

Mit Unterstützung von Bund, Land und Europäischer Union

 Bundesministerium  
Nachhaltigkeit und  
Tourismus



Europäischer  
Landwirtschaftsfonds für  
die Entwicklung des  
ländlichen Raums:  
Hier investiert Europa in  
die ländlichen Gebiete.



## Tag des Bodens 2018

# Bodenbiologie

Bodenfruchtbarkeit, Bodenleben und ihre Nutzung

**Gernot BODNER**

**Universität für Bodenkultur**

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Abteilung Pflanzenbau

Arbeitsgruppe Nutzpflanzenökologie

# **Bodenarten und Bodeneigenschaften**

---

## Erträge Biolandbau vs. konventioneller Landbau (%)

Kultur	Trockengebiet	Feuchtgebiet
Weichweizen	73	55
Roggen	69	65
Wintergerste	65	63
Sommergerste	69	63
Körnermais	62	74
Ackerbohne	75	85
Soja	75	108
Sonnenblume	57	73

*Resl, AWI 2016*

**Wo liegen die Gründe und was kann man dagegen machen?**

## Wo liegt die Grenze der Produktivität... und warum ?

Vegetationszone	Produktivität* (kg m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	Mikrobielle Biomasse (mmol C kg <sup>-1</sup> )
Tropischer Regenwald	2,2	35,7
Immergrüner Wald der gemäßigten Zone	1,3	43,5
Savannen	0,9	43,4
Trockenbusch- und Hartlaubgehölze	0,7	28,5
<b>Landwirtschaftliche Pflanzungen</b>	<b>0,65</b>	<b>20,6</b>
Tundra und Gebirge	0,14	340,5

\*Nettoprimärproduktion

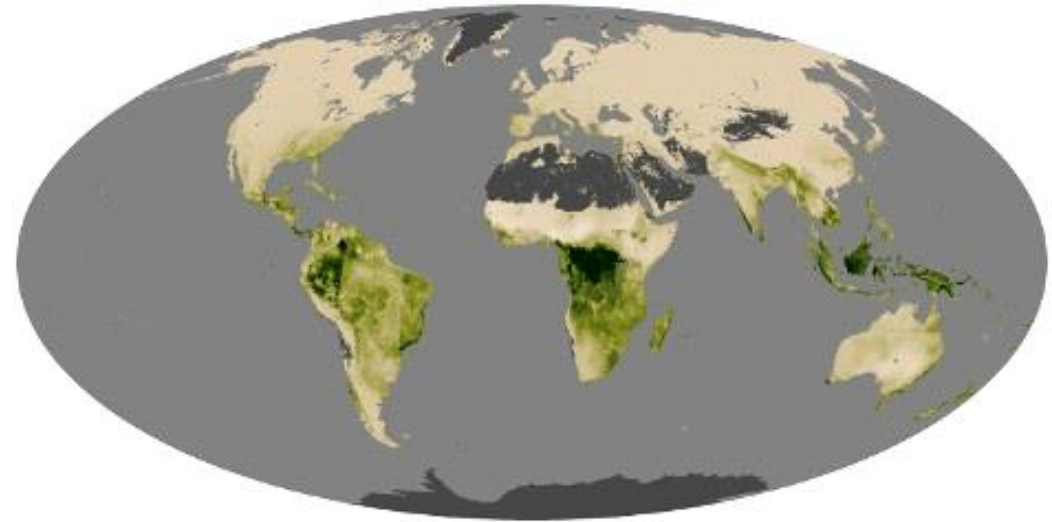
Quelle: Larcher, 1994

Quelle: Xu et al., 2013

**Gibt es eine Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen Bodenmikrobiologie und Produktivität? Auf welcher Skalenebene und unter welchen (Umwelt)bedingungen ?**

# 1. Klimagrenzen

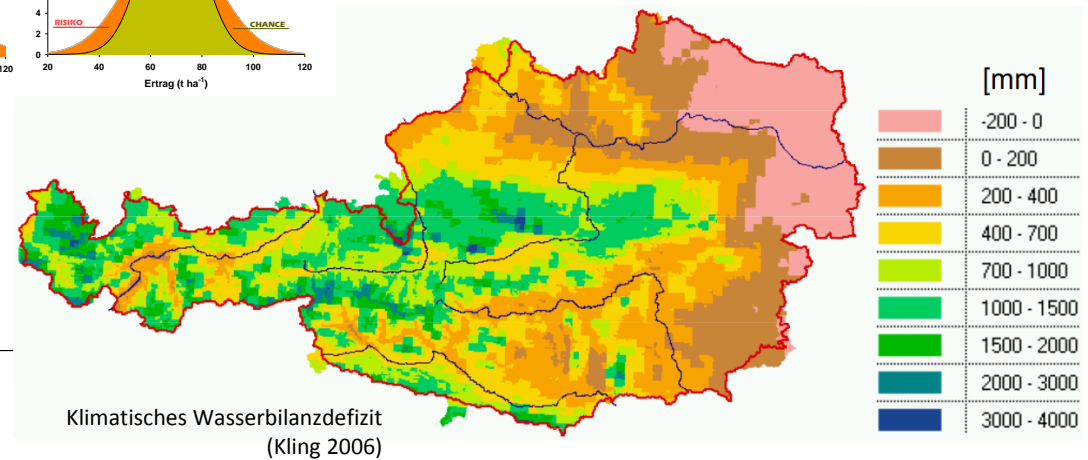
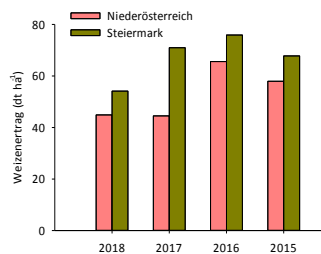
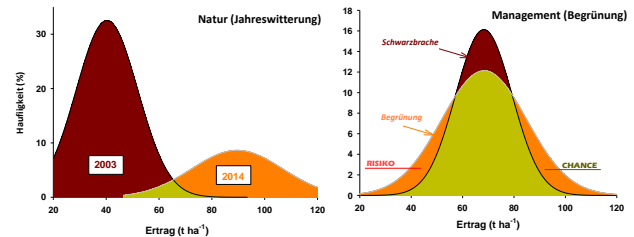
Quelle: <https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps>



Net Primary Productivity  
gC/m<sup>2</sup>/day

-1.0 0 6.5

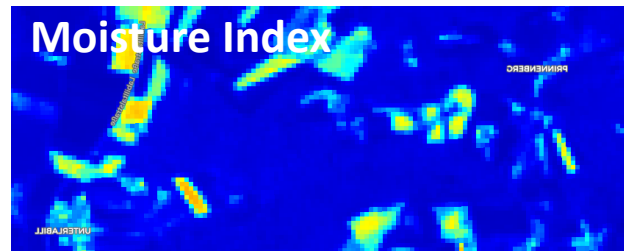
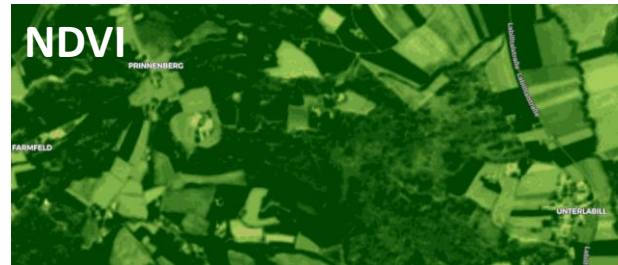
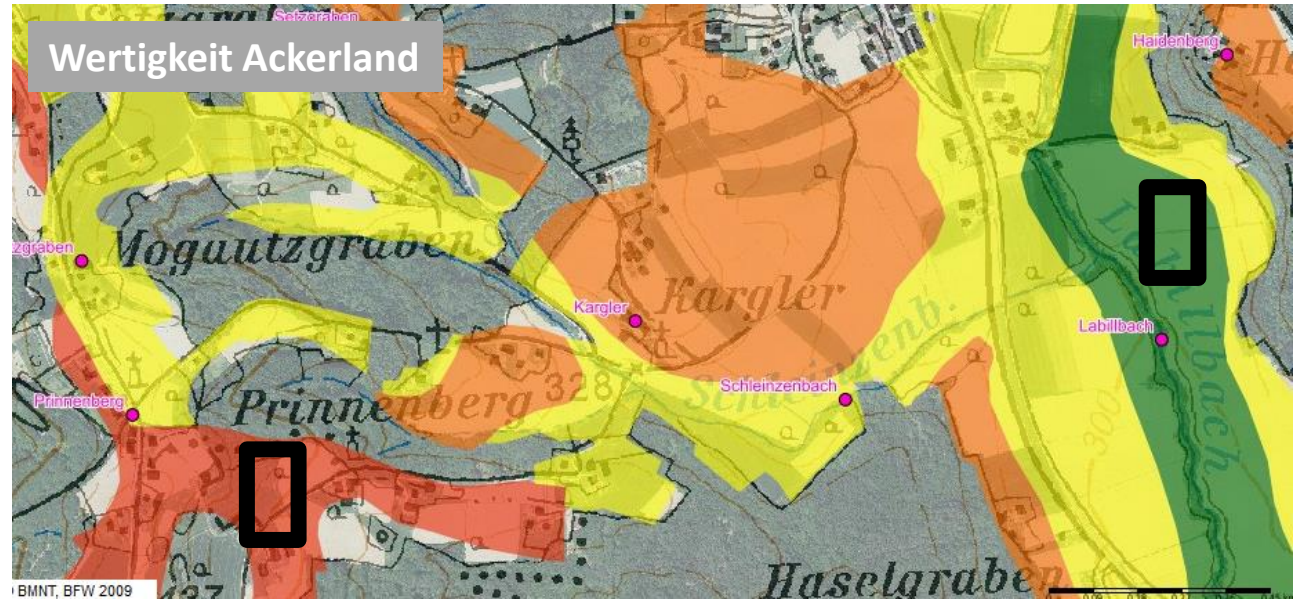
February 2000



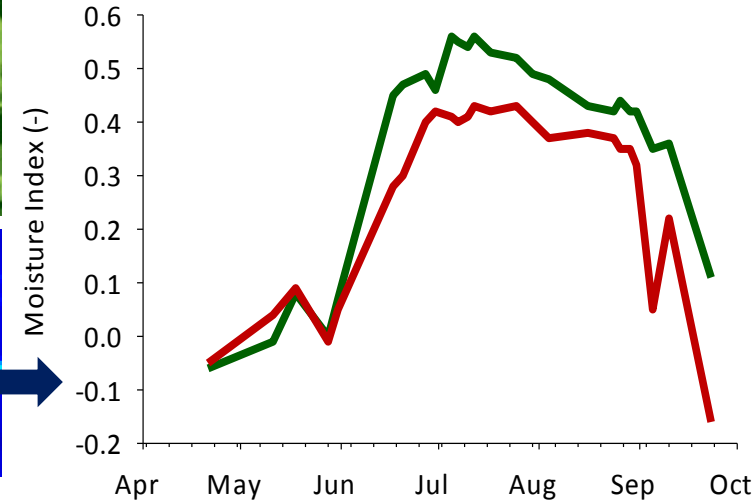
# 2. Bodengrenzen



Quelle: <https://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7066>

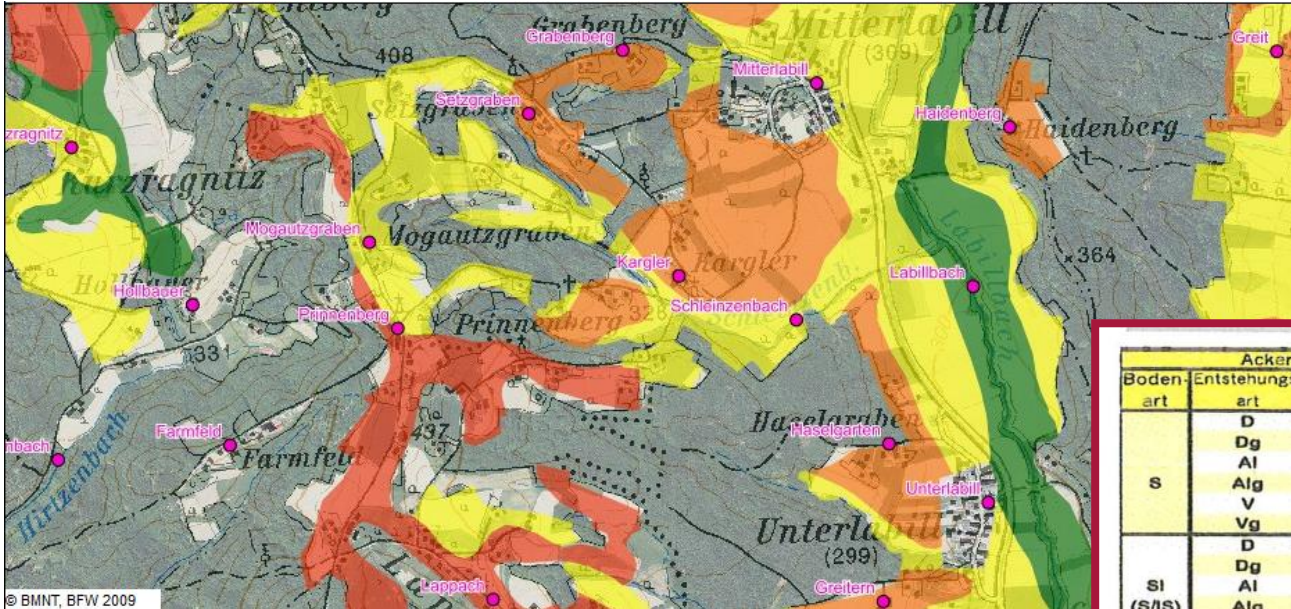


— Hohwertiges Ackerland (Lockersediment Braunerde)  
— Geringwertiges Ackerland (Kulturrohoden)



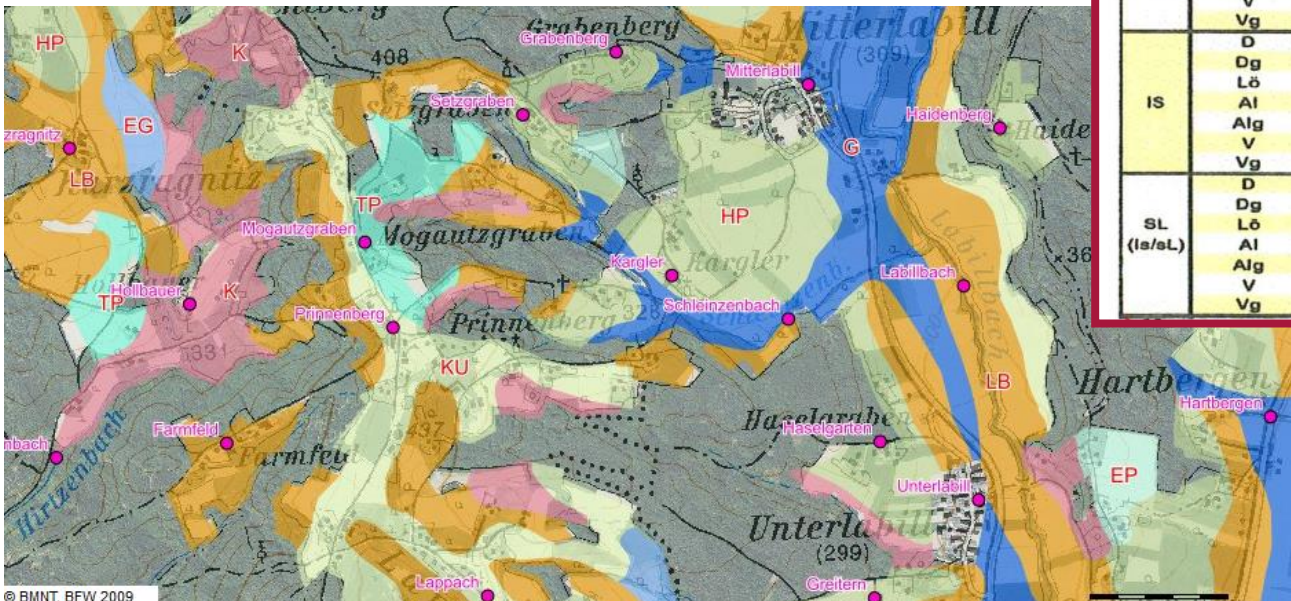
Quelle: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>

# 2. Bodengrenzen



© BMNT, BFW 2009

Ackerschätzungsrahmen 2. Überprüfung (ab 1997)								
Bodenart	Entstehungsart	Zustandsstufe						
		1	2	3	4	5	6	7
S	D		43-36	35-29	28-22	21-17	16-12	11-7
	Dg			32-25	24-19	18-14	13-9	8-7
	Al		50-42	41-34	33-27	26-21	20-17	16-10
	Alg			38-31	30-26	25-20	19-12	11-7
	V		42-35	34-28	27-21	20-16	15-12	11-7
	Vg			30-24	23-19	18-14	13-9	8-7
SI (S/IS)	D	60-53	52-45	44-37	36-29	28-22	21-17	16-11
	Dg			40-33	32-25	24-19	18-14	13-7
	Al	68-60	59-51	50-43	42-35	34-28	27-22	21-15
	Alg			46-39	38-32	31-25	24-18	17-10
	V		50-43	42-36	35-29	28-21	20-16	15-10
	Vg			39-33	32-25	24-19	18-14	13-7
IS	D	68-60	59-52	51-45	44-38	37-30	29-22	21-16
	Dg			48-42	41-34	33-26	25-20	19-13
	Lö	73-65	64-56	55-48	47-41	40-33	32-25	24-18
	Al	76-67	66-59	58-52	51-44	43-35	34-27	26-18
	Alg			55-48	47-38	37-31	30-23	22-16
	V	65-58	57-50	49-44	43-37	36-29	28-21	20-16
SL (Ia/IeL)	D	77-69	68-61	60-53	52-46	45-38	37-30	29-20
	Dg			56-50	49-42	41-33	32-25	24-15
	Lö	82-74	73-65	64-56	55-48	47-41	40-33	32-25
	Al	84-75	74-66	65-58	57-51	50-44	43-36	35-26
	Alg			61-55	54-48	47-40	39-30	29-21
	V	73-66	65-58	57-50	49-44	43-36	35-29	28-20
	Vg			53-48	47-40	39-33	32-25	24-15



© BMNT, BFW 2009

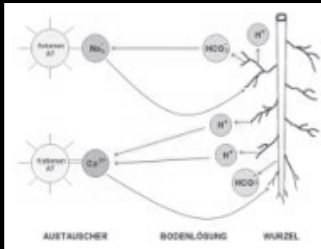
# Bodengesundheit = Bodenfruchtbarkeit = Ertragseffizienz

Management zum Erhalt, Verbesserung und Ausnutzung des natürlichen Bodenpotentials



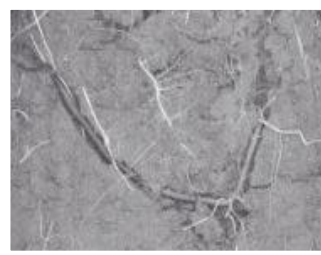
## Physikalische Bodenfruchtbarkeit

Boden als poröser Speicherraum für Wasser- und Nährstoffe sowie Wachstumsraum der Pflanzenwurzel (Wasser- und Lufthaushalt)



## Chemische Bodenfruchtbarkeit

Boden als Speicher von Nährstoffen (Sorption) und Filter für Schadstoffe (Nährstoffhaushalt)



## Biologische Bodenfruchtbarkeit

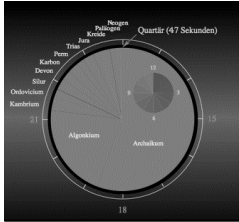
Boden als Lebensraum für Bodentiere und Bodenmikroorganismen (Umsetzungsvorgänge)



# Die 5 Faktoren der Bodenbildung



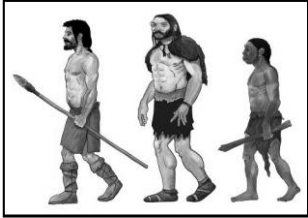
**Klima**



**Zeit**



**Ausgangsgestein**



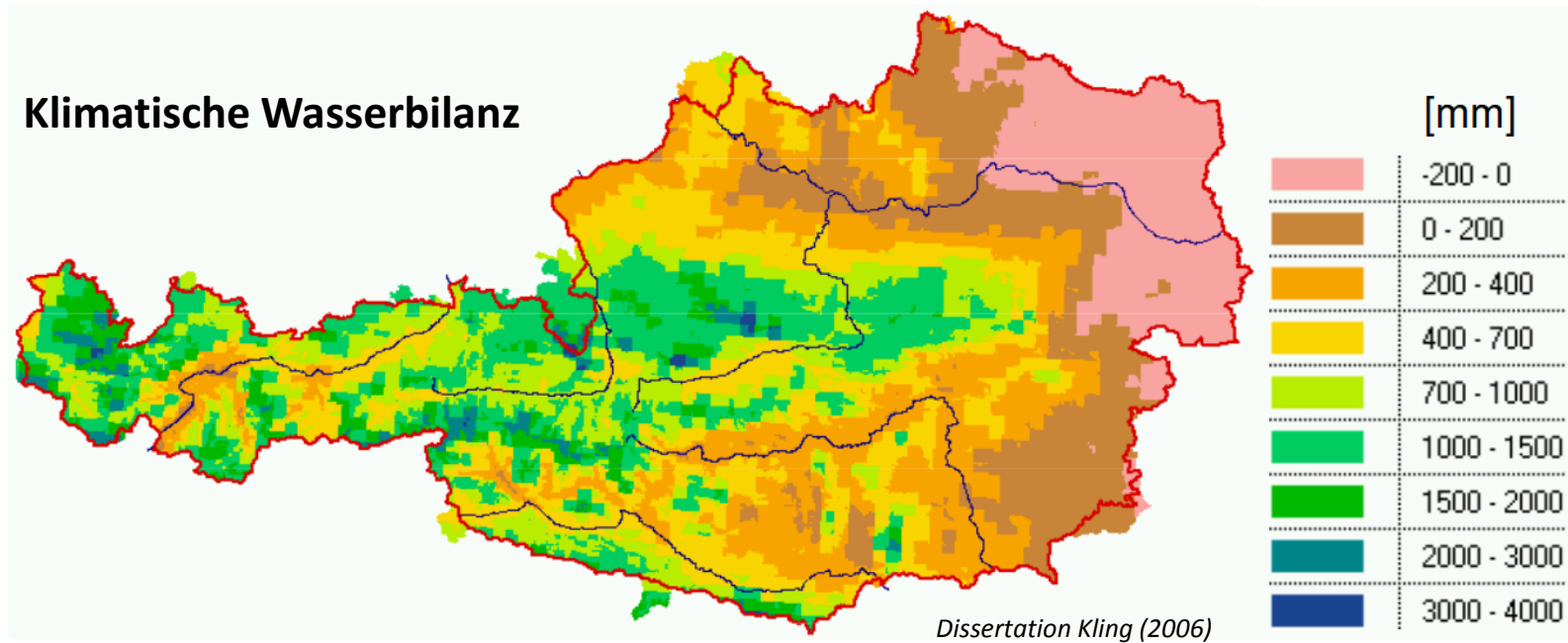
**Mensch**



**Relief**



## Faktor 1. Klima



Konsequenzen für die Bodenbildung ?



## Faktor 1. Klima



Auswaschung

- Basische Kationen  
( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,)
- Tonminerale
- Humus
- Eisenoxide

## Puffersysteme und pH Wert

## Säureeintrag

- Niederschlag
- Mineralisierung
- Pflanzenwurzel
- Humifizierung
- (Eisen-)Oxidation

pH	Puffersystem
8,6-6,2	Carbonat
6,2-5,0	Silikat
5,0-4,2	Austauscher
4,2-3,0	Aluminium
< 3,0	Eisen



## Faktor 1. Klima



### Verbraunung und Verlehmung

- Physikalisch: Säure führt zu verstärkter Verwitterung von Gesteinen (Hydrolyse). Dies führt zur Bildung von Tonmineralen.
- Chemisch: Aus den Gesteinen wird Eisen freigesetzt. Es bilden sich Eisenoxide (v.a. Goethit), die den Boden braun färben (*Munsell-Farbe 10YR 4-6/3-6*).

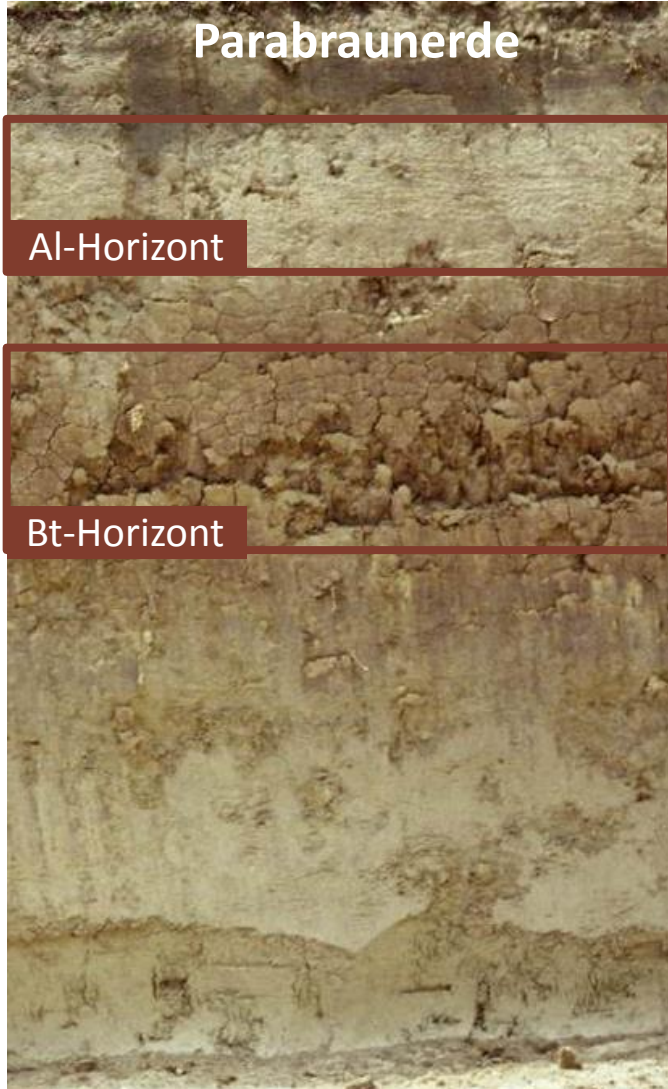
### Oberbodenentkalkung

- Ab ca. 600 mm Jahresniederschlag zu beobachten (Grenze Schwarzerden).
- Einfluss von Humusgehalt (Säurebildung)

*Diez und Weigelt (1987)*

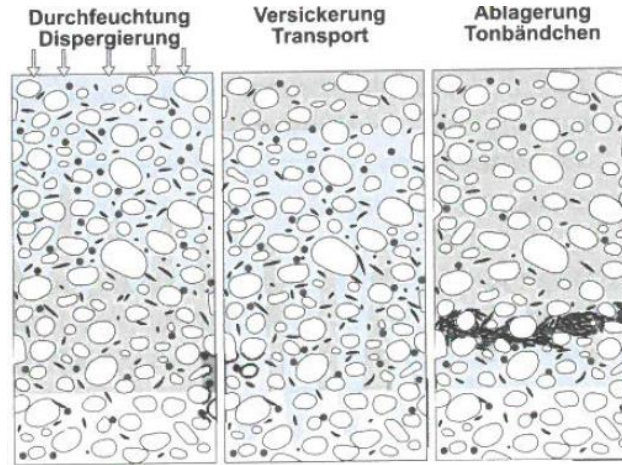


# Faktor 1. Klima

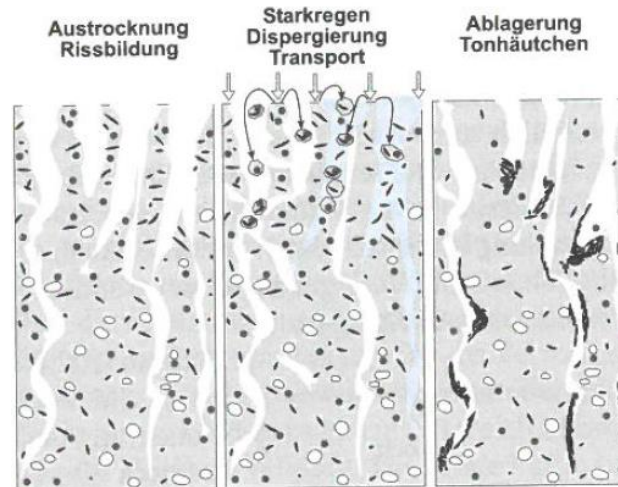


www.ahabc.de

## Tonverlagerung



Grobkörniger Boden

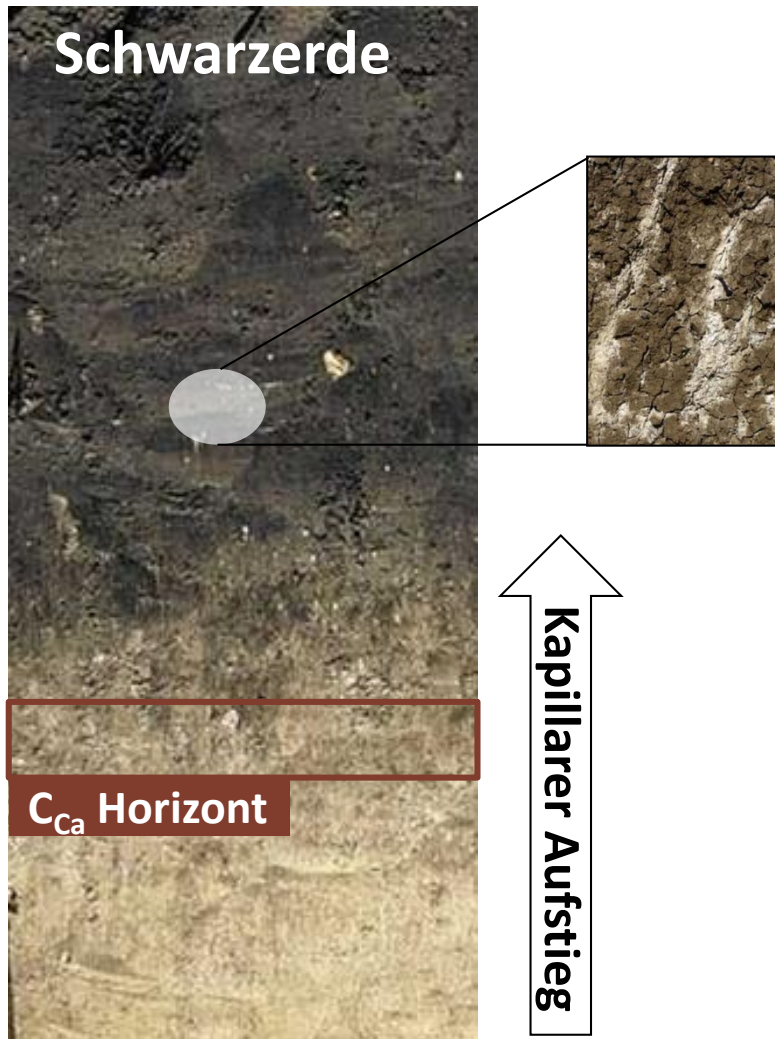


Feinkörniger Boden

Stahr et al. (2008)



## Faktor 1. Klima



### Pseudomyzel

Kalziumcarbonat steigt mit dem Bodenwasser auf. Wenn das Wasser verdunstet, fällt es in den Poren aus.

