



**University of Natural Resources  
and Life Sciences**  
Department of Forest and Soil Sciences

# Bodenhumus - ein Multitalent:

## Speicherung, Funktionen und Wechselwirkung mit Pflanzenwurzeln

**Walter W. Wenzel**

**Konferenz „Wurzelforschung für die landwirtschaftliche Praxis“  
Tulln, 13.09.2017**



**University of Natural Resources  
and Life Sciences**  
Department of Forest and Soil Sciences

# Was ist Bodenhumus und wie entsteht er?



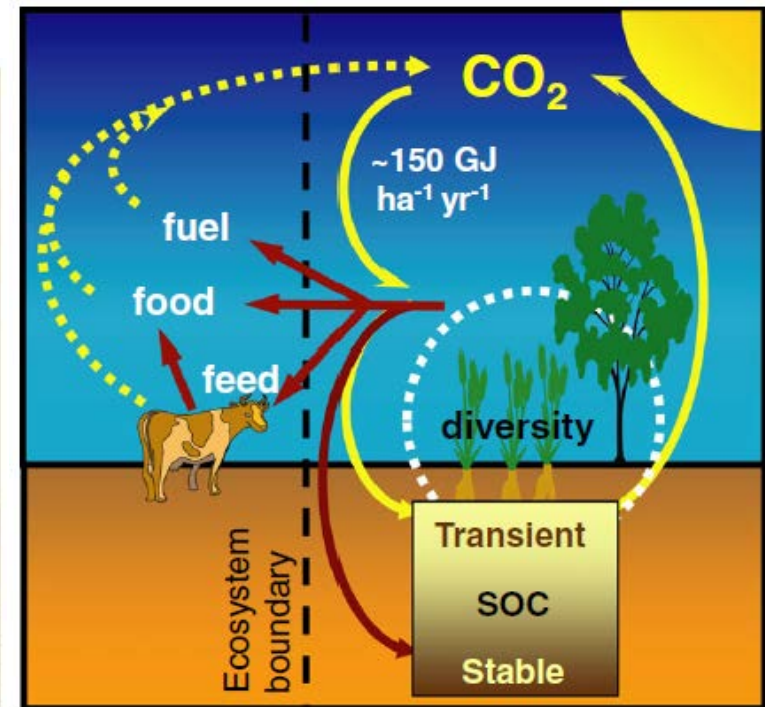
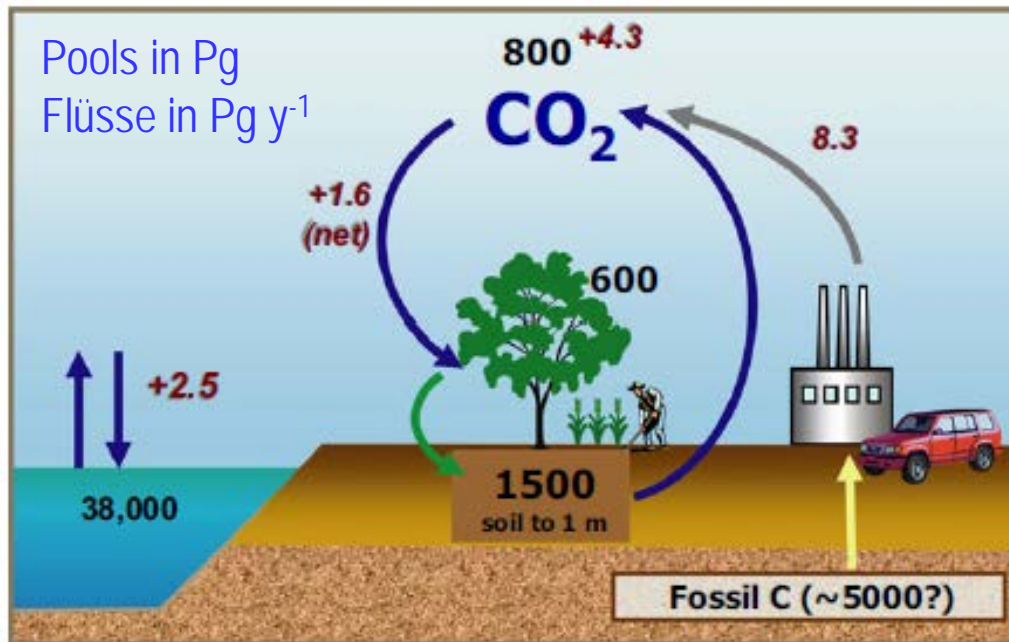
# Was ist Humus und wie entsteht er?



