

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Fakultät Agrarwissenschaften
Inst. f. Kulturpflanzenwissenschaften
Düngung und Bodenstoffhaushalt

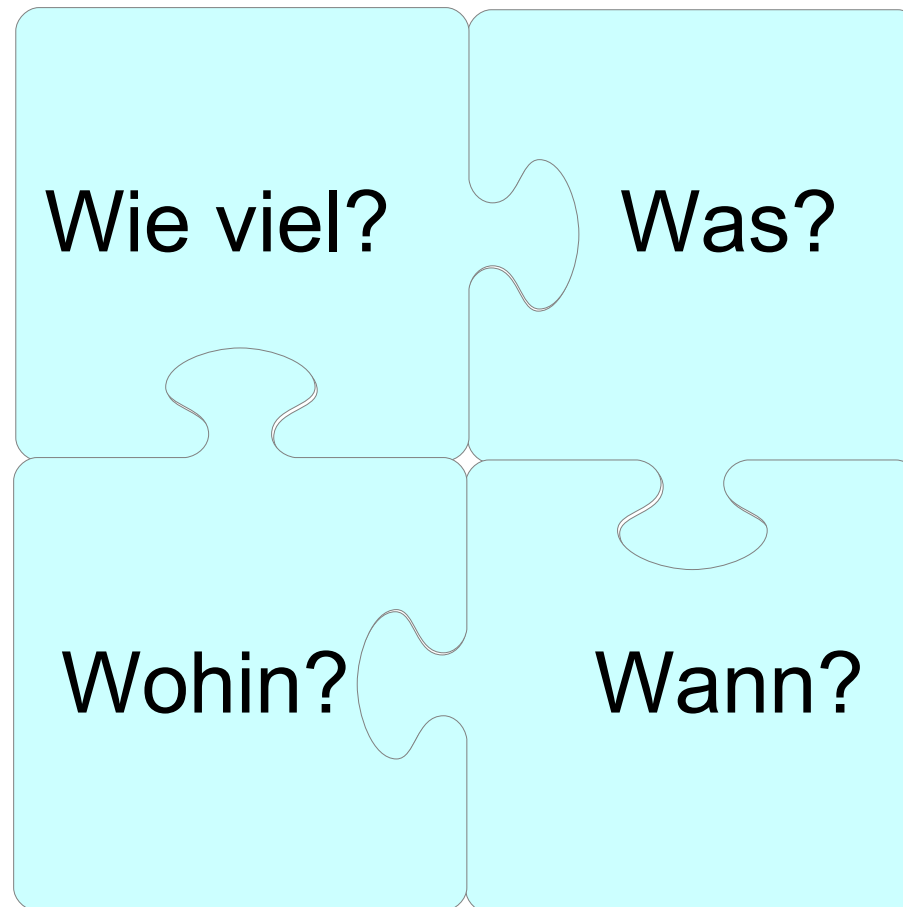


Phosphor – Strategien für den ökologischen Landbau

Prof. Dr. Torsten Müller



■ Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung

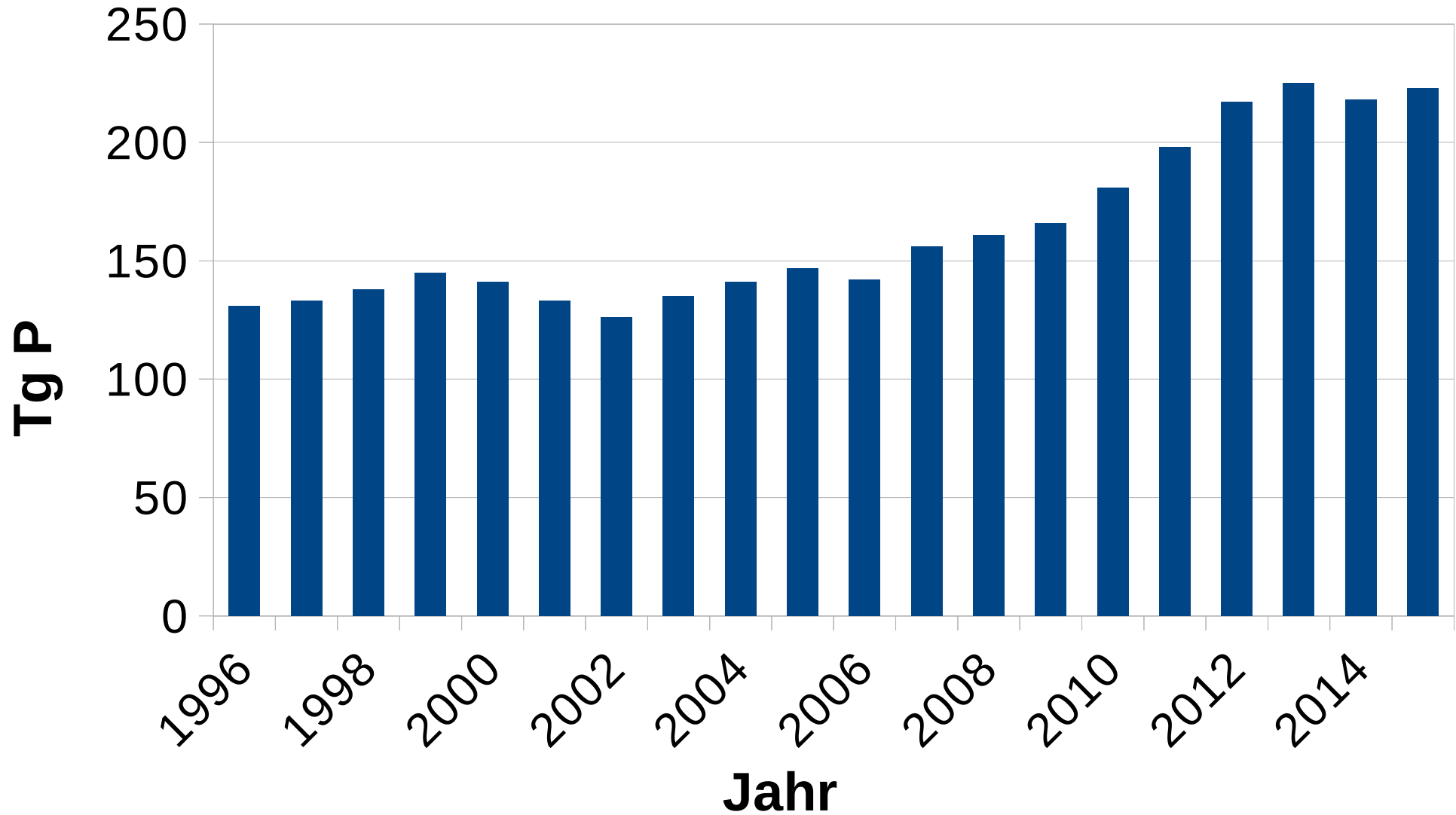


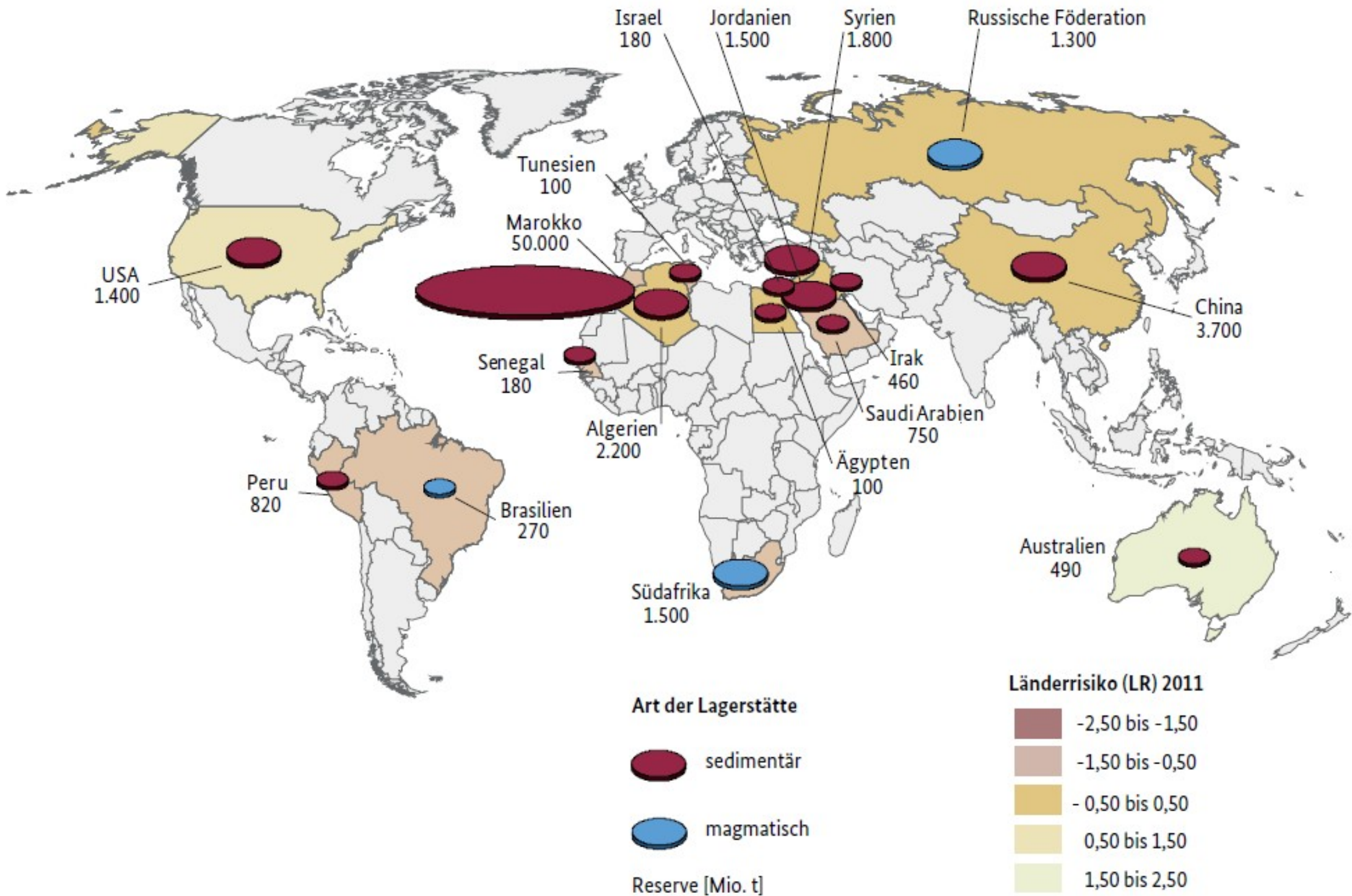
■ Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung

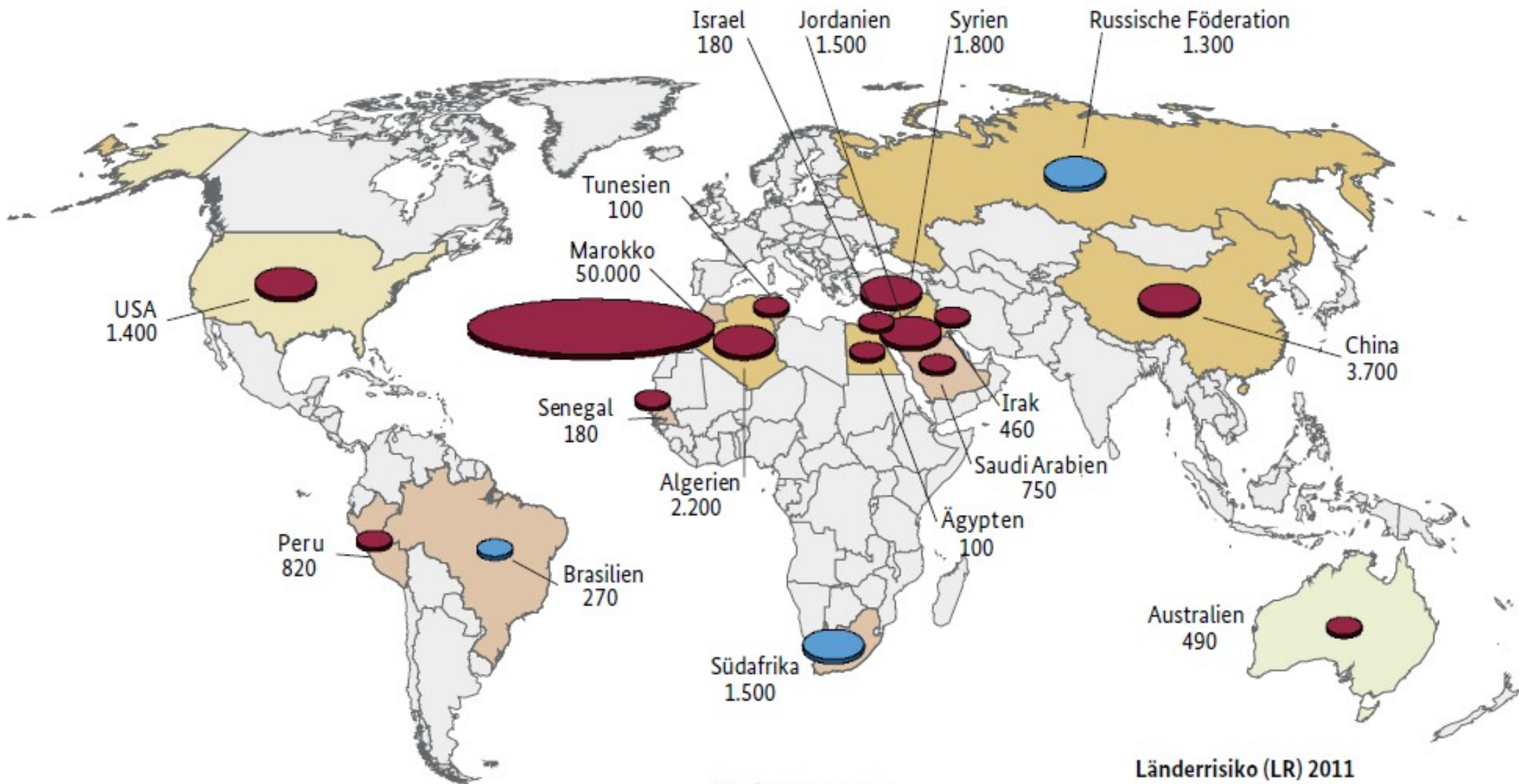


Weltweiter P Verbrauch

(USGS, 1997-2016)