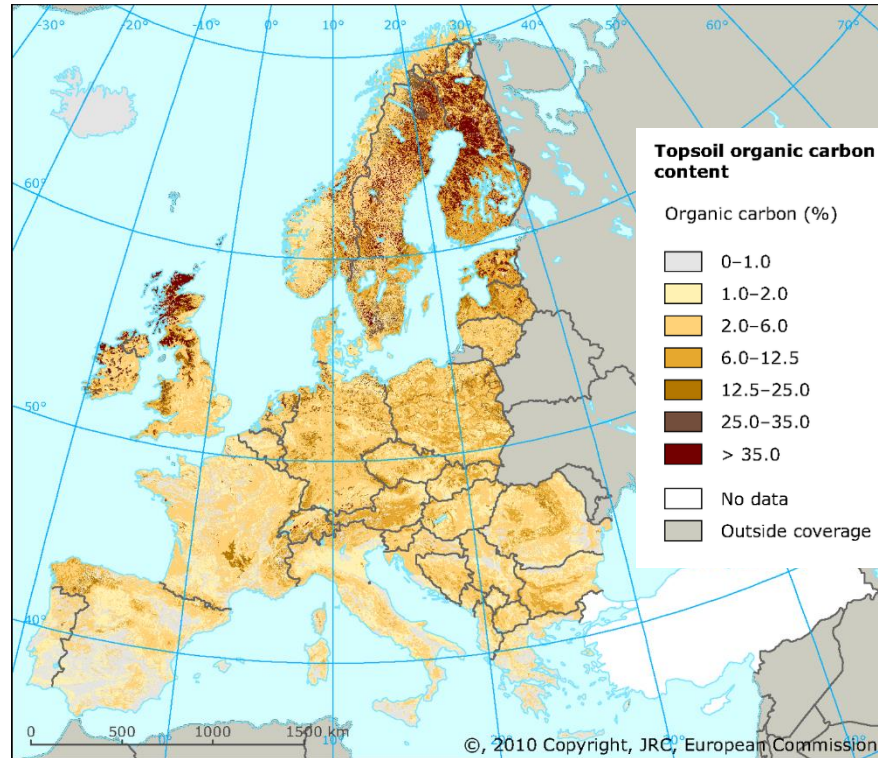
### C<sub>Ca</sub>-Horizont

Anreicherung von Kalziumcarbonat im oberen C-Horizont (mittlere Versickerungstiefe des Niederschlages). Kann sich stark ver härten.

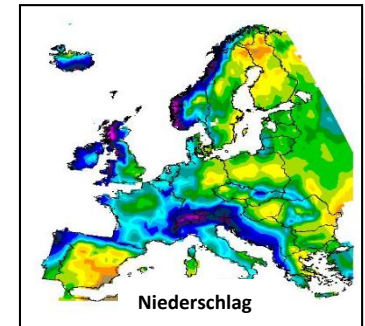
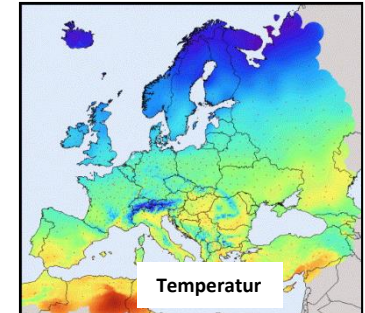
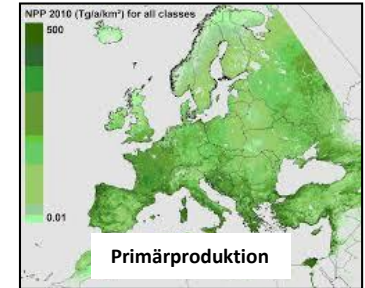


# Faktor 1. Klima

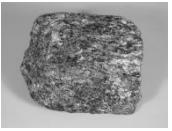
Zufuhr    Abbau



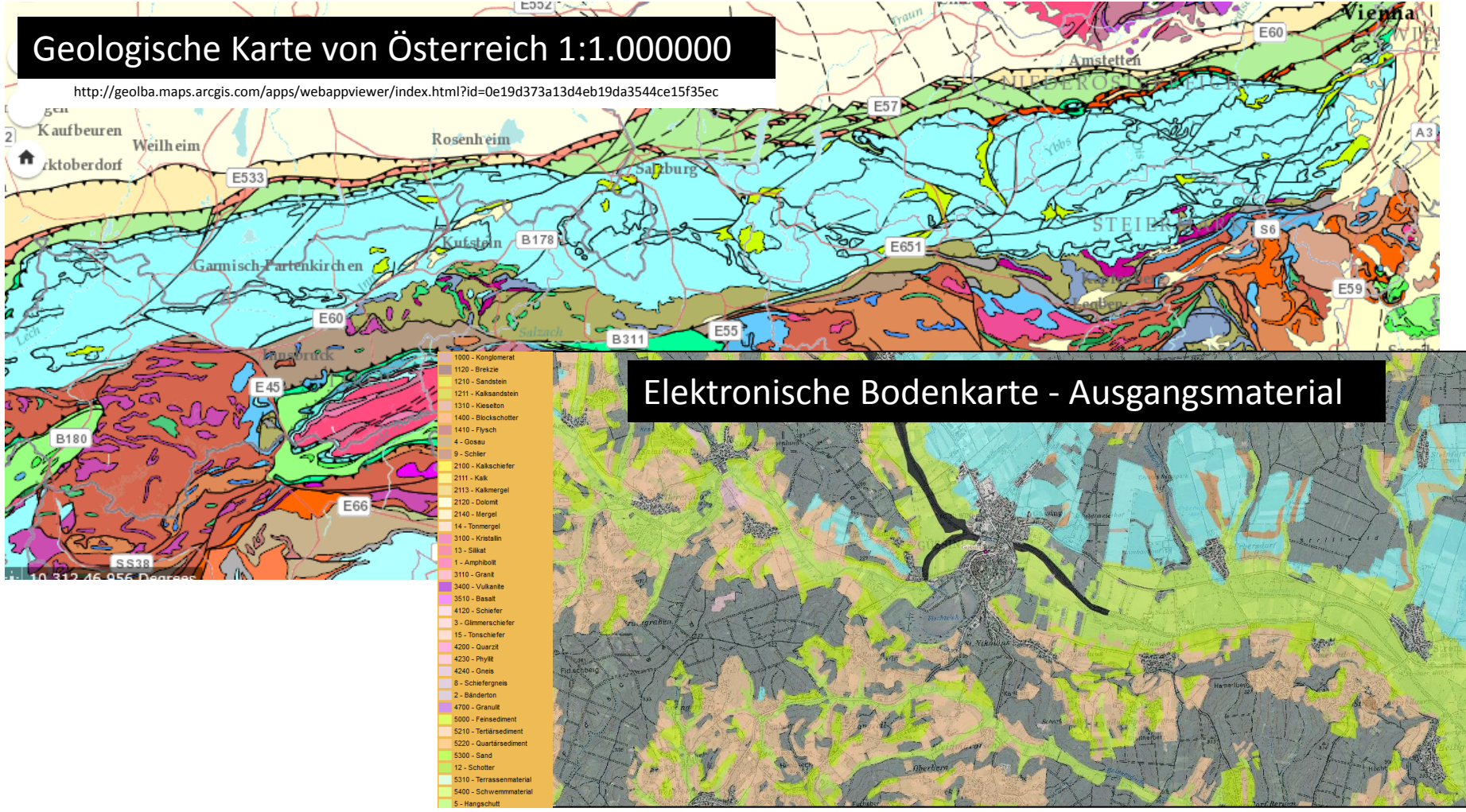
**Böden mit hohen Humusgehalten**  
 Moore, Anmoore, Feuchtschwarzerden,  
 Gebirgsböden







## Faktor 2. Ausgangsmaterial





## Faktor 2. Ausgangsmaterial

### „Chemie“ des Ausgangsmaterials

#### Silikat



#### z.B. Plattengneis

Böden: Ranker,  
Felsbraunerde

Grober Verwitterungs-  
rückstand, geringer  
Nährstoffgehalt

#### Karbonat



#### z.B. Dachsteinkalk

Böden: Rendzina

Hoher Gehalt an  $\text{CaCO}_3$ ;  
wenig silikatische  
Verwitterungsrückstände  
für Tonmineralbildung

#### Saures Gestein



#### z.B. Granit

Böden: Ranker,  
Felsbraunerde

Grober Verwitterungs-  
rückstand, viel Quarz,  
geringer Nährstoff-  
gehalt

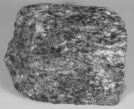
#### Basisches Gestein



#### z.B. Basalt

Böden: Ranker,  
Felsbraunerde

Feiner Verwitterungs-  
rückstand, viel  
Pyroxen und Feldspat;  
viele Nährstoffe



## Faktor 2. Ausgangsmaterial

### „Physik“ des Ausgangsmaterials

#### Sandig

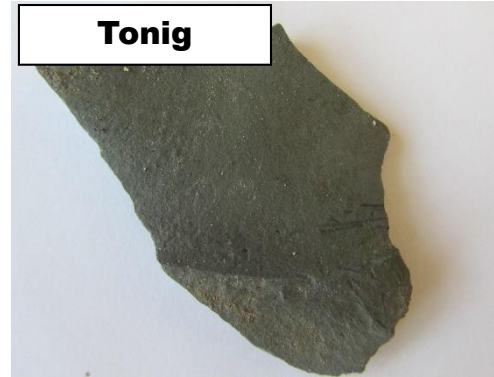


#### z.B. Greifensteiner Sandstein

Böden: leichte Braunerden

Grober Verwitterungsrückstand, geringer Nährstoffgehalt

#### Tonig



#### z.B. Mergel

Böden: Braunerde, Parabraunerde, Pseudogley,

Feiner Verwitterungsrückstand und CaCO<sub>3</sub>-haltig. schwere Böden

#### z.B. Felsbraunerde aus Sandstein



	S (%)	U (%)	T (%)
A	58	37	5
Bv	64	27	9
C	-	-	-

#### z.B. Lockersedimentbraunerde aus Mergel



	S (%)	U (%)	T (%)
A	6	58	36
Bv	4	57	39
C	7	58	35



## Faktor 3. Relief

### Kleinräumiges Relief

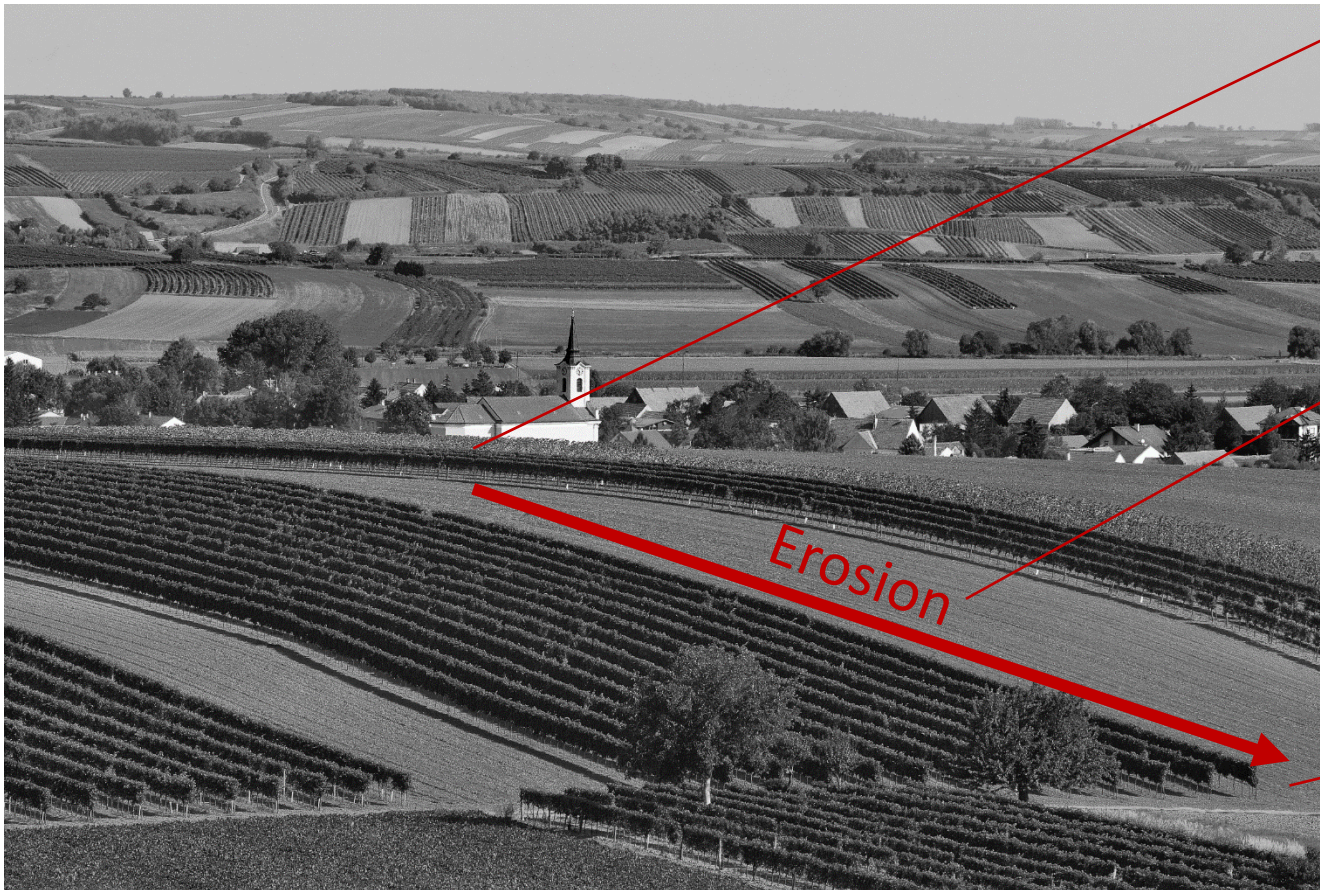
### Quartäre Terrassenlandschaften





## Faktor 3. Relief

### Schlag-skaliges Relief



**„Reifer Boden“**

z.B. Tschernosem  
z.B. Pseudogley

**„Gekappter Boden“**

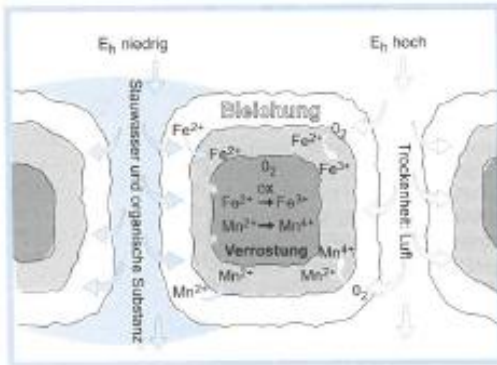
z.B. Kultur-Rohboden  
z.B. Rumpf-Tschernosem  
z.B. Hangpseudogley

**„Angelandeter Boden“**

z.B. Kolluvisol

# Pseudogley und Gley: Rost- und Bleichflecken

## Pseudovergleyung



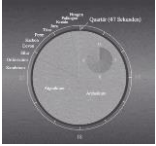
Stahr et al. 2008

- Vergrauter Horizont (Stauzone, P) über marmoriertem Horizont (Staukörper, S)
- Aggregate außen bleich, innen Oxidgefärbt.
- (Ältere) Terrassen

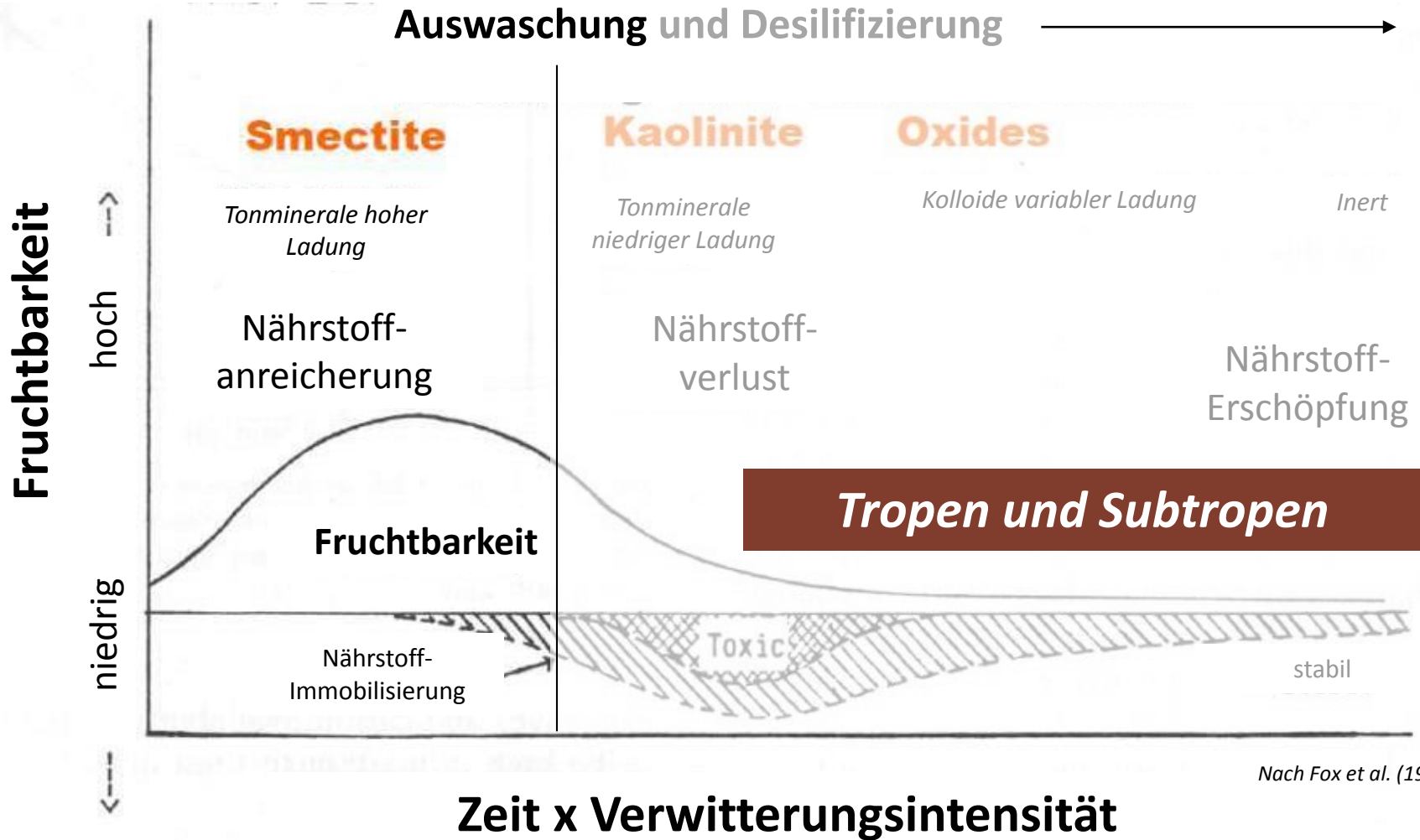
## Vergleyung



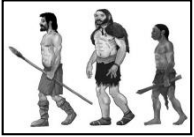
- Vergrauter Horizont (Gr) unter marmoriertem Horizont (Go)
- Rostfärbung an Porenrändern (Außenseite der Aggregate)
- Tallagen



# Faktor 4. Alter

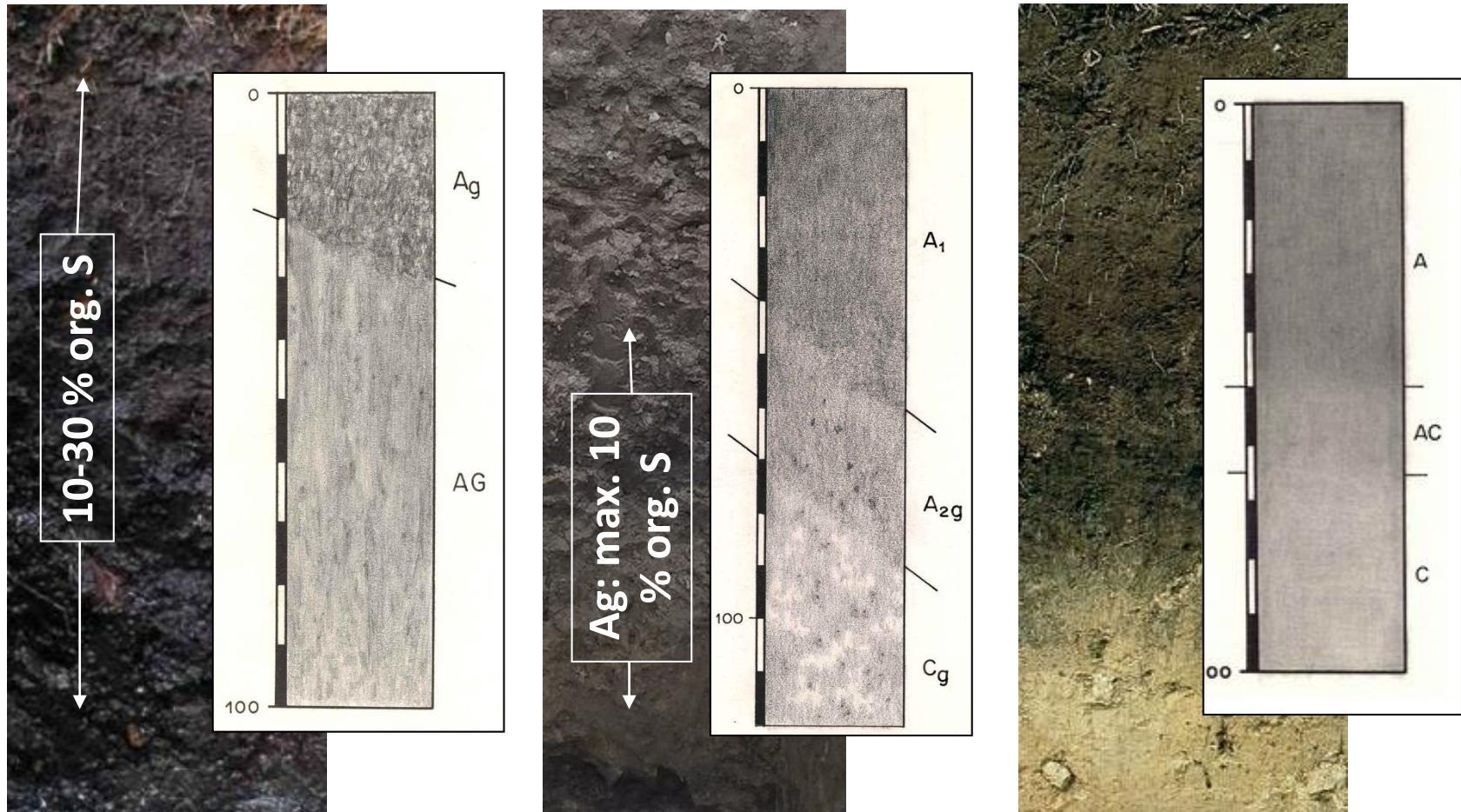


Nach Fox et al. (1991)



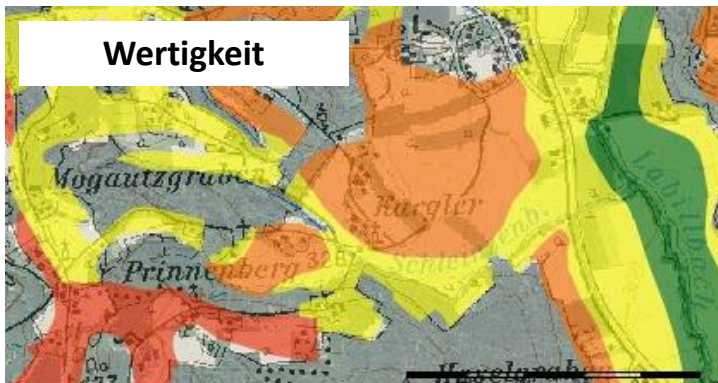
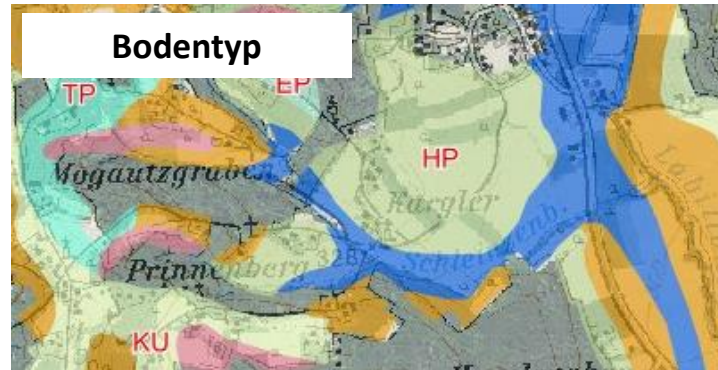
## Faktor 5. Mensch

### Anmoor-Feuchtschwarzerde-Schwarzerde: Entwässerung

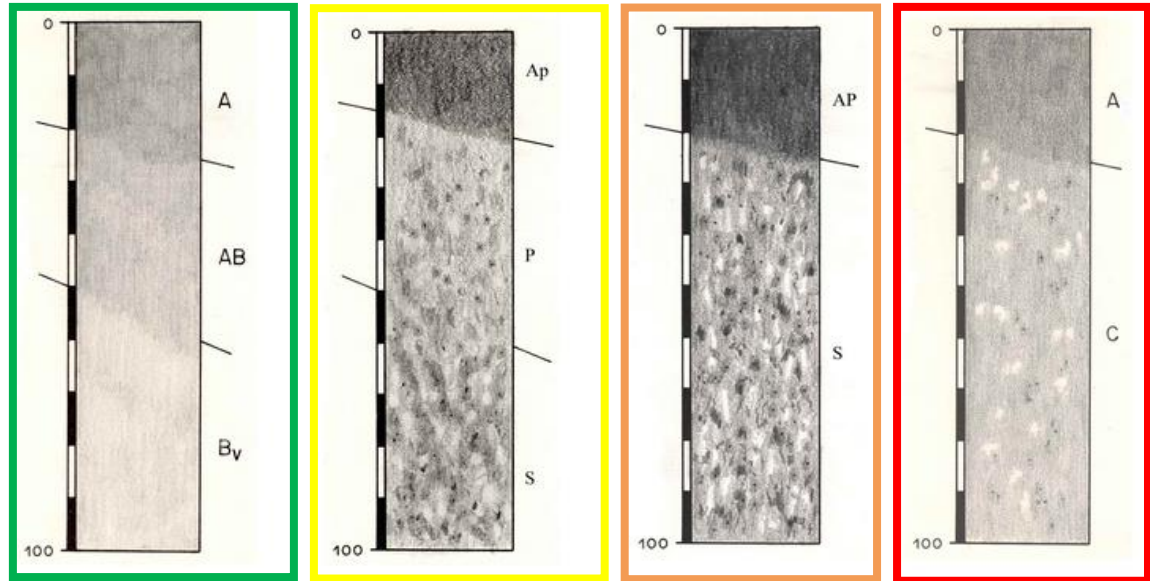




# Ein steirisches Fleckerlteppich-Beispiel



**hoch Wertigkeit Ackerland gering**

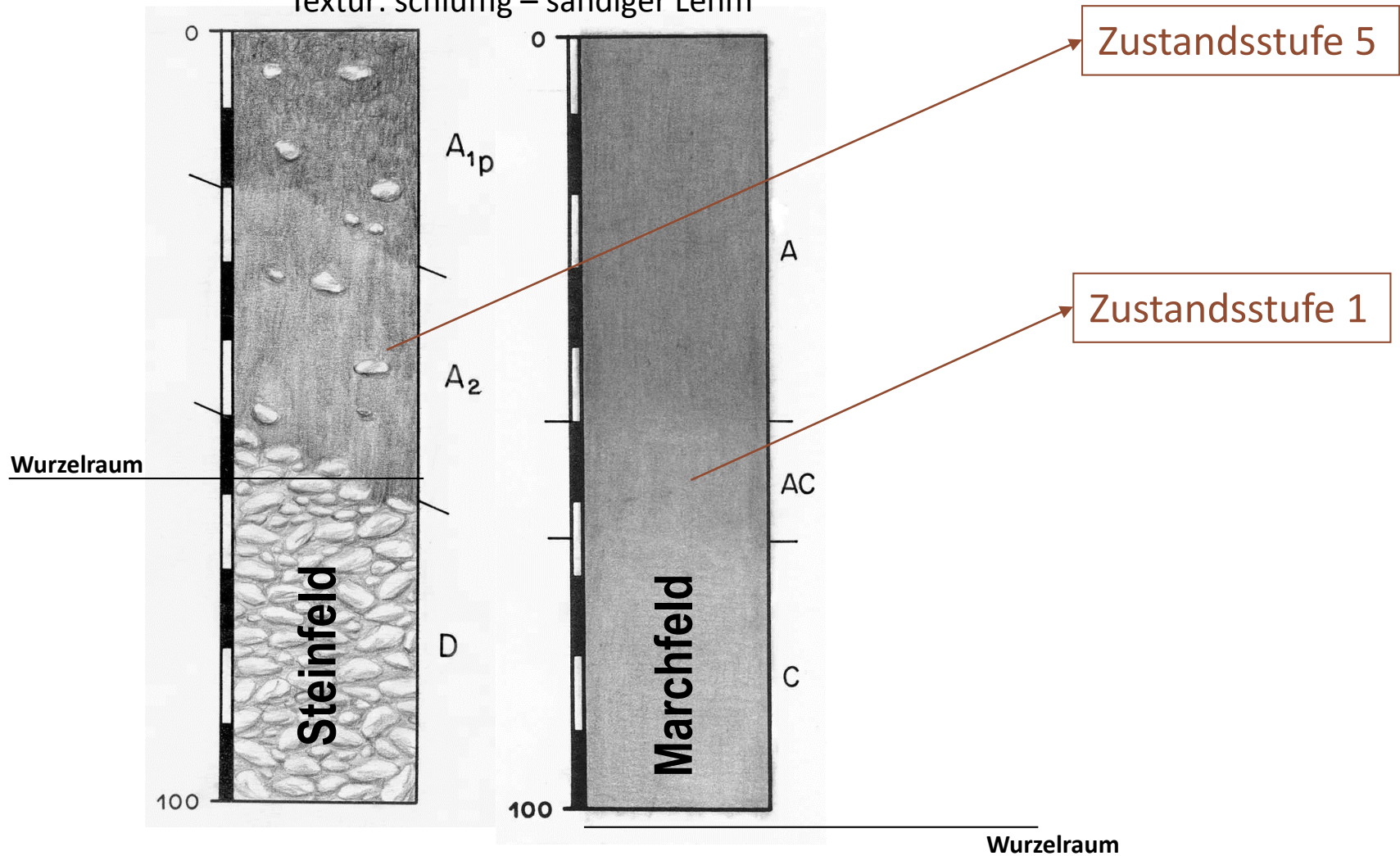


## Gründe für die Wertigkeit ...

# „Schicksal“ Profiltiefe

## Tschernosem

Textur: schluffig – sandiger Lehm



# „Schicksal“ Bodentextur

Eigenschaft	Sandiger Boden	Toniger Boden
Porengröße	Weit	Eng
Luftkapazität (Vol.%)	30-40	0-15
Wasserdurchlässigkeit	Gut	Schlecht
Wasserspeicherung	Niedrig	Hoch
Nährstoffspeicherung	Niedrig	hoch
Erwärmung	Rasch	Langsam
Durchwurzelung	Leicht	Schwer
Bearbeitbarkeit	Gut	Schlecht

Bodenzahl =  $f$  (Textur, Zustandsstufe, Ausgangsmaterial)