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Janzen (2015) European Journal  
of Soil Science, 66, 19–32

- Globaler Kohlenstoffkreislauf
- Damit verbundener globaler Energiefluss

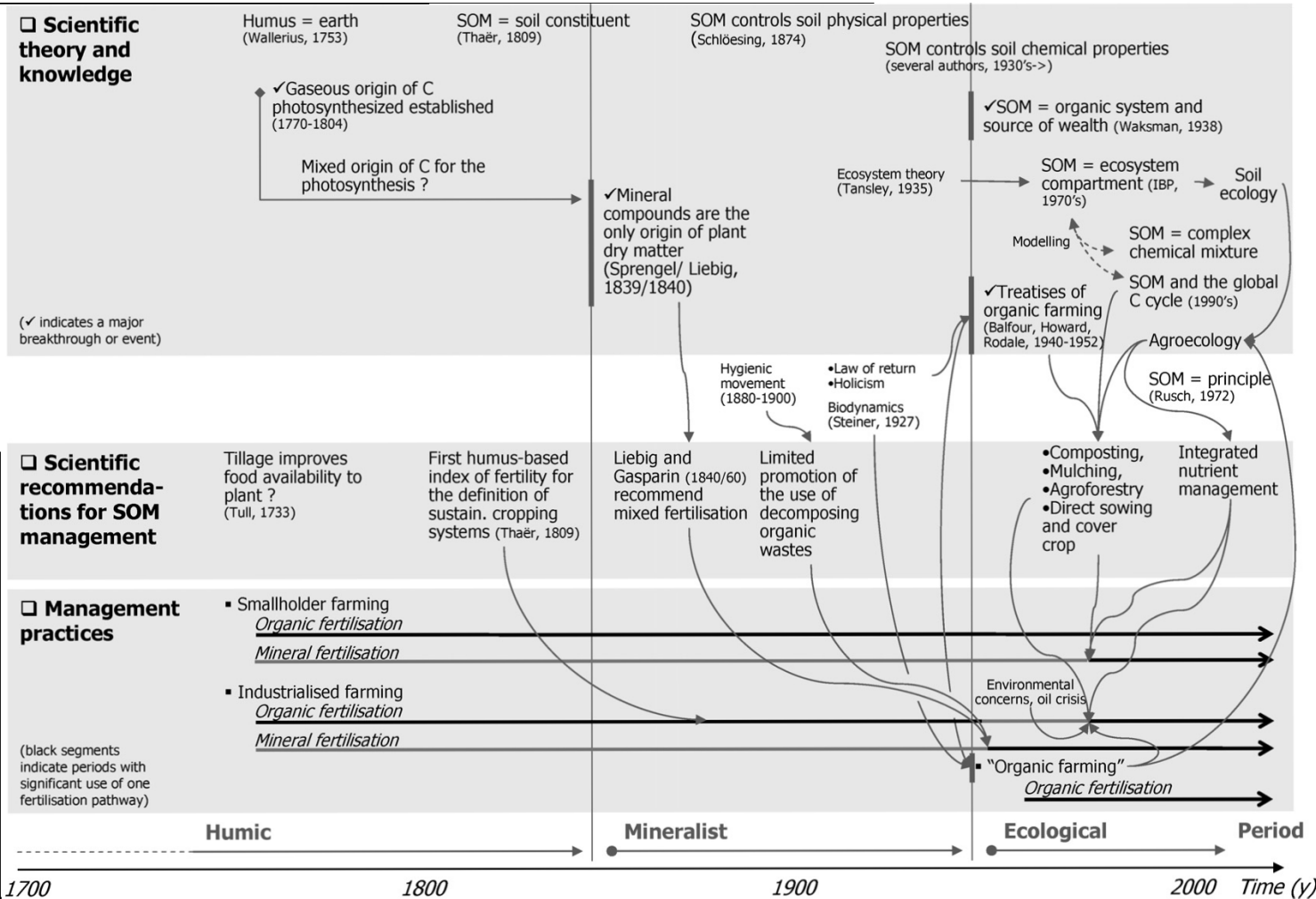


# Was ist Humus und wie entsteht er?



**University of Natural Resources and Life Sciences**  
Department of Forest and Soil Sciences

Manlay et al. (2007): Agriculture, Ecosystems and Environment 119 217-233





# Was ist Humus und wie entsteht er?



**University of Natural Resources  
and Life Sciences**

Department of Forest and Soil Sciences

Term	Definition	Sparks (2002)
Organic residues	Undecayed plant and animal tissues and their partial decomposition products.	
Soil biomass	Organic matter present as live microbial tissue.	
Humus	Total of the organic compounds in soil exclusive of undecayed plant and animal tissues, their “partial decomposition” products, and the soil biomass.	
Soil organic matter	Same as humus.	
Humic substances	A series of relatively high-molecular-weight, brown- to black-colored substances formed by secondary synthesis reactions. The term is used as a generic name to describe the colored material or its fractions obtained on the basis of solubility characteristics. These materials are distinctive to the soil (or sediment) environment in that they are dissimilar to the biopolymers of microorganisms and higher plants (including lignin).	
Nonhumic substances	Compounds belonging to known classes of biochemistry, such as amino acids, carbohydrates, fats, waxes, resins, and organic acids. Humus probably contains most, if not all, of the biochemical compounds synthesized by living organisms.	
Humin	The alkali insoluble fraction of soil organic matter or humus.	
Humic acid	The dark-colored organic material that can be extracted from soil by various reagents and is insoluble in dilute acid.	
Fulvic acid	The colored material that remains in solution after removal of humic acid by acidification.	
Hymatomelanic acid	Alcohol soluble portion of humic acid.	