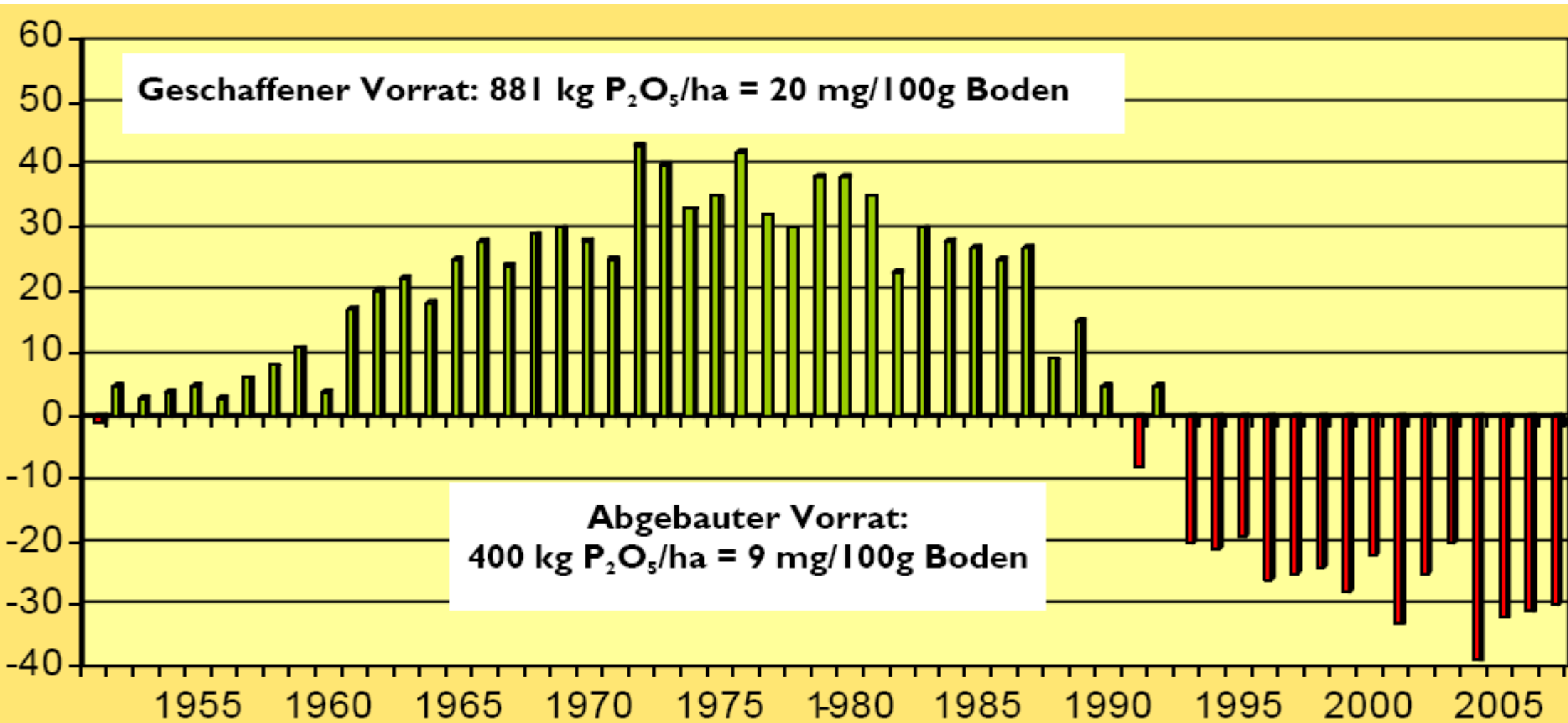






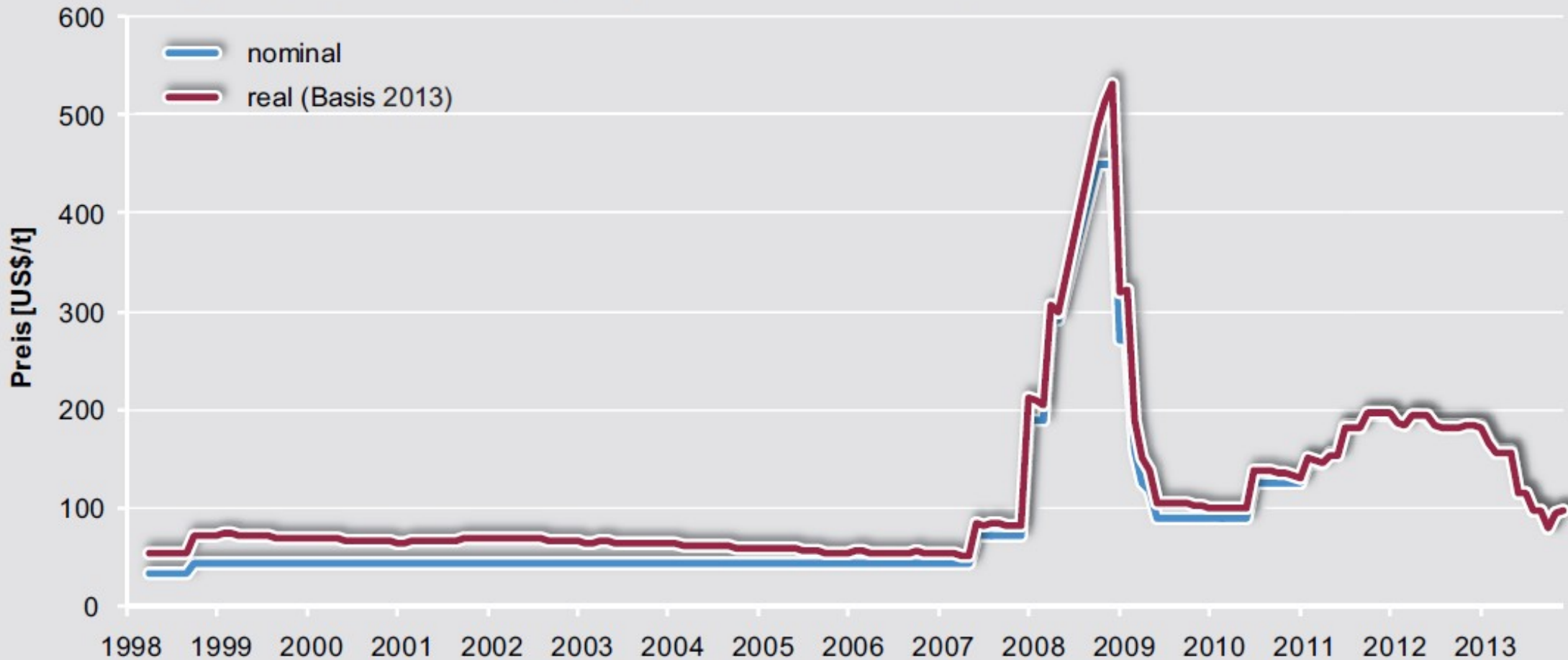
**P-Lagerstätten sind begrenzt!
 Kleine Anfrage an die
 Bundesregierung 2013:
 383 Jahre bei statischem Verbrauch**

Phosphat-Salden auf Ackerstandorten seit 1959 (in kg/ha P_2O_5)

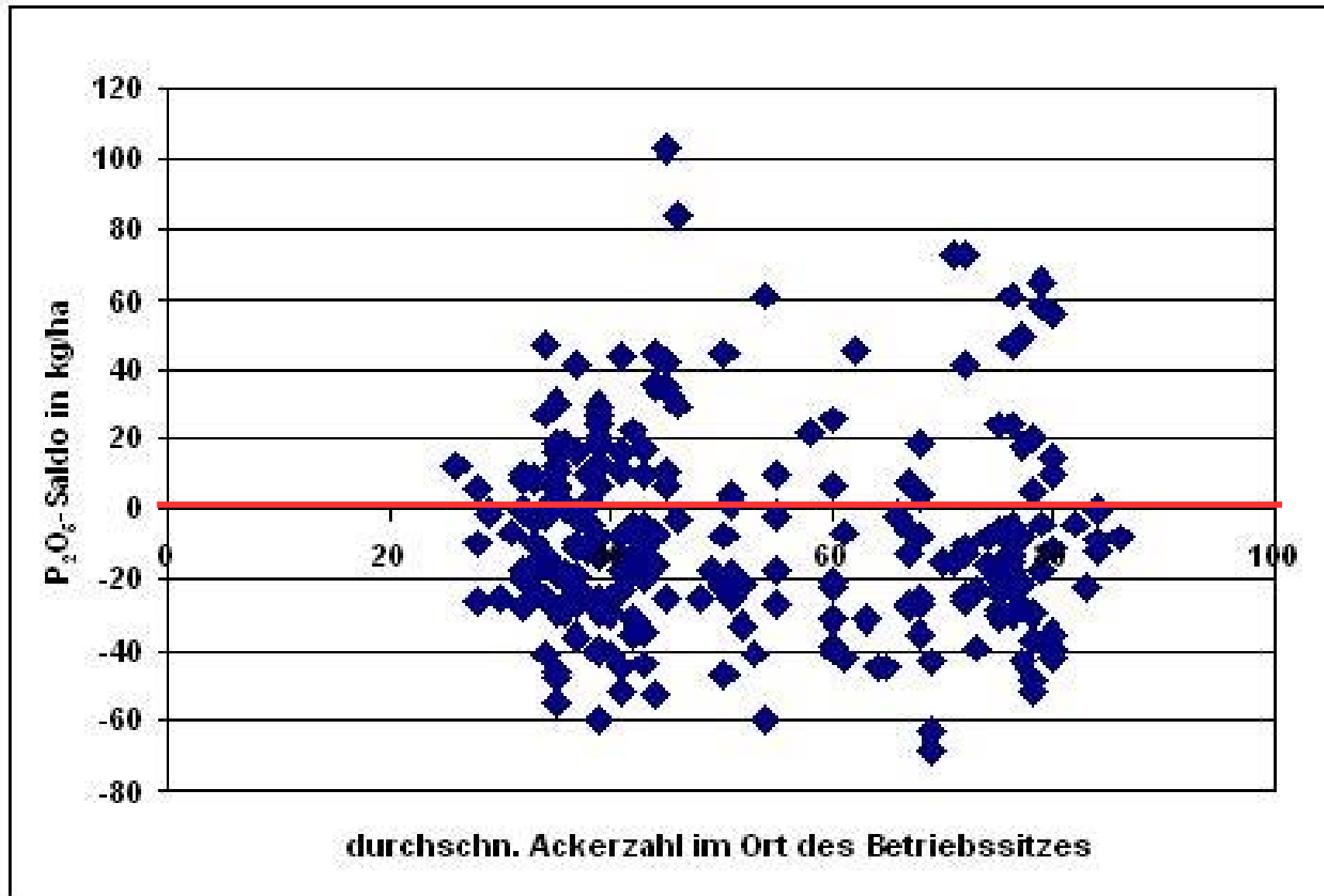


Phosphatpreise (US\$/t)

Phosphat (phosphate rock, 68 % bpl, long term contract, North Africa)



Phosphatsalden in Relation zur durchschnittlichen Ackerzahl (240 Betriebe in Rheinland-Pfalz, einjährige Nährstoffvergleiche, 2008 bis 2010), (nach Fritsch)



P im Boden

300 – 3.000 kg P je ha in 0-20 cm Boden
entsprechend

687 – 6.870 kg P_2O_5 je ha in 0-20 cm Boden
stehen einem Entzug von
25 – 50 kg P oder 65 – 120 kg P_2O_5 je Jahr
gegenüber

P-Bilanzen, Marktfruchtbetriebe (Lindenthal, 2000)

Betrieb (Nr.)	3	16	14	15	17	13	18	ø MF
Zukauf (Input):								
Mineralische Dünger	0,11	-	0,23	-	0,05	1,28	0,16	0,26
Organische Dünger	0,38	4,65	-	12,66	3,14	6,62	5,37	4,69
Saatgut	0,90	0,54	0,60	0,55	-	0,25	0,09	0,42
Vieh	-	0,74	0,21	-	0,003	-	0,01	0,14
Futtermittel	-	-	2,96	-	0,001	-	0,36	0,47
Einstreu	-	-	0,12	-	-	-	0,56	0,10
Summe ZUKAUF	1,39	5,93	4,12	13,21	3,20	8,15	6,56	6,08
Verkauf (Output):								
Pflanzliche Produkte	7,86	10,28	5,69	15,64	3,38	6,80	3,51	7,59
Vieh/Fleisch	-	-	1,50	-	0,06	0,06	0,56	0,31
Tierische Produkte (Eier, Milch etc.)	-	-	0,15	-	0,0004	-	0,06	0,03
Summe VERKAUF	7,86	10,28	7,34	15,64	3,44	6,86	4,12	7,93
Saldo	-6,5	-4,3	-3,2	-2,4	-0,2	+1,3	+2,4	-1,9

P-Bilanzen, Marktfruchtbetriebe (Lindenthal, 2000)

Betrieb (Nr.)	3	16	14	15	17	13	18	ø MF
Zukauf (Input):								
Mineralische Dünger	0,11	-	0,23	-	0,05	1,28	0,16	0,26
Organische Dünger	0,38	4,65	-	12,66	3,14	6,62	5,37	4,69
Saatgut	0,90	0,54	0,60	0,55	-	0,25	0,09	0,42
Vieh	-	0,74	0,21	-	0,003	-	0,01	0,14
Futtermittel	-	-	2,96	-	0,001	-	0,36	0,47
Einstreu	-	-	0,12	-	-	-	0,56	0,10
Summe ZUKAUF	1,39	5,93	4,12	13,21	3,20	8,15	6,56	6,08
Verkauf (Output):								
Pflanzliche Produkte	7,86	10,28	5,69	15,64	3,38	6,80	3,51	7,59
Vieh/Fleisch	-	-	1,50	-	0,06	0,06	0,56	0,31
Tierische Produkte (Eier, Milch etc.)	-	-	0,15	-	0,0004	-	0,06	0,03
Summe VERKAUF	7,86	10,28	7,34	15,64	3,44	6,86	4,12	7,93
Saldo	-6,5	-4,3	-3,2	-2,4	-0,2	+1,3	+2,4	-1,9

P-Bilanzen, Gemischtbetriebe (Lindenthal, 2000)

Betrieb	24	12	5	9	4	23	1	6	2	8	7	ø GM
Zukauf (Input):												
Mineral. Dünger	0,03	-	0,10	0,52	0,50	0,46	2,35	5,77	4,00	11,00	17,28	3,82
Organ. Dünger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saatgut	0,12	0,14	0,25	0,48	0,23	0,14	0,29	0,15	0,15	-	0,40	0,21
Vieh	-	0,34	0,11	-	0,18	0,07	0,20	0,20	0,08	-	-	0,11
Futtermittel	3,46	0,87	0,99	0,63	4,20	3,14	2,02	1,07	5,88	1,00	1,73	2,27
Einstreu	-	-	0,08	-	0,00	0,45	-	0,34	0,76	0,27	0,43	0,21
Σ ZUKAUF	3,60	1,35	1,53	1,63	5,13	4,25	4,87	7,52	10,90	12,28	19,84	6,63
Verkauf (Output):												
Pflanzl. Produkte	-	2,21	0,12	0,41	1,07	0,33	0,11	0,16	1,17	0,49	-	0,55
Vieh/Fleisch	1,74	0,99	0,35	0,76	1,66	1,79	0,28	1,22	0,58	0,86	1,71	1,09
Tier. Produkte (v. a. Milch)	5,02	0,88	3,20	2,50	3,69	2,67	3,29	1,03	2,57	2,35	2,50	2,70
Σ VERKAUF	6,76	4,09	3,67	3,68	6,42	4,80	3,68	2,41	4,33	3,70	4,21	4,34
Saldo	-3,2	-2,7	-2,1	-2,0	-1,3	-0,6	+1,2	+5,1	+6,6	+8,6	+15,6	+2,3

P-Bilanzen, Gemischtbetriebe (Lindenthal, 2000)

Betrieb	24	12	5	9	4	23	1	6	2	8	7	ø GM
Zukauf (Input):												
Mineral. Dünger	0,03	-	0,10	0,52	0,50	0,46	2,35	5,77	4,00	11,00	17,28	3,82
Organ. Dünger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saatgut	0,12	0,14	0,25	0,48	0,23	0,14	0,29	0,15	0,15	-	0,40	0,21
Vieh	-	0,34	0,11	-	0,18	0,07	0,20	0,20	0,08	-	-	0,11
Futtermittel	3,46	0,87	0,99	0,63	4,20	3,14	2,02	1,07	5,88	1,00	1,73	2,27
Einstreu	-	-	0,08	-	0,00	0,45	-	0,34	0,76	0,27	0,43	0,21
Σ ZUKAUF	3,60	1,35	1,53	1,63	5,13	4,25	4,87	7,52	10,90	12,28	19,84	6,63
Verkauf (Output):												
Pflanzl. Produkte	-	2,21	0,12	0,41	1,07	0,33	0,11	0,16	1,17	0,49	-	0,55
Vieh/Fleisch	1,74	0,99	0,35	0,76	1,66	1,79	0,28	1,22	0,58	0,86	1,71	1,09
Tier. Produkte (v. a. Milch)	5,02	0,88	3,20	2,50	3,69	2,67	3,29	1,03	2,57	2,35	2,50	2,70
Σ VERKAUF	6,76	4,09	3,67	3,68	6,42	4,80	3,68	2,41	4,33	3,70	4,21	4,34
Saldo	-3,2	-2,7	-2,1	-2,0	-1,3	-0,6	+1,2	+5,1	+6,6	+8,6	+15,6	+2,3