Vor allem Tiefe und Alter

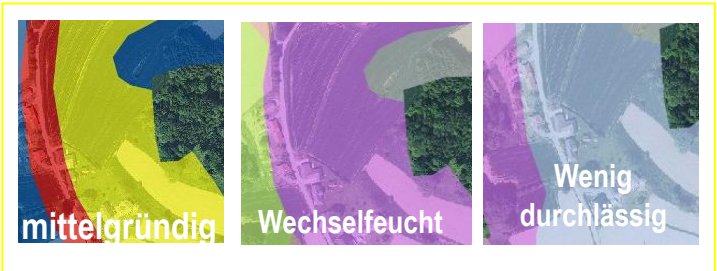
## Kulturohboden



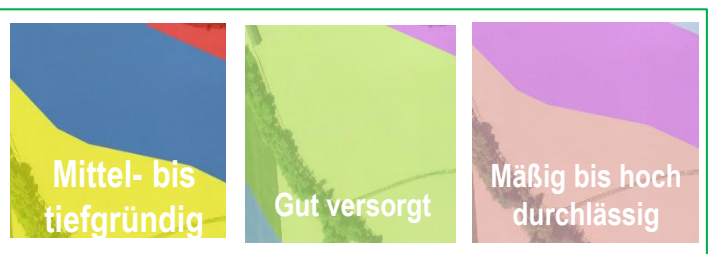
## Hangpseudogley



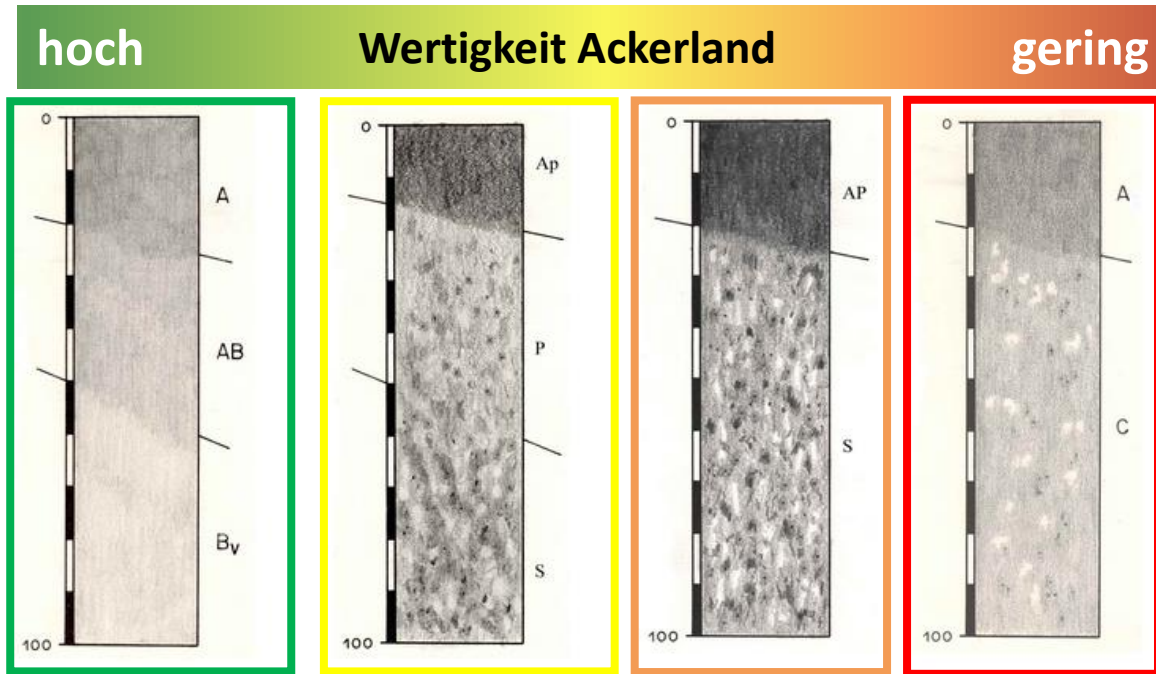
## Typischer Pseudogley



## Lockersediment Braunerde



## Der steirische Fleckerlteppich

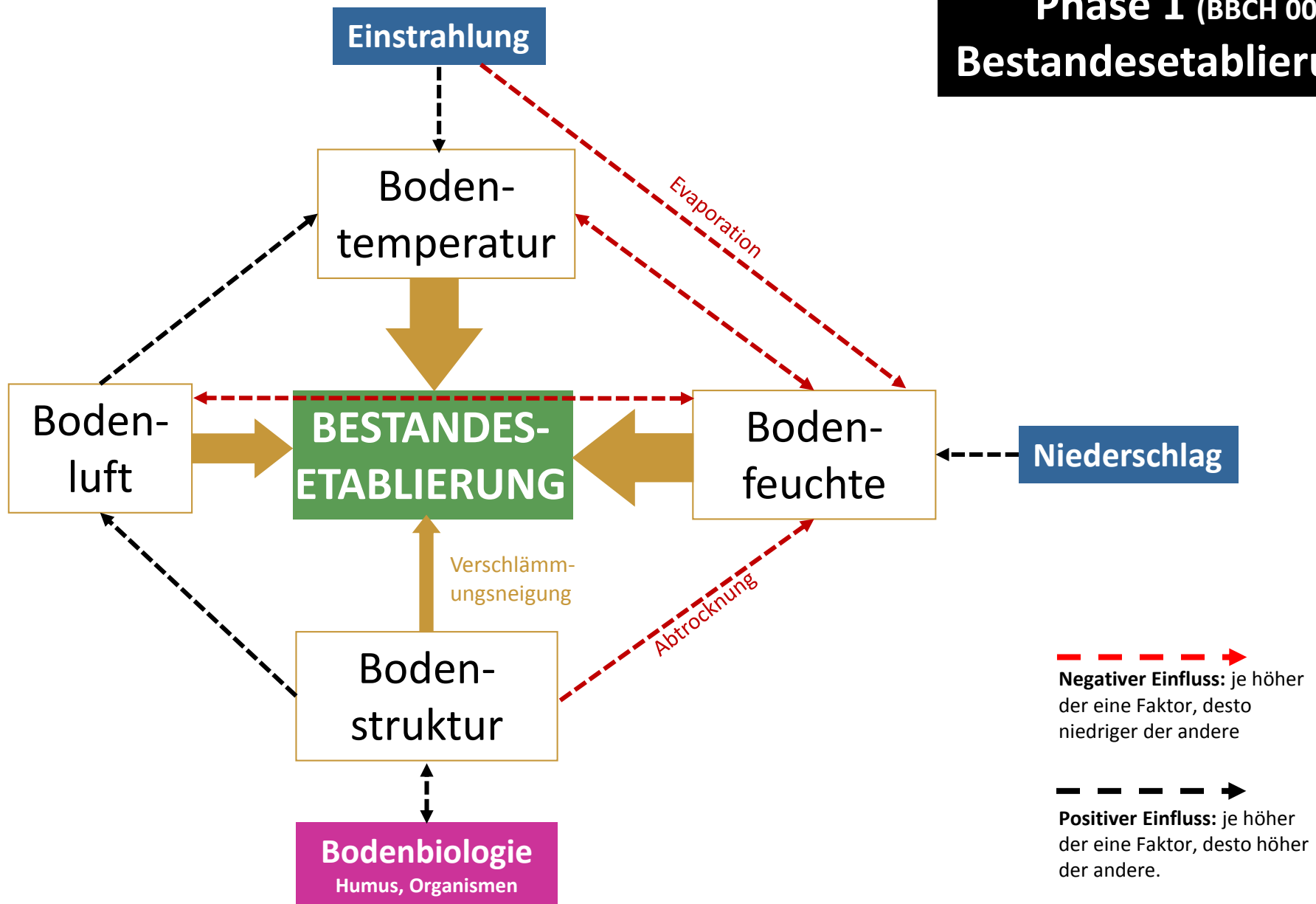


**Diagnose:** Wo liegt die Beschränkung ?

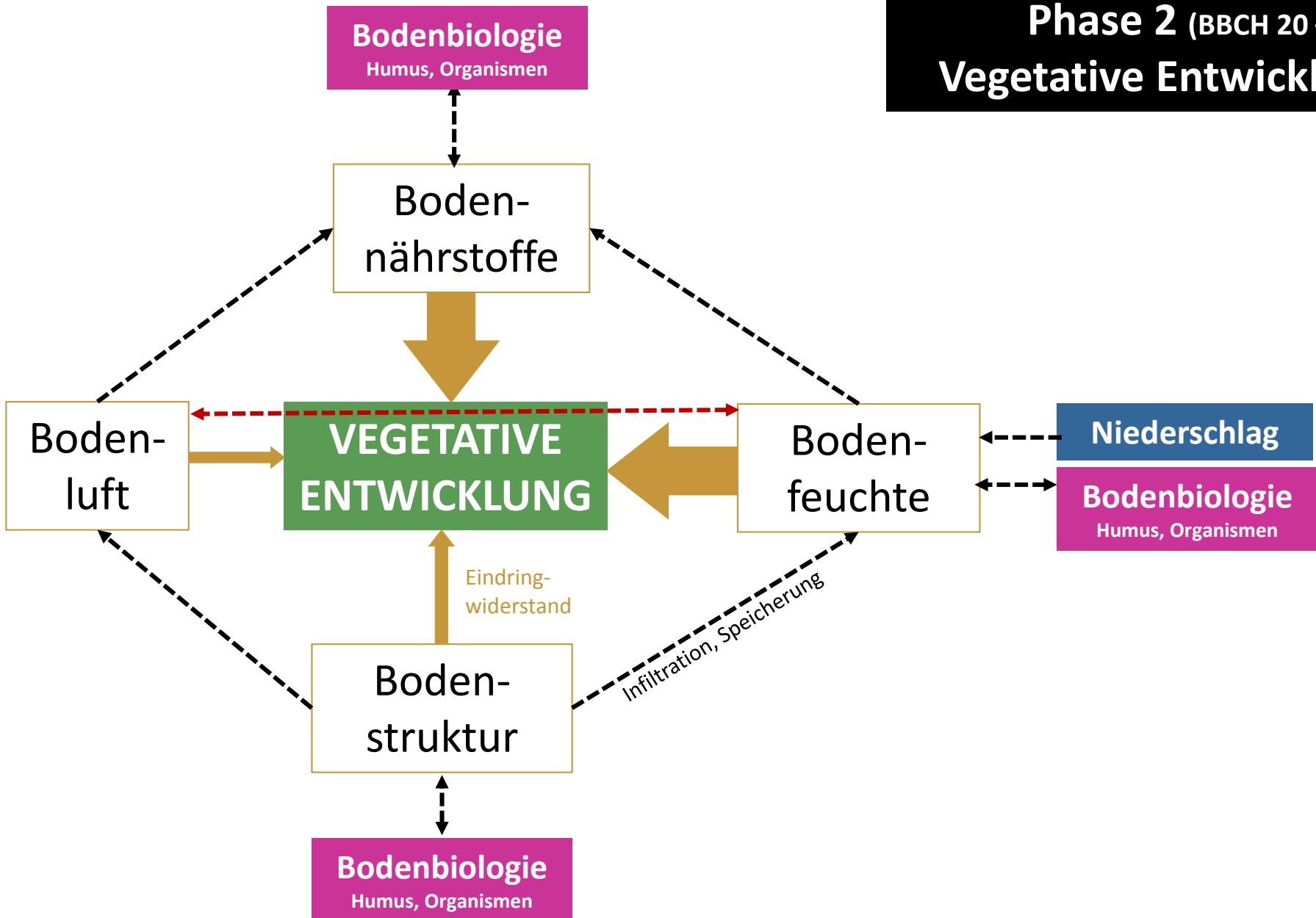
**Therapie:** Was dagegen tun?

➔ **Managebare Bodeneigenschaften**  
*... und ihre Ertragswirkung*

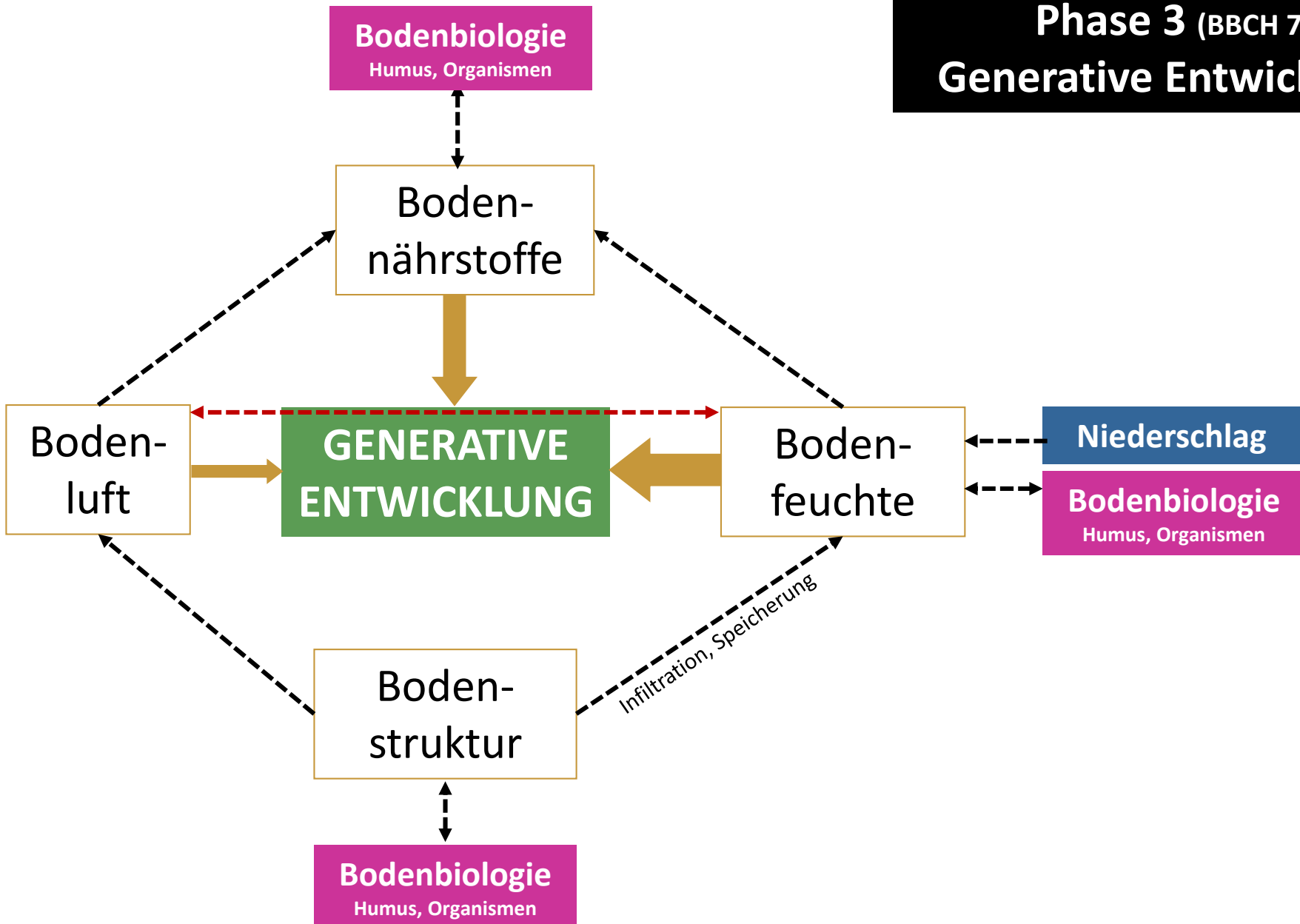
# Phase 1 (BBCH 00-19): Bestandesetablierung



## Phase 2 (BBCH 20 – 69): Vegetative Entwicklung



## Phase 3 (BBCH 71 – 89): Generative Entwicklung



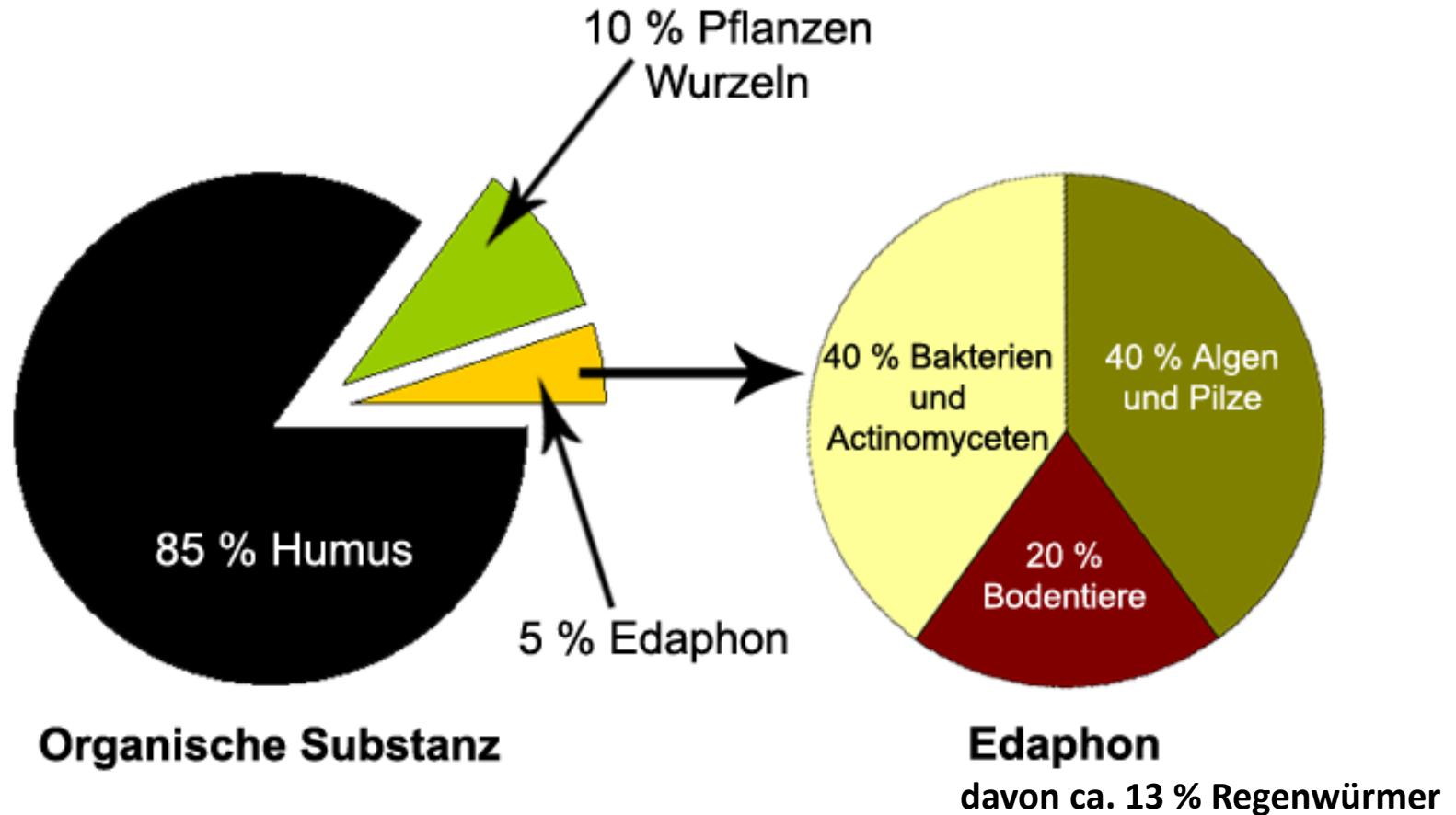
# **Bodenbiologie**

---

**Boden(mikro)organismen allgemein**



# Das Bodenleben



... so „wenig“ und doch so wichtig

# Das Bodenleben

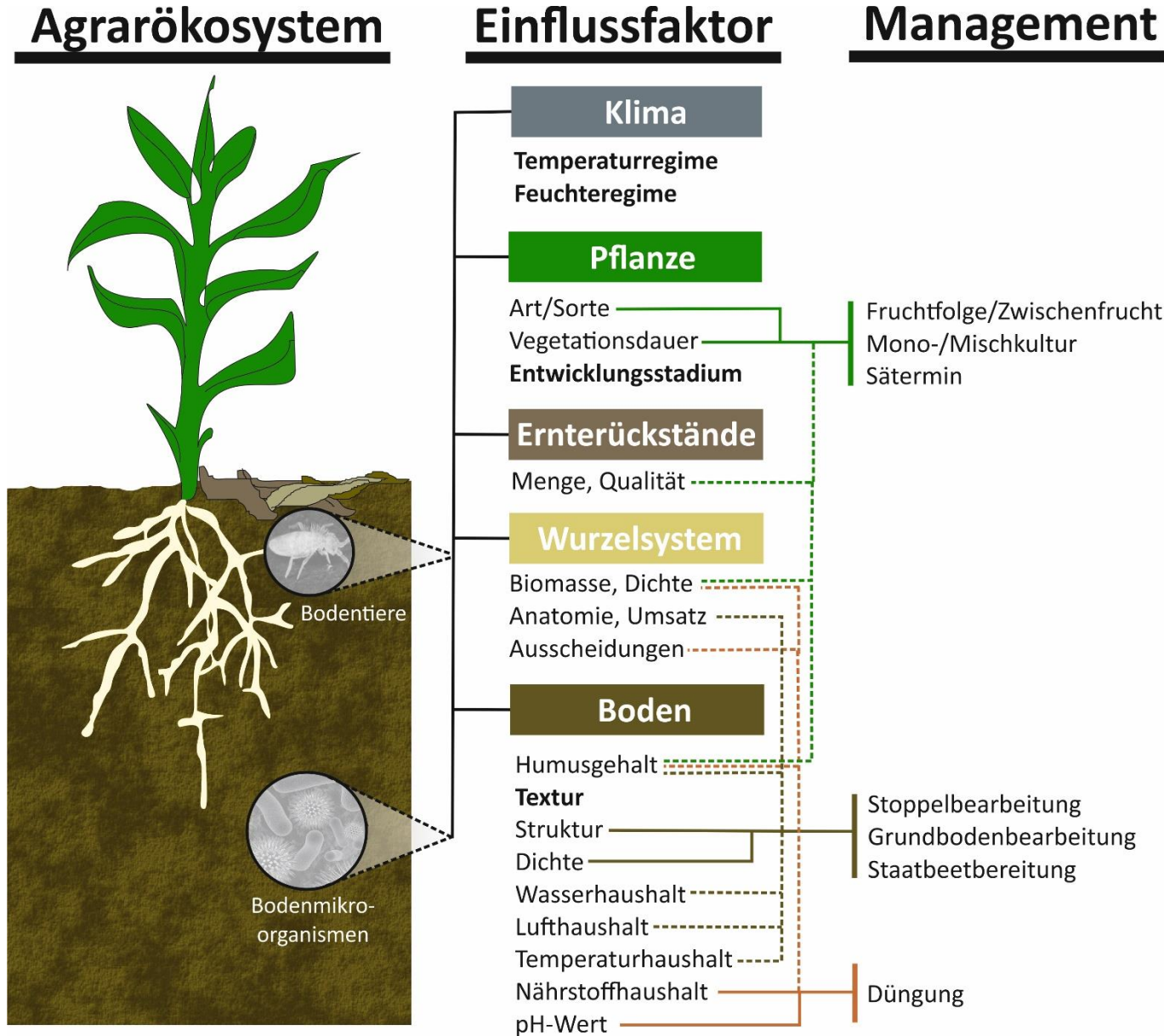
... so „wenig“ und doch so wichtig.

## Wenig??

Bodenbestandteile	kg ha <sup>-1</sup> (0-30 cm)
Bodengewicht (Annahme: Lagerungsdichte 1,3 g cm <sup>-3</sup> )	3.900.000
Humus (Annahme: 3 %)	117.000
⇒ Bodenleben (Annahme 5 %)	5.850
⇒ Algen und Pilze	2.340
⇒ Bakterien	2.340
⇒ Bodentiere	1.170
⇒ Regenwürmer	760

d.h. Ernährung von ca. 10 GVE ha<sup>-1</sup>

# (Umwelt)einflüsse auf die Bodenbiologie



## Bewertung/Messung der Bodenbiologie

Eigenschaft	Methode
Mikrobielle Biomasse	Chloroform-Fumigation (L)
Mikrobielle Aktivität	<b>Substratinduzierte Respiration (L)</b> Enzymaktivität (L) Bodenatmung (F) Litterbags (F)
Mikrobielle Diversität	PLFA (L) DNA (L) Proteine (L)
Organismen Biomasse	Aussieben (L), Austreiben (F)
Organismen Aktivität	Litterbags (F), Gelege (F)

# Bodenatmung zum Selbermachen:

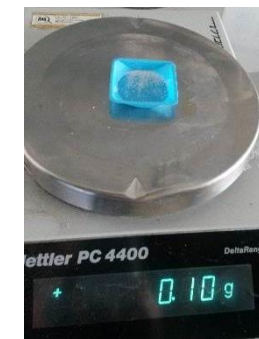


## Bauteile

- Gefäße für Boden (ca. 100 ml)
- Schlauch (+Netz, damit Schlauch nicht verstopft)
- Kleiner Behälter für Indikator
- Isolierband
- Indikator (Farbumschlag im leicht sauren, z.B. Bromothymolblau)



**Boden auf ca. 20 % Wasser**



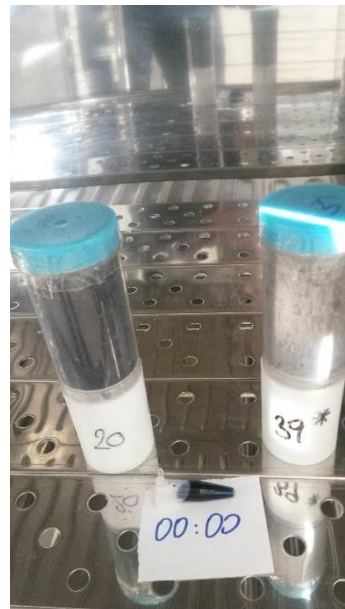
**Ein wenig Zucker dazu** (auch Mikroorganismen lieben Zucker)



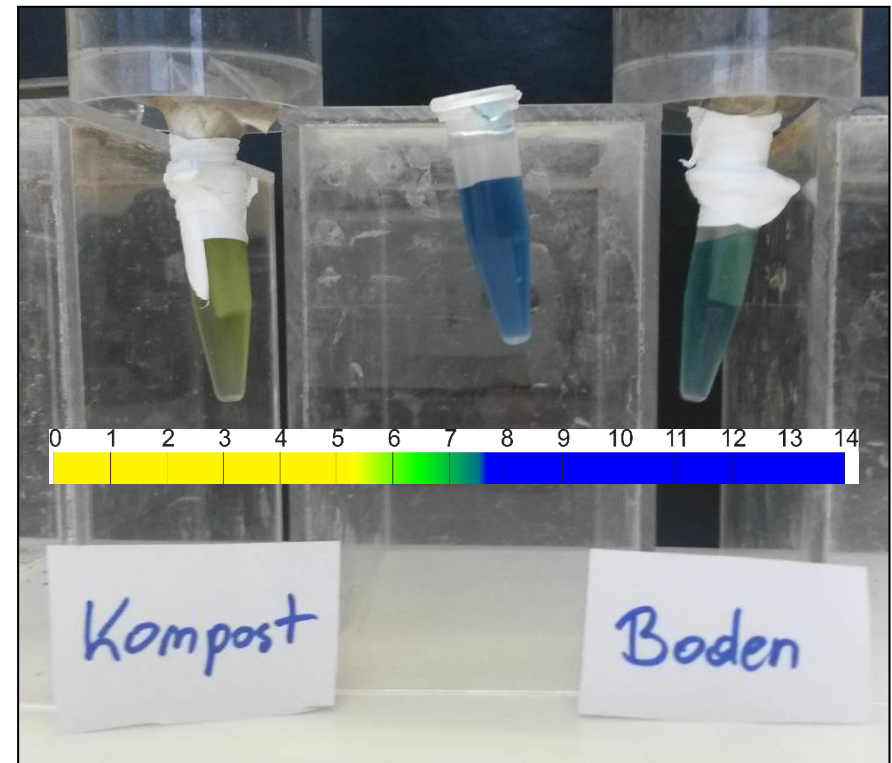
## Bodenatmung zum selber bauen:



Über Nacht auf die Heizung stellen (oder bei Raumtemperatur)



## Ergebnis

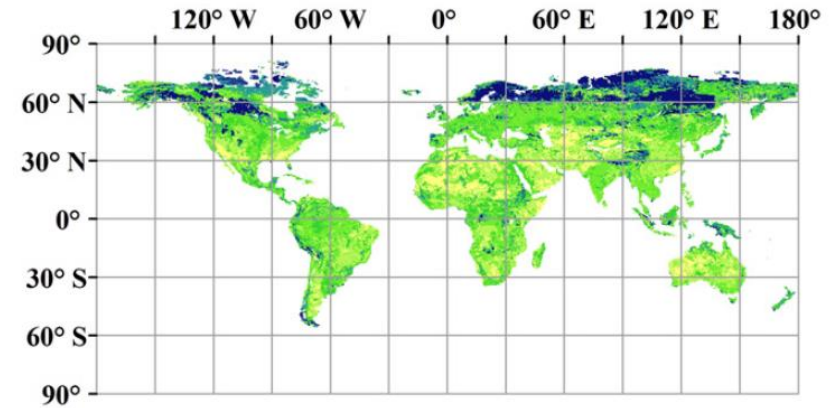


**Relativer Vergleich:** z.B. Boden vs. Kompost (Mitte: Ausgangsfarbe). Oder Vergleich mit Wiesenboden,...

# Natürliche Einflussfaktoren (Ökosystemebene)

Mikrobieller Kohlenstoff	Bedeutung
Organischer Kohlenstoff (Humusgehalt)	++++
Feuchteregime (NS/Eto)	+++
Landnutzung* (Wald=Grünland < Acker)	+++
Textur (Tongehalt)	++
pH-Wert	+(+)

Quellen: Xu et al, 2003; Serna-Chavez et al., 2013; Creamer et al., 2016

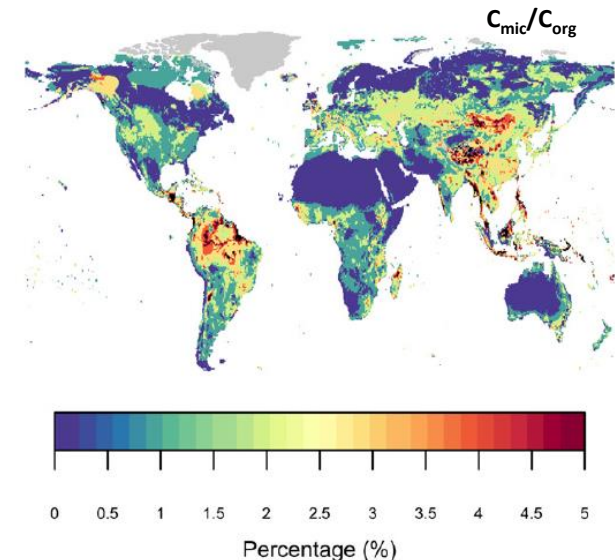


Soil microbial biomass C in top 0-30 cm (g C m<sup>-2</sup>)

**\*Humusverlust** bei Inkulturnahme von Boden:  
**ca. 20-30 %** (Ogle et al., 2005)

C <sub>mic</sub> /C <sub>org</sub>	Bedeutung
Gesamt-Stickstoff (↓)	++++
Feuchteregime (NS/Eto)	+++
C-N Verhältnis (↓)	++
Kationen Austauschkapazität	+
pH-Wert	+

Quelle: Serna-Chavez et al., 2013



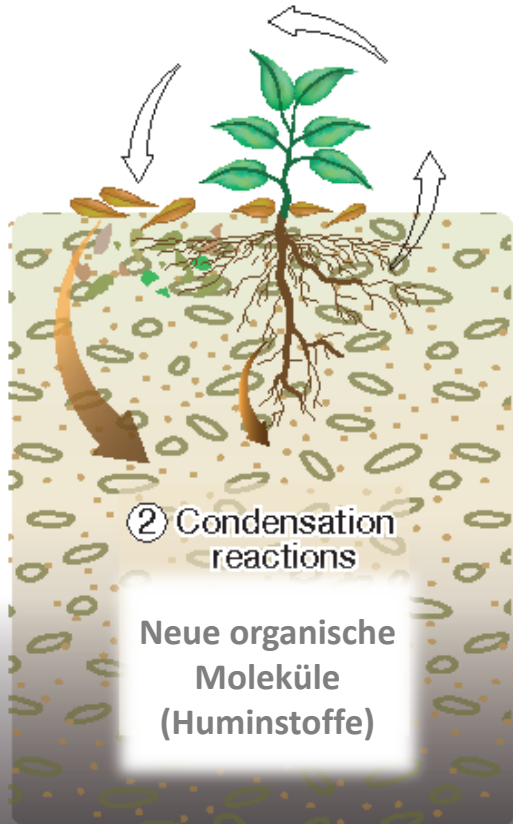
Percentage (%)

