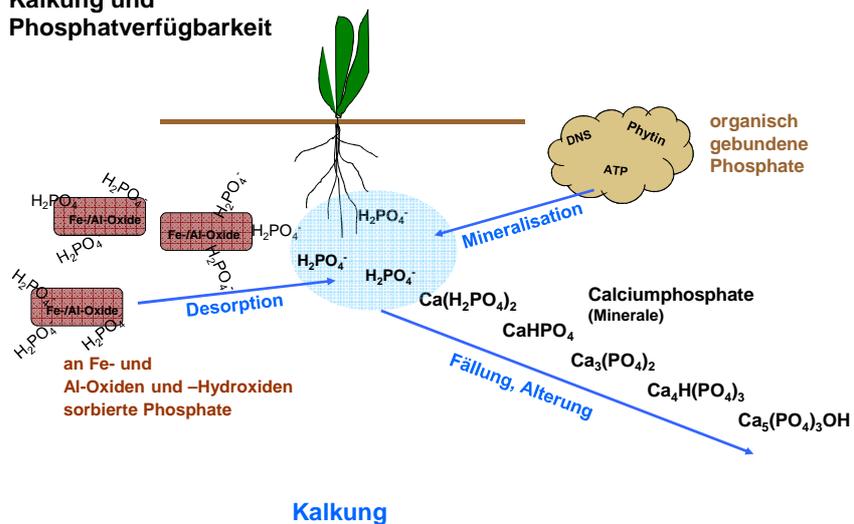
## Akkumulierte P-Mengen in den landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands im Zeitraum 1950 bis 2007

[Bach & Frede, Tagungsband BAD, 2010]

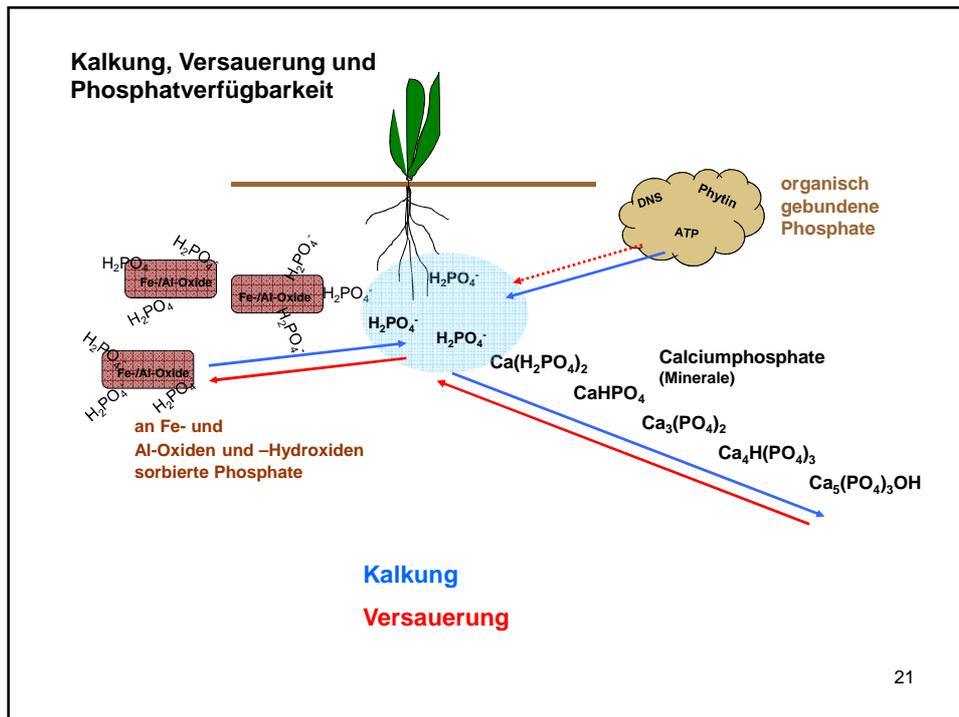


F. Wiesler, LUFA Speyer

## Kalkung und Phosphatverfügbarkeit



20



## Bodenuntersuchung auf "pflanzenverfügbares" P

### Doppellaktatmethode (DL-Methode)

Calciumlaktat + HCl (pH 3,7) löst Ca-Phosphate einschließlich eines großen Teils der Apatite (wg. niedrigem pH), auch Desorption von P.