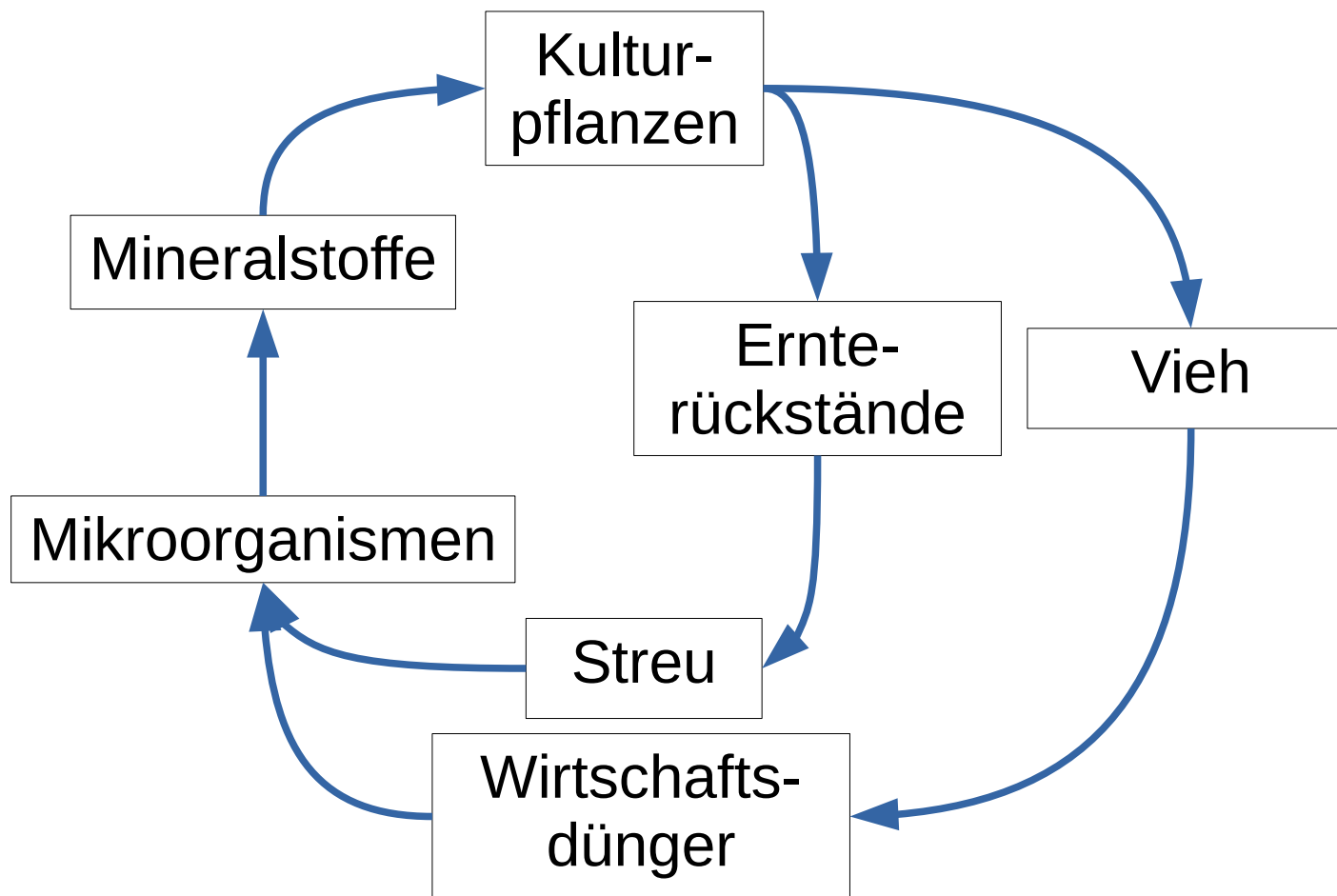
P-Bilanzen, Veredelungsbetriebe (Lindenthal, 2000)

Betrieb	20	11	10	25	22	21	13	ø VE
Zukauf (Input):								
Mineralische Dünger	0,03	-	0,21	0,01	1,59	0,22	1,28	0,48
Organische Dünger	2,18	-	-	-	5,52	0,97	8,83	2,50
Saatgut	0,54	0,24	0,26	0,27	0,35	0,26	0,59	0,36
Vieh	0,01	0,98	0,62	0,20	1,23	0,61	0,13	0,54
Futtermittel	3,77	3,66	11,91	9,59	12,74	19,91	14,12	10,81
Einstreu	-	-	0,19	0,52	-	-	-	0,10
Summe ZUKAUF	6,53	4,87	13,18	10,58	21,42	21,98	24,95	14,79
Verkauf (Output):								
Pflanzliche Produkte	4,77	0,07	0,18	-	2,59	4,58	5,07	2,46
Vieh/Fleisch	2,25	3,20	8,50	1,71	5,04	0,54	4,47	3,67
Tierische Produkte (Eier, Milch)	-	0,05	-	3,40	-	2,39	-	0,84
Summe VERKAUF	7,03	3,32	8,68	5,11	7,63	7,51	9,53	6,97
Saldo	-0,5	+1,6	+4,5	+5,5	+13,8	+14,5	+15,4	+7,8

P-Bilanzen, Veredelungsbetriebe (Lindenthal, 2000)

Betrieb	20	11	10	25	22	21	13	ø VE
Zukauf (Input):								
Mineralische Dünger	0,03	-	0,21	0,01	1,59	0,22	1,28	0,48
Organische Dünger	2,18	-	-	-	5,52	0,97	8,83	2,50
Saatgut	0,54	0,24	0,26	0,27	0,35	0,26	0,59	0,36
Vieh	0,01	0,98	0,62	0,20	1,23	0,61	0,13	0,54
Futtermittel	3,77	3,66	11,91	9,59	12,74	19,91	14,12	10,81
Einstreu	-	-	0,19	0,52	-	-	-	0,10
Summe ZUKAUF	6,53	4,87	13,18	10,58	21,42	21,98	24,95	14,79
Verkauf (Output):								
Pflanzliche Produkte	4,77	0,07	0,18	-	2,59	4,58	5,07	2,46
Vieh/Fleisch	2,25	3,20	8,50	1,71	5,04	0,54	4,47	3,67
Tierische Produkte (Eier, Milch)	-	0,05	-	3,40	-	2,39	-	0,84
Summe VERKAUF	7,03	3,32	8,68	5,11	7,63	7,51	9,53	6,97
Saldo	-0,5	+1,6	+4,5	+5,5	+13,8	+14,5	+15,4	+7,8