# Managementfaktoren Landwirtschaft

## Humusgehalt

### Klassische Sicht

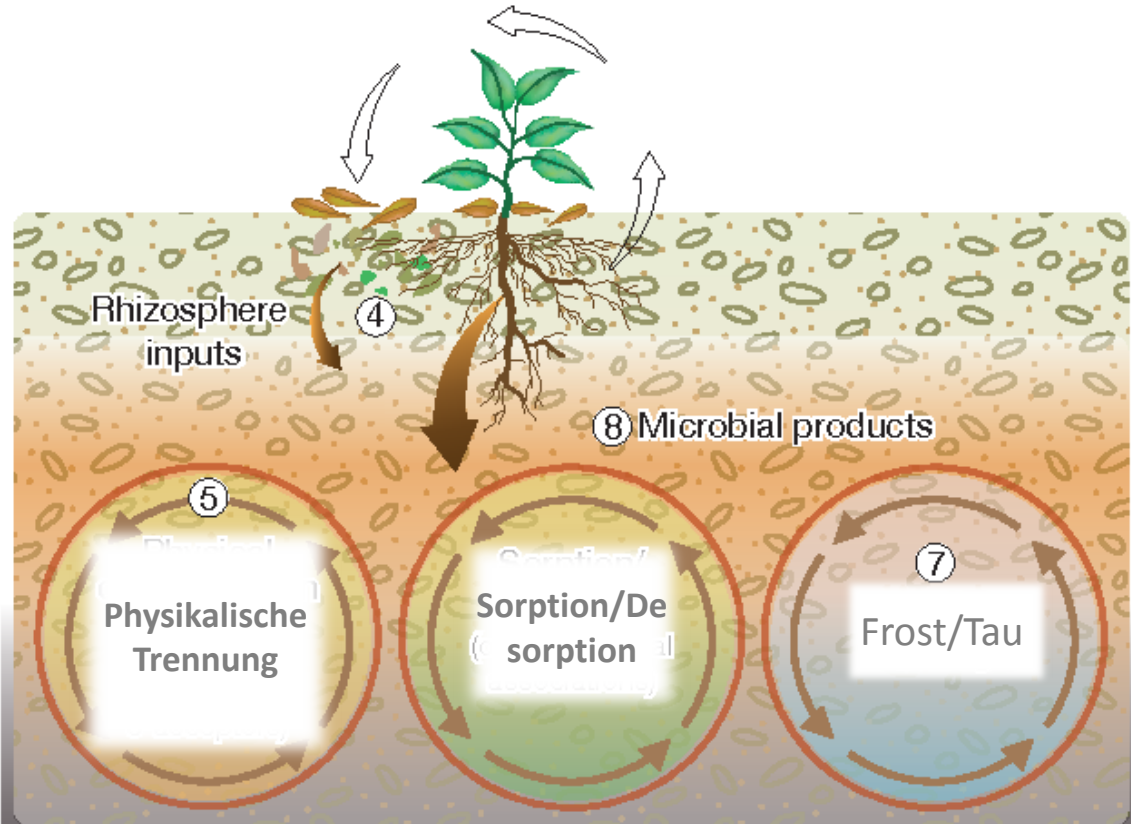
Frischer Bestandesabfall (Blätter)



Molekulare Struktur entscheidend für Stabilität

### Aktuelle Sicht

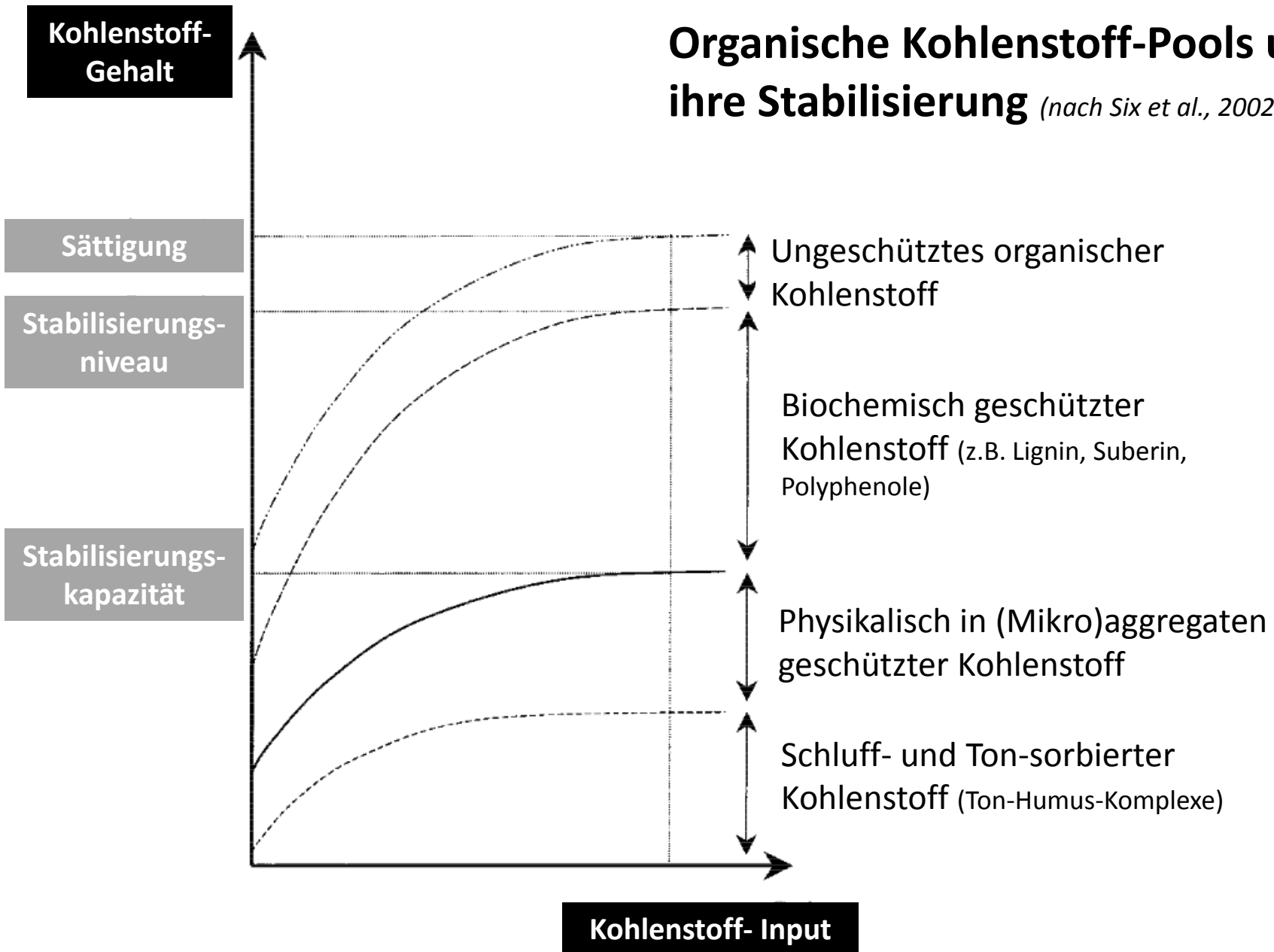
Frischer Bestandesabfall (Blätter, Wurzeln, Rhizodeposition); Kohle-Rückstände

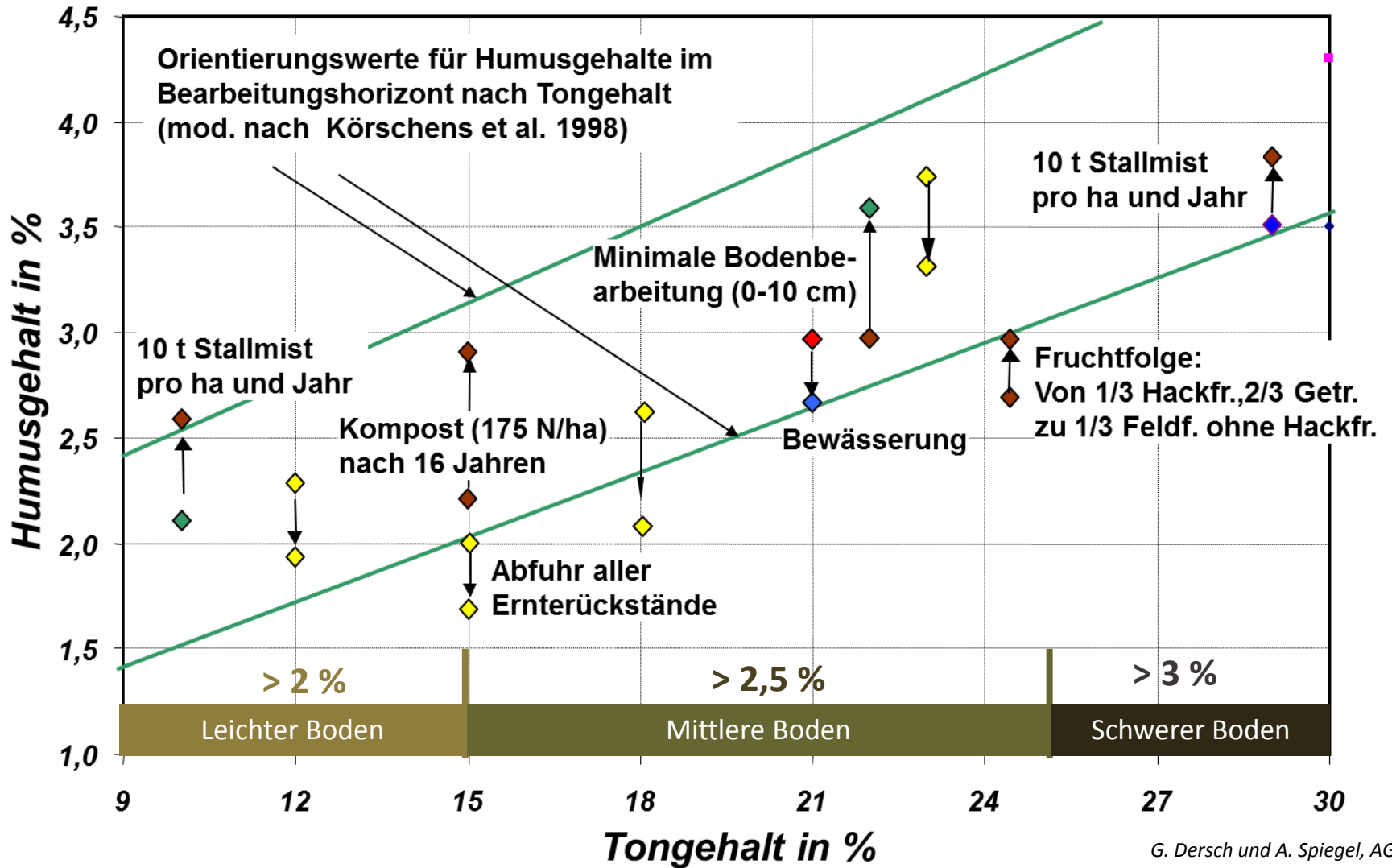


Umweltveränderungen bedingen Umsetzungsgeschwindigkeit organischer Verbindungen



# Organische Kohlenstoff-Pools und ihre Stabilisierung *(nach Six et al., 2002)*





G. Dersch und A. Spiegel, AGES

# Wurzel: Kohlenstoff-Quelle und Mikroorganismen-Futter

1

	Wurzeln dt/ha		Anteil Wurzeln an Ernterückständen (%)	
	Lehm	Sand	Lehm	Sand
Ackerbohne	14,60	-	72,7	-
Wicke	4,63	-	75,7	-
Erbse	3,98	6,88	79,3	74,5
Hafer	6,43	9,23	57,6	68,3
Wintergerste	10,50	-	66,8	-
Sommergerste	6,02	-	-	-
Winterweizen	8,63	-	59,8	-
Winterroggen	6,86	9,85	59,6	67,7
<b>Zwischenfrüchte</b> (eigene Erhebungen, Hollabrunn, Schwarzerde, uL)				
Phacelia	7,68	-	35,9	-
Winterwicke	5,58	-	22,2	-
Winterroggen	6,16	-	43,8	-
Gelbsenf	10,33	-	40,4	-

Hauptfrüchte nach Köhnlein und Vetter, 1953

## Anteil der Assimilat-Verlagerung in den Wurzelraum

	Prozent
Winterweizen	29
Sommergerste	28
Eng. Raygras	32

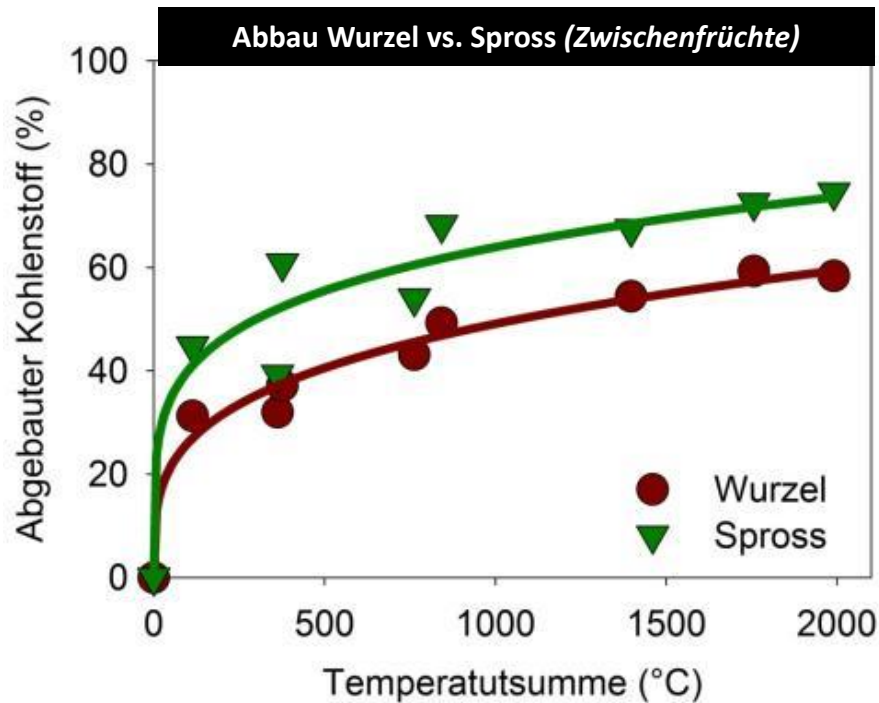
## Prozentaufteilung

Wurzeln	Atmung	Boden
38	52	9
40	53	7
44	41	15

Daten aus: Kuzyakov und Schneckenberger, 2004

# Wurzel als wichtige Kohlenstoff-Quelle

2



## Humusbeitrag der Wurzel

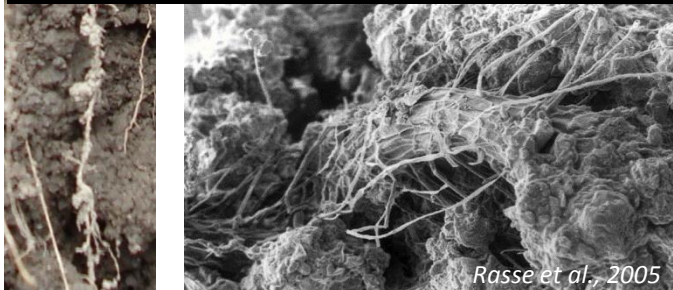
Art	Wurzelbeitrag*
Mais	1,65-3,30
Gerste	1,33
Luzerne	1,34-2,70
Weißklee	1,30
Raygrass	1,24
Brutknospen- Schwingel	1,50-2,1
Kresse	1,33
<b>MITTEL</b>	<b>1,66</b>

\***Beitrag zum Gesamt-Bodenkohlenstoff (SOC);** 1... Input von Wurzel-Kohlenstoff gleichbedeutend wie Input von Sprosskohlenstoff; Werte > 1 Beitrag der Wurzel wichtiger; Werte < 1 Beitrag des Sprosses wichtiger.

Quelle: Rasse et al., 2005

3

### Vernetzung Wurzel - Bodenaggregate



# Beispiel: Zwischenfrüchte und ihre Wurzeln (BOKU Rhizobox-Versuch)



**Ölrettich**



**Leindotter**



**Sandhafer**

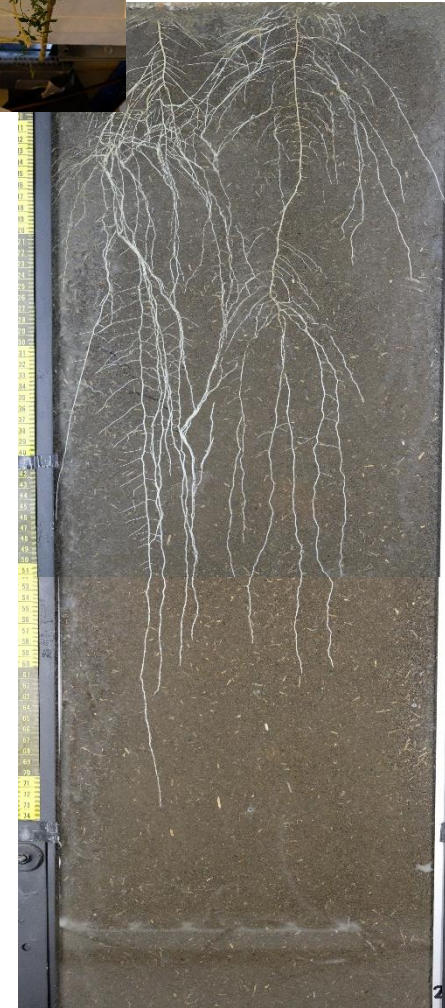
# Zwischenfrüchte und ihre Wurzeln



**Sonnenblume**



**Buchweizen**



**Sommerwicke**

# Wurzelausscheidungen („Rhizodeposition“)

Abgestorbene Zellen, Schleime (Mucilage), Exudate

Bodenmikroorganismen brauchen (leicht abbaubaren) Kohlenstoff (C) als Futter. Sie sind meistens **C-limitiert** ! Bodenleben braucht daher Bodendurchwurzelung!

## Menge: Bis zu 20 % des assimilierten CO<sub>2</sub>

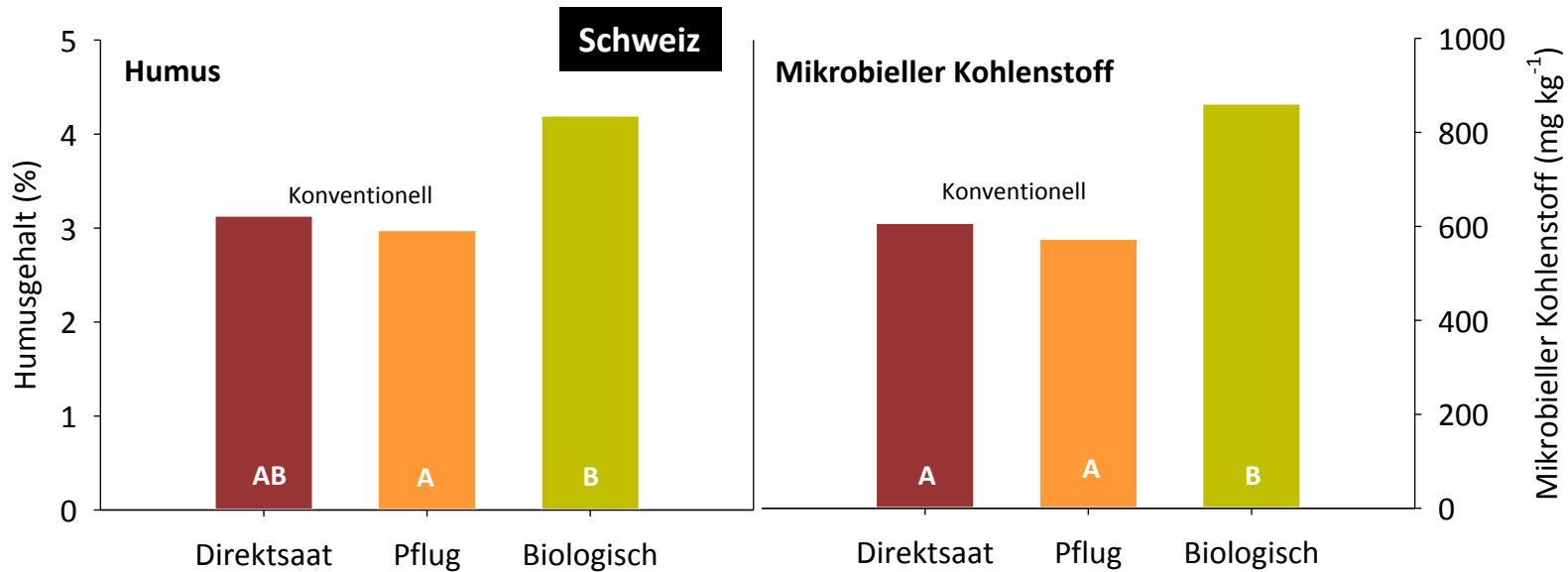
- 64-86 % werden rasch von Bodenmikroorganismen veratmet.
- 2-5 % bleiben in der Bodenorganischen Substanz (stabil).
- v.a. Kohlenhydrate sowie organische Säuren und Aminosäuren
- Artspezifische (Sortenspezifische) Zusammensetzung

Daten aus Hütsch et al., 2002

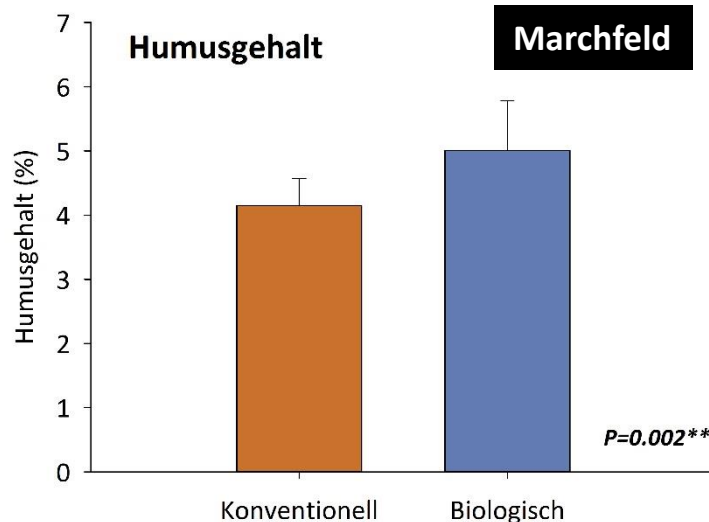
## Funktionen der Wurzelausscheidungen:

- Nährstoffmobilisierung
- Signalstoffe
- Mikroorganismenfutter
- Mechanischer Schutz der Wurzel

# Bewirtschaftungssystem



Daten: Colombi et al., 2018

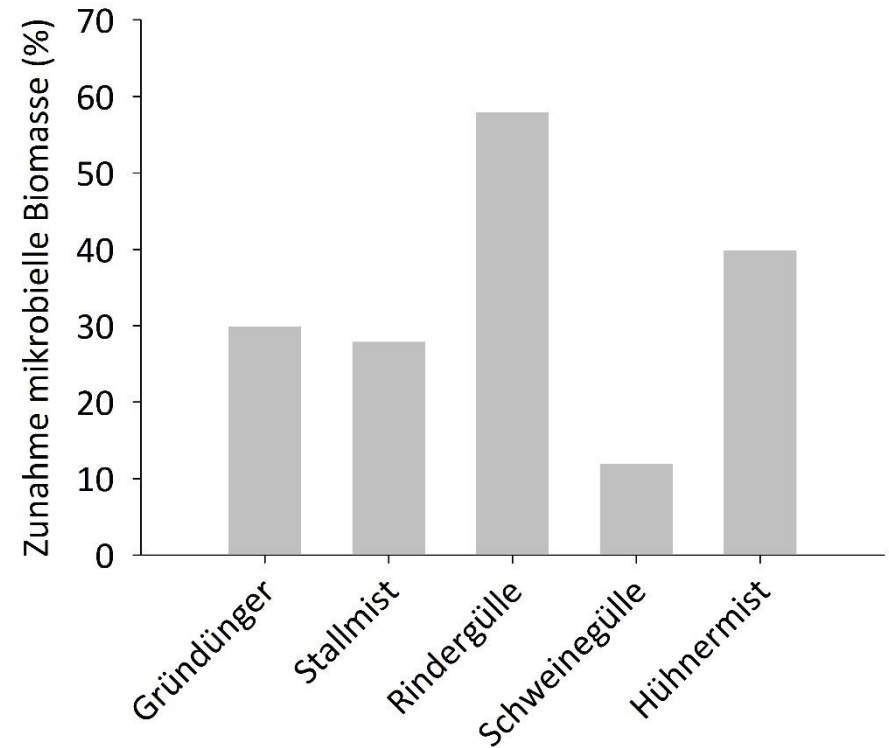
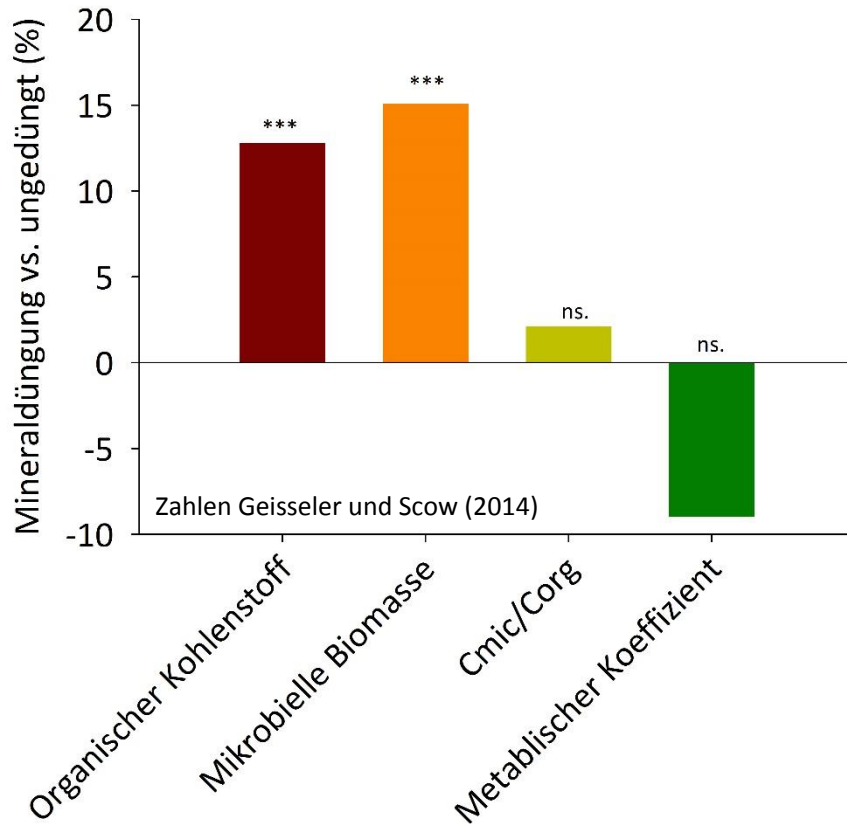


## Faktoren:

- Fruchtfolge (Input und Diversität: z.B. Rotation vs. Monokultur: + 20 %  $C_{mic}$  [McDaniel et al. 2014])
- Düngung (organisch vs. mineralisch)
- Bodenbearbeitung



# Düngung



Zahlen von Kallenbach und Grandy (2011)

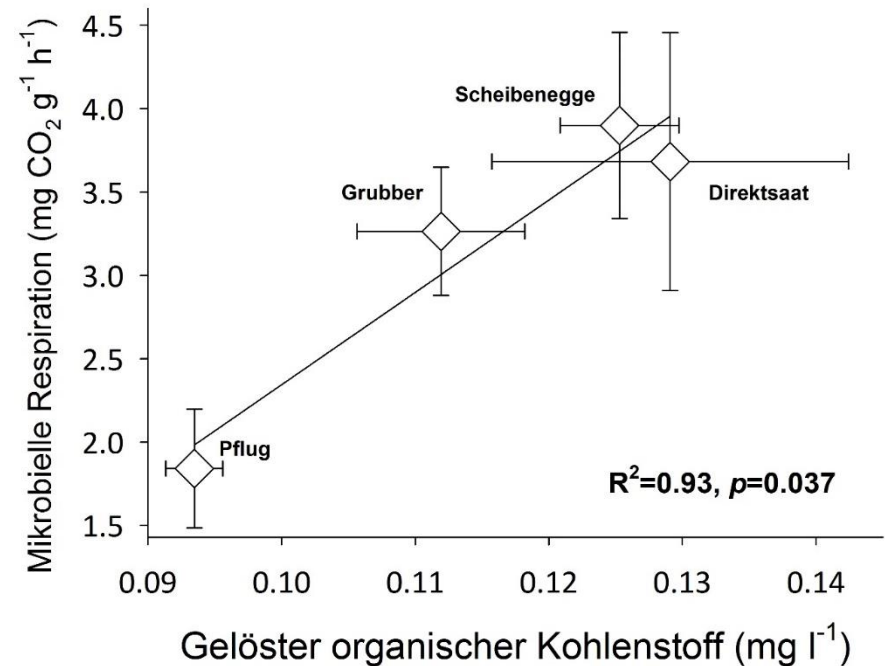
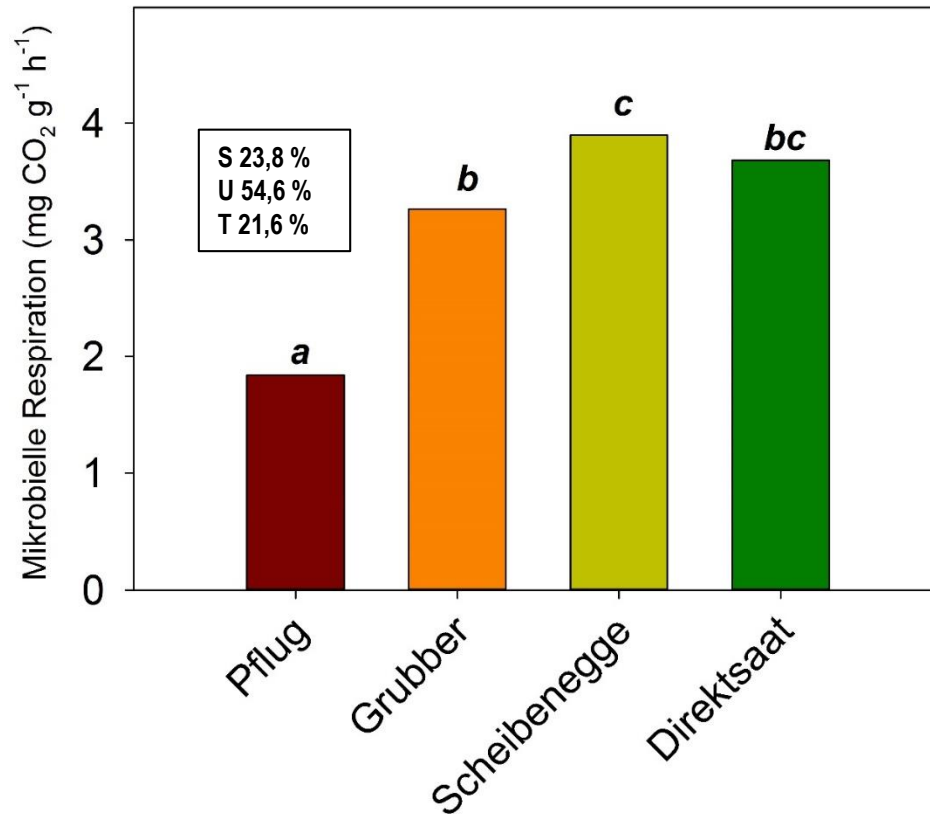
## Einflüsse organischer Dünger über:

- C:N-Verhältnis
- Leicht umsetzbarer Kohlenstoffverbindungen
- N-Form (u.a.  $\text{NH}_4^+$ / $\text{NO}_3^-$  Konzentration vs. organisch gebundener N)
- Chemische „Vielfalt“ der organischen Stoffe

# Bodenbearbeitung

## Bodenbearbeitungsversuch Hollabrunn, Weinviertel

Beginn: 2006; Bodenart: S 23,8 %, U 54,6 %, T 21,6 %; Humus: 2.7 %

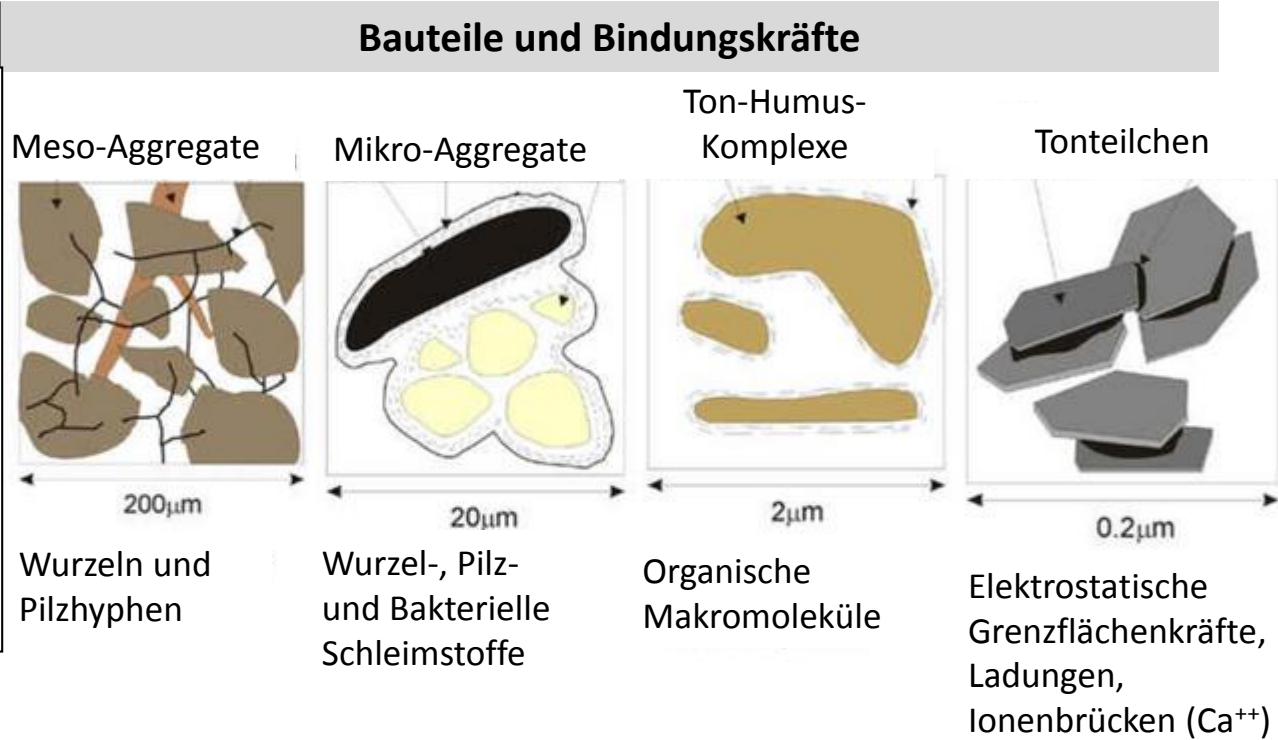


Gelöster Kohlenstoff (DOC) = leicht umsetzbare organische Substanzen; z.B. Wurzelausscheidungen

# Kurzer Exkurs: Bodenstruktur: Das „Aggregat-Hierarchie-Modell“



Verändert nach: Nature Education und University of British Columbia



**Textur ⇔ mikrobielle Biomasse:**  
 Schutzeffekt gegen Abbau in Aggregaten (Tonteilchen „kleben“ an Bakterien)

# Gute und schlechte Bodenstruktur

**Krümelige Struktur**

Biologischer Aufbau (Ah-Horizont)



**Polyeder-Struktur**

Abiotisch (B-Horizont)



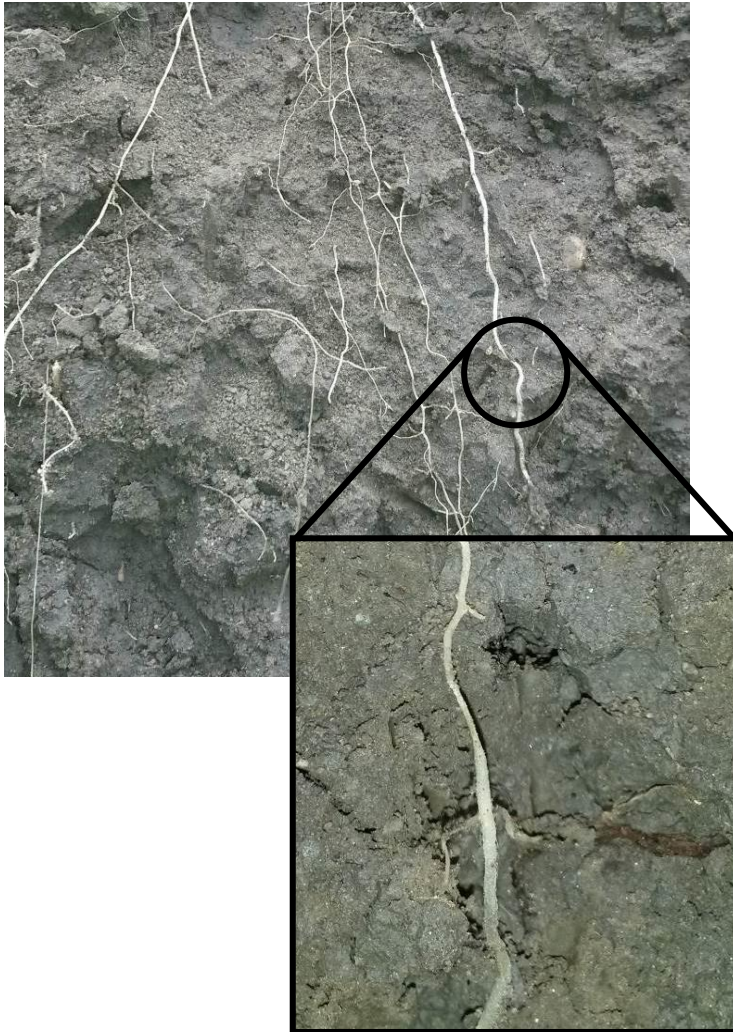
**Plattige Struktur**



**Kompakte Struktur**



## Entscheidung über die Wurzel

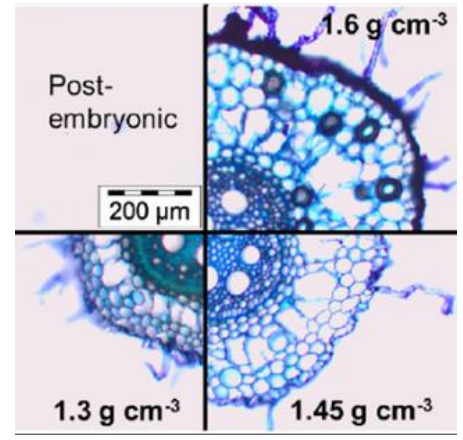
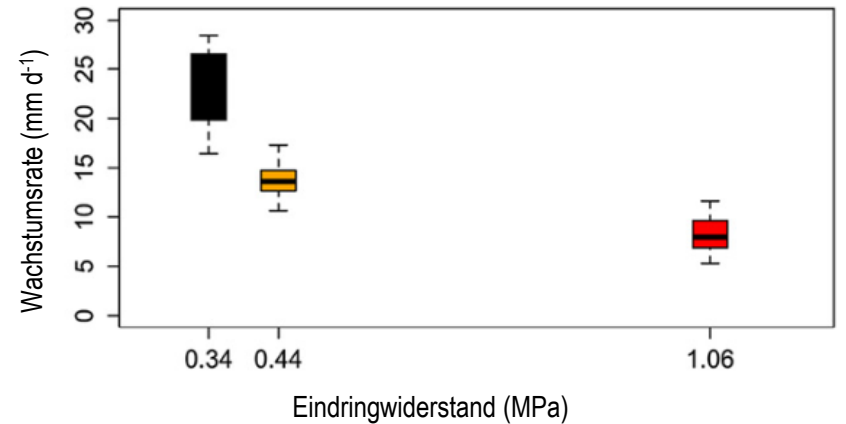
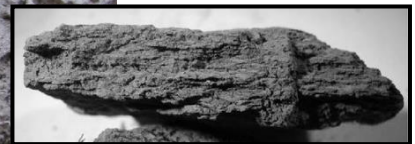


### Symptome für Probleme:

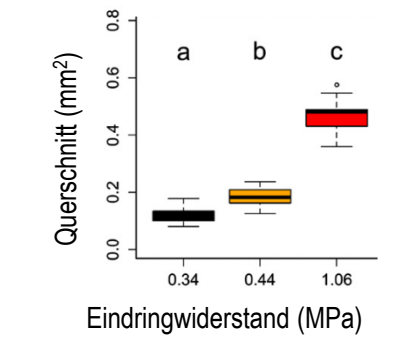
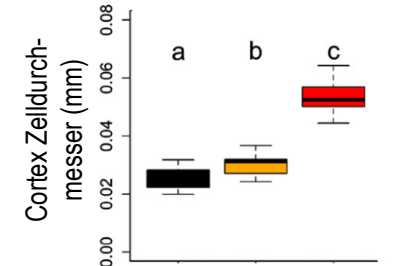
- Ungleichmäßige Verteilung (in Rissen)
- Geringe Wurzeldichte
- Wurzelachsen plattgedrückt

# Wurzelwachstum und Bodenschadverdichtung

Hohe Verdichtungsgefährdung 20 % der Ackerböden

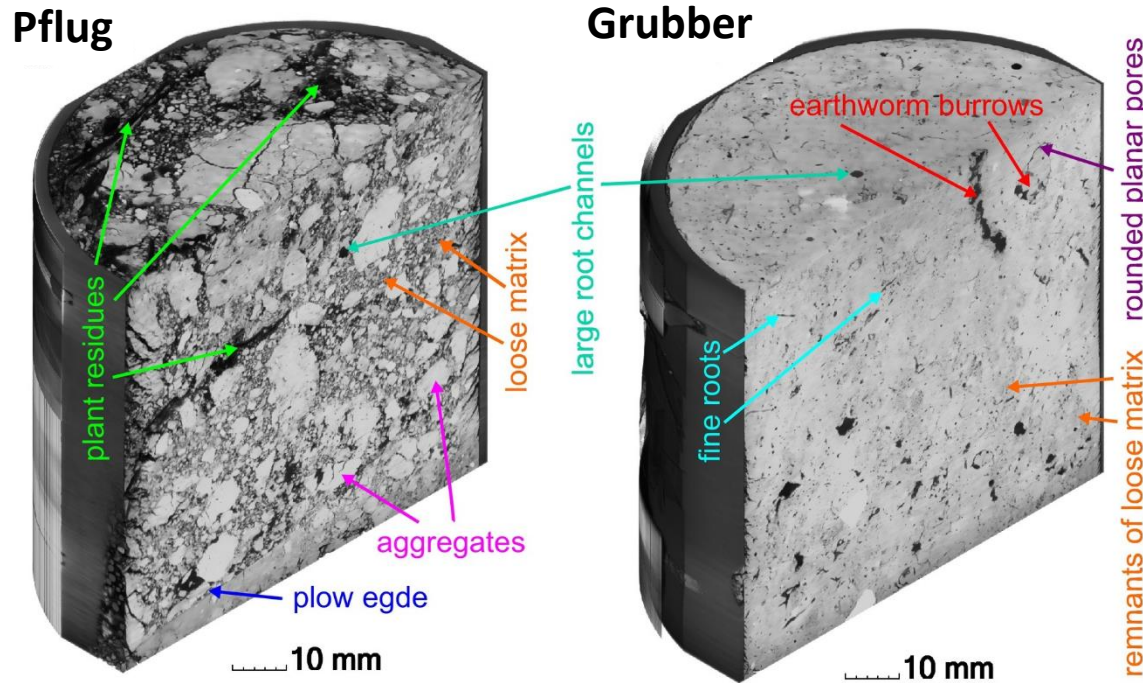


Colombi et al. (2017)

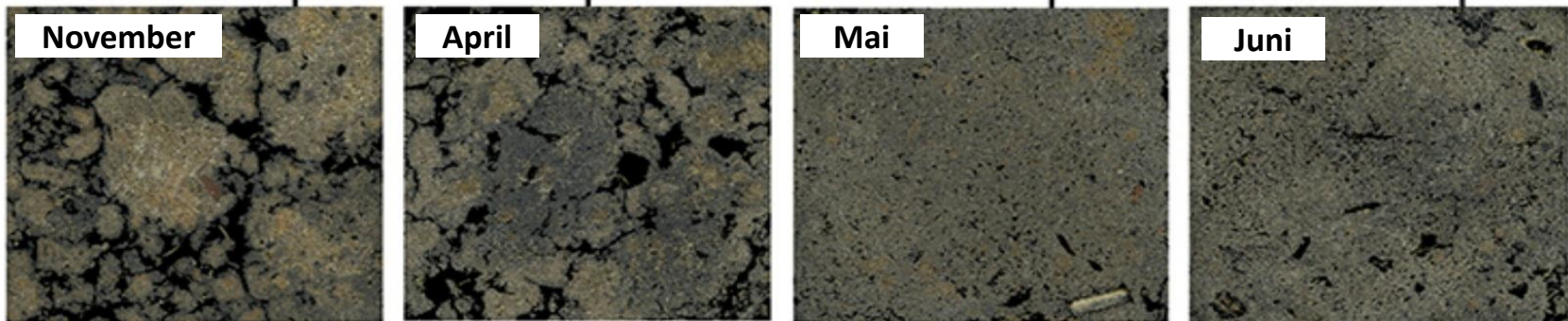


**Reduzierte Bodenbearbeitung:** Löss-Schwarzerde (8 % S, 79 % U, 13 % T; Humus 3 %<sub>Pflug</sub> - 3,6 %<sub>Grubber</sub>)

Schlüter et al., 2018

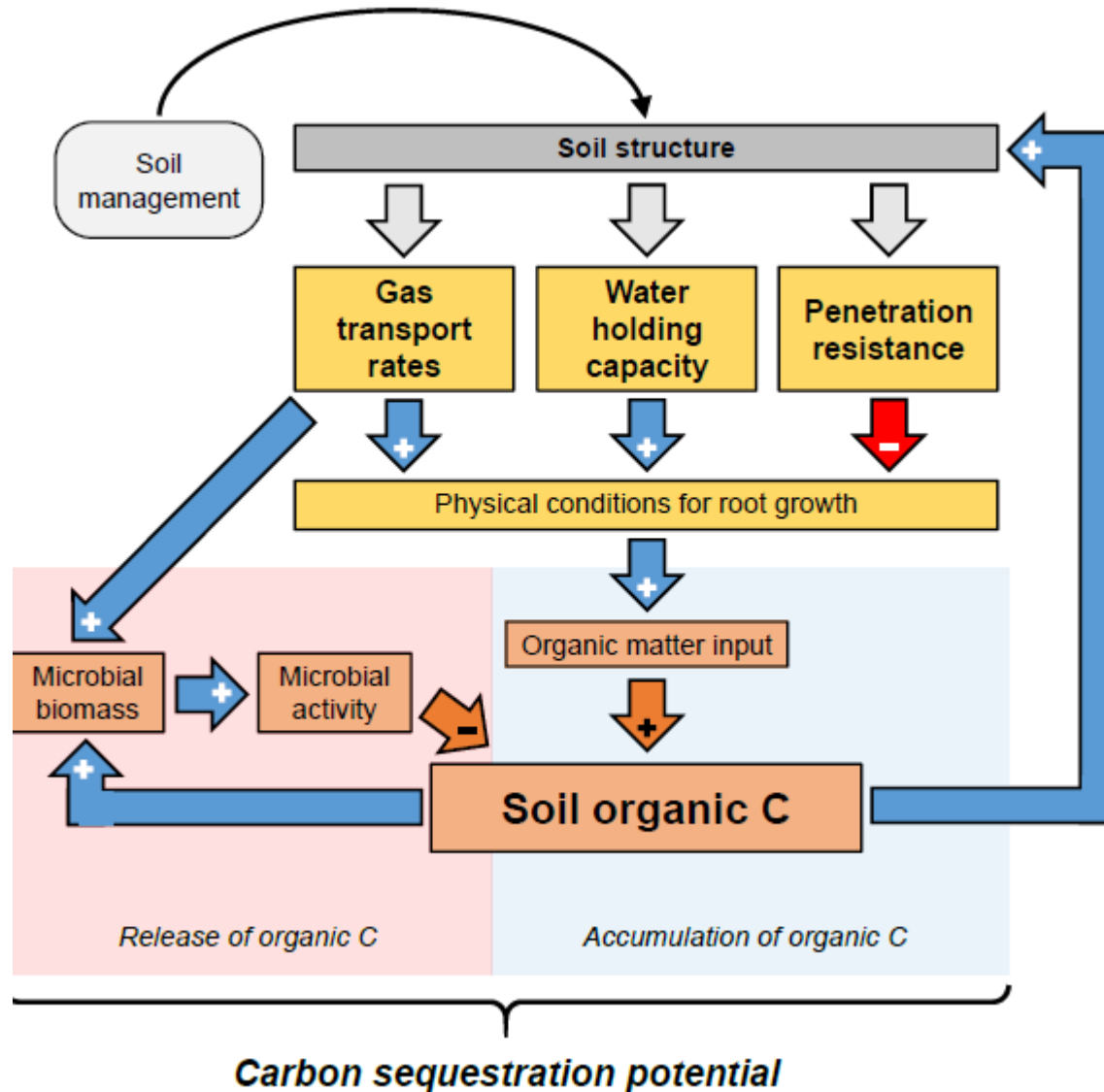


**Jahresgang Bodenstruktur:** Löss-Parabraunerde (32 % S, 60 % U, 8 % T; Humus 1.7 %)



Bryk et al., 2017

# Bodenstruktur – Bodenleben - Humus



Ein Vorschlag aus der Schweiz (ETH Zürich) zur Bedeutung der Bodenstruktur und Durchlüftung für Bodenleben und Humus.  
(Colombi et al., 2018)



## Einige erste Schlussfolgerungen

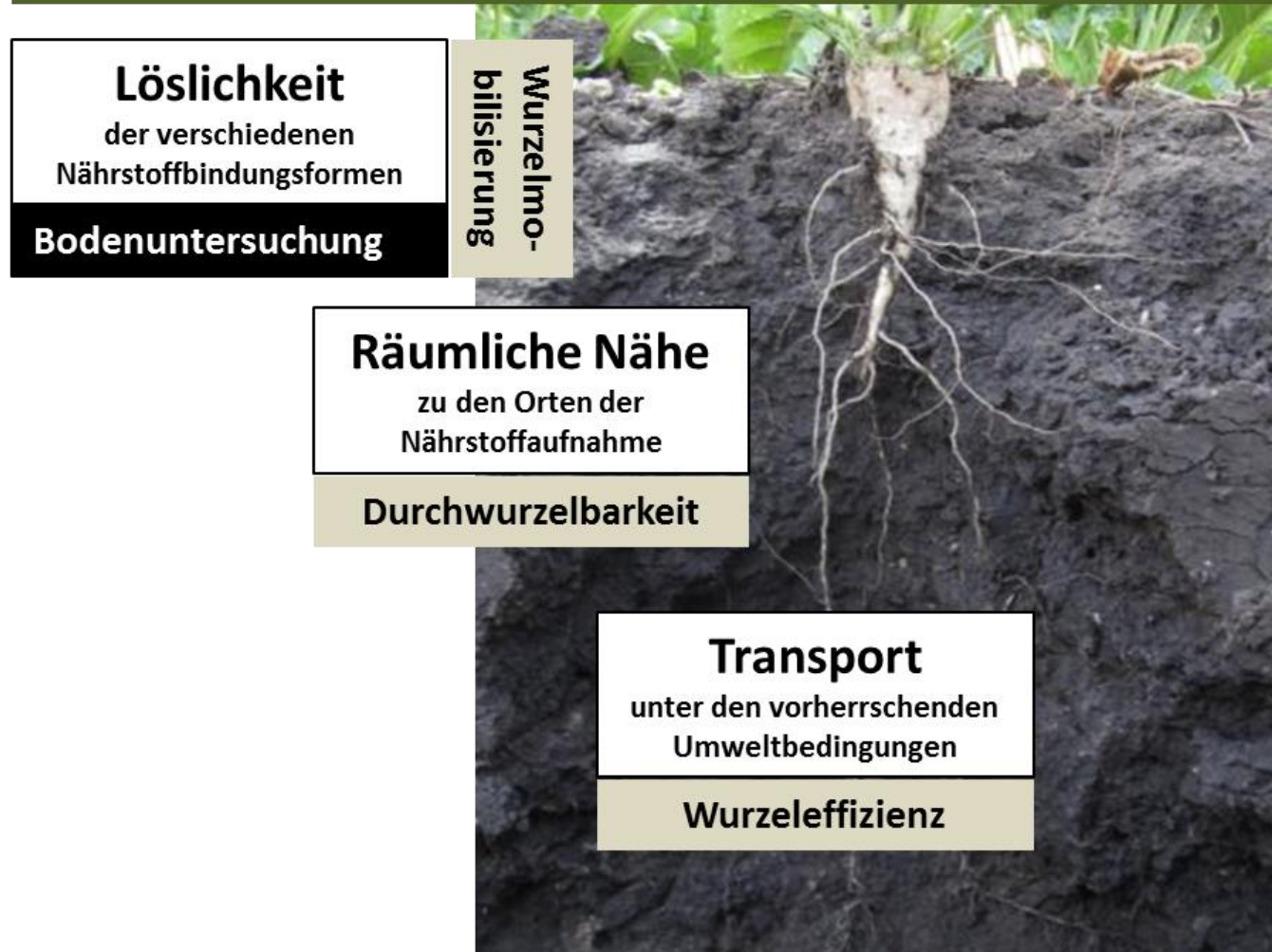
- **Natürliche Faktoren** (pH, Klima, Textur) spielen eine wichtige Rolle, zeitliche Variabilität ist sehr hoch (z.B. Einfluss des pflanzlichen Entwicklungsstadiums – Assimilat Fluss in den Wurzelraum).
- **Input von organischem Material** entscheidend für mikrobielle Aktivität (Humusgehalt, v.a. Wurzelinput – Fruchtfolge, Düngung, Zwischenfrucht).
- **Reduzierte Bearbeitungsintensität** tendenziell fördernd für Bodenbiologie.
- **Ein vielfältiges System ist resilient:** Kurzfristige Störung bedeutet nicht notwendigerweise eine langfristige Verschlechterung (-30 bis -90 % Reduktion der Aktivität tolerierbar, wenn nach 30-60 Tagen Erholung; Domsch et al., 1983).
- **Kritische Funktionsträgern** (z.B. Stickstoff-fixierende Symbionten, Regenwürmer) vs. **funktionelle Redundanz** (z.B. denitrifizierenden Bakterien – Verringerung führt nicht zu Abnahme der Funktion; Wertz et al., 2007).

# **Bodenbiologie**

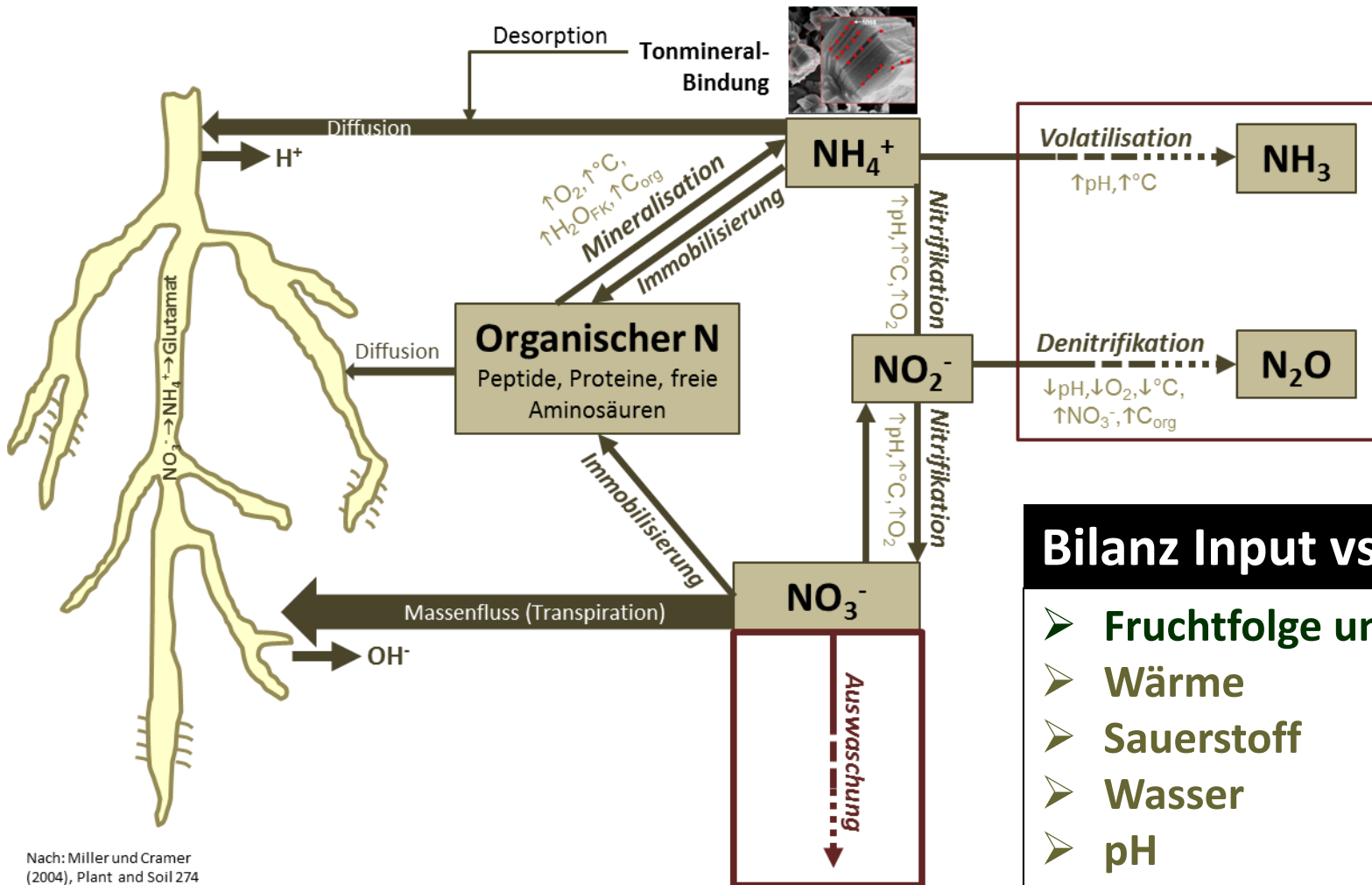
---

**Rhizobien - Stickstoff**

## Komponenten der

**NÄHRSTOFFVERFÜGBARKEIT**

# „Lückiger“ Stickstoffkreislauf mit Verlustgefahr



Nach: Miller und Cramer (2004), Plant and Soil 274

## Bilanz Input vs. Output

- Fruchtfolge und Art
- Wärme
- Sauerstoff
- Wasser
- pH
- Wurzelaufnahme

## Überblick

**Rhizobien** = N-fixierende Bakterien, die Wurzelknöllchen bilden.

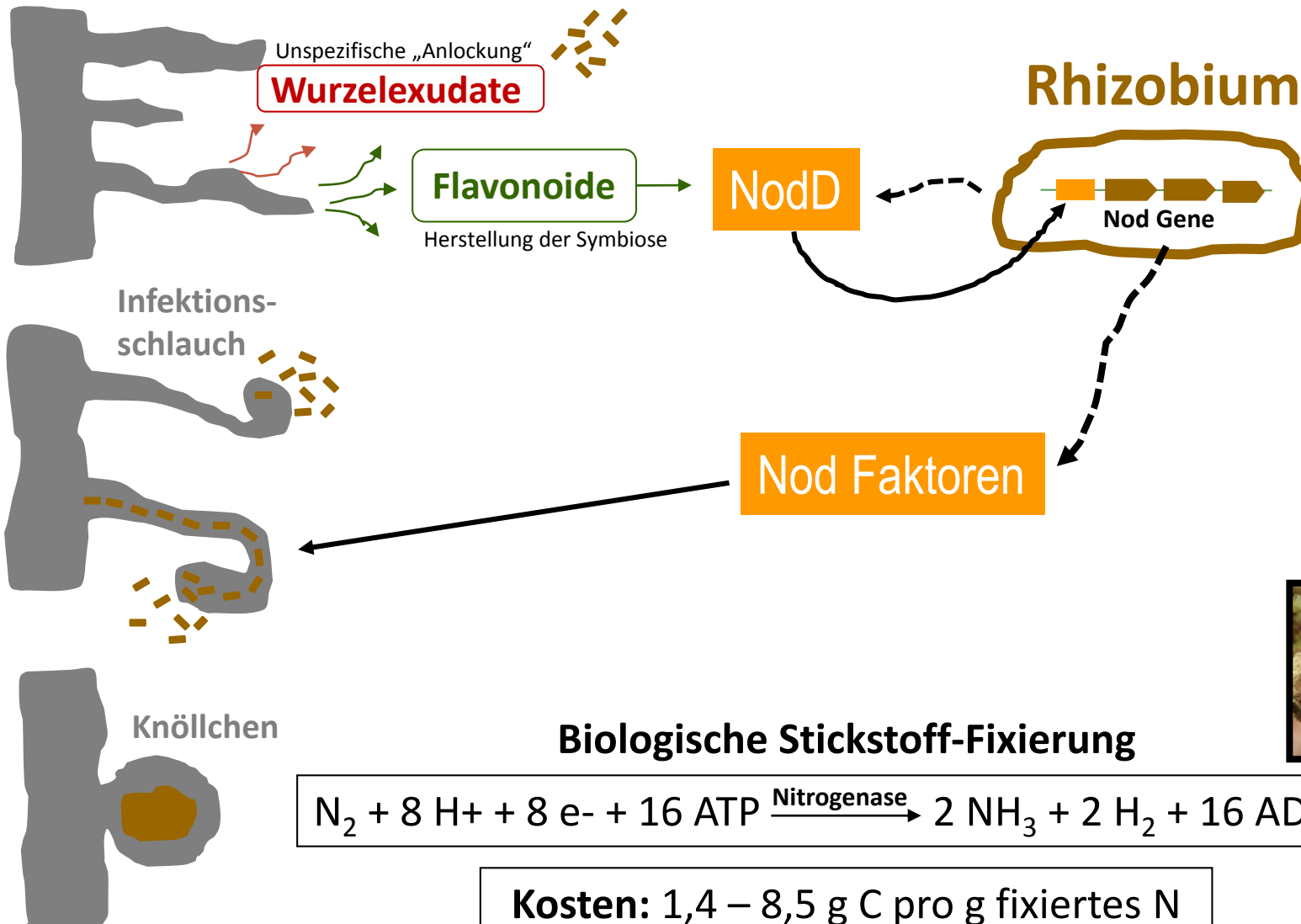
98 Arten aus 13 Gattungen (v.a. Rhizobium, Mesorhizobium, Sinorhizobium, Bradyrhizobium) und einer Vielzahl an Stämmen.