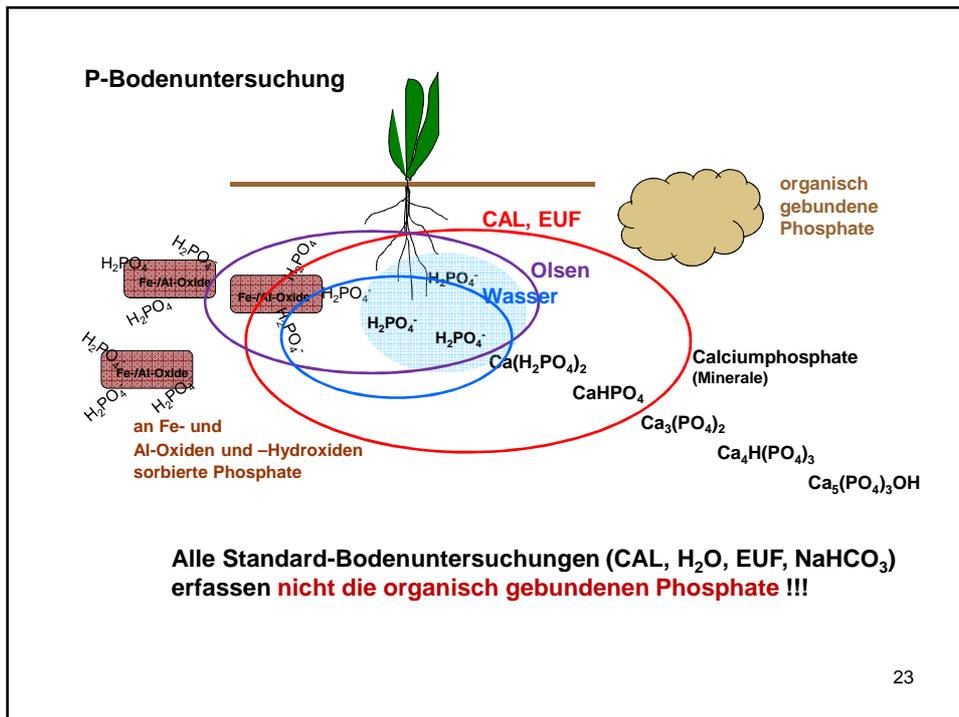
### Calcium-Acetat-Laktat (CAL-Methode, Standard in West-D)

Calcium-Acetat-Laktat + Acetat (pH 4,1) löst nicht Apatit, aber die leichter löslichen Ca-Phosphate. Erfasst desorbierbares P besser als DL (wg. höherem pH)