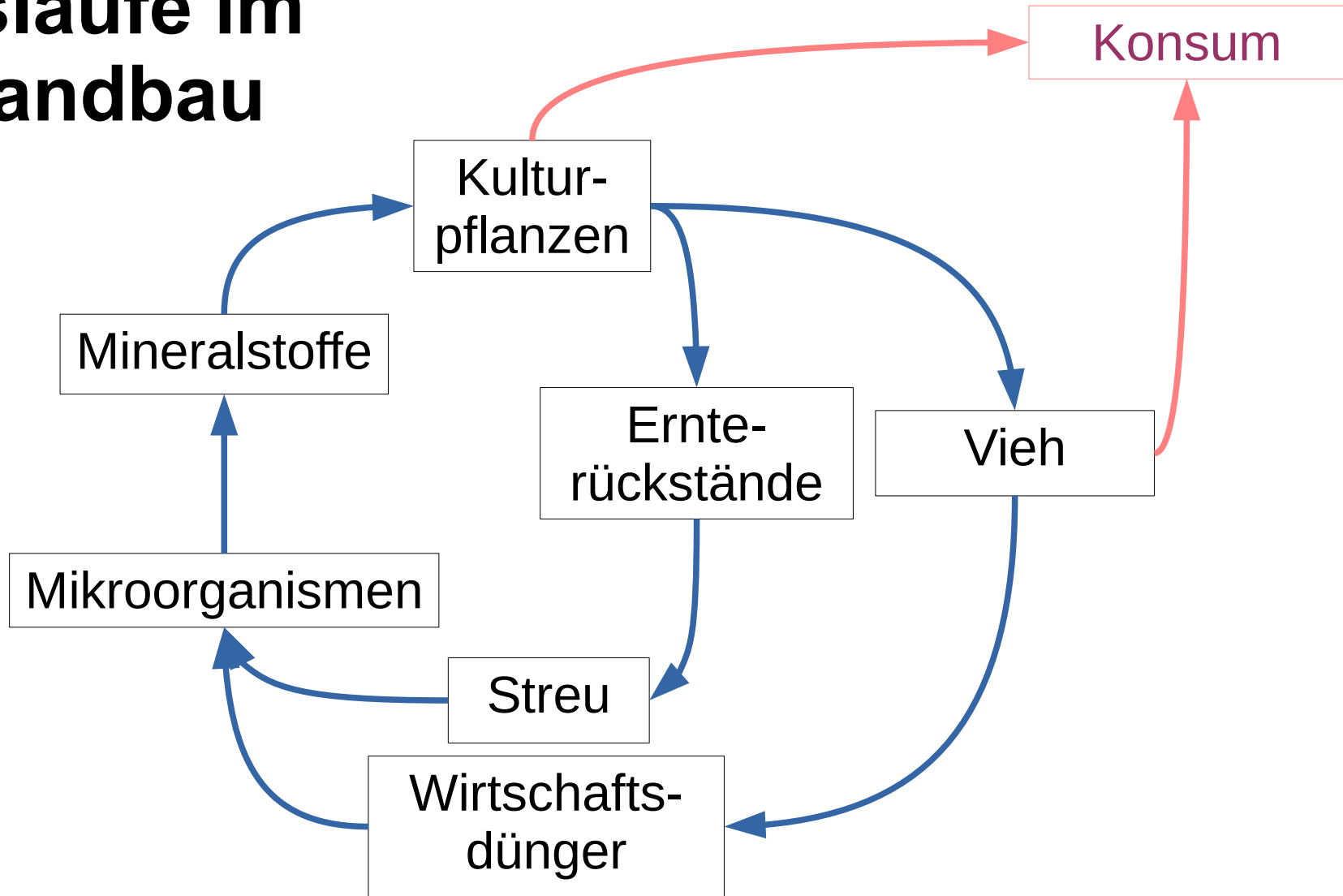
Kreisläufe im Ökolandbau



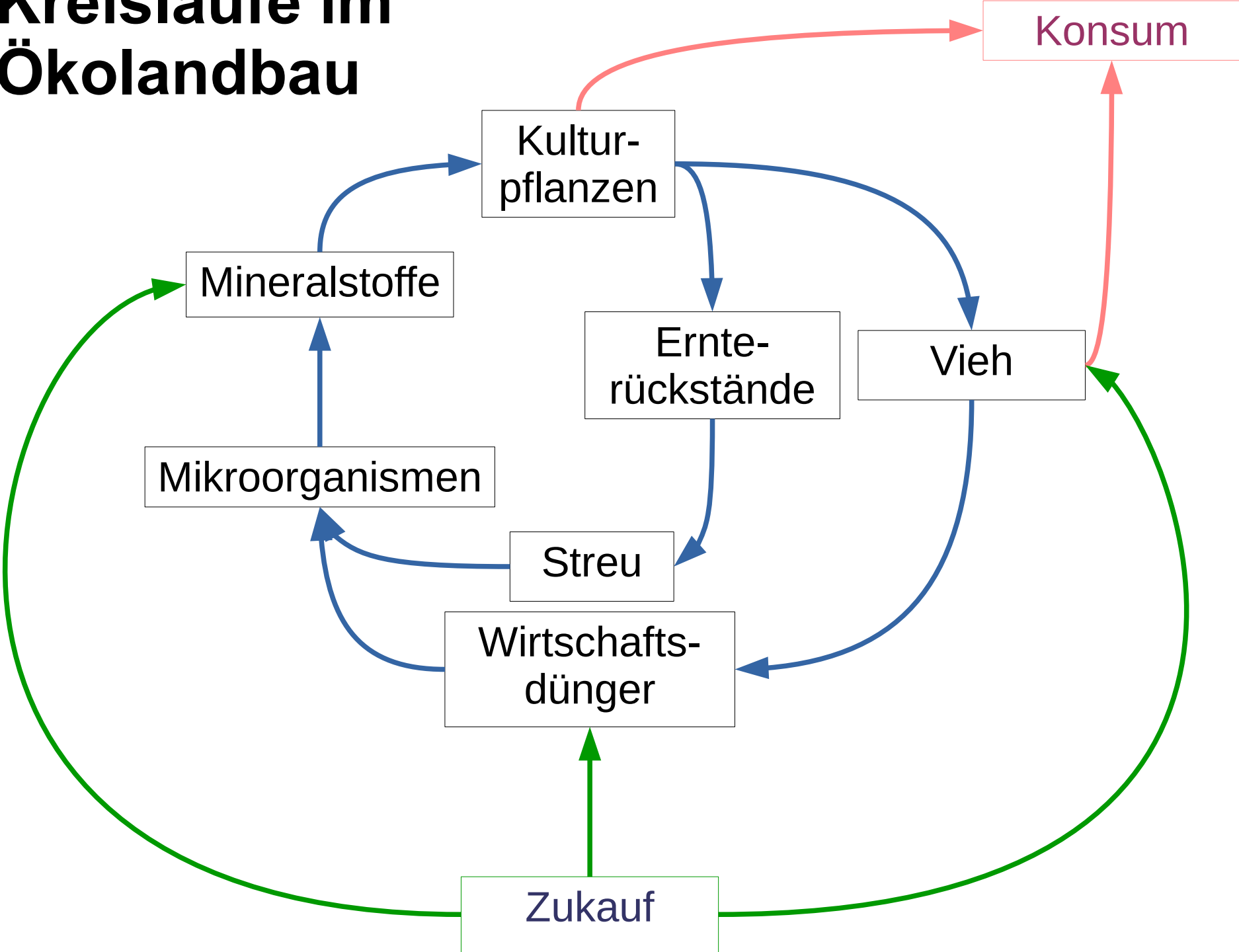
Produkte = Nährstoff- Export



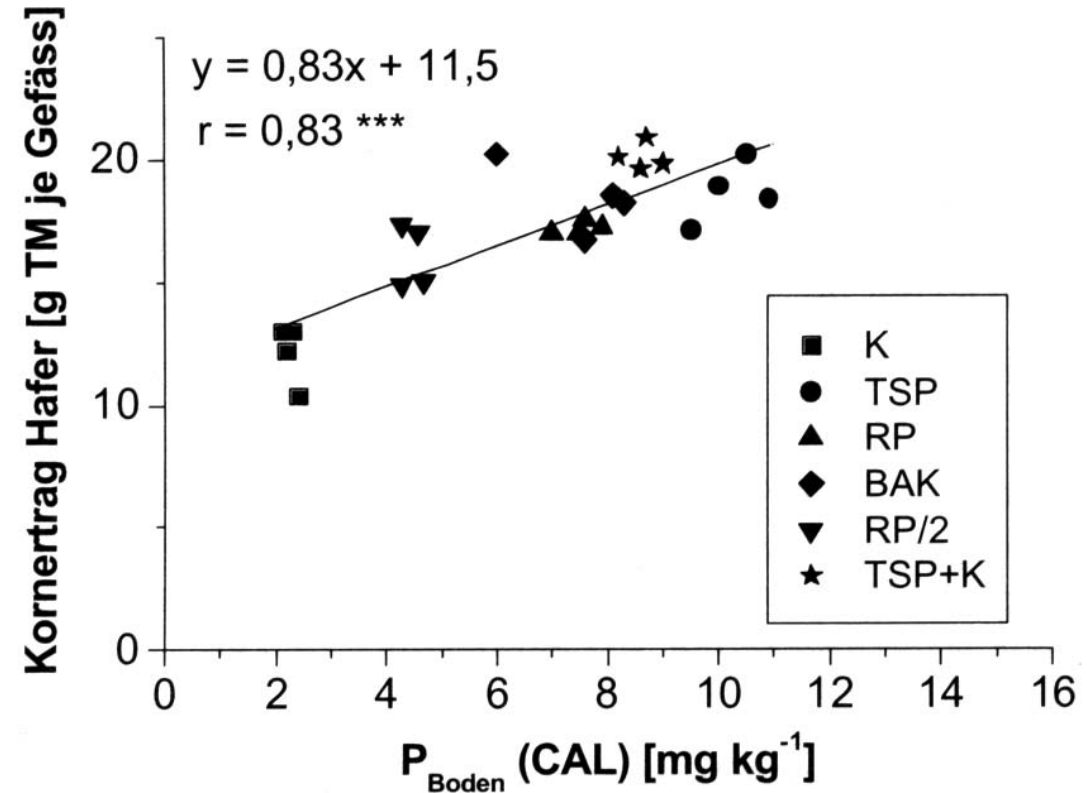
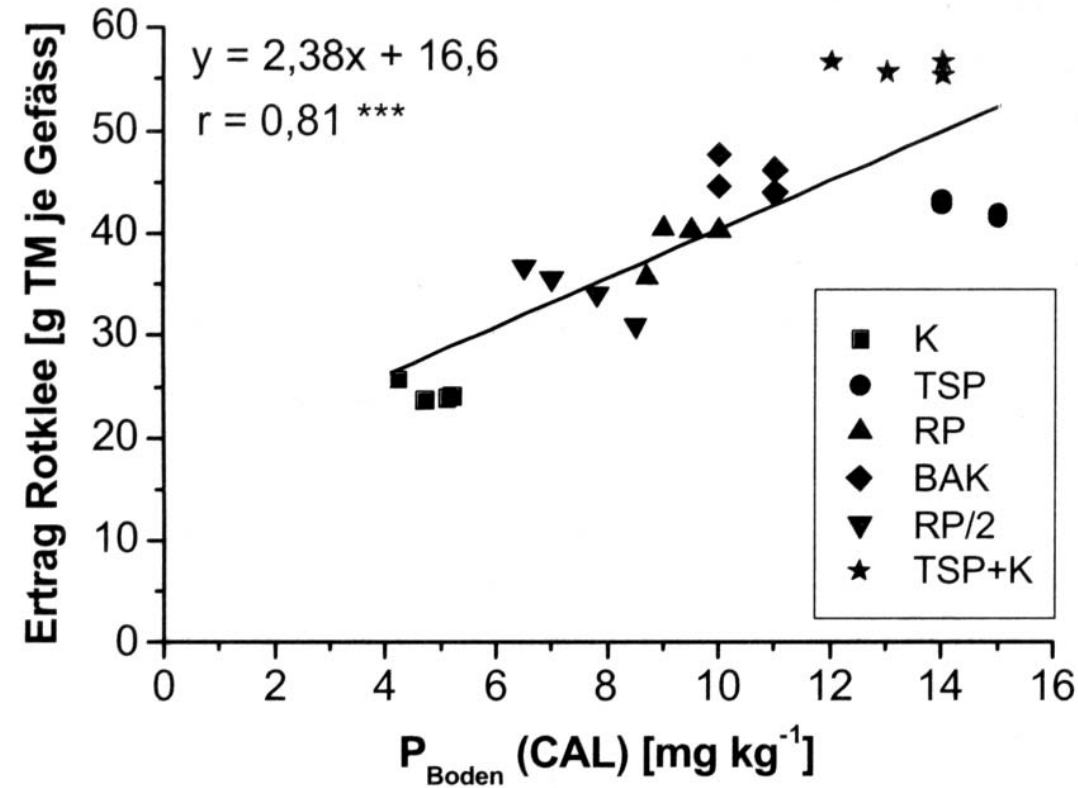
Kreisläufe im Ökolandbau



Kreisläufe im Ökolandbau

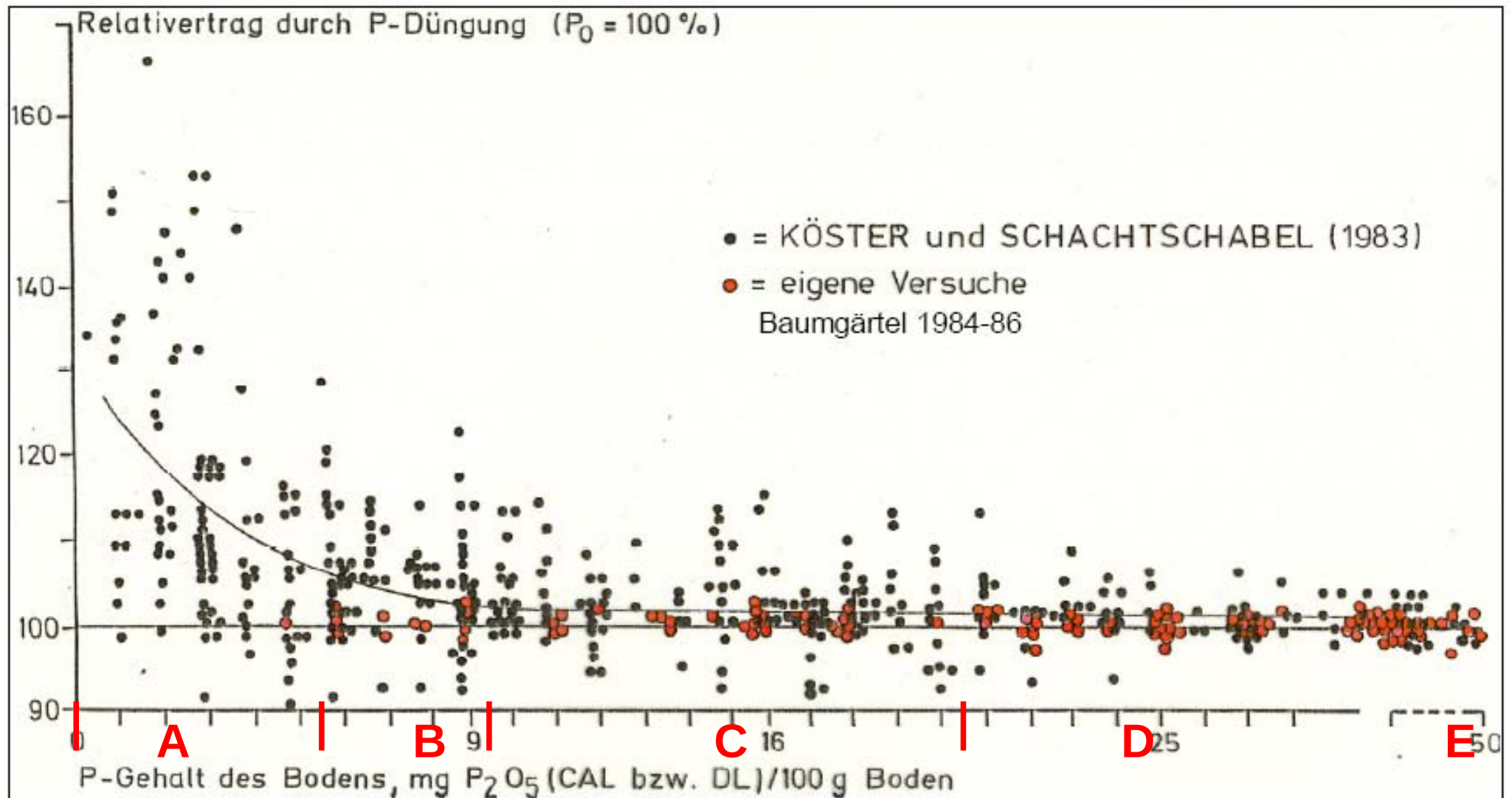


Rotklee und Hafer bei P-Mangel



LUFA: Klasse A < 26 mg P/kg

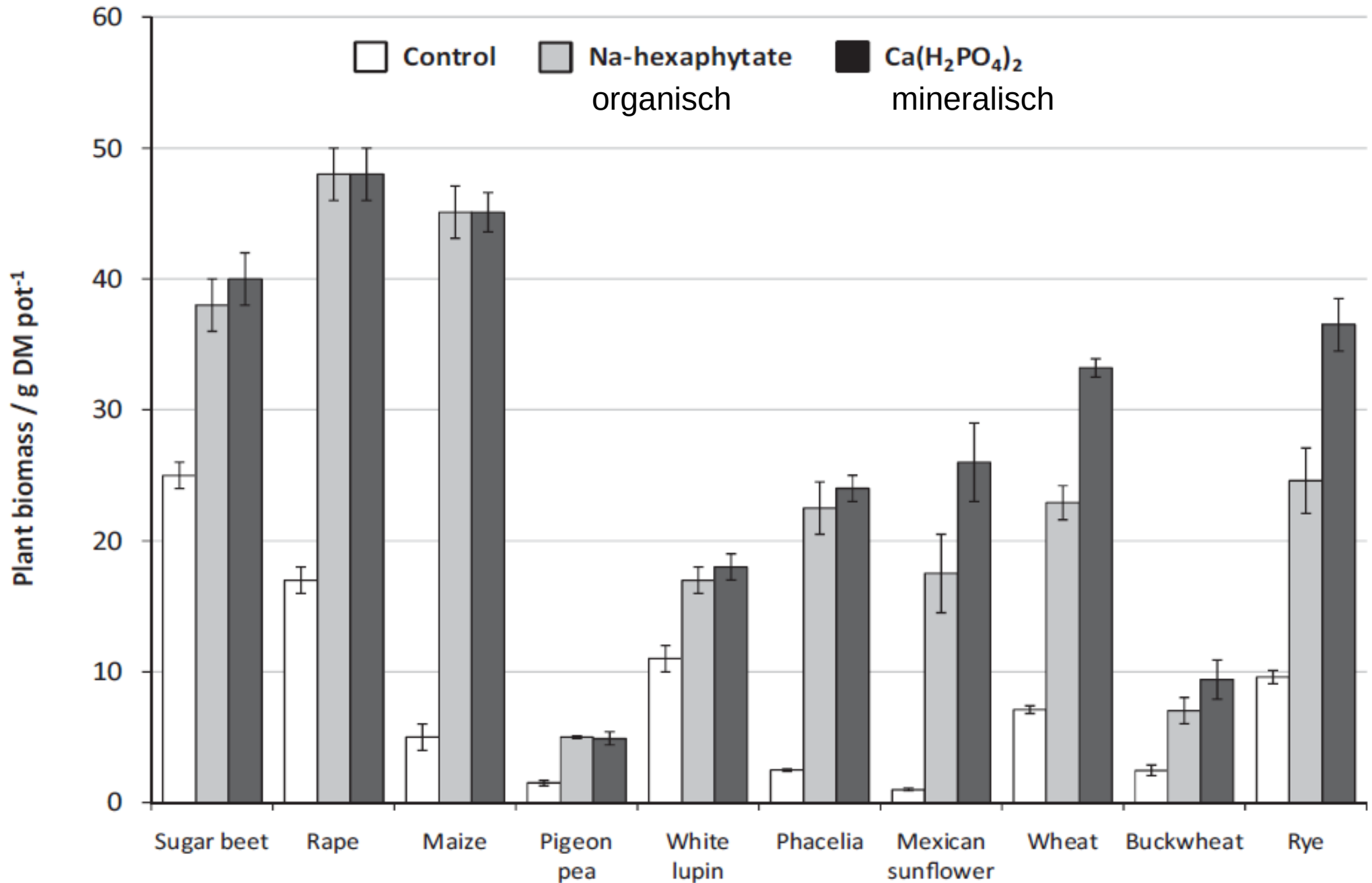
Relativerträge durch P-Düngung im Vergleich zur ungedüngten Variante auf Böden mit unterschiedlichen CAL-P-Gehalten



Effekt einer organischen oder mineralischen P-Düngung (100 mg P/kg Boden) auf extrahierbares Phosphat (Steffens et al., 2010)

Düngung	Kontrolle	P organisch	P mineralisch
Extraktionsmethode	mg P kg ⁻¹		
Mehlich-III	8.52 (± 0.15)	10.01 (± 0.16)	86.20 (± 9.84)
P-Water	1.21 (± 0.06)	1.40 (± 0.07)	31.45 (± 2.74)
Ohlsen	3.33 (± 0.17)	2.71 (± 0.17)	67.06 (± 5.22)
CAL	4.53 (± 0.44)	5.12 (± 0.35)	80.42 (± 5.82)
DL	8.46 (± 0.15)	8.58 (± 0.11)	79.29 (± 5.65)
EUf (1. + 2. fraction)	4.16 (± 0.11)	5.61 (± 0.28)	47.34 (± 3.80)

Biomasse-Erträge nach organischer oder mineralischer P-Düngung (Steffens et al., 2010)



■ Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung

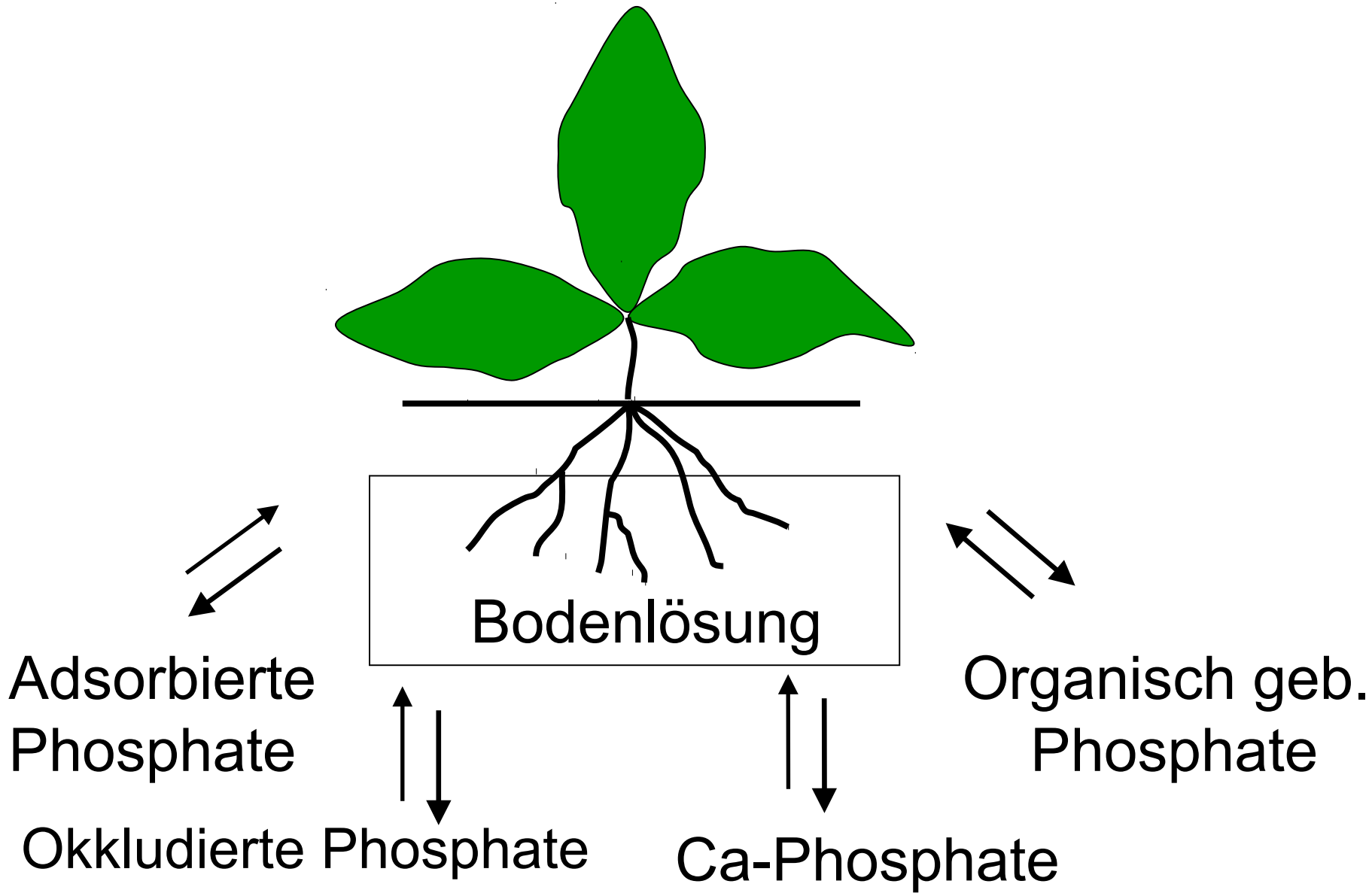
**Import
= Export**



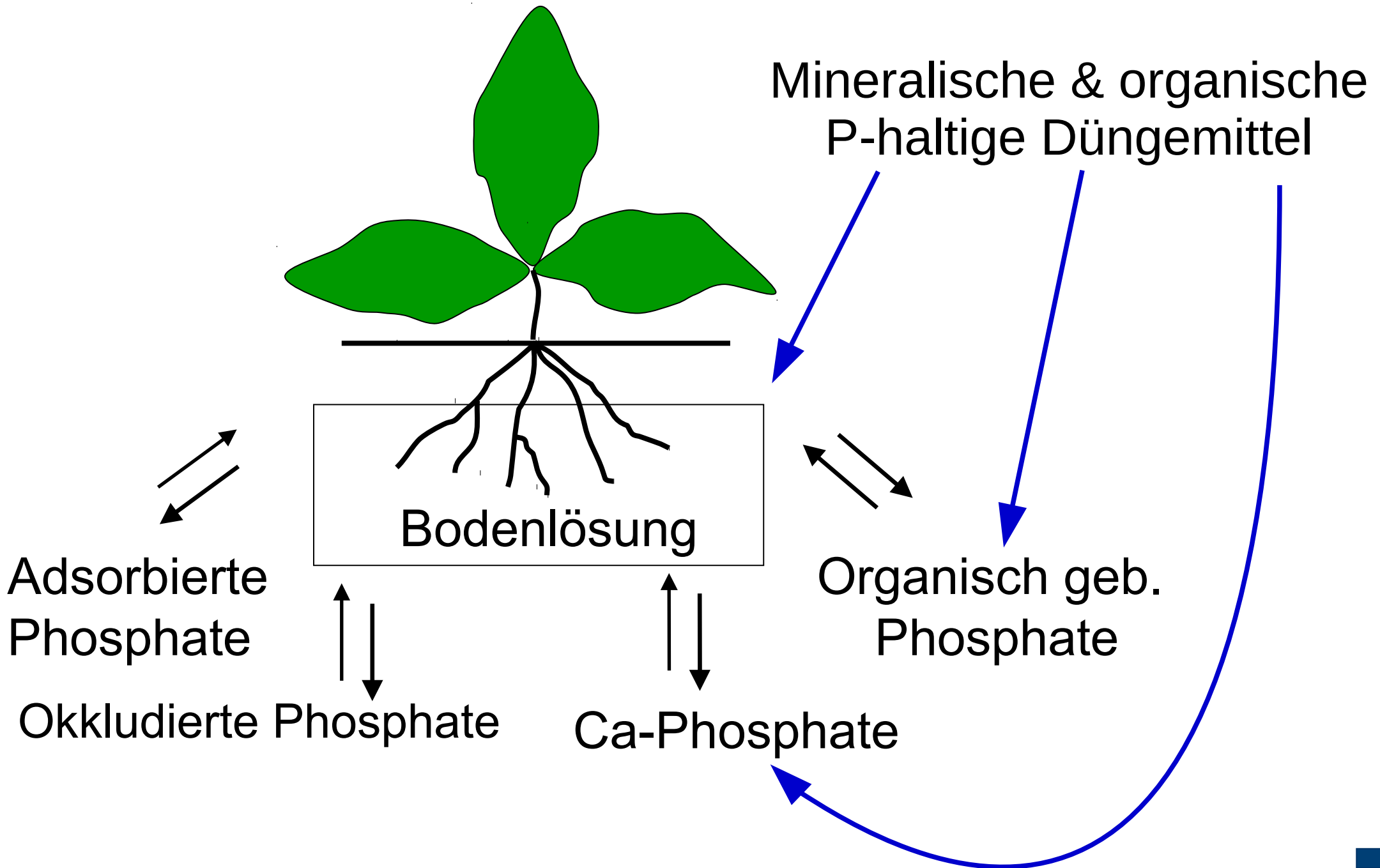
■ Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung



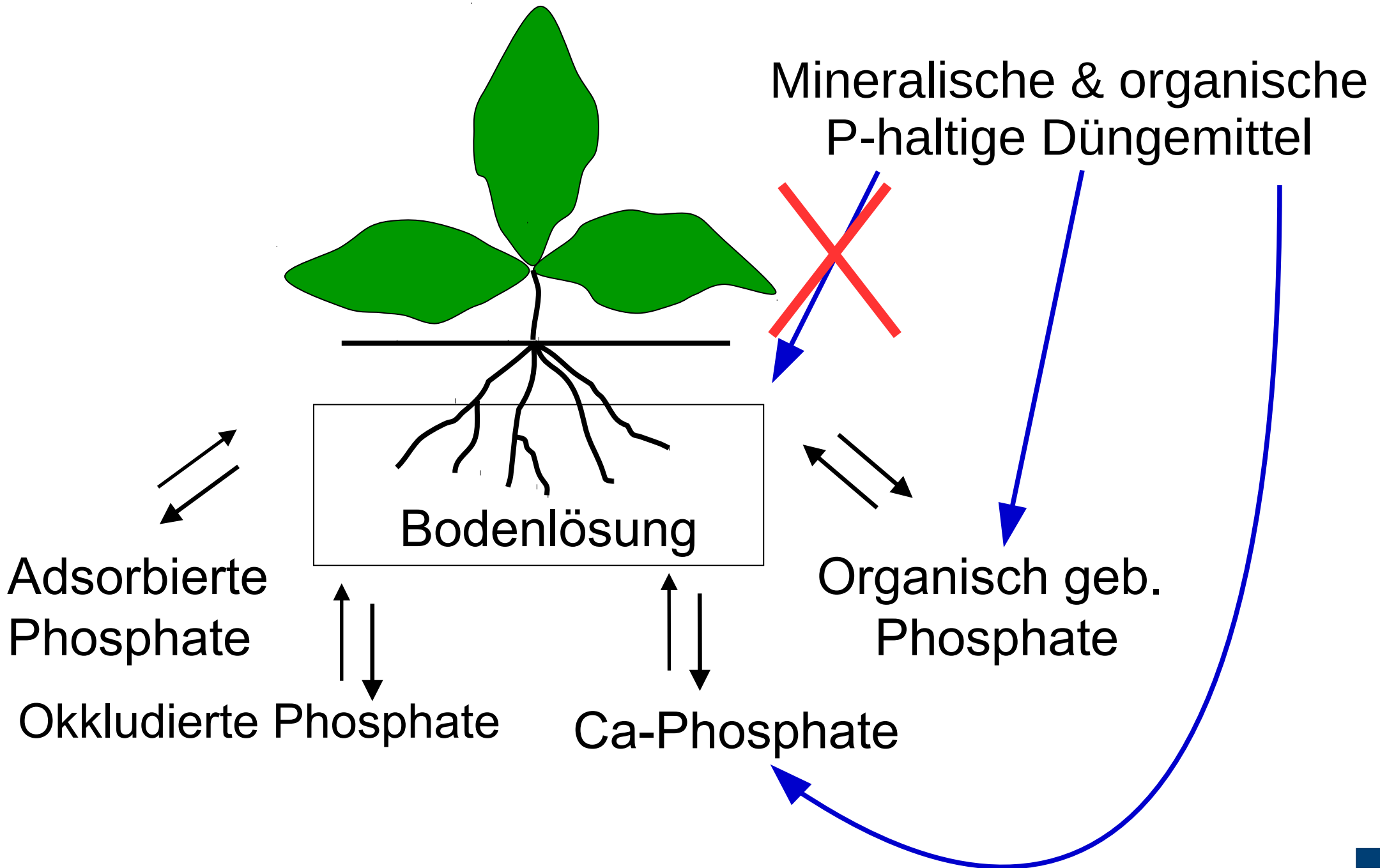
P Dynamik im Boden

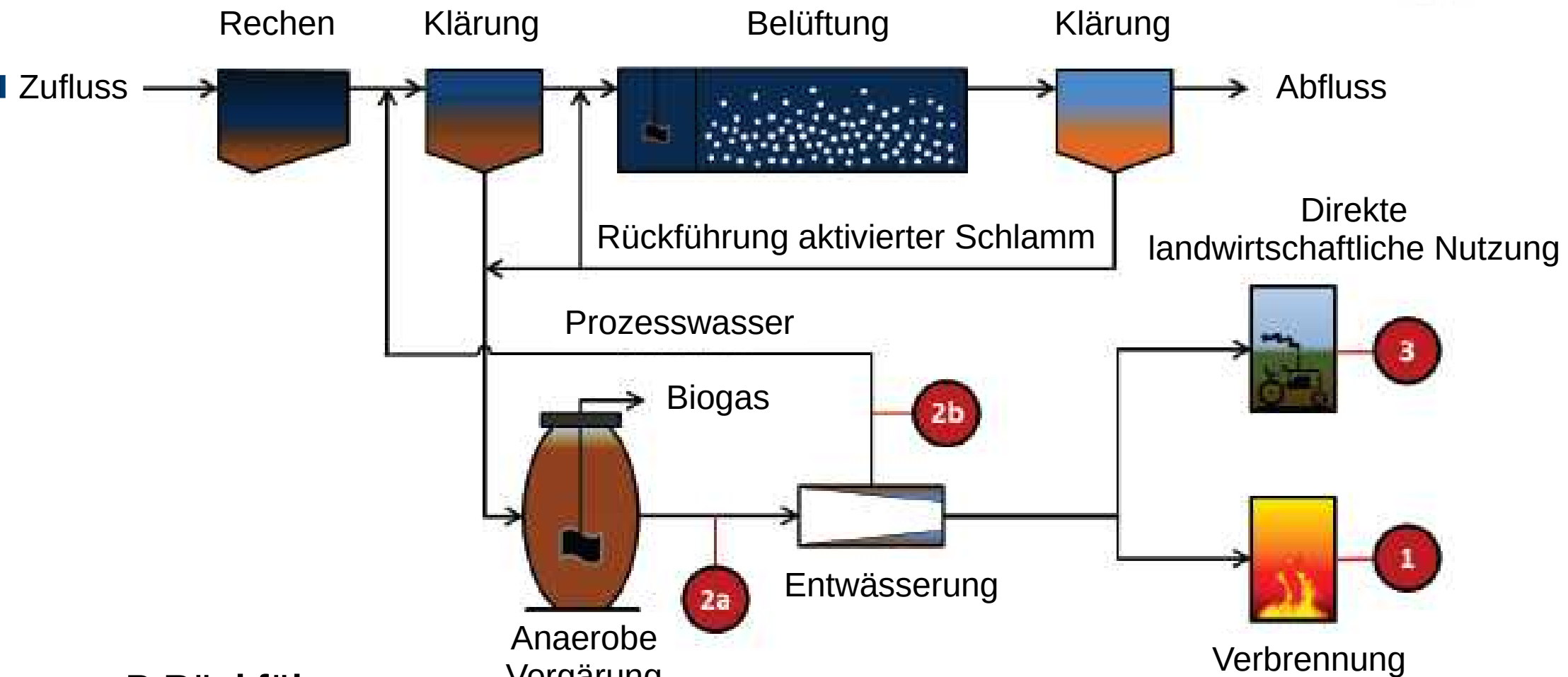


P Dynamik im Boden



P Dynamik im Boden



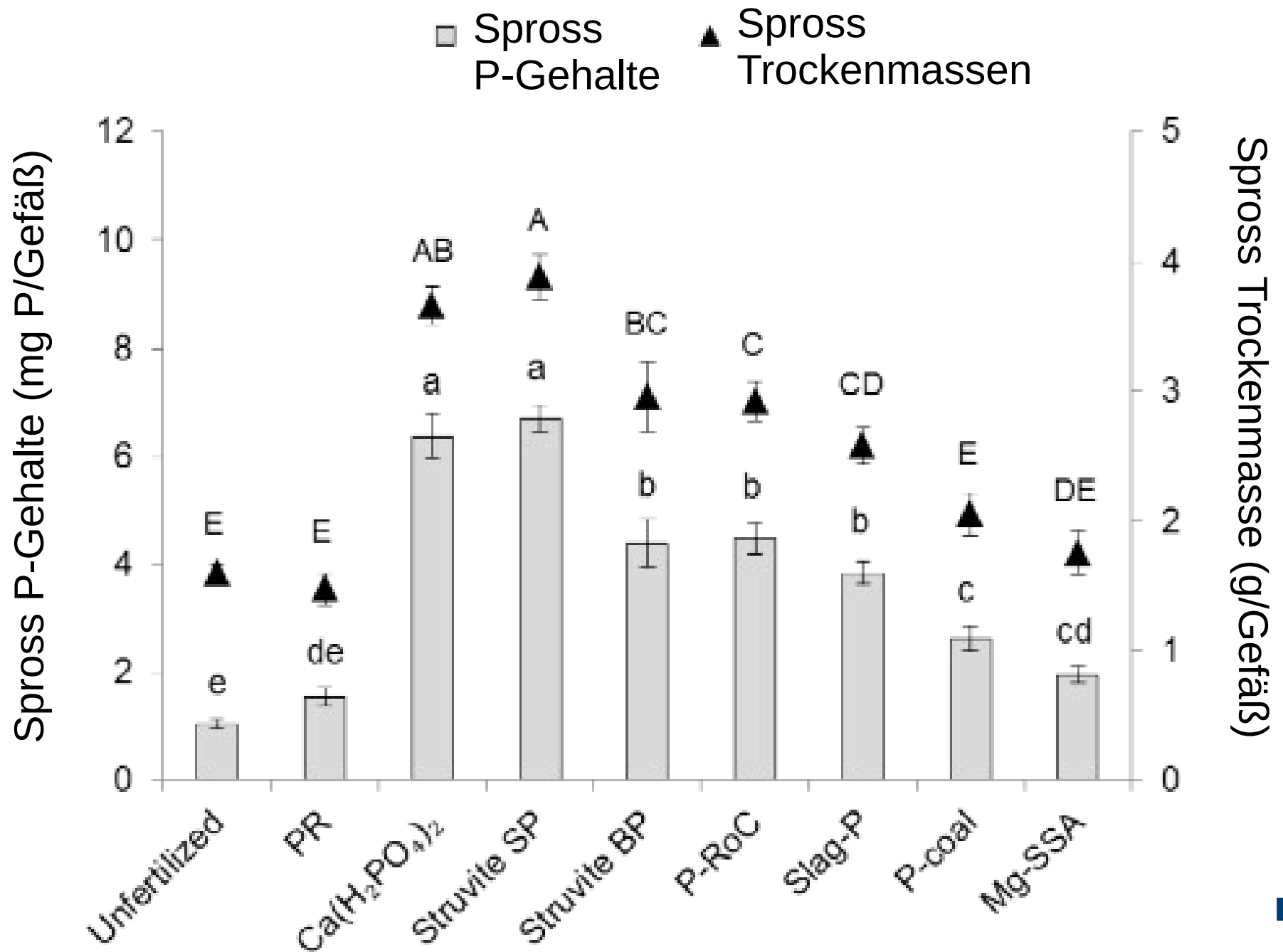


P-Rückführung aus Kläranlagen (Kabbe, 2013)