Was beeinflusst die Leistungsfähigkeit und wie kann man sie optimieren ?

# Kontaktaufnahme, Zusammentreffen und Zusammenwirken

## Wurzelhaare



## N-Fixierleistung

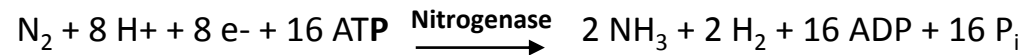
Kulturart	N-Fixierleistung (kg N/ha)
Ackerbohne	130-170
Erbse	65-100
Linse	40-80
Lupine	60-100
Sojabohne	100-150
Wicke	100
Platterbse	80
Luzerne	240

Zahlen aus Freyer et al., 2005; Kakraliya et al., 2018, und G. Gollner

### Abhängig von:

1. Wachstumsdauer (Hauptfrucht > Zwischenfrucht)
2. Pflanzenbiomasse (höherer Ertrag – höhere Fixierleistung)
3. Knöllchenbesatz und Aktivität

# Natürliche Einflussfaktoren



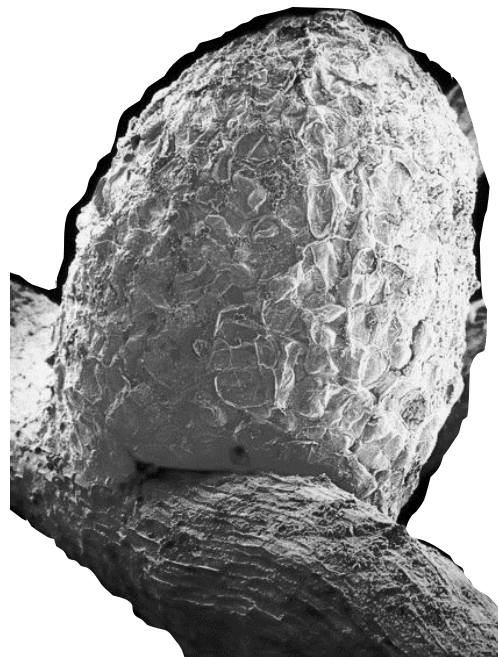
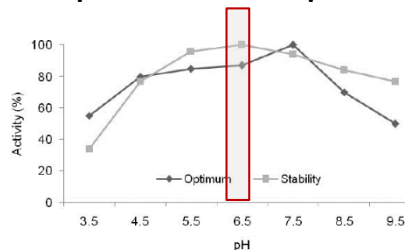
## Bodentemperatur

Optimum ca. 20 °C

Minimum ca. 5°C, Maximum ca. 40°C

## pH-Wert

Optimum ca. pH 6,5



## Phosphor

*Kritische Konzentration*

Knöllchen: 5 mg P g DM<sup>-1</sup>

Spross: 1,5 mg P g DM<sup>-1</sup>

## Entwicklungsstadium

Maximum: Blühbeginn-  
Beginn Fruchtentwicklung

## Bodenstickstoff

Reduktion  $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$

ca. 40-70 % Leguminosen N  
über Fixierung

## Schwefel

Nitrogenase-Gehalt

Leghämoglobingehalt

(N zu NH<sub>3</sub> Reduktion - O<sub>2</sub> Kontrolle!)

## Kalium

Enzym-Aktivierung

(Nitrogenase, Ammonium-  
Assimilation)

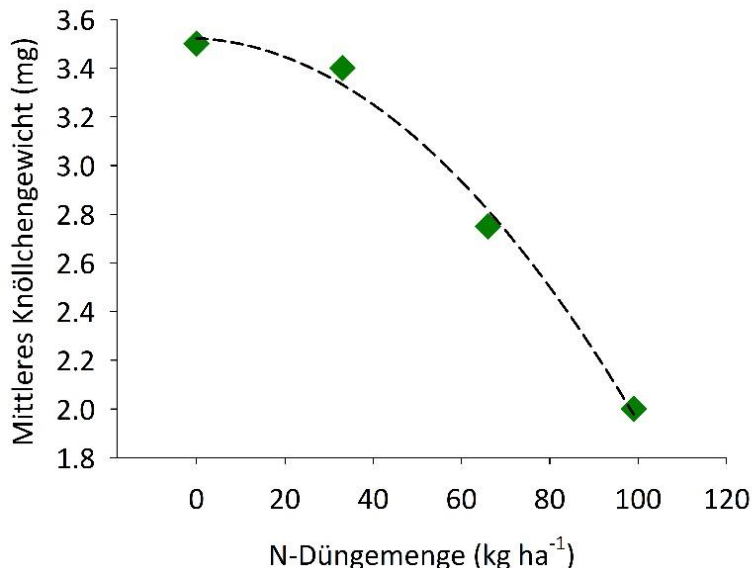


# Managementeinflüsse

## Stickstoffdüngung

- Hoher Bodenstickstoff reduziert Fixierungsleistung; (Starter-N?)
- Mangel an Fe, Mo, S, P und Mg reduziert Fixierleistung (hoher Ca<sup>++</sup> u.u. Eisenmangel)

Starter-N: Beispiel Sojabohne  
Oberösterreich 2018



## Bodenbearbeitung

- Einfluss indirekt über Änderung (Verringerung) der **N-Mineralisierung** bei reduzierter Bearbeitung.

z.B. Sojabohne + 10 % fixierter N  
Körnererbse + 31 % Nfix  
Linse + 10 % Nfix

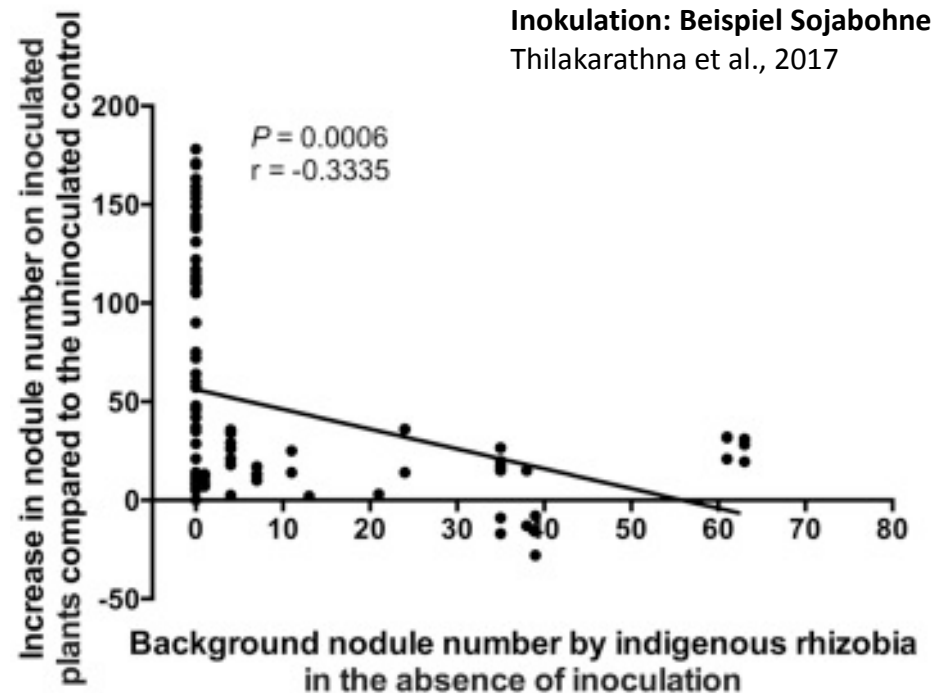
(Daten aus: van Kessel und Hartley, 2000)

- U.u. negativer Einfluss über Einschränkung der **Seitenwurzelbildung** bei Dichtlagerung (geringerer Knöllchenbesetz) und/oder Sauerstoffmangel .

# Managementeinflüsse

## Inokulation

- Rhizobien sind stark wirtsspezifisch.
- Stämme unterscheiden sich in ihrer Fixierleistung.
- Effektiv vor allem bei geringem natürlichen Besatz im Boden.



# **Bodenbiologie**

---

**Mykorrhiza - Phosphor**

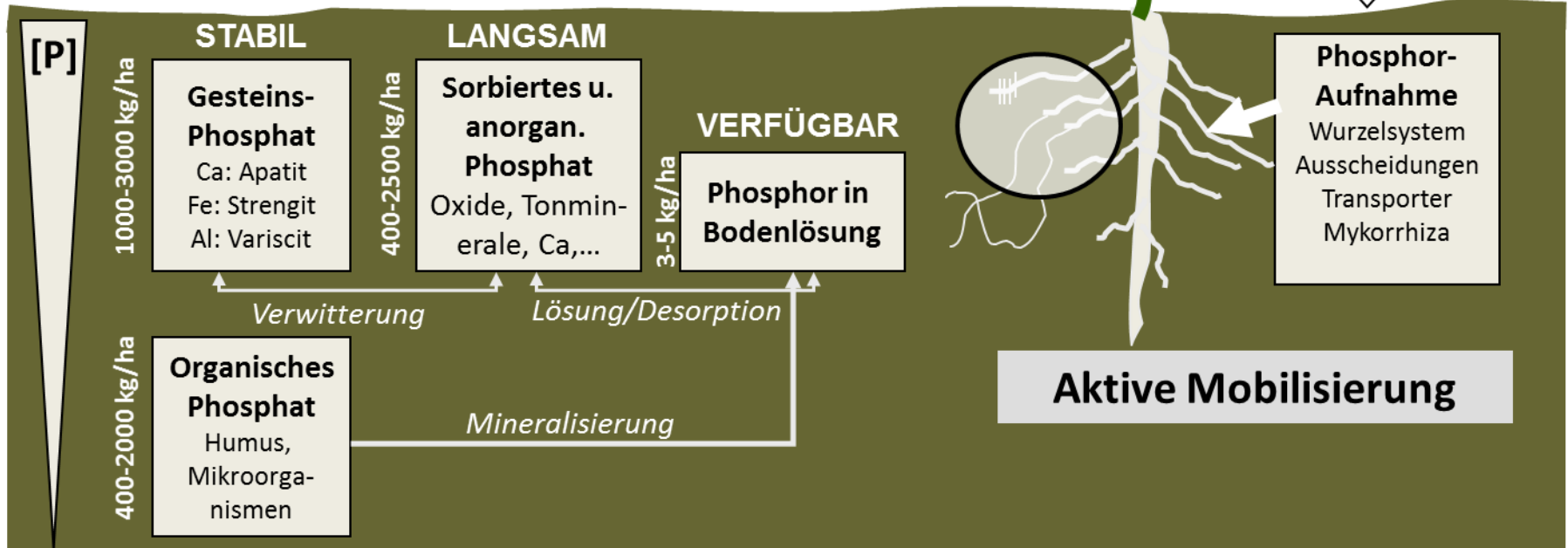
**PHOSPHOR**

**Boden**

**Pflanze**

**Nachlieferung ⇔ Alterung**

**Einflussfaktoren:** pH (optimal 6,0-6,5)  $Ca^{2+}$ , Humusgehalt, Bodenleben, Luft- und Wasserhaushalt

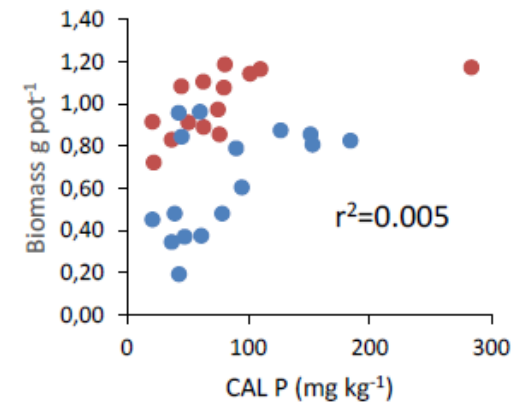
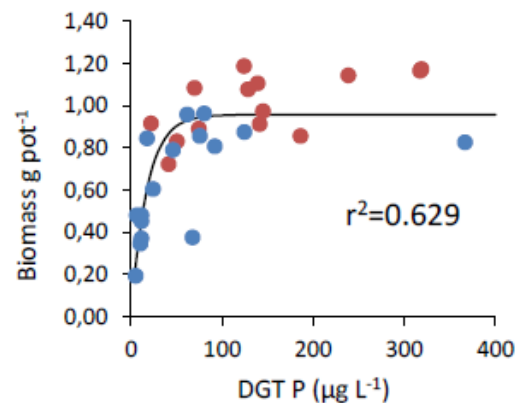
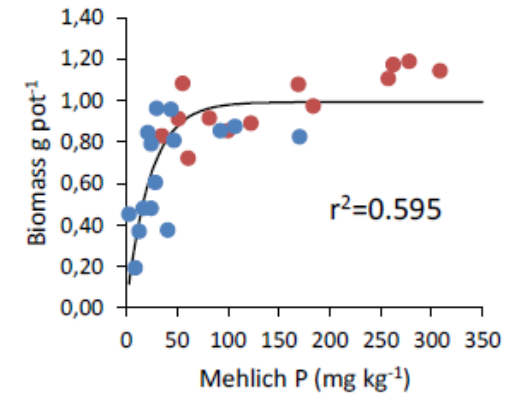
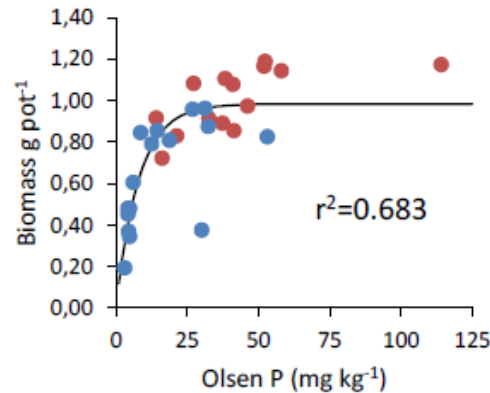
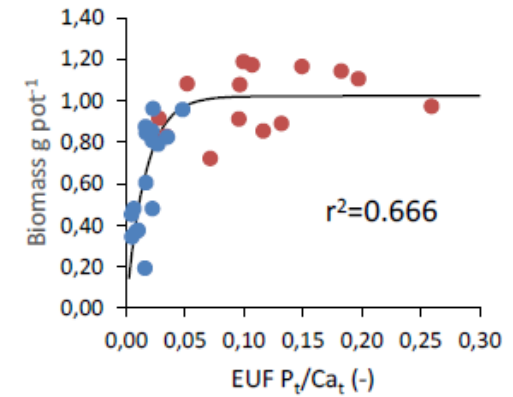
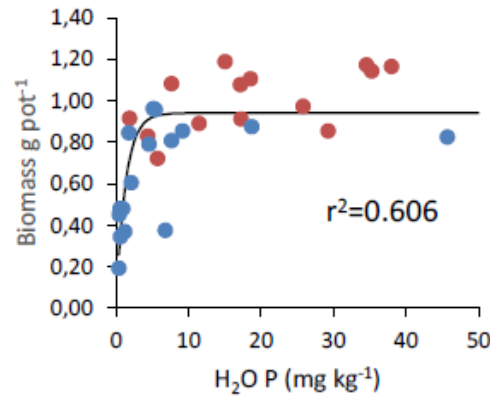


Nach Unterfrauner (2013), K+S KALI GmbH, Wang (2010)

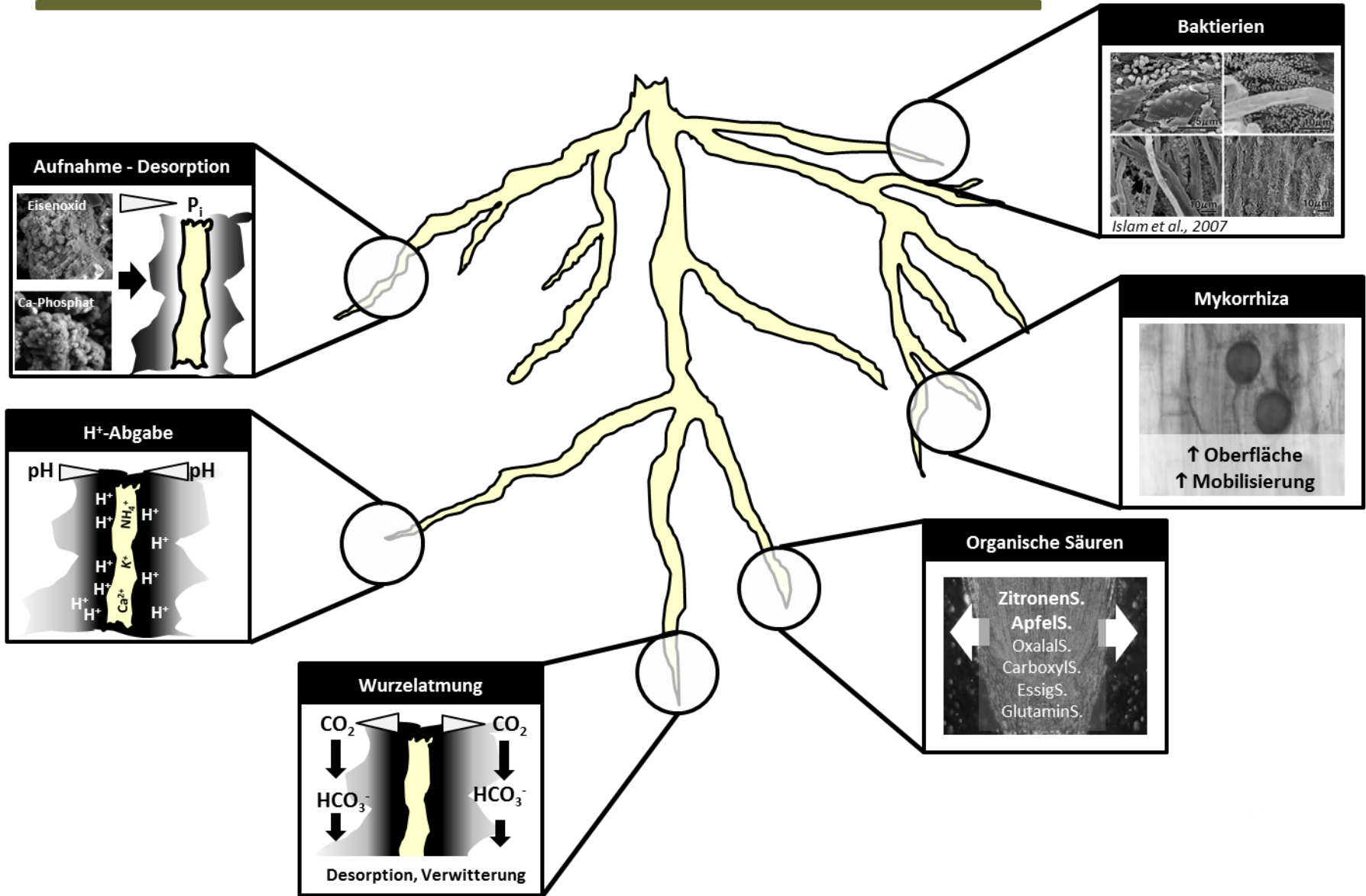
# Herausforderung Bodenanalyse

## Vergleich P-Extraktion und Biomasse (Roggen, Topfversuch; J. Santner, BOKU)

- Extraktion (oder Desorption) des Nährstoffs aus dem Boden (*Bodenlösung, Bodenpaste*).
- Bodenuntersuchung gibt eine Entscheidungshilfe.
- Berücksichtigt nicht die „Dynamik“ der Wurzelbiologie im realen (strukturierten) Boden.



# Wurzelmechanismen der P-Mobilisierung



# Phosphor-Mobilisierung durch Pflanzen

## Buchweizen



Starke Ansäuerung  
der Rhizosphäre.  
Lösung von  
Kalziumphosphaten.

## Phacelia



Hoher Feinwurzelan-  
teil und Mykorrhiza.  
Geringer Diffusions-  
weg des Phosphors.

## Lupine



Wurzelcluster mit  
hoher Exudation.  
Desorption von (Fe-)  
Phosphaten

Hohe Phosphormobilisierung dieser Kulturen bedeutet **nicht immer** eine **höhere Verfügbarkeit** für die **Folgefrucht**. Summe von Wirkungen der Gründüngung kann jedoch P-Versorgung verbessern.

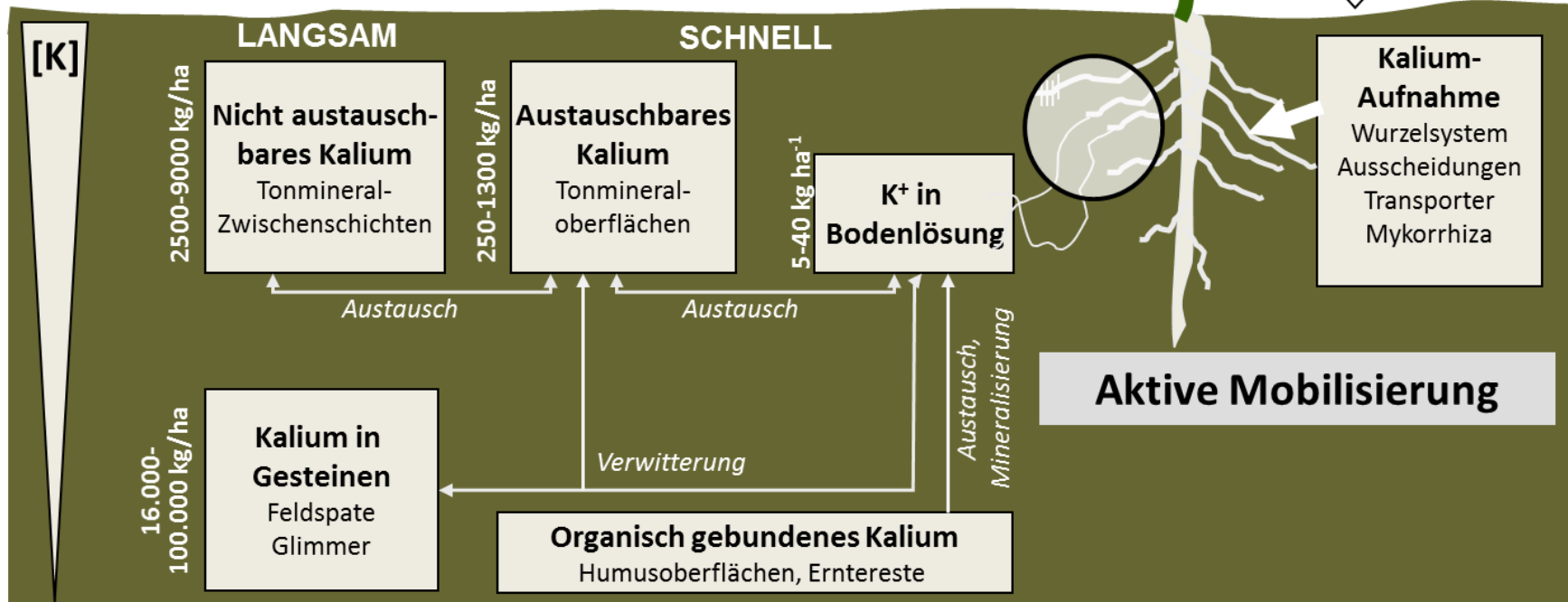
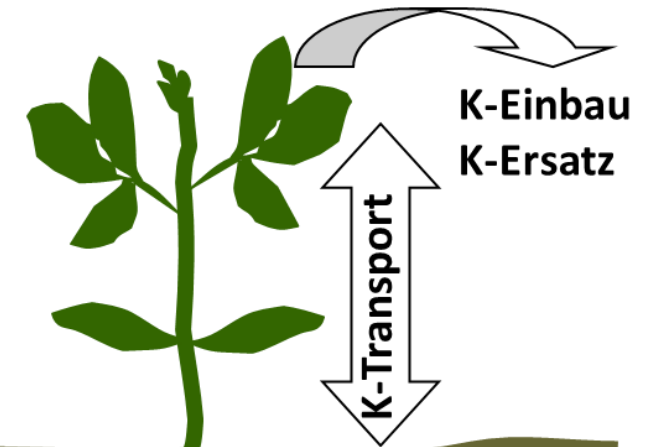
**KALIUM**

*Boden*

*Pflanze*

**Nachlieferung ⇌ Fixierung**

**Einflussfaktoren:** Tongehalt und Tonmineralart, pH, N-Ernährung, Luft- und Wasserhaushalt

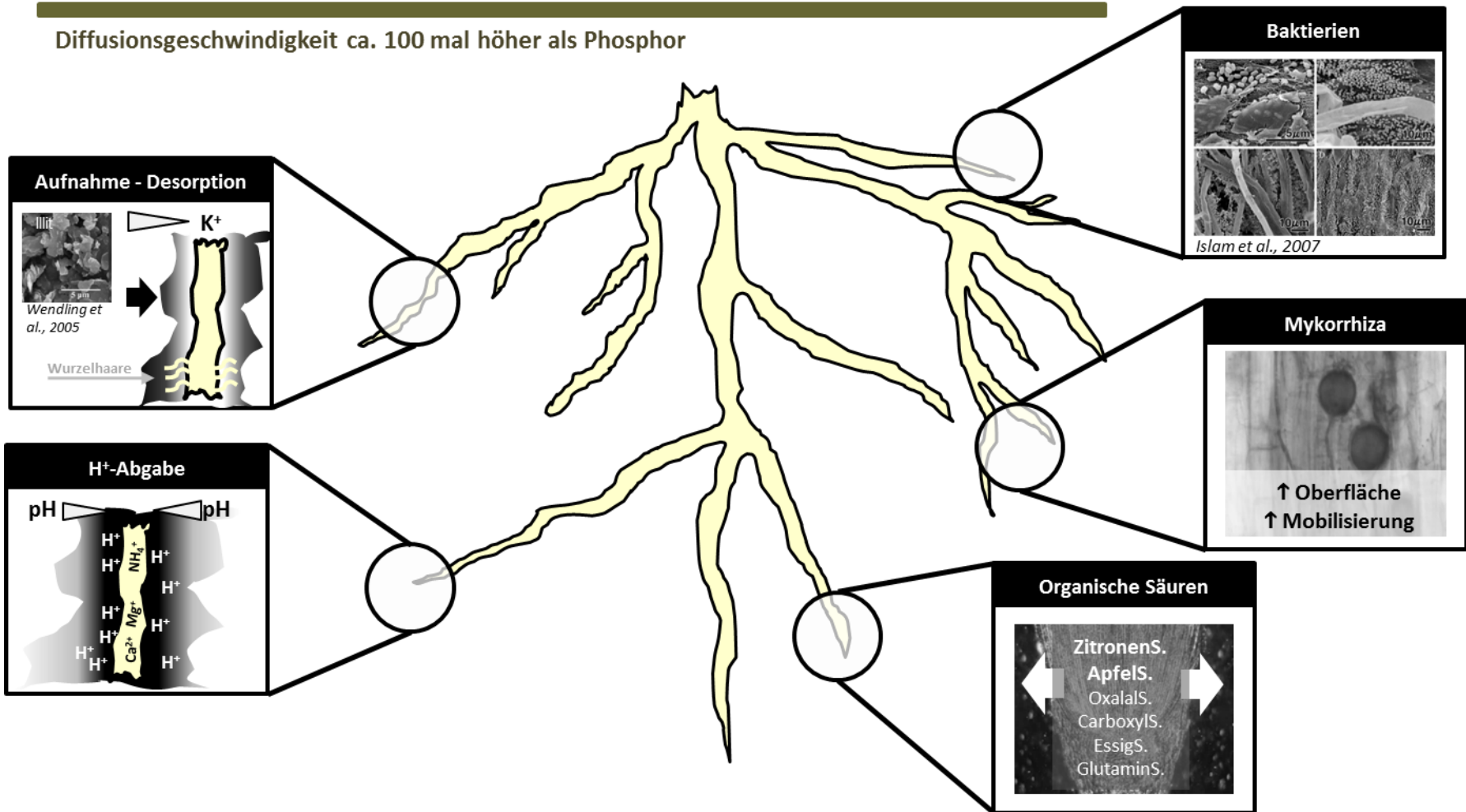


Nach: K+S KALI GmbH und Zörb et al. (2014)



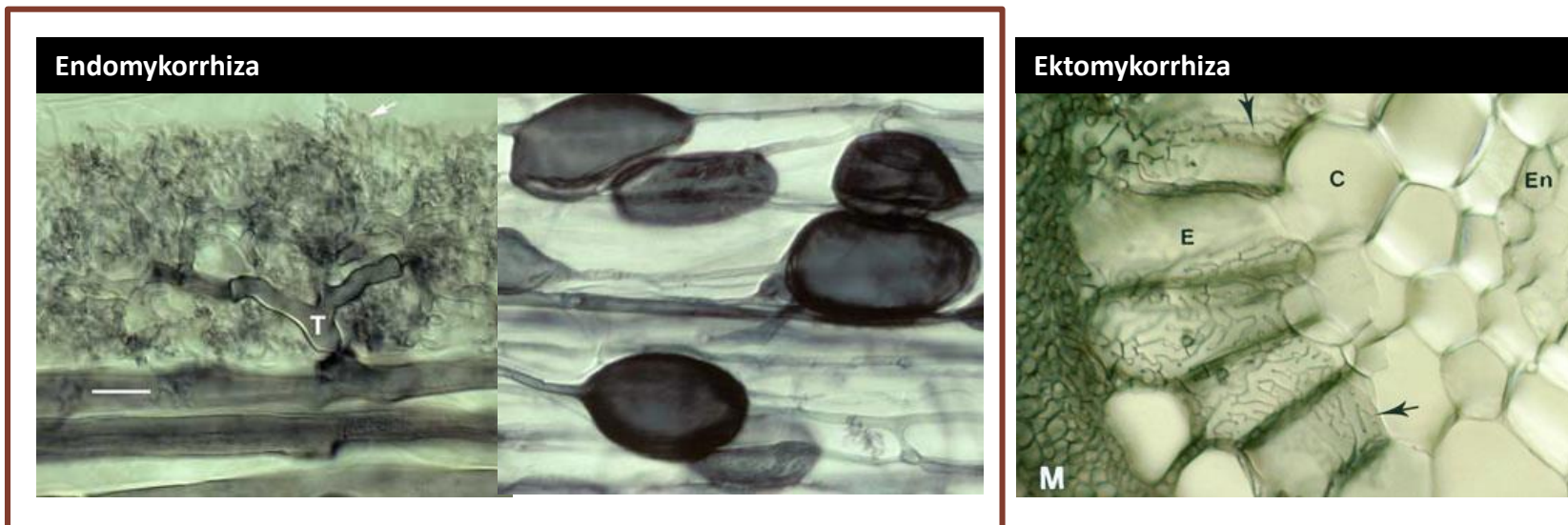
# Wurzelmechanismen der K-Mobilisierung

Diffusionsgeschwindigkeit ca. 100 mal höher als Phosphor



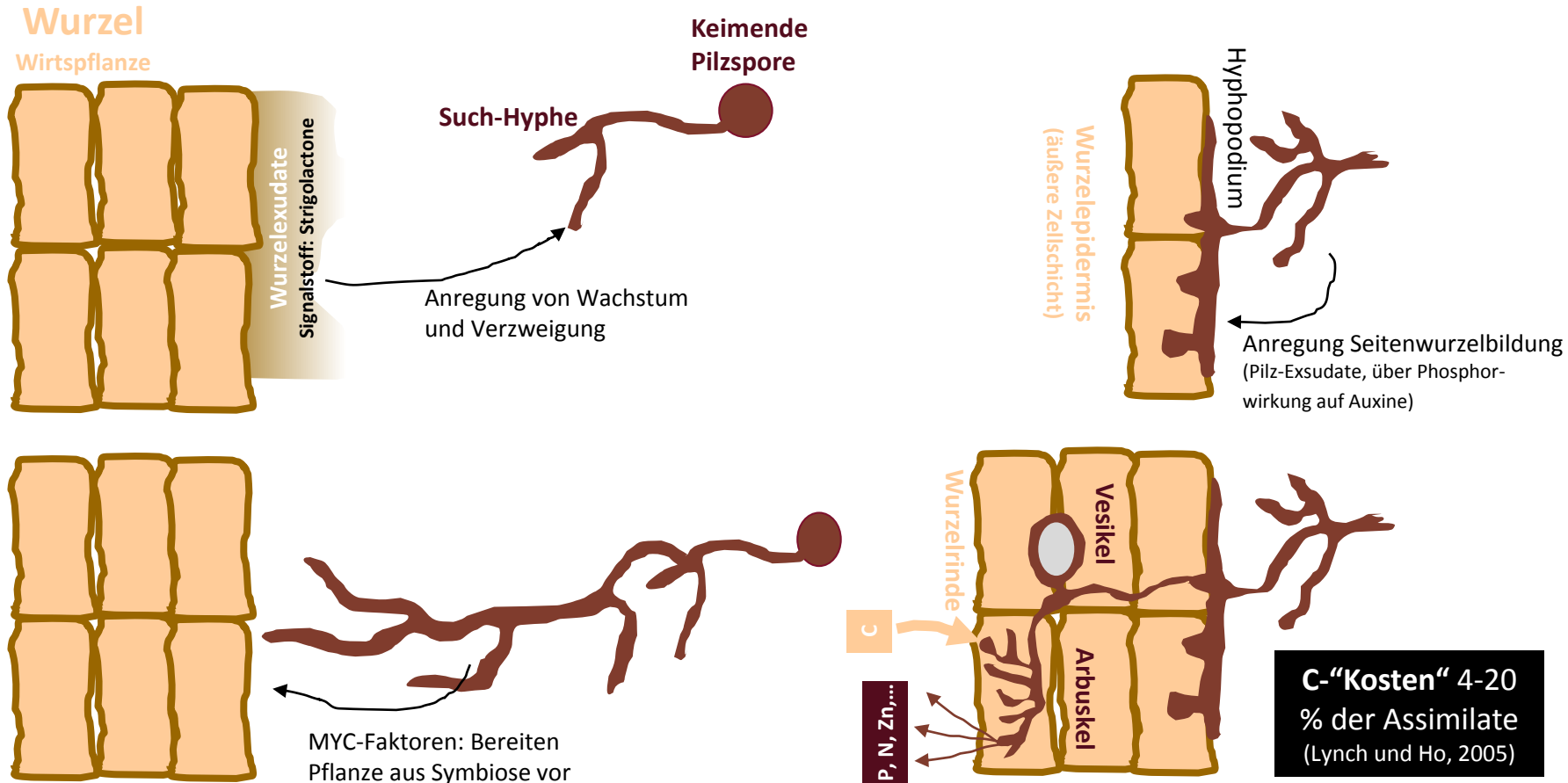
## Überblick

**Mykorrhiza**= Zusammenwirken von Pilzhyphen und Wurzeln in der Aufnahme von Substanzen aus dem Boden bei ca. 80 % der Landpflanzenarten.