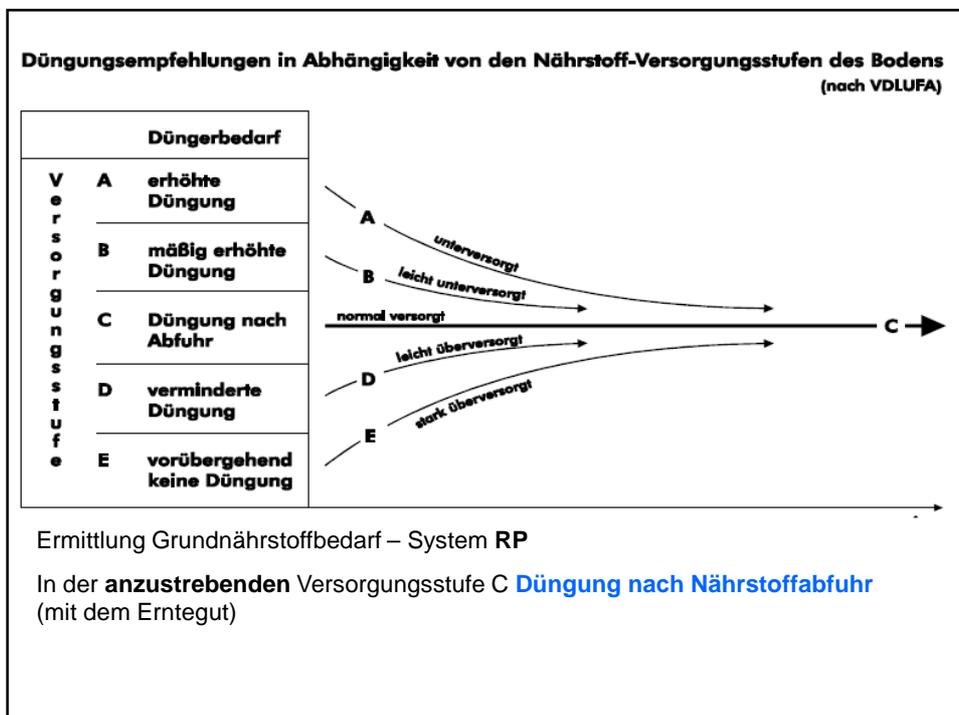
**Extraktion in H<sub>2</sub>O (P-Wasser):** leicht desorbierbares P und "wasserlösliche" Düngerphosphate

**EUF-Methode** ("Bodengesundheitsdienst"): erfasst (leicht) desorbierbares P und Nachlieferung aus Ca-Phosphaten, ähnlich CAL-Methode

**Olsen-Methode:** NaHCO<sub>3</sub> (pH 8,5), erfasst adsorbiertes P, kein Apatit<sup>22</sup>



23



**Tab. 1: Einteilung der Gehaltsklassen**

Gehaltsklasse	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
= Versorgungsstufe für mittlere Verhältnisse	mg/100 g	mg/100 g	mg/100 g
<b>A</b> sehr niedrig	bis 5	bis 5	bis 2
<b>B</b> niedrig	6 - 11	6 - 11	3 - 5
<b>C anzustreben</b>	<b>12 - 20</b>	<b>12 - 20</b>	<b>6 - 10</b>
<b>D</b> hoch	21 - 30	21 - 30	11 - 15
<b>E</b> sehr hoch	ab 31	ab 31	ab 16

Die standortspezifischen **Versorgungsstufen** werden ausgehend von den Gehaltsklassen (siehe Tab. 1) unter Berücksichtigung der in Tabelle 2 aufgeführten Zu- und Abschläge für Bodenart, Durchwurzelbarkeit, Steinanteil sowie Ackerzahl abgeleitet. Zumindest die Bodenart sollte in jedem Fall berücksichtigt werden (siehe Bsp. in Tab.3).

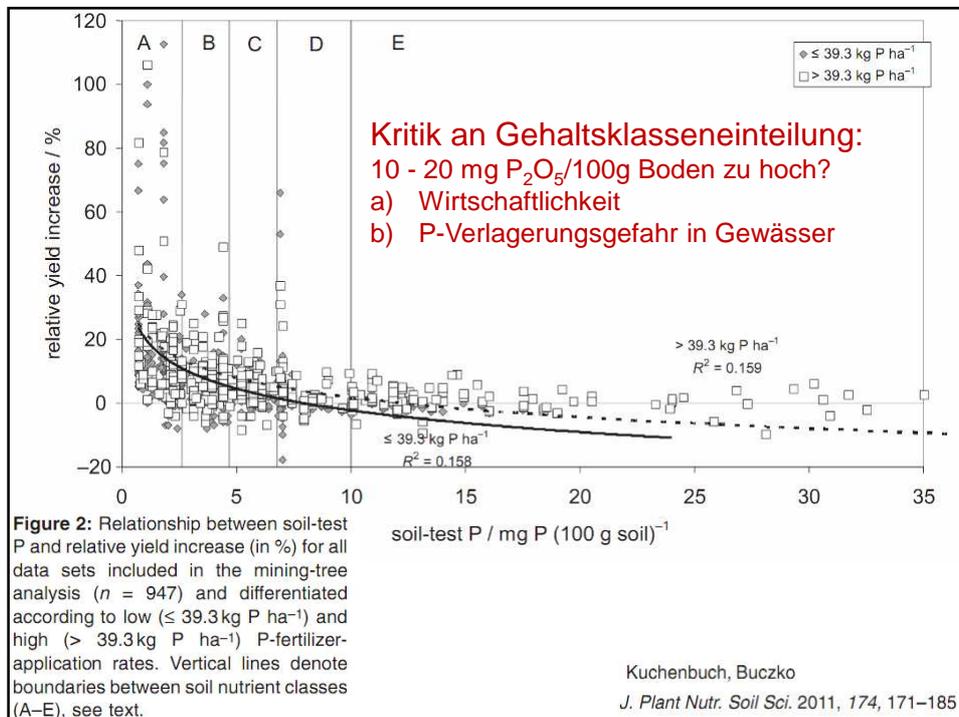
**Tab. 2: Zu- und Abschläge zur Ermittlung der Versorgungsstufe C**