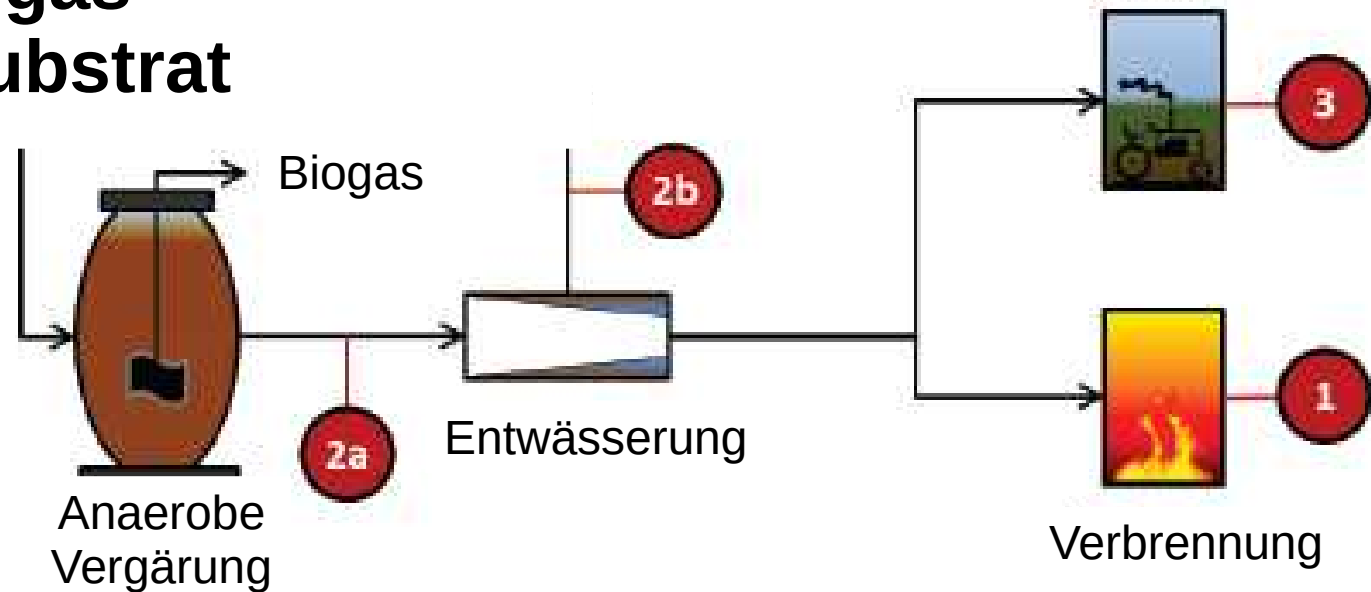
(amended from Montag 2010)

- 1 Asche(produkte) nach Verbrennung (> 80% der P-Fracht)
 - 2a Nicht entwässerter Schlamm nach aerober Vergärung (10 – 70* % der P-Fracht)
 - 2b Flüssige Phase nach Schlammentwässerung (10 – 70* % der P-Fracht) z.B. Fällung als Struvit (Mg-Ammonium-Phosphat, MAP)
 - 3 Direkte Nutzung des entwässerten Schlammes (40 - 80% der P-Fracht)
- * 70% nur nach P-Lösung

Gefäßversuche mit Mais und verschiedenen Recycling-Düngern (Wollmann, 2016)



Biogas- Gärs substrat

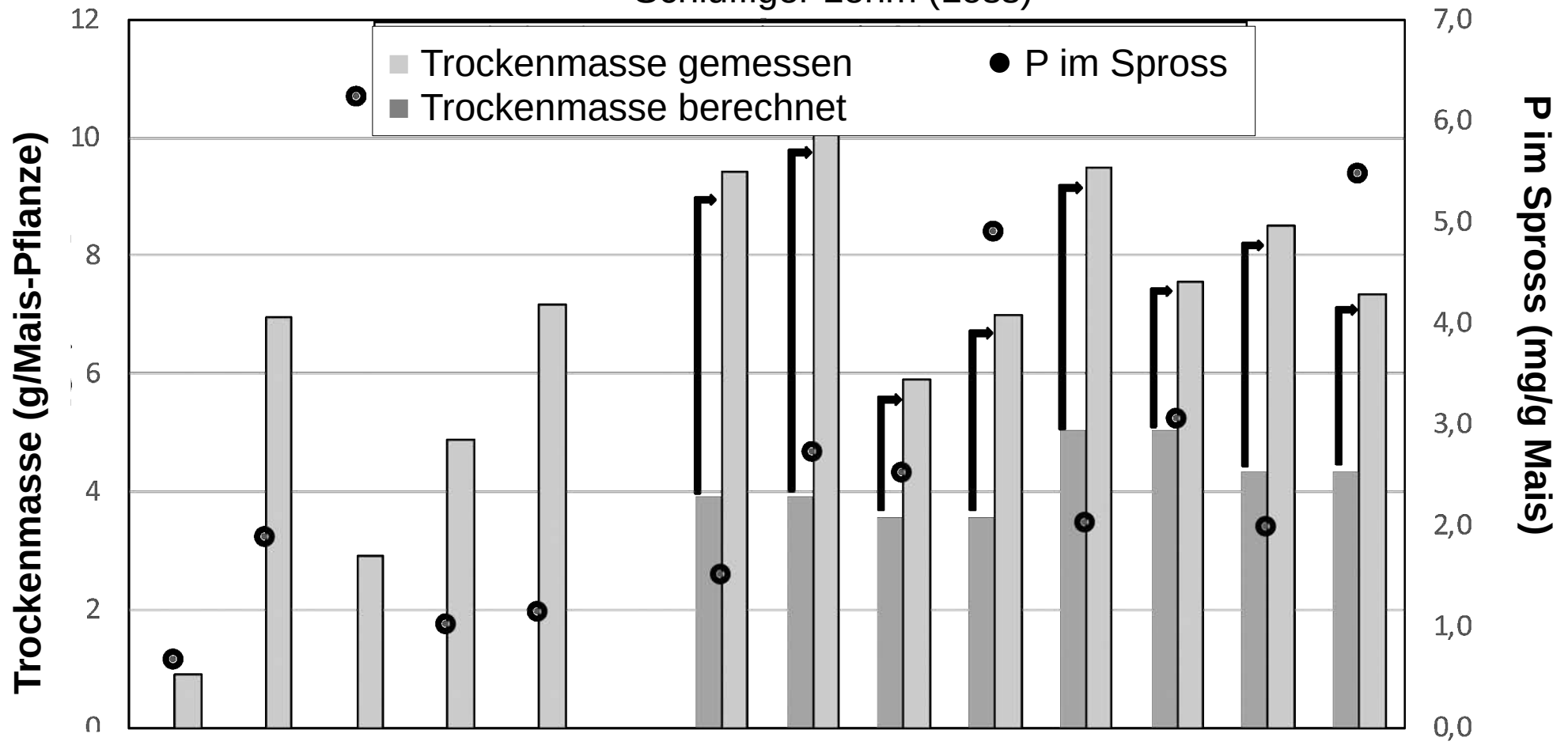


P-Rückführung (Kabbe, 2013)

(amended from Montag 2010)

- 1** Asche(produkte) nach Verbrennung (> 80% der P-Fracht)
- 2a** Nicht entwässerter Schlamm nach aerober Vergärung (10 – 70* % der P-Fracht)
- 2b** Flüssige Phase nach Schlammentwässerung (10 – 70* % der P-Fracht) ** 70% nur nach P-Lösung z.B. Fällung als Struvit (Mg-Ammonium-Phosphat, MAP)*
- 3** Nutzung des entwässerten Schlamms (40 - 80% der P-Fracht), ggf. getrocknet

Schluffiger Lehm (Löss)



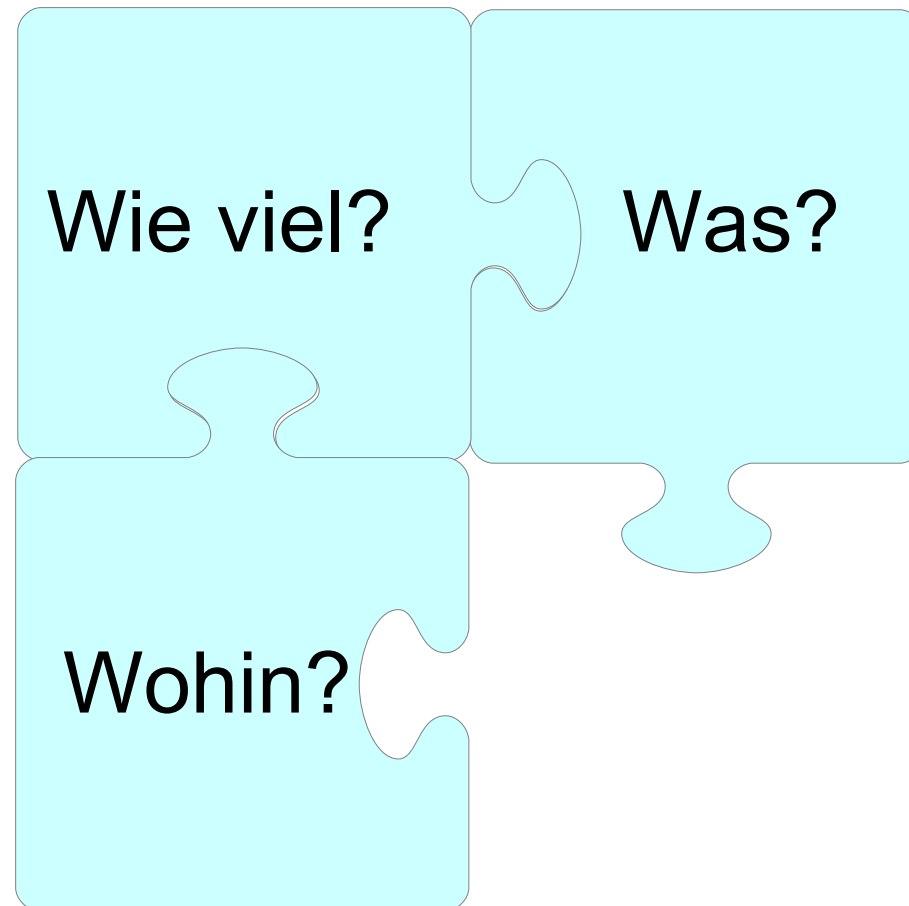
TSP	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Struvit+X	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Feststoff (LT)	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-
Feststoff (HLT)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+
Mischung	-	-	-	-	-	(1:1)	1:1	(2:1)	2:1	(1:1)	1:1	(2:1)	2:1

■ Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung



**Zunehmend
Recycling-
dünger?**

■ Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung



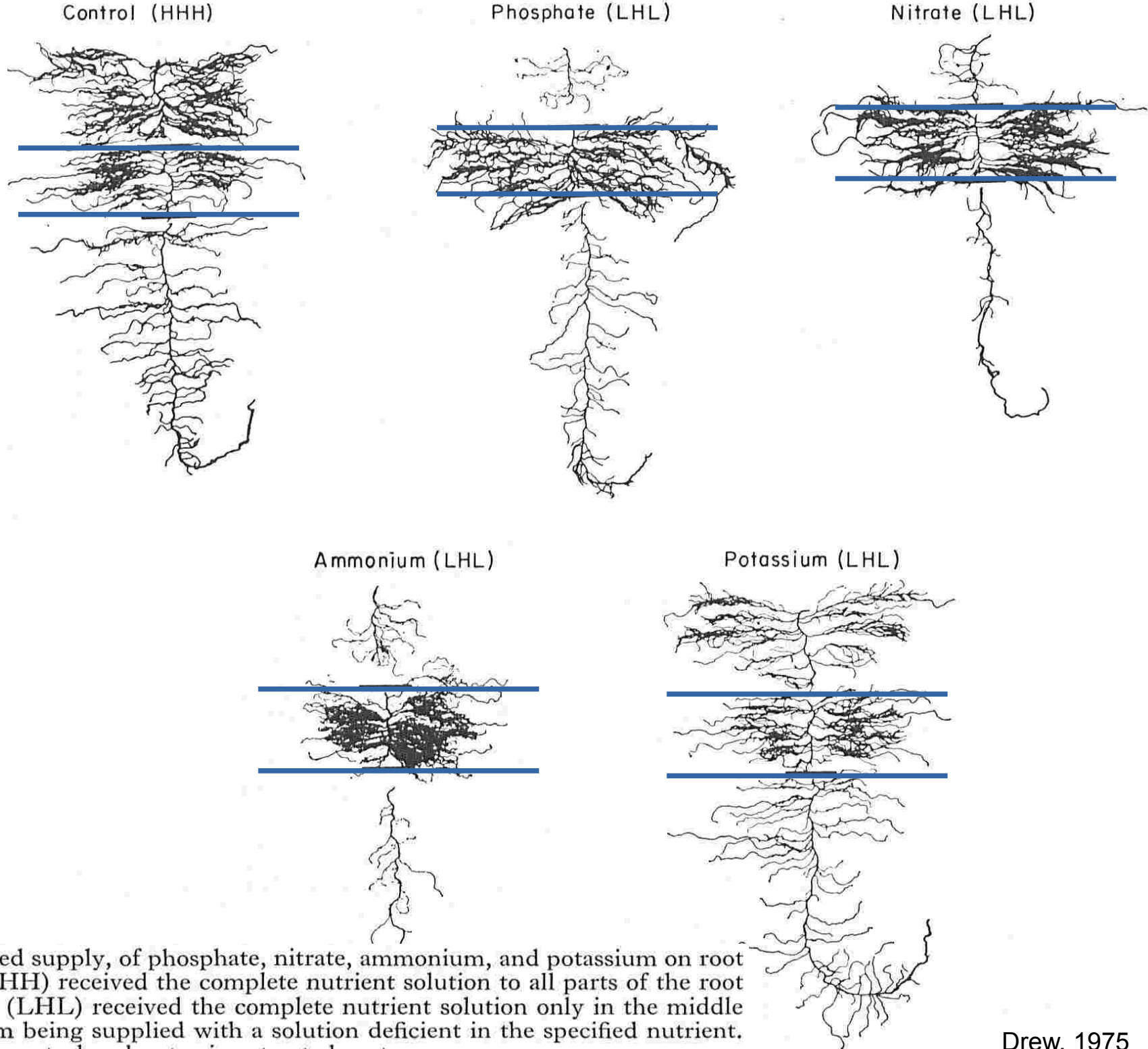
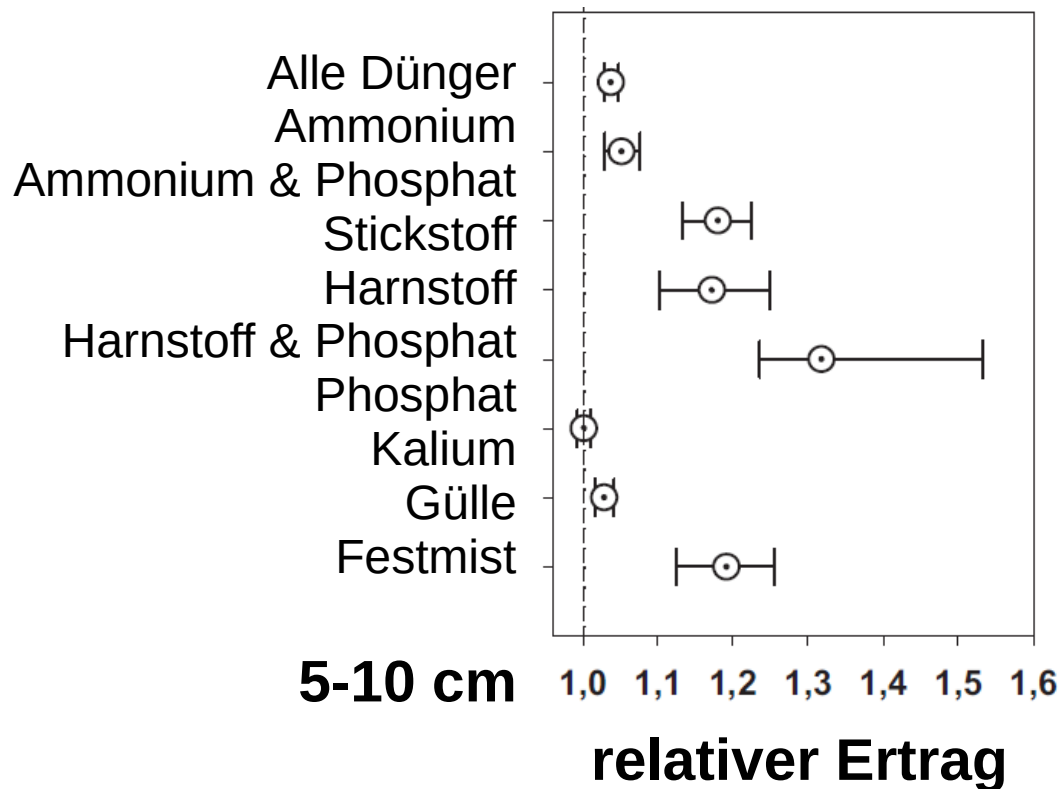
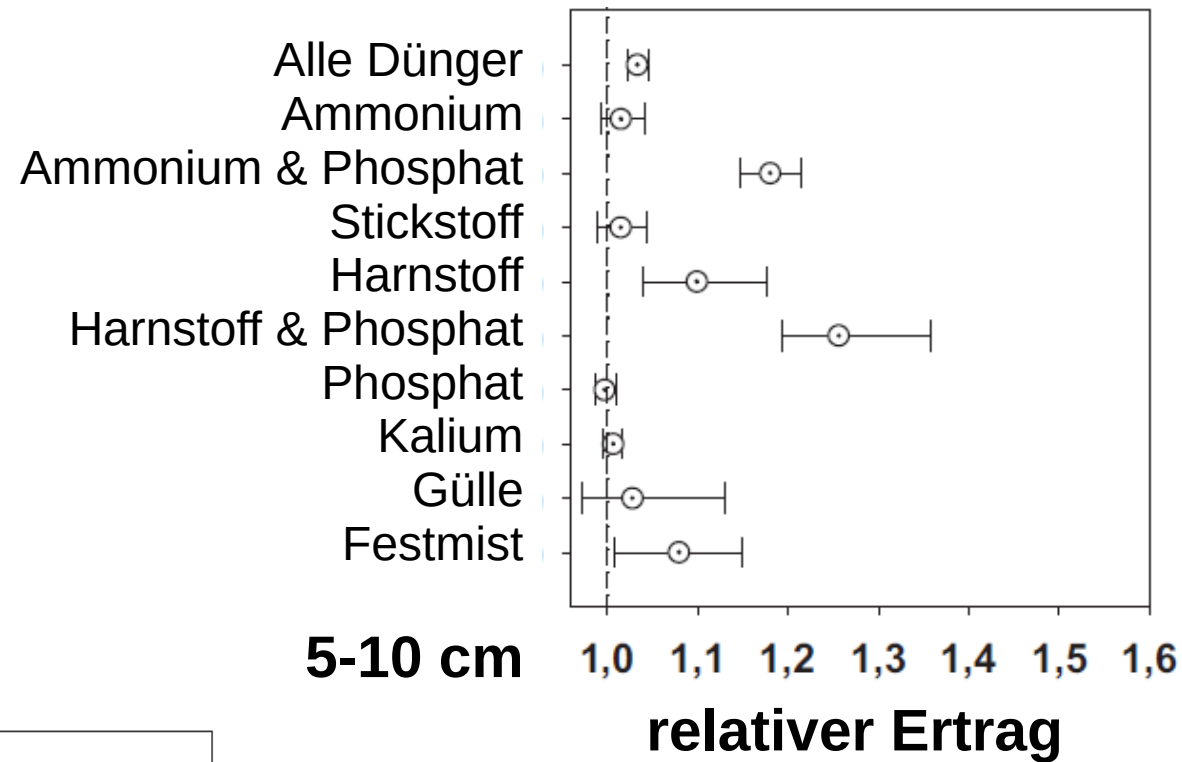
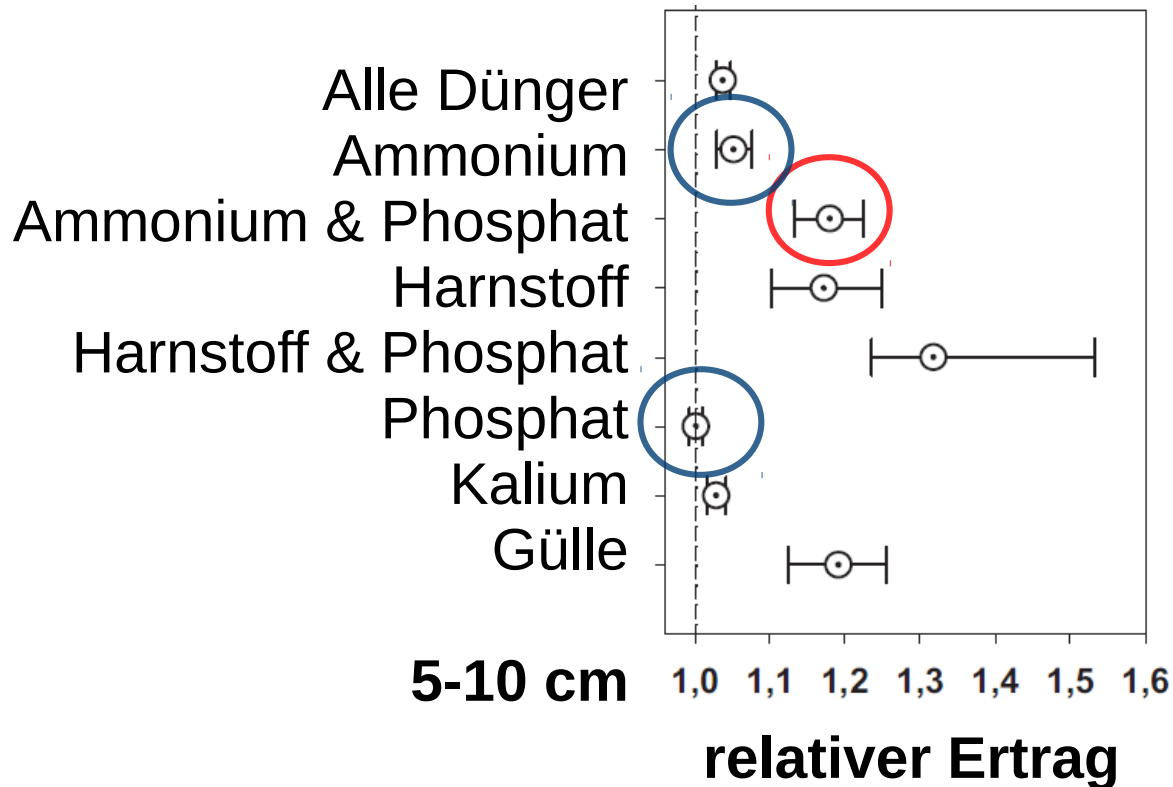
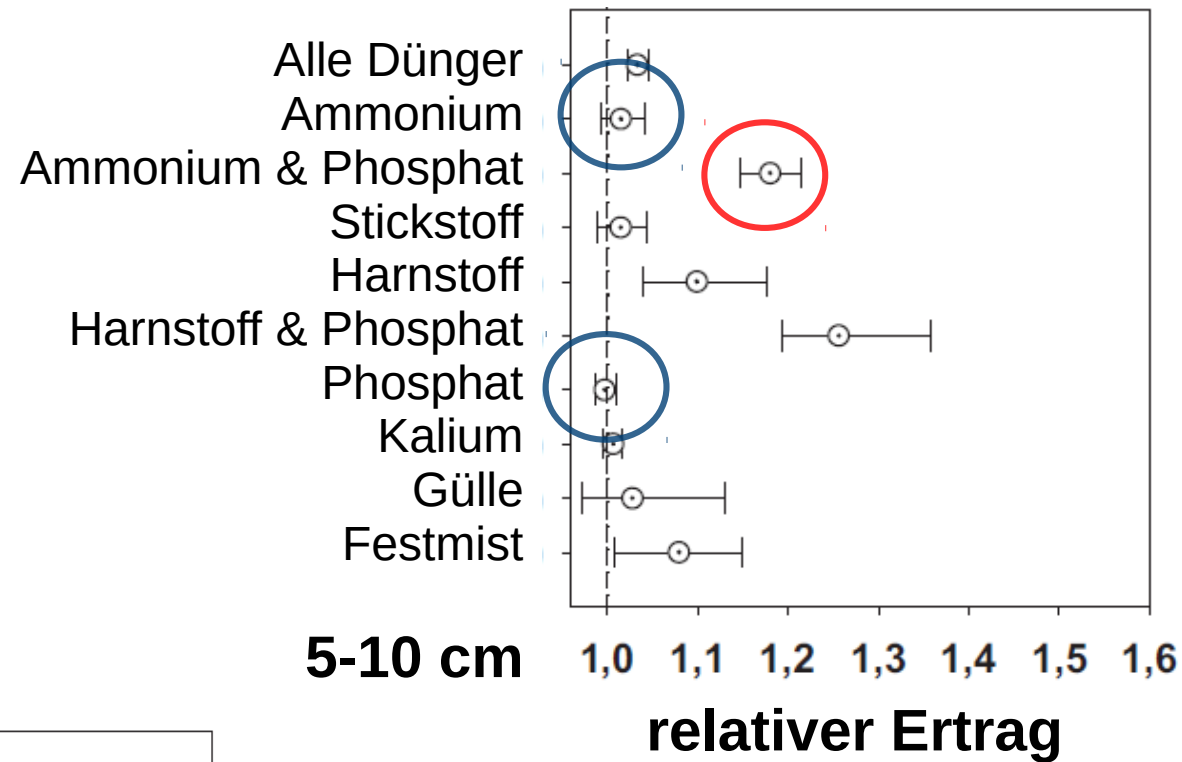


Fig. 4. Effect of a localized supply, of phosphate, nitrate, ammonium, and potassium on root form. Control plants (HHH) received the complete nutrient solution to all parts of the root system. The other roots (LHL) received the complete nutrient solution only in the middle zone, the top and bottom being supplied with a solution deficient in the specified nutrient. Note similarity between control and potassium treated roots.

Meta Analyse Dünger- Platzierung (Nkebiwe et al., 201

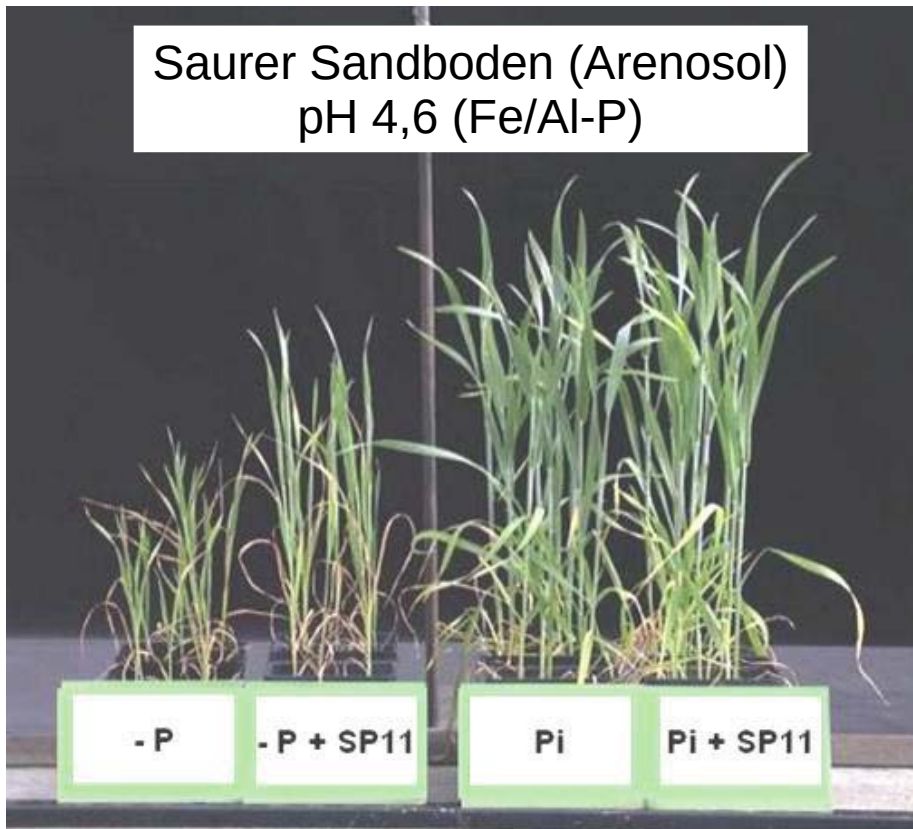


Meta Analyse Dünger- Platzierung (Nkebiwe et al., 201



Bioeffektoren: P-Mobilisierung

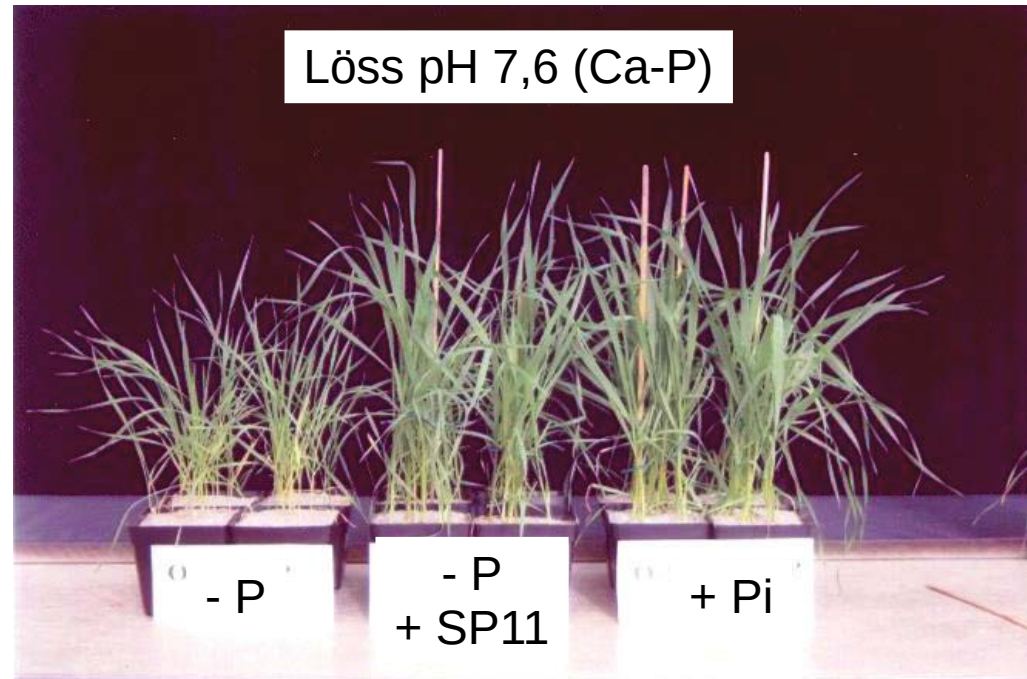
Saurer Sandboden (Arenosol)
pH 4,6 (Fe/Al-P)