Was beeinflusst die Leistungsfähigkeit und wie kann man sie optimieren ?

# Kontaktaufnahme, Zusammentreffen und Zusammenwirken



**Einige nicht-mykorrhizierende Familien:** Amaranthaceae, Brassicaceae, Convolvulaceae, Papaveraceae,, Polygonaceae, Urticaceae, (Brundrett 2009 )

## Natürliche Einflüsse

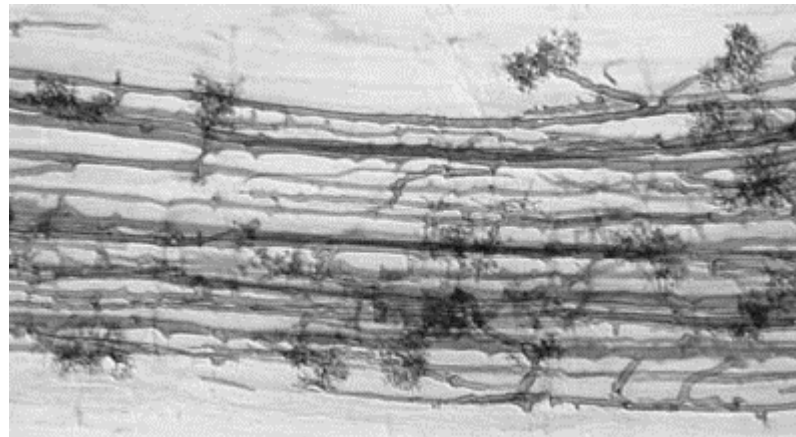
### pH-Wert

pH 5,5-7,5; tolerant gegen niedrigen pH

### Temperatur

18-40°C, Optimum 30 °C

Abhängig von Pflanzenart und Pilzstamm



### Bodenfeuchte

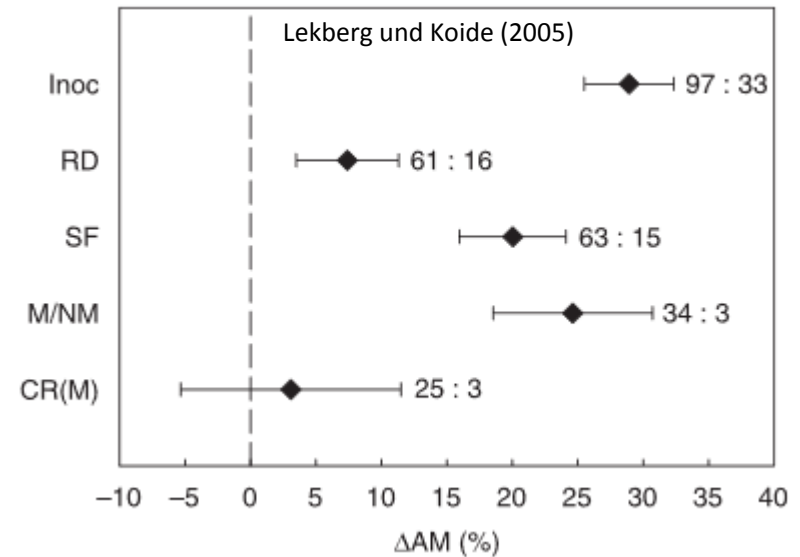
Sensibel gegen Wasserstau (Sauerstoffmangel);  
bei Trockenheit stärkere Wirkung der Symbiose  
(direkt Wasser, Stoffaufnahme?)

### Nährstoffversorgung

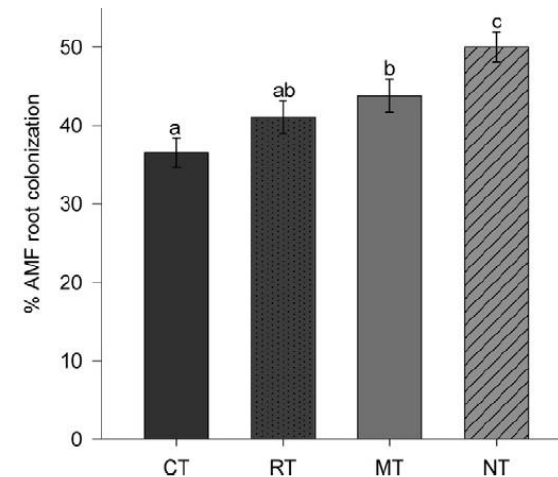
Hohe Nährstoffversorgung (v.a. P)  
reduziert Mykorrhizierungsgrad

## Managementeinflüsse

- **Reduzierte Bodenbearbeitung:**  
Kein Zerschneiden der Hyphen.
- **Kurze Brache, wenig nicht mykorrhizierende Arten:**  
Bereitstellung von Wirtspflanzen.
- **Inokulation:** Bessere Besiedelung der Wurzel, effektivere Stämme.
- **Nährstoffniveau:** Gegenseitige Abhängigkeit der Partner.



Inoc...Inokulation, RD...Reduzierte Bearbeitung, SF...kurze Brachezeiten, M/NM ... wenig nicht mykorrhizierende Arten in der Fruchtfolge, CR(M) .... Monokultur

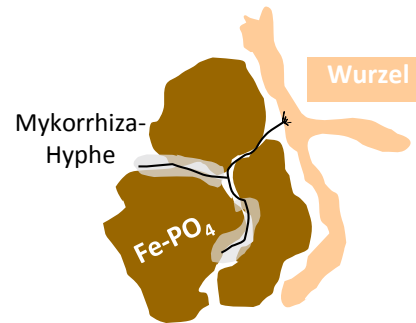


Bodenbearbeitungsversuch Hollabrunn (CT Pflug, RT Grubber, MT Scheibenegge, NT Direktsaat; (Rosner et al., 2018)

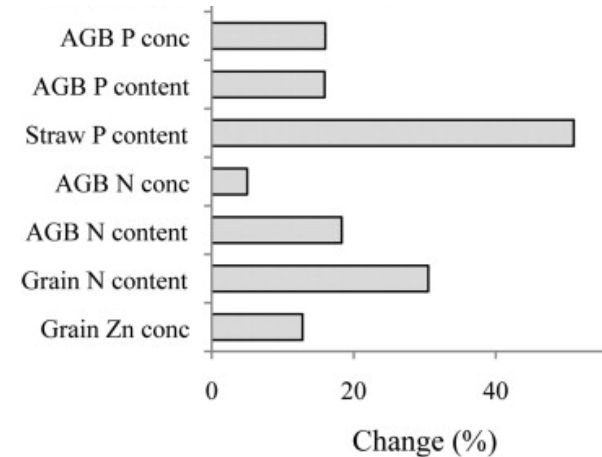
# Mykorrhiza-Leistungen

## 1. Nährstoffaufnahme

- Besserer Zugang zu (wenig mobilen) Nährstoffen  
Hyphendurchmesser 20-50 µm  
Feinwurzel: ca. 100 µm
- Bessere Lösung gebundener Nährstoffe durch Ausscheidungen (organische Säuren)
- Vor allem Phosphor und Zink



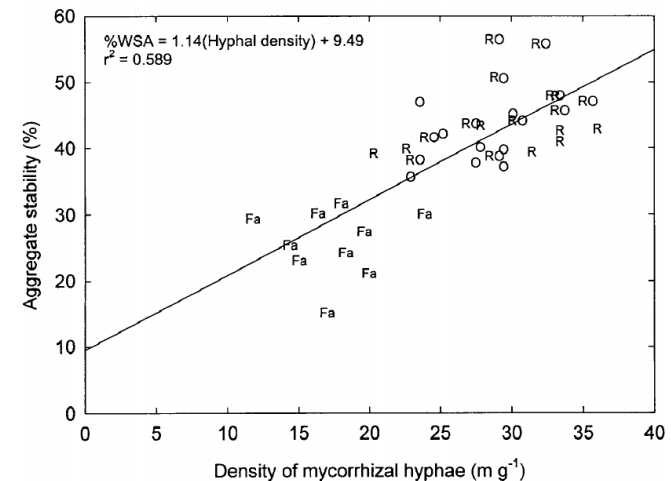
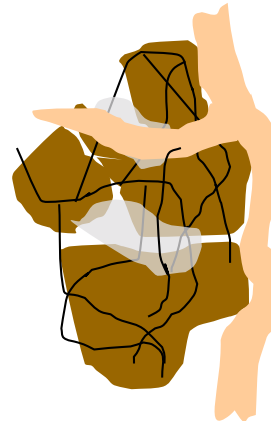
**Beispiel (Australien):** ca. 6,5-21 % der P-Aufnahme bei Weizen über AMF (Smith et al. 2015; Campos et al., 2018)



Pellegrino et al., (2015)

## 2. Bodenstruktur

- Vernetzung durch Hyphen
- Verklebung durch Ausscheidungen
- Vor allem feinere Aggregate (20-200 µm)



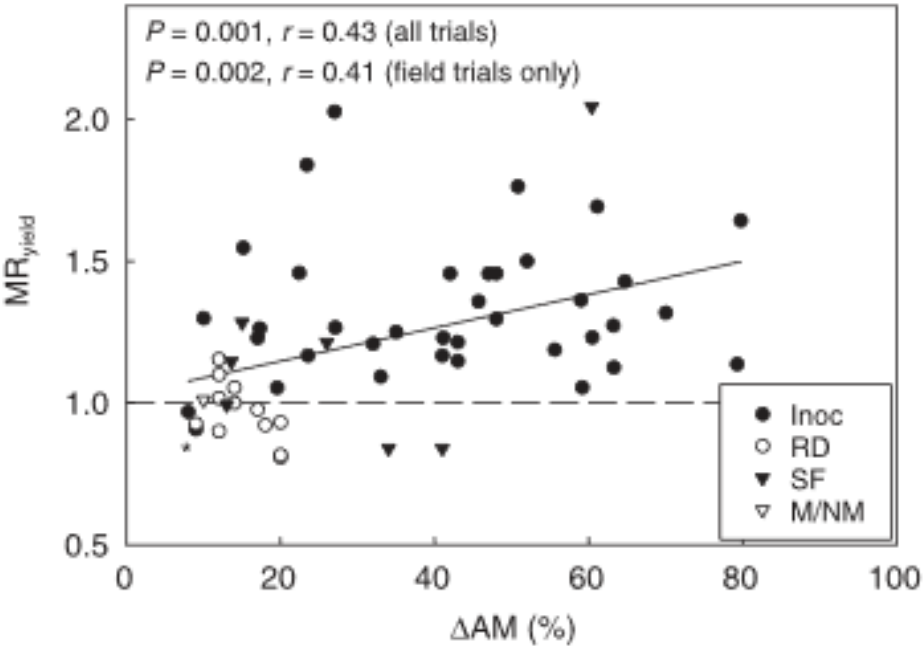
Kabir und Koide (2002)

Sonstige Leistungen: Pathogen-Abwehr, Wasserversorgung...

# Mykorrhiza-Leistungen

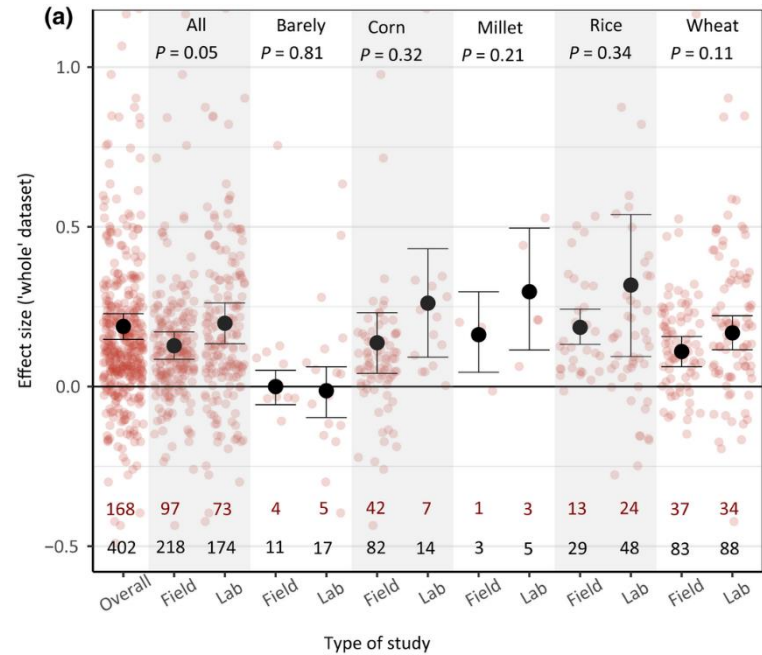
# Ertrag

+ 23 % Ertrag



Lekberg und Koide (2005)

+ 21 % Ertrag



Zhang et al., (2018)

.... ist das bei uns zu erwarten ?

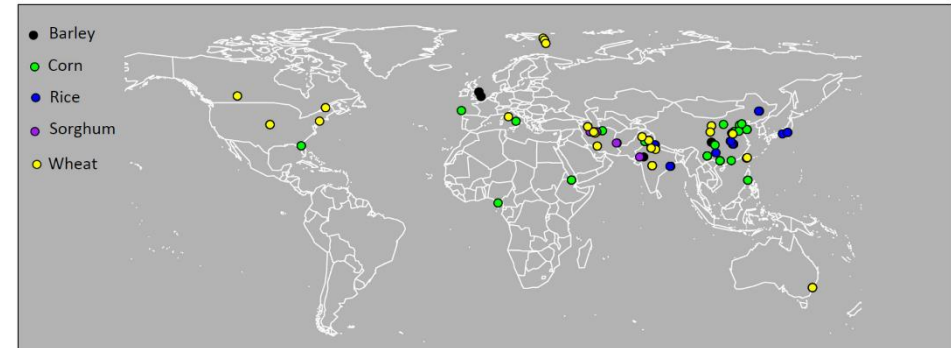
# Mykorrhiza-Leistungen

- Viele Studien aus tropischen/subtropischen Gebieten.
- Studien mit degradierten Böden.
- Abhängig vom Phosphorgehalt.
- Überlagerung durch andere Effekte.
- Kritische Untergrenze im Mykorrhizierungsgrad.

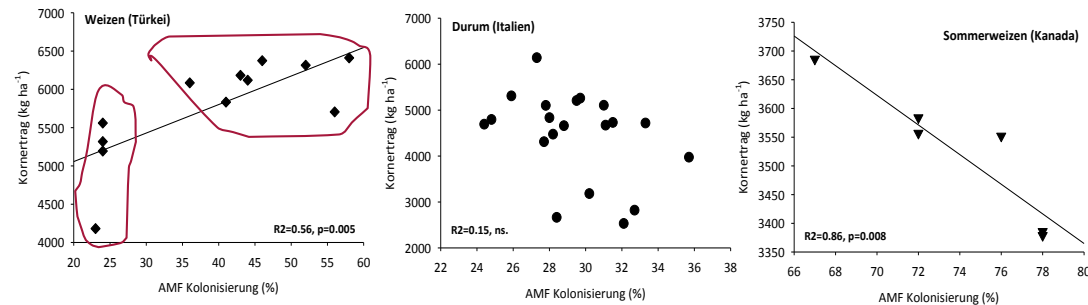
Zu optimistische Sicht  
der Ertragswirkung

(Ryan und Graham, 2018)

# Ertrag



Zhang et al., (2018)



Eigene kleine Recherche (Literaturdatenbank Scopus: Feldstudien, keine exotischen Standorte, Mykorrhizierungsgrad):  
**14 Studien: 43 % ohne Effekt, 36 % positiver Effekt, 21 % negativer Effekt**



# **Bodenbiologie**

---

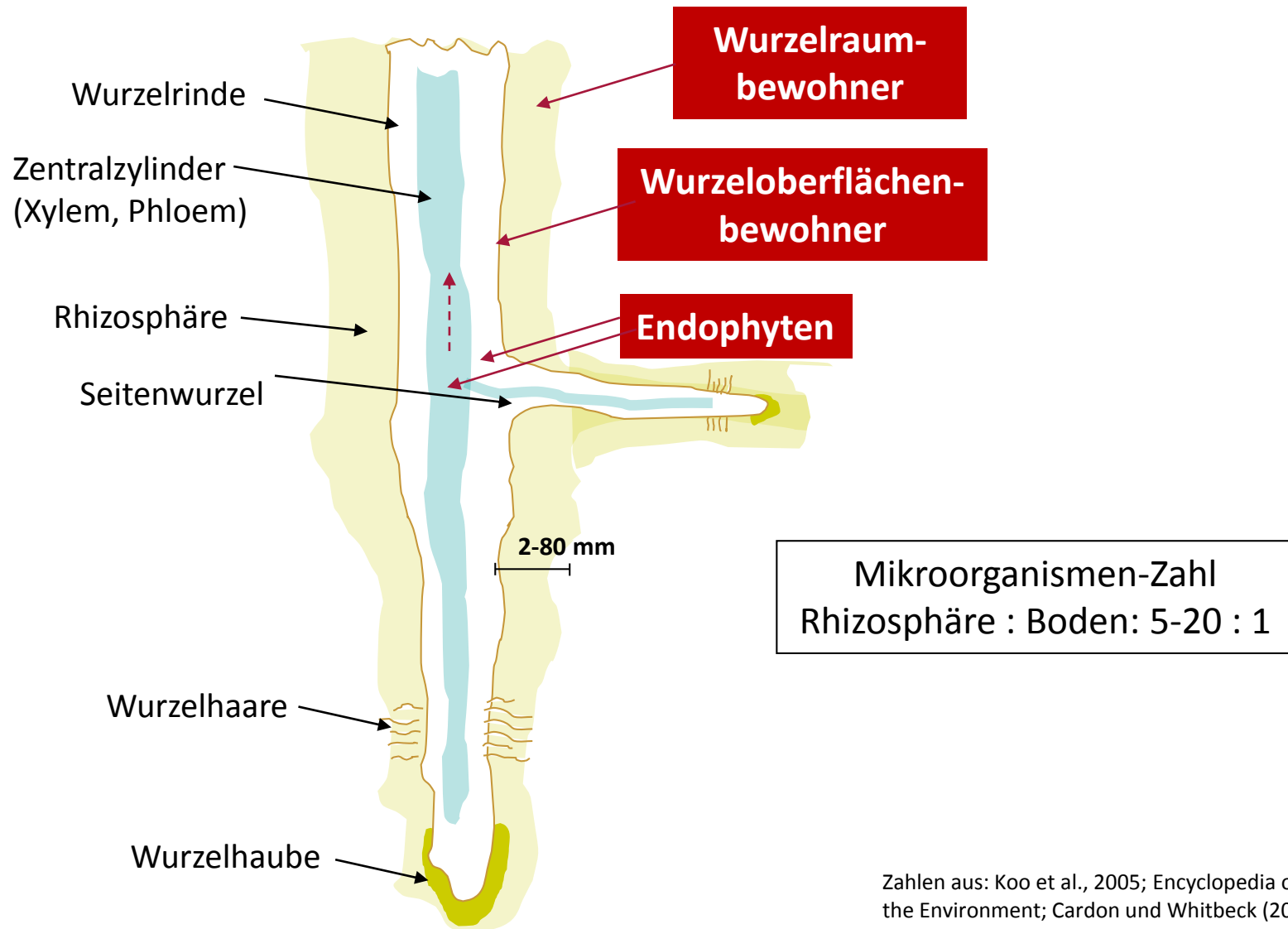
**PGPR - Phosphor**

# Einteilung

Gruppe	Wirkung	Beispiele
Biodünger	Stickstoffbindung  Lösung von Phosphor und anderer gebundener Nährstoffe	<i>Azotobacter</i> sp. <i>Azospirillum</i> sp.  <i>Burkholderia cepacia</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Pseudomonas</i> sp.
Phytostimulatoren	Bildung von Pflanzenhormonen (Auxine, Gibberelline, Cytokinine) – Förderung des Wurzelwachstums  Bildung von ACC (Stressresistenz – Ethylen-Regulierung)  Volatile Substanzen (Signalstoffe - systemische Resistenz)	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Psuedomonas fluorescens</i>  <i>Enterobacter cloacae</i> <i>Azospirillum brasiliense</i>  <i>Bacillus amyloloquefaciens</i>
Biopestizide	Bildung von antibiotischen Substanzen und Siderophoren  Bildung von hydrolytischen Enzymen	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Pseudomonas putida</i>  <i>Trichoderma</i> Stämme

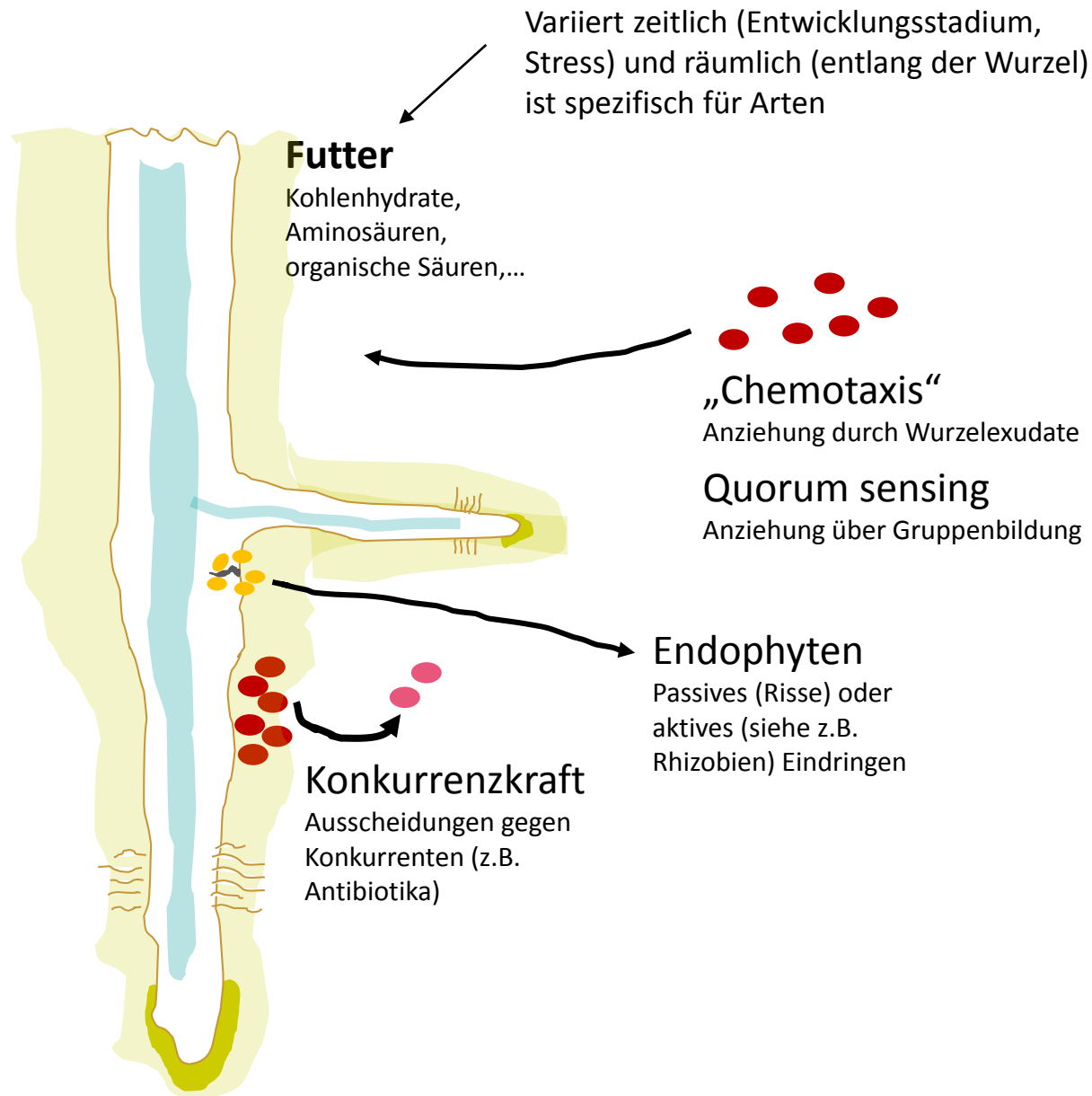
# Einteilung

# Lebensraum



Zahlen aus: Koo et al., 2005; Encyclopedia of Soils in the Environment; Cardon und Whitbeck (2011). *The rhizosphere: an ecological perspective.*

# Besiedlung



# (Umwelt)einflüsse

**Konkurrenzstärke gegen  
native Mikroorganismen**

**Besiedelung von  
Nischen im Boden**

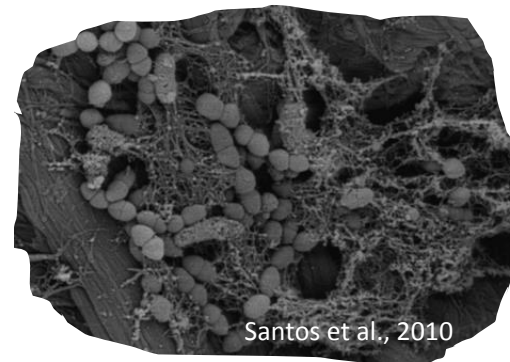
Vielzahl an Organismen mit  
unterschiedlichen Ansprüchen

## Textur

Schutz der Bakterien an  
Tonmineraloberflächen  
Ton > Sand

## Temperatur

Aktivität abhängig von  
Temperaturoptimum



## pH

Aktivität fällt bei niedrigen  
pH; Optimum 5,5 - 7

## Nährstoffgehalt

+ keine Limitierung durch N  
- weniger Wurzelexudation

## Bodenfeuchte

Mittlere Feuchte; Luftmangel und  
Trockenheit reduziert Aktivität

## Humusgehalt

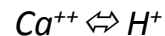
Mehr Substrat für Organismen,  
Einfluss der Qualität (C:N)

# Wirkungen – Beispiel Phosphor

## Kalkhaltige Böden

Kalziumphosphate  
(z.B. „Phosphor-  
alterung“)

*Ansäuerung*



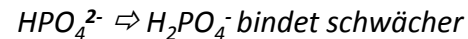
*Komplexbildung*

*Ca<sup>++</sup> und org. Säure*

## Kalkfreie Böden

Phosphorbindung  
an Eisenoxide und  
Eisenhydroxide

*Ansäuerung*



*Anionenaustausch*

*PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> vs. Säureanion*

*Chelatbildung*

## Alte Verwitterungs- und organische Böden

Organisch gebundenes  
Phosphor (v.a. Phytate)  
von 5 bis 95 (30-50) % Gesamt-P

*Phosphatasen*

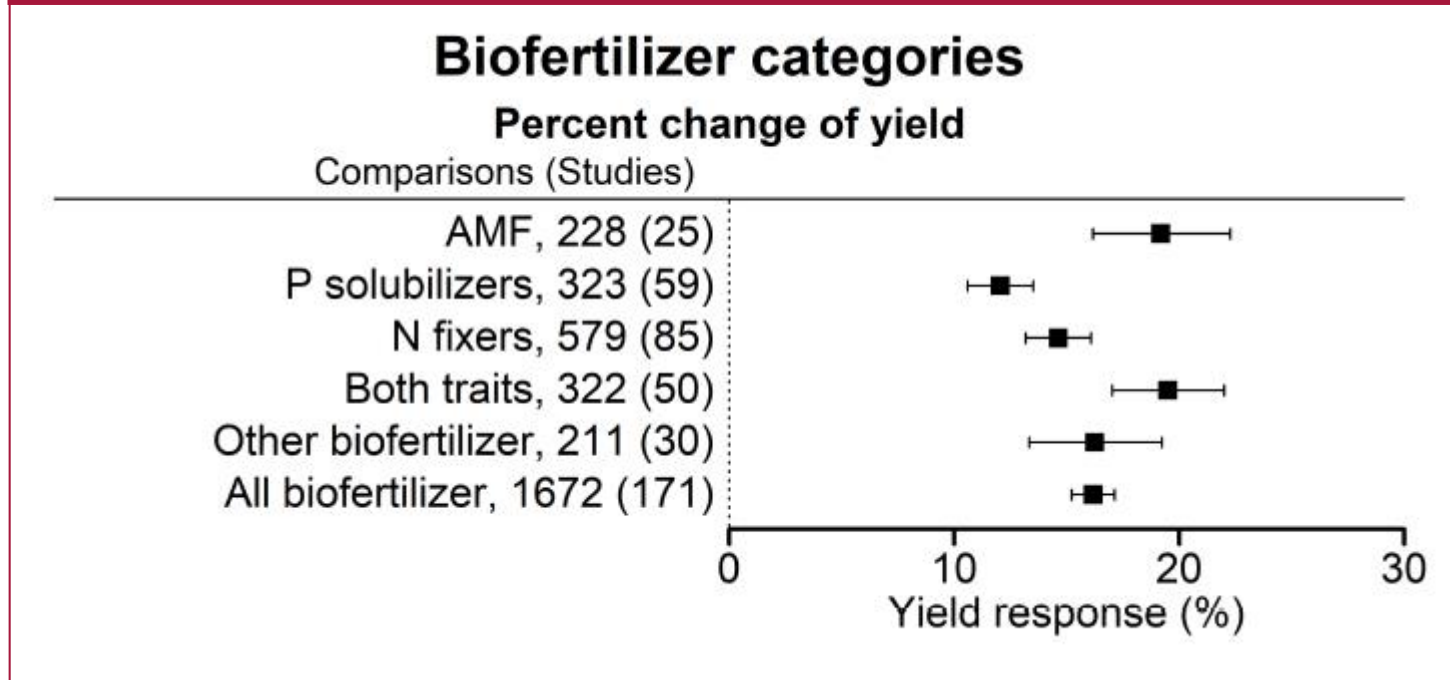
*Phytasen*

**Mineralisierung  
organischer P-  
Verbindungen**

(pH 5-8, Temp. 5-40°C,  
u.u. N-limitierend)