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
leichte Böden	-	- 2 - 5	- 2 - 4
schwere Böden	-	+ 2 + 5	+ 2 + 4
Durchwurzelbarkeit < 60 cm	+ 1	+ 1	+ 1
Steinanteil > 30 %	+ 2	+ 2	+ 1
Ackerzahl < 40 <sup>1</sup>	+ 2	+ 2	+ 1

<sup>1</sup> Nicht bei leichten Böden

Die Zu- und Abschläge gelten nur für Versorgungsstufe C. Erst wenn diese für den Standort ermittelt ist, werden die Grenzen der übrigen Stufen errechnet.

Ermittlung Grundnährstoffbedarf – System RP



**Figure 2:** Relationship between soil-test P and relative yield increase (in %) for all data sets included in the mining-tree analysis ( $n = 947$ ) and differentiated according to low ( $\leq 39.3 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) and high ( $> 39.3 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) P-fertilizer-application rates. Vertical lines denote boundaries between soil nutrient classes (A-E), see text.

Kuchenbuch, Buczko  
*J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2011, 174, 171–185



## Stoffeinträge in die Gewässer

Wasserschutzberatung RP

Auswaschung mit Sickerwasser ins Grundwasser: **Nitrat**, **Phosphat**

Interflow (Zwischenabfluss): **Nitrat**, bei hoher P-Absättigung auch **Phosphat**, **PSM**

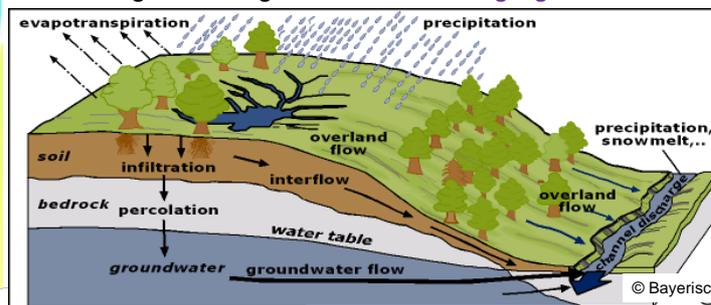
Oberflächenabfluss (hängige Lagen): nährstoffhaltiges Material, **Dünger**, **PSM**