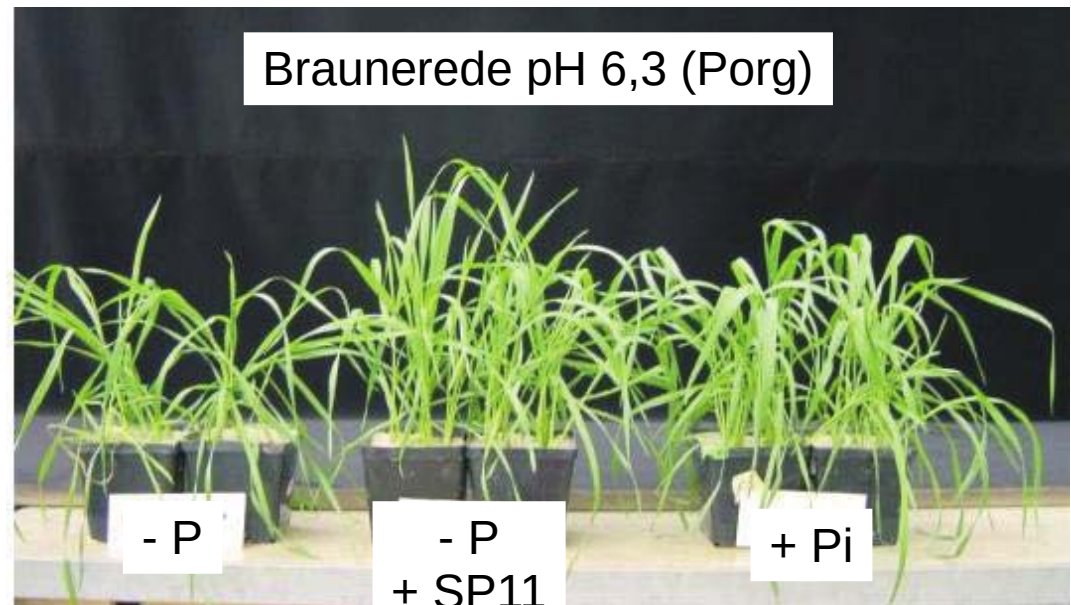
“Vitalin SP11”: *Bacillus*, *Streptomyces*,
Pseudomonas spp.

Weinmann (2002), Hong (2001),
Singh (2002)

Löss pH 7,6 (Ca-P)

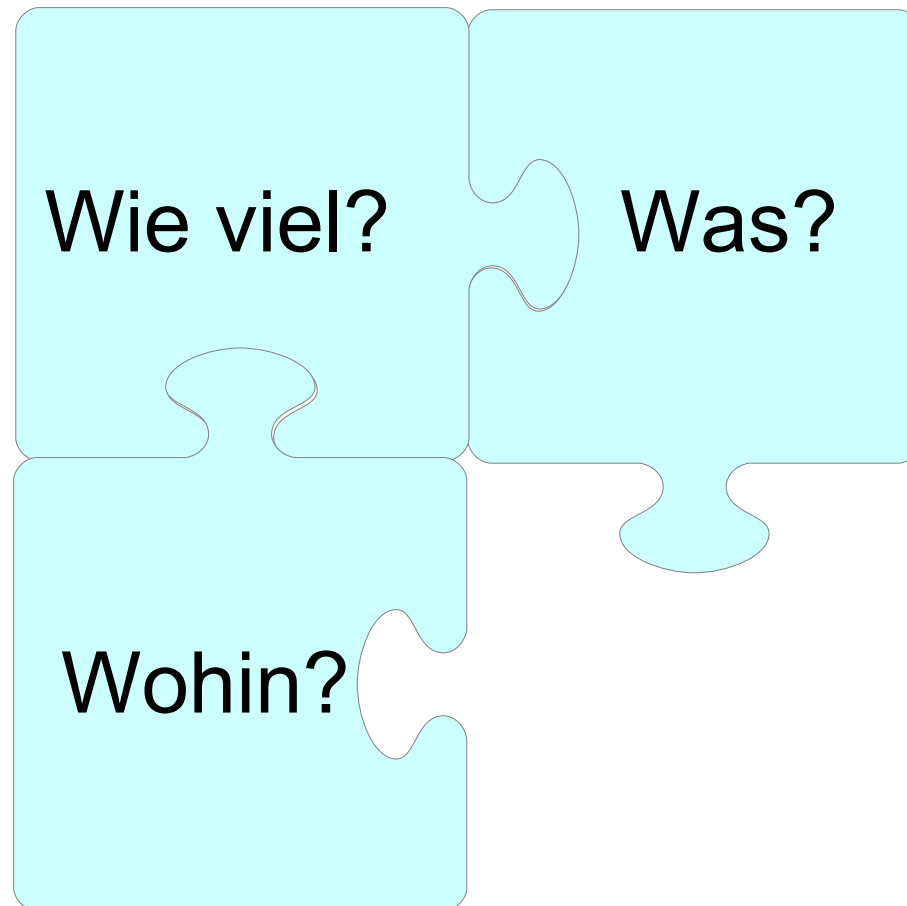


Braunerede pH 6,3 (Porg)

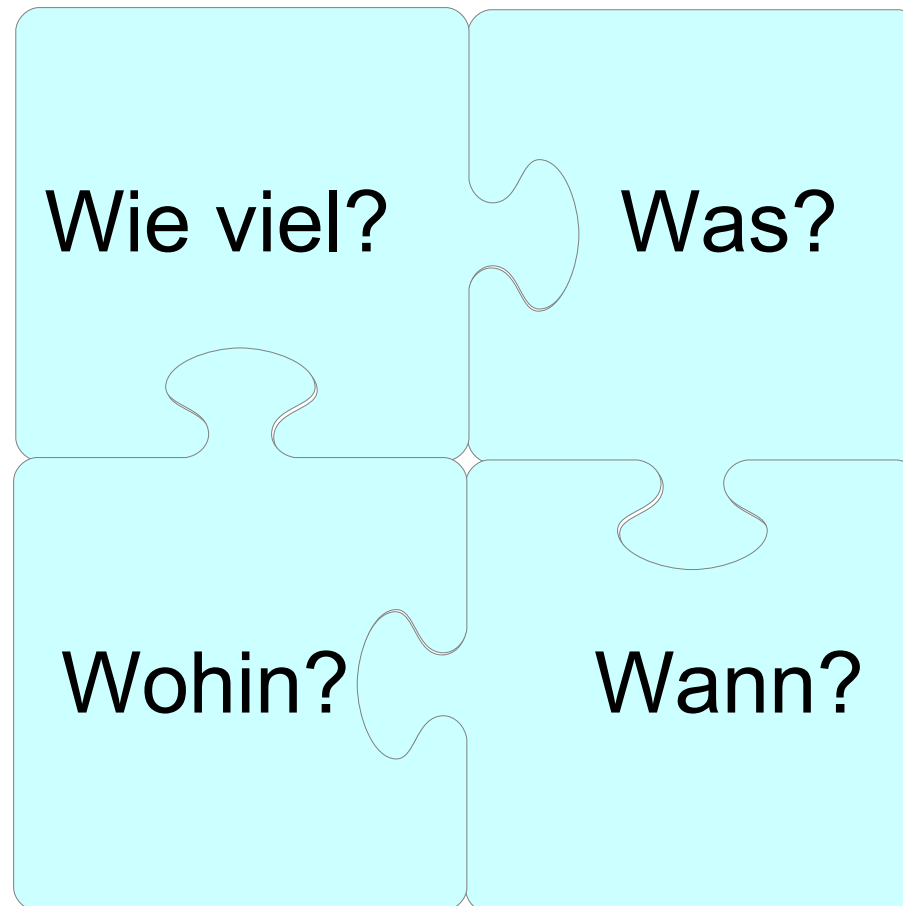


Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung

Platzieren

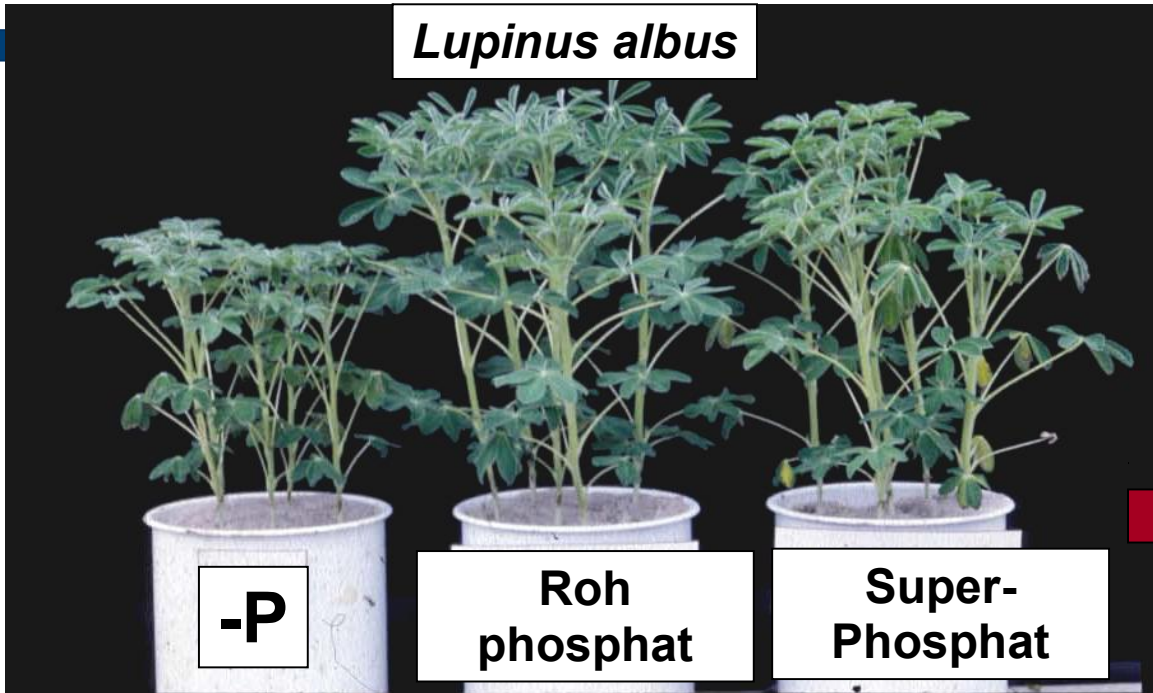


■ Gute landwirtschaftliche Praxis: Düngung

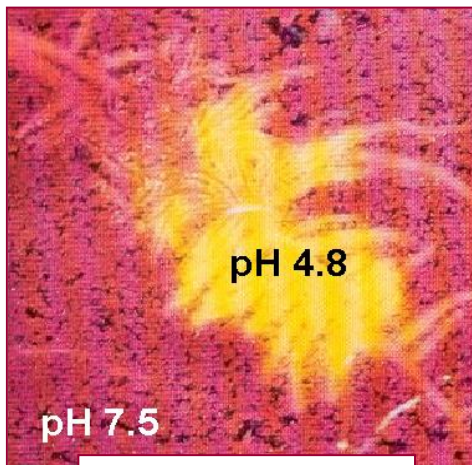


Cluster-Wurzeln: Hohe Effizienz bei der P-Akquisition

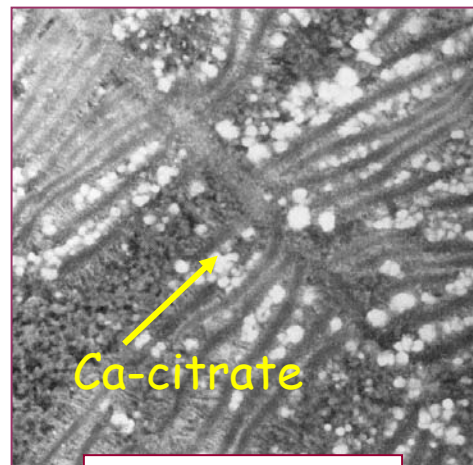
Lupinus albus



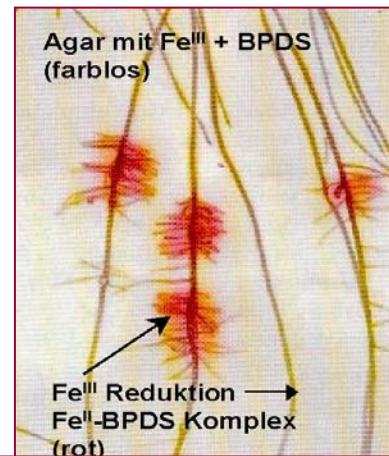
- intensive chemische P-Mobilisierung



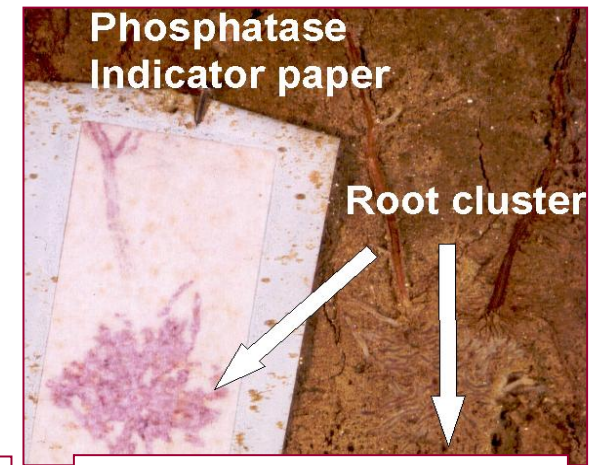
Rhizosphären
Ansäuerung



Citrat-
Exudation



gesteigerte
Reduktionskapazität



Wurzelausscheidung
saurer Phosphatase



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



- Gesamtgehalt
 - in Mineralböden
 - 0,01 – 0,1 % P (= 300 – 3000 kg/ha in 0 – 20 cm)
 - in humusreichen Böden
 - bis 0,2 % P
- anorganisches Phosphat (40 - 80 % des Gesamt-P)
 - Ca-Phosphate
 - Al/Fe-Phosphate
 - okkludiertes Phosphat
 - austauschbares Phosphat (10 – 30 mg kg⁻¹)
 - wasserlösliches Phosphat (0,02 – 1 mg l⁻¹ Bodenlösung)
- organisch gebundenes Phosphat
 - 20 – 60 % des Gesamt-P (meist Phytin-P)