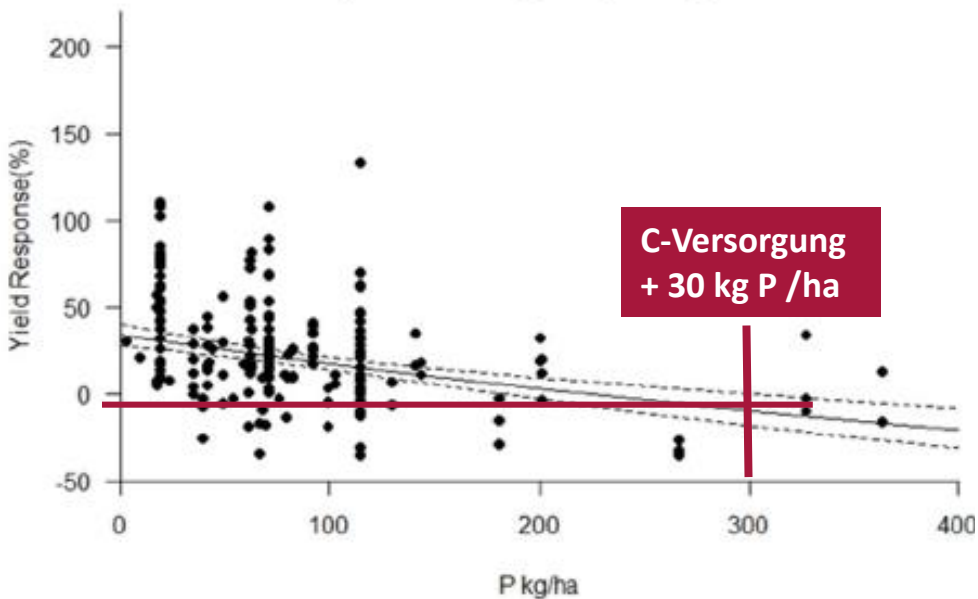
**Lösung (=für Pflanze verfügbar  
machen) von gebundenem Phosphor**

## + 16,2 % Ertragsanstieg durch Biodünger !

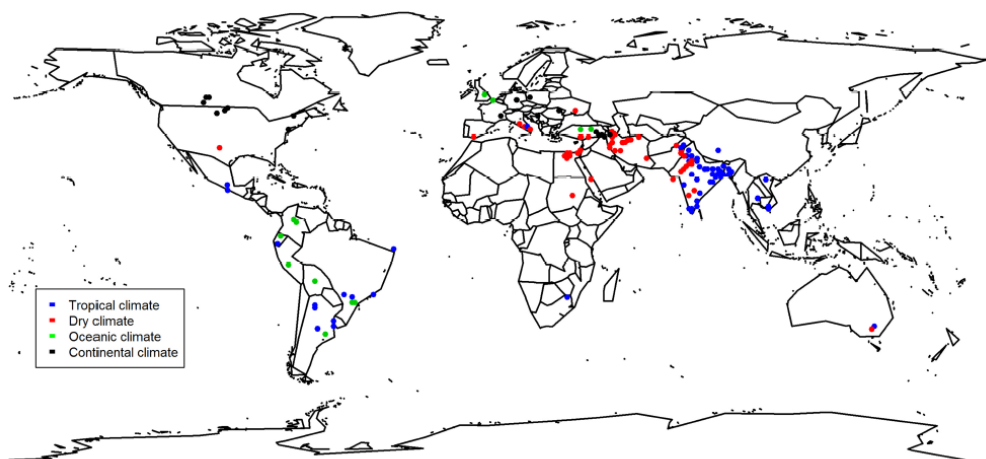
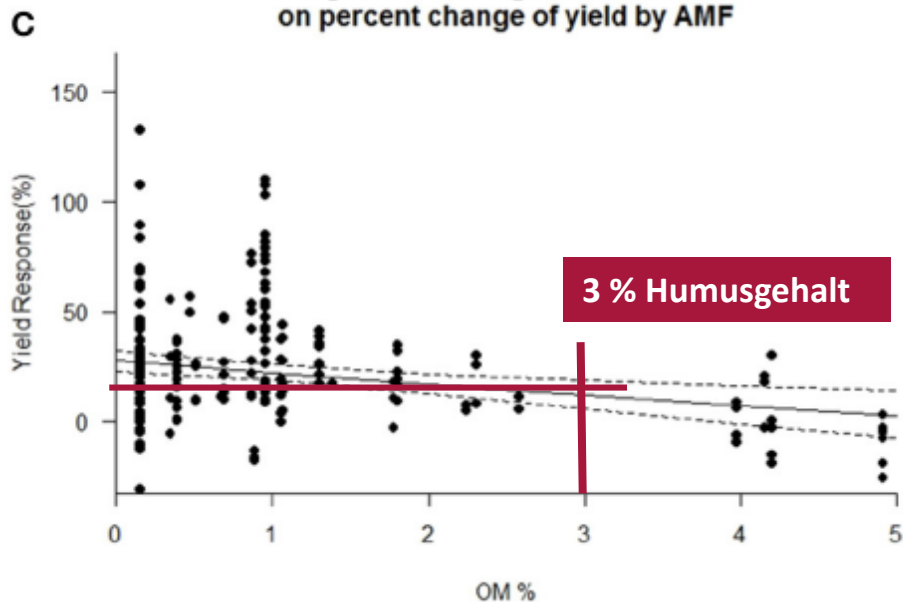


Schütz et al. (2018)

Meta-regression of fertilizer P & soil available P on percent change of yield by AMF



Meta-regression of organic matter content on percent change of yield by AMF



Nur 15 % der Studien aus Klimaten, die mit Österreich vergleichbar sind.



# Kritik der Biodünger

## Feld-Etablierung (qPCR)

Beispiele:

**AMF:** 11-15 % (Thioye et al., 2018) bis keine Etablierung (Berruti et al., 2017)

**PGPR (Pseudomonas):** Verringerung um 3-7 fache innerhalb 8 Wochen (Mosimann et al., 2017)

## Ertragseffekt im Feld

Verallgemeinerung hoher Ertragswirkung aus Glashausversuchen; Schwierigkeit der Kontrollvariante im Feld, daher Problem der eindeutigen Zuordnung einer Ertragswirkung.

## Biodiversität

Exotische Inokulate können native Organismen verdrängen und die Pflanzenbiodiversität beeinflussen. Noch kaum Langzeitstudien.

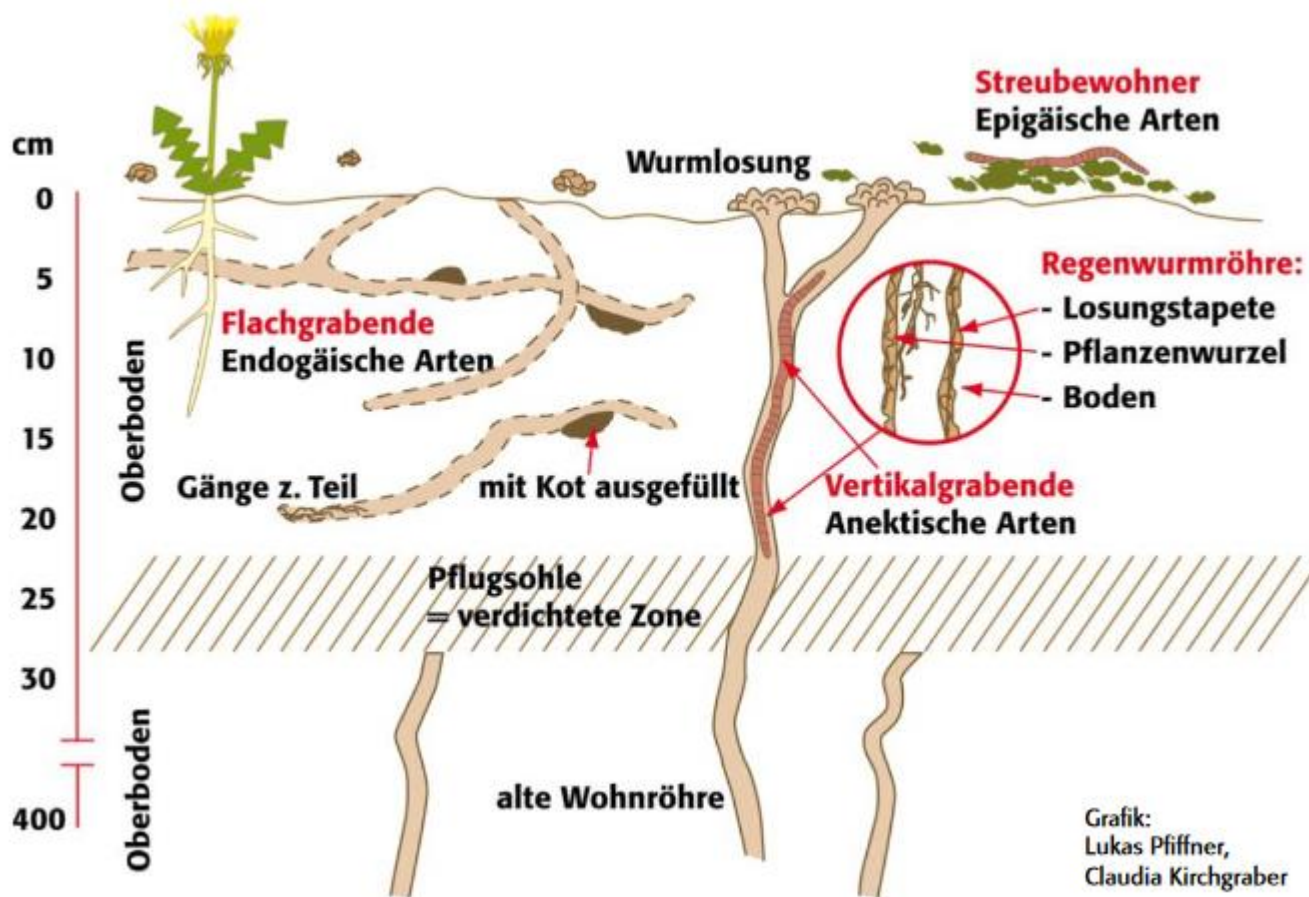


# **Bodenbiologie**

---

**Regenwürmer**

# Lebensformen



Streubewohner

Epigäische Arten



Flachgraber

Flachgrabende, Endogäische Arten, Horizontalgraber

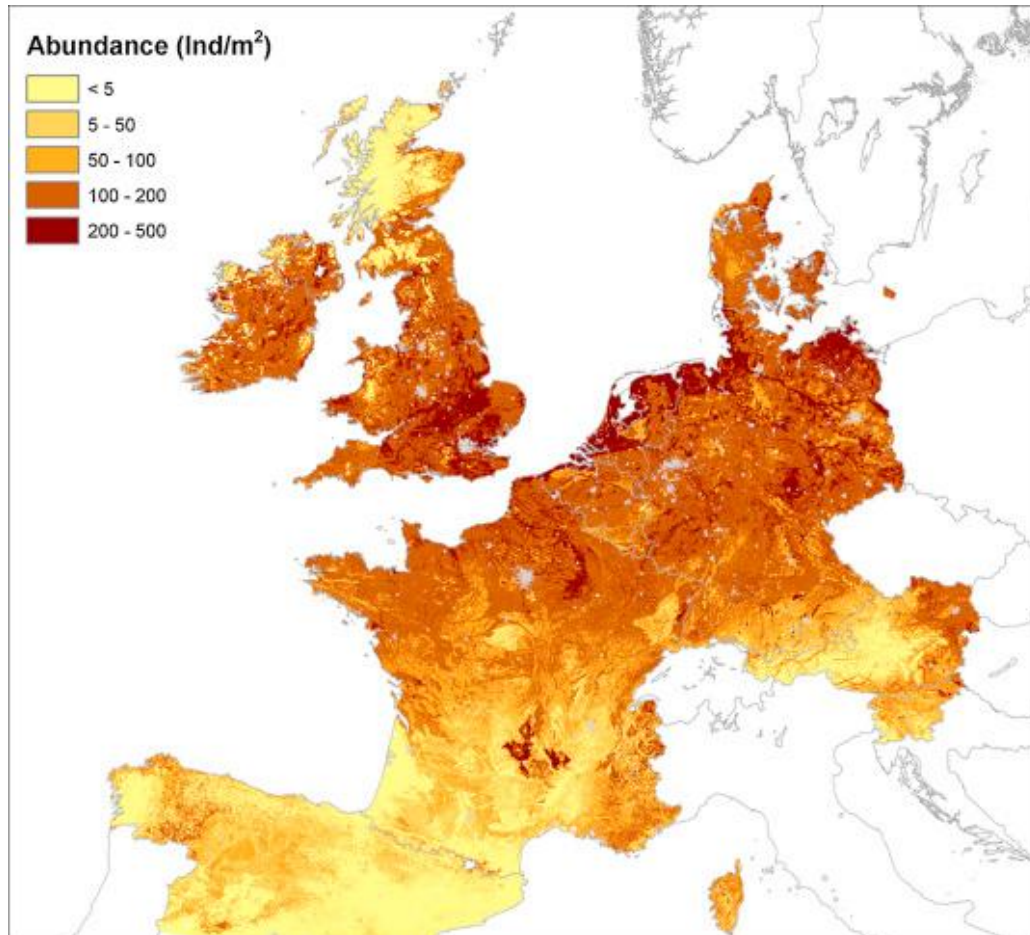


Tiefgraber

Vertikalgrabende, Anektische Arten



# Natürliche Einflüsse



Rutgers et al., 2016

## Temperatur

Optimum 10-20 °C

## Bodenfeuchte

pF2-3; Optimum Feldkapazität

## Bodentextur

v.a. über Bodenfeuchte; d.h. S < U und T

## pH-Wert

Optimum: 5-7,4

## Humusgehalt

v.a. als Indikator für Input organischer Substanz; daher: Grünland > Acker

Edwards (1994) Earthworm Ecology

# Leistungen

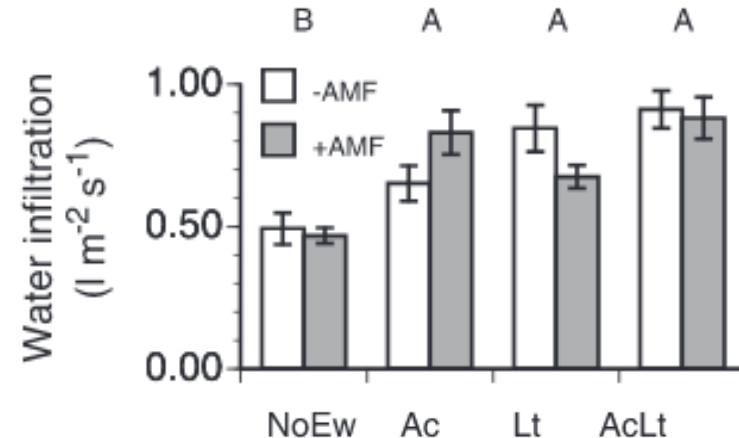
## Bodenstruktur

Stabile Krümel und stabile Poren.  
Vertikale Poren (Tiefgräber) für  
Wasserinfiltration (Erosionsschutz)  
und Wurzeltiefenwachstum.

## Humus und Nährstoffkreislauf

1. Einmischung organischer Reststoffe in den Boden, 2. Stimulation mikrobieller Tätigkeit durch Darmaktivität, 3. verbesserte Bodenstruktur für mikrobielle Tätigkeit, 4. Verteilung von Mikroorganismen im Boden  
z.B. +14 kg ha<sup>-1</sup> N (300 vs. 30 Ind. m<sup>-2</sup>)  
u.u. höhere Nitrat-Auswaschung, langfristiger Humuseffekt unsicher (physikalische Stabilisierung, Tiefentransport).

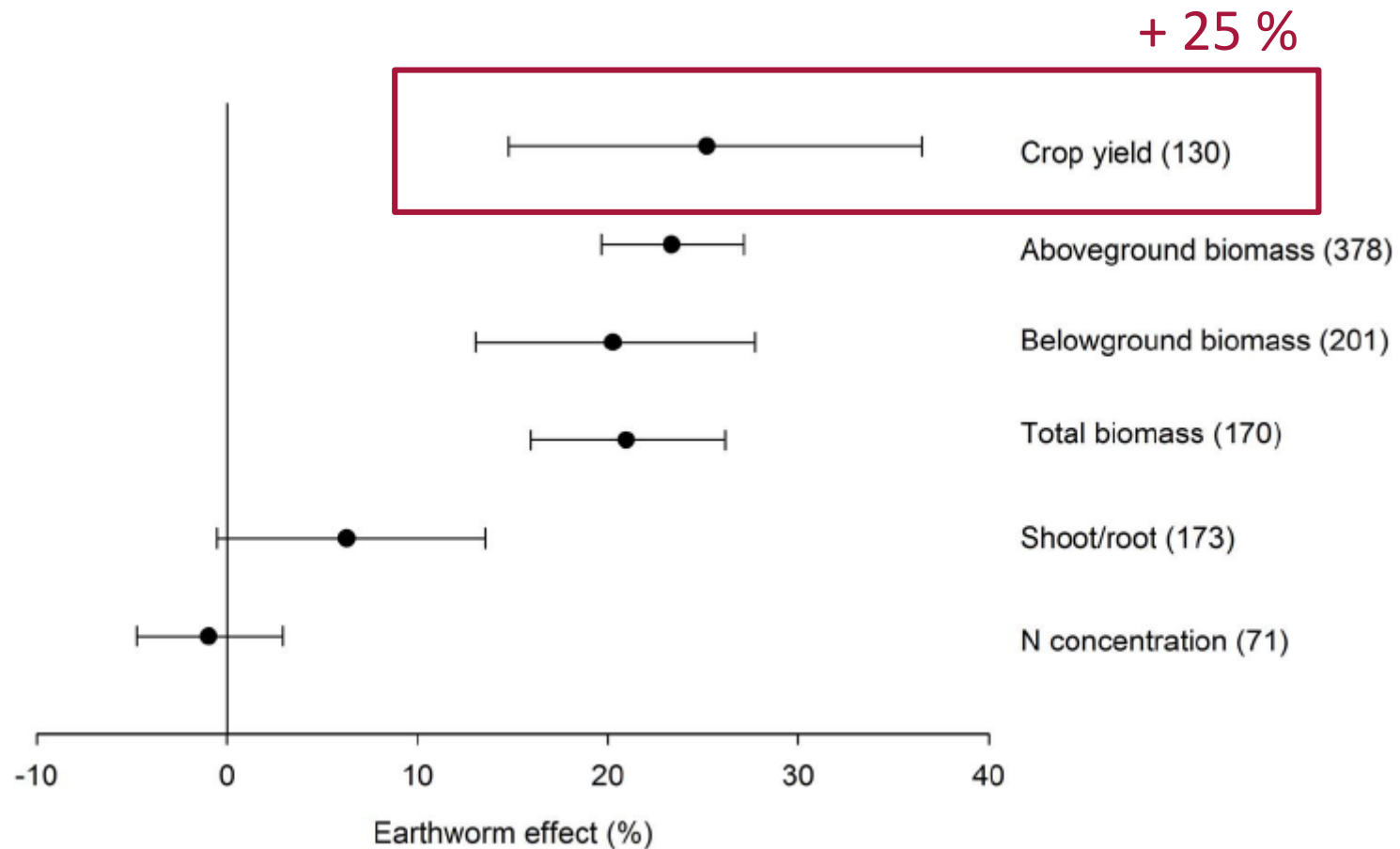
Bertrand et al. (2015)



NoEW keine Regenwürmer, Ac *Aporrectodea caliginosa* (Flachgraber), Lt *Lumbricus terrestris* (Tiefgraber), AcLt beide Arten [Zaller et al., 2011]



Foto: G. Bodner



... auch hier: Anerkennung der **ökologischen Bedeutung**, **kritische Betrachtung** von Studien (Umwelt, Vergleich,...) und **keine überzogenen Erwartungen** !

# Managementeinflüsse

## Bodenbearbeitung

**Wirkung:** Verwundung (z.B. ca. 60 % durch Kreiselegge), Ausgraben und Vertrocknung, Zerstörung der Bauten, Vergraben der organischen Reste, Verdichtung.

++

## Schädigung durch Pflug

--

### Tiefgräber

Vertikalgrabende, Anektische Arten



Zerstörung der permanenten Bauten

### Streubewohner

Epigäische Arten



Verletzung, Futter vergraben

### Flachgräber

Flachgrabende, Endogäische Arten, Horizontalgräber

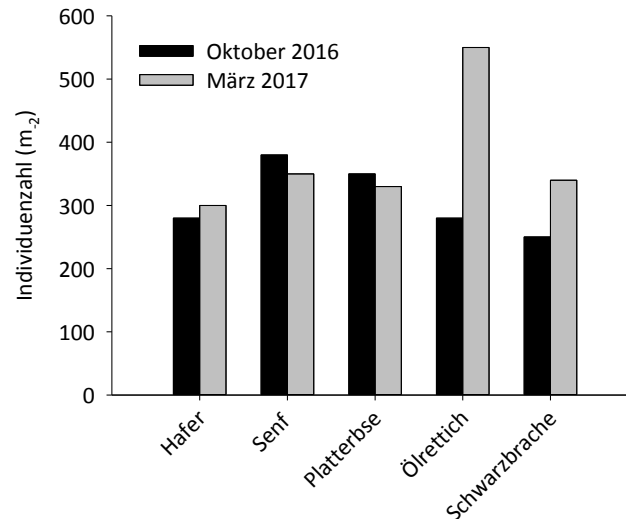


Teils besserer Futterzugang

z.B. Flachgräber 75 % in Pflug, 36 % in Direktsaat (Pelosi et al., 2009)

## Düngung

**Wirkung:** Nahrung für Regenwürmer; Wirkung abhängig von Düngeform (organisch, mineralisch, Gründünger), Menge und Qualität.



Zwischenfrüchte Marchfeld (Daten Euteneuer)

## Pflanzenschutzmittel

**Wirkung:** Direkter Kontakt (toxisch; v.a. Herbizide), Kupferfungizide stark schädigend; Schädigung: Tiefgräber < Streubewohner (direkt) < Flachgräber (über Futter).

# Bodendiagnose

---

Zeigerpflanzen



# Diagnoseansätze für Bodenproblemen

## 1. Ertragsvergleich mit regionalem Mittel

Problem: Kleinräumige Einflüsse

## 2. Feldbodenansprache

Problem: Zeitlicher und räumlicher Vergleich

## 3. Bodenanalyse

Problem: Nur chemisch; Versorgungsdiagnose zeigt keine Aufnahme-limitierung

## 4. Zeigerpflanzen

Problem: Nur Hinweis auf Problemfeld

# Zeigerwerte zur Standortbeurteilung

<http://statedv.boku.ac.at/zeigerwerte/>

Heinz Ellenberg: „Ökologischen Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa“

## L - Lichtzahl

- 1 Tiefschattenpflanze
- 3 Schattenpflanze
- 5 Halbschattenpflanze
- 7 Halblichtpflanze
- 8 Lichtpflanze
- 9 Volllichtpflanze
- x indifferent

## T - Temperaturzahl

- 1 Kältezeiger, nur in hohen Gebirgslagen
- 3 Kühlezeiger, vorwiegend subalpine Lagen
- 5 Mäßigwärmezeiger (tiefe bis montane Lagen)
- 7 Wärmezeiger
- 9 extremer Wärmezeiger
- x indifferent

## K - Kontinentalitätszahl

- 1 euozeanisch
- 2 ozeanisch
- 4 subozeanisch
- 5 intermediär
- 6 subkontinental
- 8 kontinental
- 9 eukontinental
- x indifferent

## F - Feuchtezahl

- 1 Starktrockniszeiger
- 3 Trockniszeiger
- 5 Frischezeiger
- 7 Feuchtezeiger
- 9 Nässezeiger
- 10 Wechselwasserzeiger
- ~ Zeiger für starken Wechsel
- = Überschwemmungszeiger
- x indifferent

## R - Reaktionszahl

- 1 Starksäurezeiger
- 3 Säurezeiger
- 5 Mäßigsäurezeiger
- 7 Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger
- 9 Basen- und Kalkzeiger
- x indifferent

## N - Stickstoffzahl

- 1 stickstoffärmste Standorte anzeigend
- 3 auf N-armen Standorten häufiger als auf mittelmäßigen
- 5 mäßig N-reiche Standorte anzeigend
- 7 an N-reichen Standorten
- 8 ausgesprochener Stickstoffzeiger
- 9 an übermäßig N-reichen Standorten konzentriert
- x indifferent

# Verdichtungszeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter  
 Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...

**Quecke**



**Jährige Rispe**



**Strahlenlose Kamille**



**Gänsefingerkraut**



**Ackergänsedistel**



**Kriechender  
Hahnenfuß**



**Wasserknöterich**



**Breitwegerich**



# Nässezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter  
 Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout, ...

**Wilde  
Sumpfkresse**



**Krösenbinse**



**Echte Kamille**



**Huflattich**



**Ackergänsedistel**



**Zweizahn**



**Pfefferknöterich**



**Wasserknöterich**



**Ackerminze**



# Feuchtezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter  
 Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedsout ...

## Gundelrebe



## Ackerschachtelhalm



## Zaunwinde



## Kohlkratzdistel



## Sumpfsiest



## Blutweiderich



# Nährstoffzeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter  
 Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

## Brennnessel



## Wegmalve



## Purpurtaubnessel



## Hirsen



## Stechapfel



## Weißer Gänsefuß



## Flughafer



## Gundelrebe



# Garezeiger

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter  
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

## Schwarzer Nachtschatten



## Kleines Knopfkraut



## Echter Erdrauch



## Vogelmiere



## Portulak



## Aufrechter Sauerklee



# Schwerer Boden

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter  
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

**Giersch**



**Ackerglockenblume**



**Ackerfuchsschwanz**



**Echte Kamille**



**Gewöhnliches Hornkraut**



**Huflattich**





# Leichter Boden

Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter  
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

**Sicheldolde**



**Ackersteinsame**



**Mäuseklee**



**Wolliges Honiggras**



**Acker-Hundskamille**



## Lehm

**Klatschmohn**



**Sonnwendwolfsmilch**



## Saurer Boden

**Mäuseklee**



**Knäuel**



**Spörgel**



**Mastkraut**



**Literatur: W. Holzner, J. Glauning: Ackerunkräuter**

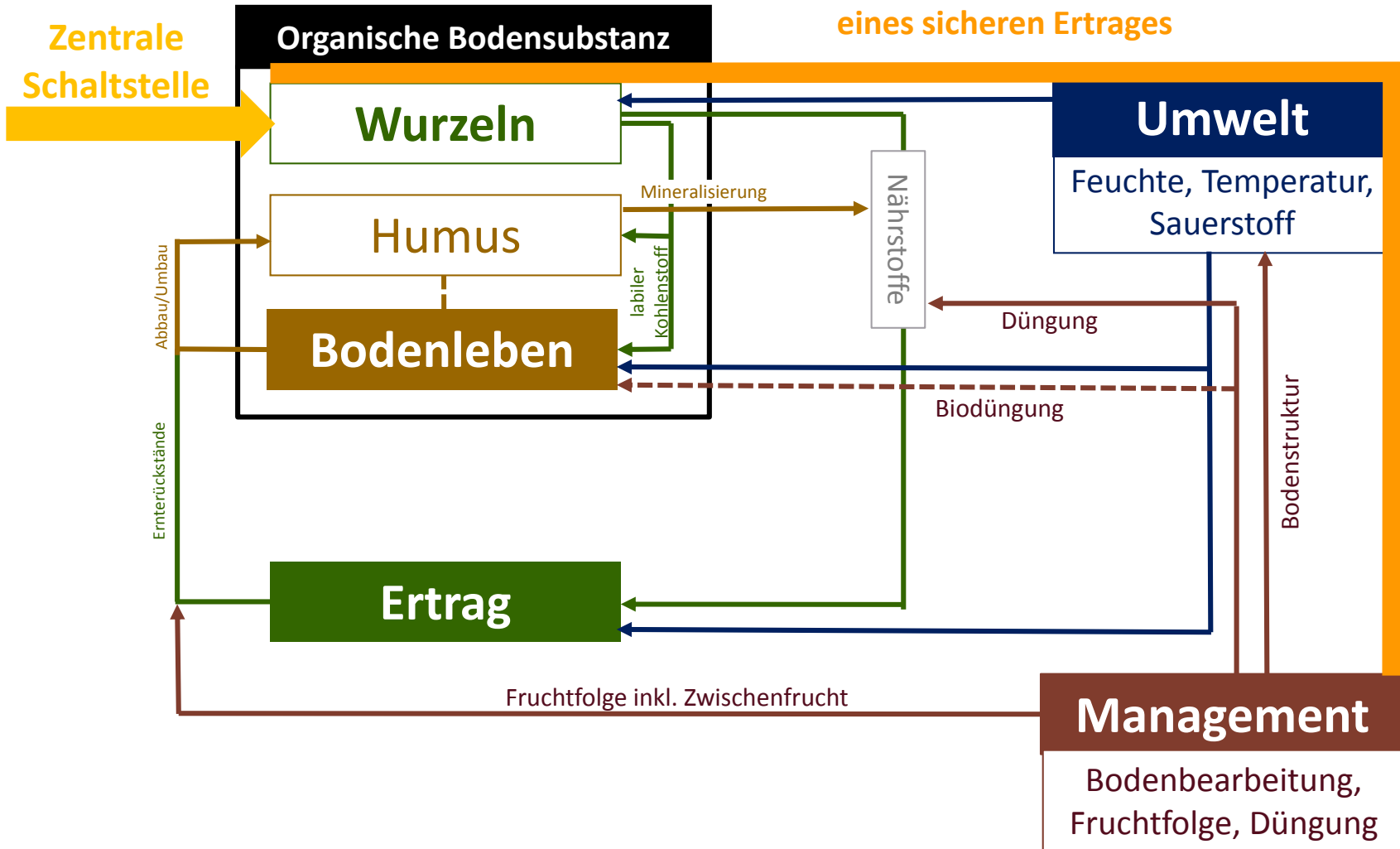
Bildquellen: Wikipedia, unkraut.info, weedscout ...

## (Persönliche) Schlussfolgerungen

1. **Ausgeglichene Humusbilanzen, vielfältige Fruchtfolgen** (mit Zwischenfruchtmischungen) und **schonende Bearbeitungssysteme** sichern ein funktionierendes Bodenleben.
2. Für die Ertragssicherung ist vor allem eine gute **Durchwurzelung** des verfügbaren Bodenraums notwendig. Hier liegt häufig die Schwachstelle, die es zu beheben gilt.
3. Die Wirkung mikrobieller Inokulate hängt sehr stark vom Standort ab. Ergebnisse sind unbedingt kritisch auf den **Versuchskontext** sowie die **Vielfalt an möglichen Ursache-Wirkungszusammenhänge** zu hinterfragen.

# Was tun....

Boden(struktur)management für eine starke Durchwurzelung als Grundlage eines sicheren Ertrages



**Universität für Bodenkultur Wien**

**Department für Nutzpflanzenwissenschaften**

Abteilung Pflanzenbau  
Arbeitsgruppe Nutzpflanzenökologie

Doz. DI Dr. Gernot Bodner

Konrad Lorenz Gasse 24, 3430 Tulln  
Tel.: +43 1 47654-95115  
gernot.bodner@boku.ac.at, [www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)