Bodenerosion: an Bodenpartikeln gebundenes **Phosphat**, **PSM**

Abdrift: **PSM**

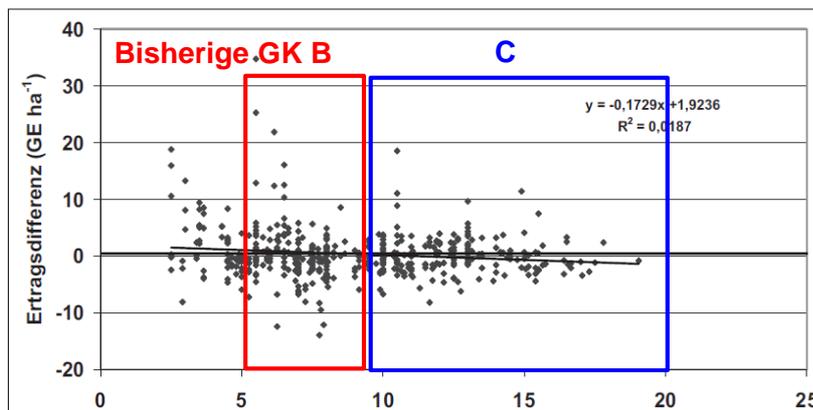
direkte Einträge wg. fehlerhafter Anwendung

via Kläranlagen: unsachgemäße **PS-Gerätereinigung** und **PSM-Anwendungen**



## Ertragsdifferenz bei P-Abfuhrdüngung in Abhängigkeit von den $P_2O_5$ -Gehalten im Boden

[Hege, Wendland und Offenberger, 2008]

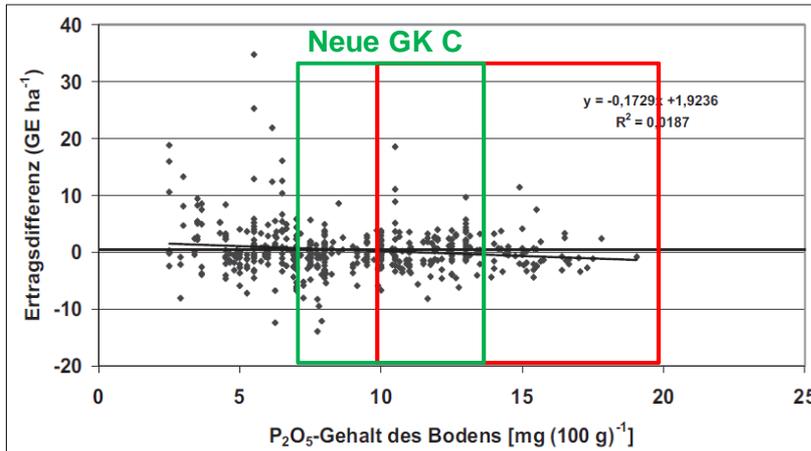


→ Eine höhere Versorgung als der GK B entspricht (5- 9 mg  $P_2O_5$  / 100 g Boden), hat bei Abfuhrdüngung nur in Ausnahmefällen zu signifikanten Mehrerträgen geführt.



## Ertragsdifferenz bei P-Abfuhrdüngung in Abhängigkeit von den P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalten im Boden

[Hege, Wendland und Offenberger, 2008]



F. Wiesler, LUFA Speyer

## Die neuen Richtwerte für die P-Gehaltsklassen

[VDLUFA-Standpunkt, 2018]

Gehalts- klasse	Alte Richtwerte		Neue Richtwerte	
	mg P /100 g	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / 100 g	mg P /100 g	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / 100 g
A	< 2	< 5	<b>&lt; 1,5</b>	< 3,4
B	2,1 – 4,4	6 – 9	<b>1,5 – 3,0</b>	3,4 – 6,9
C	4,5 – 9,0	10 – 20	<b>3,1 – 6,0</b>	7,0 – 13,8
D	9,1 – 15,0	21 – 34	<b>6,1 – 12,0</b>	13,9 – 27,5
E	> 15,1	> 35	<b>&gt; 12,0</b>	> 27,5

\* Die Richtwerte gelten für alle Standorte mit einer Niederschlagsmenge von > ~550 mm/Jahr. In Trockengebieten (< ~550 mm) betragen die Richtwerte in GK A < 2,5, in GK B 2,5 – 5,0 und in Gehaltsklasse C 5,1 – 7,5, in GK D 7,6 – 12,0 und in GK E > 12 mg CAL-P (100 g)<sup>-1</sup> Boden.

**Einführung ab 2019 vorgesehen**

F. Wiesler, LUFA Speyer

## Gründe für mangelnde **Aussagekraft der Bodenuntersuchung** zur Ermittlung des Düngebedarfs

### potentielles Nährstoffangebot des Bodens

Nachlieferungsvermögen (**Pufferung**)

Einfluss des **pH-Wertes** auf Extrahierbarkeit der unterschiedlichen P-Bindungsformen

**chemische** Standardbodenuntersuchung bzw. Verfügbarkeit: **organische** Bodenphosphate werden **nicht** erfasst

„**Alterung**“: Rückgang bei Extrahierbarkeit > Pflanzenverfügbarkeit  
Beitrag des **Unterbodens**

### aktuelles Nährstoffangebot des Bodens: P-Anlieferung durch Diffusion

Bedeutung von **Feuchte** und **Temperatur**

### Durchwurzelbarkeit (Wurzelaum/Bodenstruktur): **räumliche** Nährstoffverfügbarkeit

Unterschiedliches **Aneignungsvermögen** der **Pflanzen**

### Heterogenität der **Flächen** (Bodenart, pH, Tiefgründigkeit, Humus, etc.)

**repräsentative Bodenprobenentnahme**

### unterschiedliche **Düngungsvorgeschichte**:

verschiedene organ./mineral. P-Düngerformen, Klärschlamm etc.

reichern **unterschiedliche P-Bindungsformen** im Boden an

Folge: **unterschiedliche P-Verfügbarkeit/Düngebedarfe** bei evtl. gleichen Nährstoffgehalten

**Tabelle 6:** Optimaler Zeitpunkt für die Blattapplikation von Mikronährstoffen

Getreide	Schossenstadium, 10 bis 25 cm Wuchshöhe (vorzugsweise BBCH 31... 37)
Mais	nach 4. Blatt, 30 bis 40 cm Wuchshöhe
Rübe	Schließen der Reihen (Juni/Juli)
Kartoffel	Schließen der Reihen (Juni/Juli)
Luzerne, Rotklee	kurz vor der Blüte
Grünland	10 bis 15 cm Wuchshöhe
Raps, Rübsen	Knospenstadium
Ackerbohne, Erbse	6- bis 8-Blattstadium
Sonnenblume	Ausbildung 6. bis 8. Blatt
Lein	ca. 20 cm Wuchshöhe
Gräser	10 bis 15 cm Wuchshöhe



### **Pflanzenanalysen** bislang von der Praxis selten veranlasst

**Problem:** optimales Stadium der Probenahme für Pflanzenanalyse liegt nicht (deutlich) vor dem Stadium der Düngung

**Lösung für die Praxis:** Düngung in den Folgejahren, nachdem einige repräsentative Proben untersucht wurden

„**Nährstoffmonitoring**“ als Beitrag zur Problemlösung

## Nährstoffmonitoring

2004 - 2012  
ca. 20 Proben pro Jahr  
Weizen, Raps, Mais u.a.

### Boden- und dazugehörige Pflanzenproben

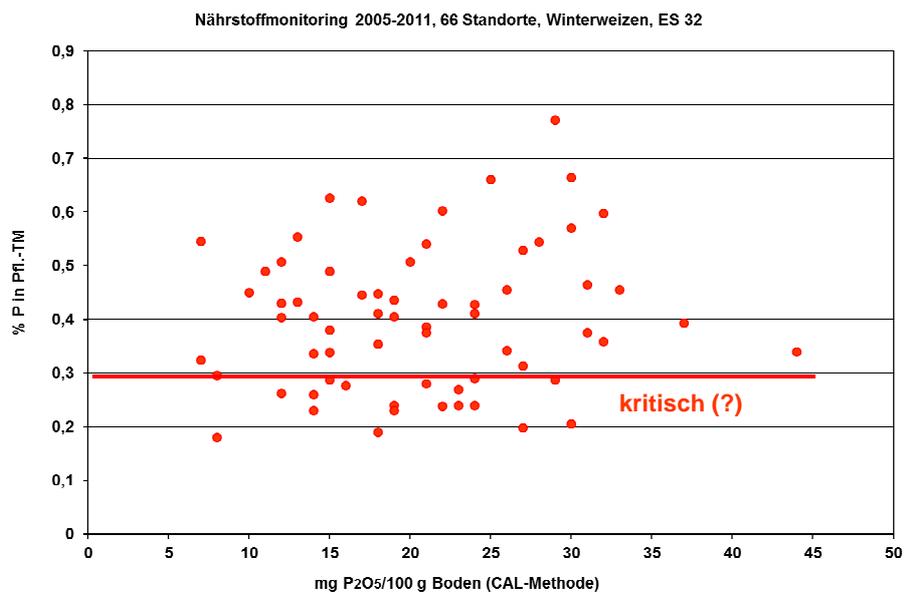
Standortauswahl **zufällig** in den Ackerbauregionen des Landes verteilt

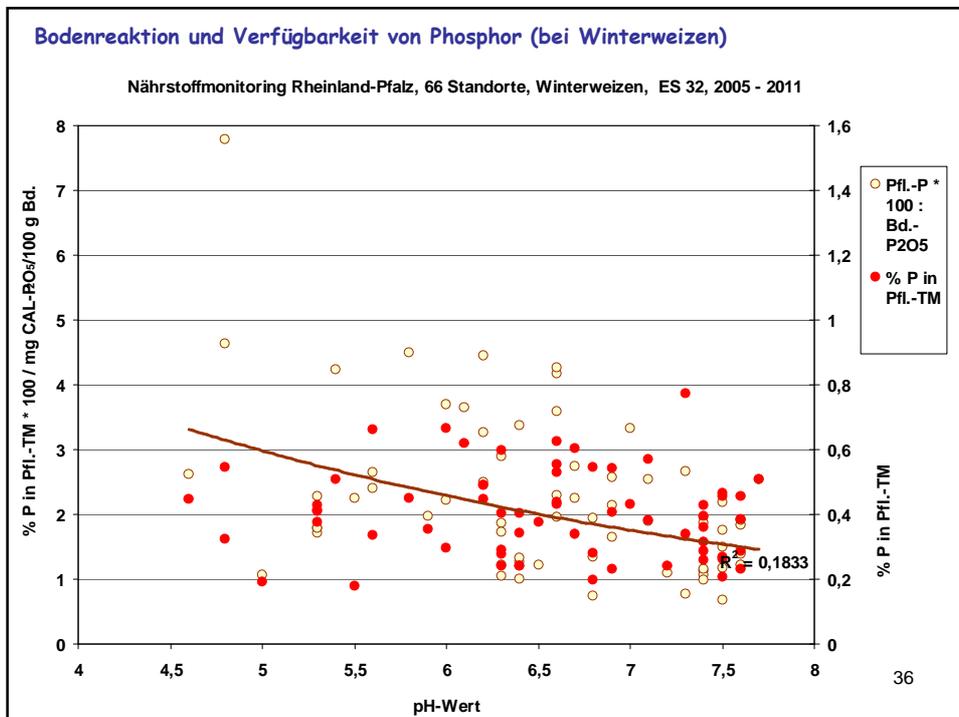
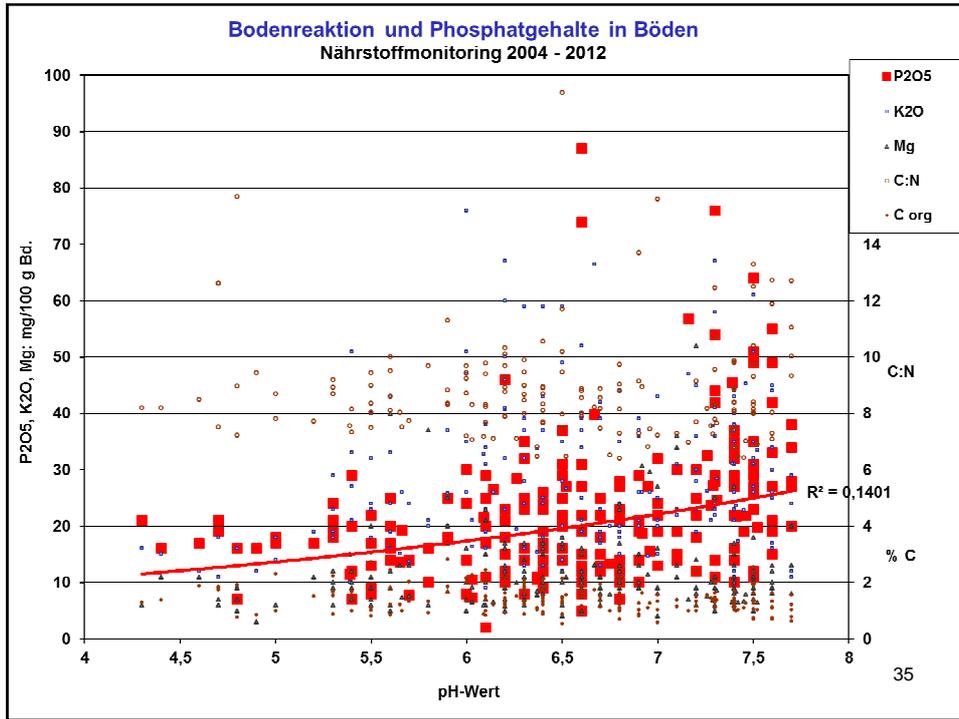
#### Zielsetzungen:

- Einblick in die **Versorgungssituation**
- Wechselwirkungen mit **Nährstoffverfügbarkeit**
- Eignung der **CAT-Methode** für B, Mn, Cu und Zn

33

### Verfügbarkeit von Phosphor in Boden und Pflanze (bei Winterweizen)





### Zusätzliche produktionstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der P-Effizienz

- Einhaltung eines guten Kalkzustandes des Bodens
- Einarbeitung des Phosphordüngers
- Platzierung des P-Düngers
- Pflanzenartspezifische Anpassung der P-Düngung
- Verwendung von Düngern mit guter P-Verfügbarkeit
- Vermeidung bzw. Behebung von Bodenverdichtungen
- Durchführung von erosionsmindernde Maßnahmen



F. Wiesler, LUFA Speyer

### Faktoren mit Einfluss auf die P-Verfügbarkeit im Boden

#### Bodenchemische Eigenschaften

- P-Bindungsformen im Boden
- pH-Wert
- Ca-Konz. in d. Bodenlösung
- Konz. an Komplexbildnern im Boden
- Humusgehalt

#### Bodenphysikalische Eigenschaften

- Körnung und Bodenstruktur
- Bodendichte
- Tiefgründigkeit
- Bodenwasser
- Bodentemperatur

#### Bodenbiologische Eigenschaften

- Mikrobielle Aktivität

#### Pflanzliche Eigenschaften

- Nährstoffbedarf
- Wurzelmorphologie
- Symbiose mit Mykorrhiza
- Wurzelausscheidungen
- Leistung d. Aufnahmesystems



F. Wiesler, LUFA Speyer

## Schlussfolgerungen

### **Pflanzenanalyse: Versorgungszustand der Pflanze**

wird viel zu selten beauftragt

kann Versorgungsmängel aufzeigen

aber: Interpretation der Ursachen von Mangelsituationen zusätzlich notwendig

### **Bodenanalyse: Ermittlung des Düngedarfs**

Gehaltsklassen-Einteilung ist aktuell umstritten

- die zahlreichen Einflussfaktoren erschweren eine Neueinstufung

**Zusätzliche/alternative Bodenuntersuchungsmethoden?**

- verursachen Kosten, sind nicht am Düngedarf kalibriert

- Glücksritter (z.B. Kinsey-Methode)

- allenfalls fraktionierte Extraktionen zur Erklärung der P-Nachlieferung denkbar,  
aber sehr aufwändig

**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit**