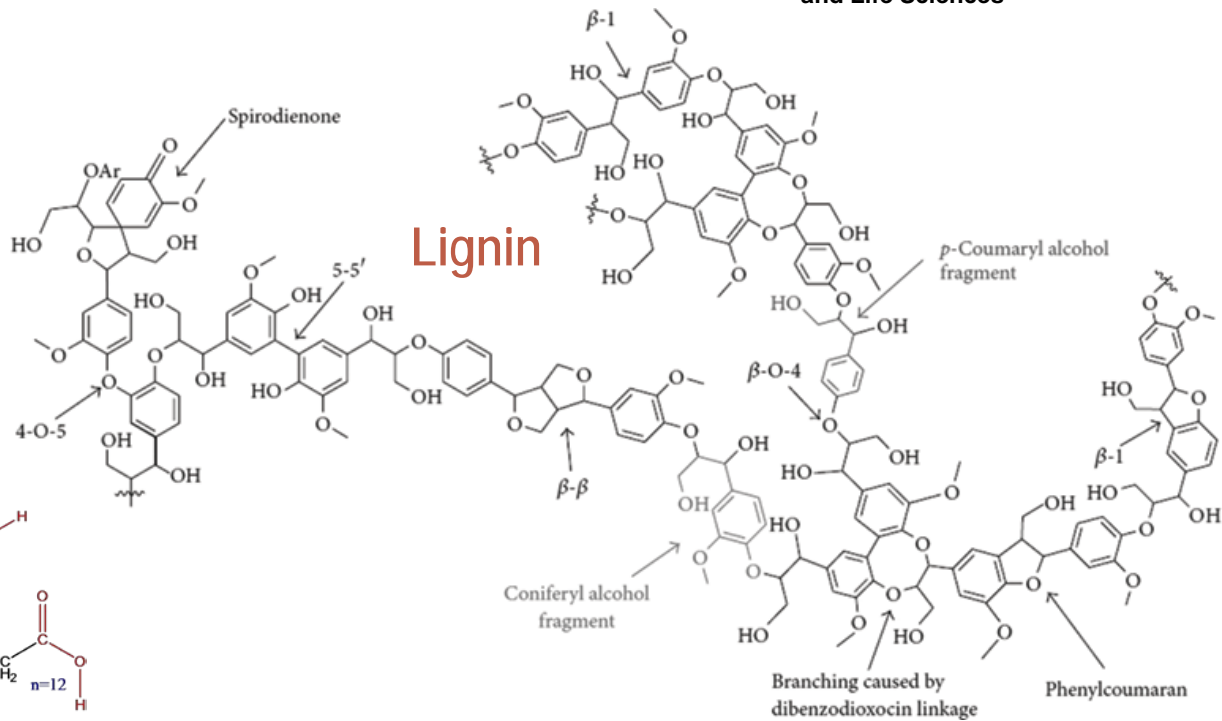
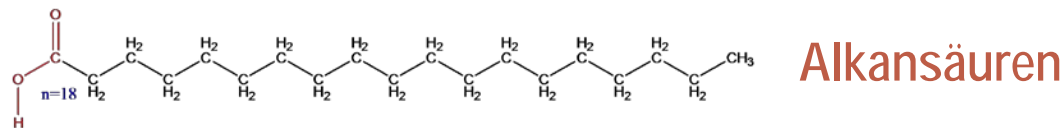
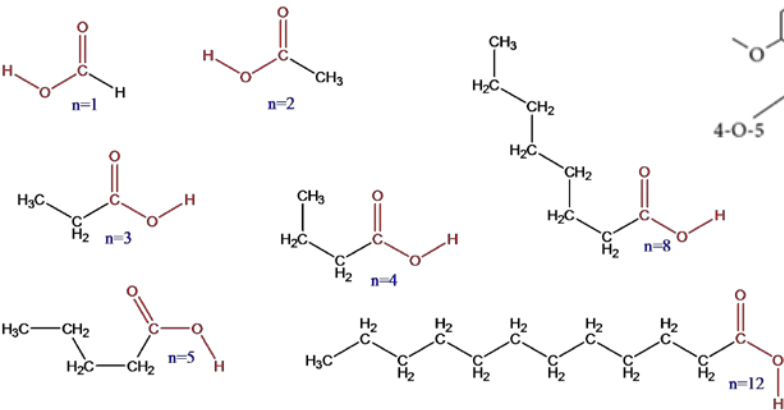
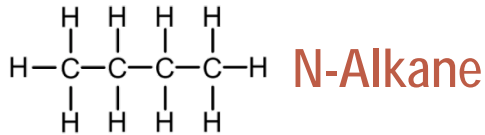
<sup>a</sup> From F. J. Stevenson, “Humus Chemistry.” Copyright © 1982 John Wiley & Sons, Inc. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

# Was ist Humus und wie entsteht er?



## ■ Humuskomponenten

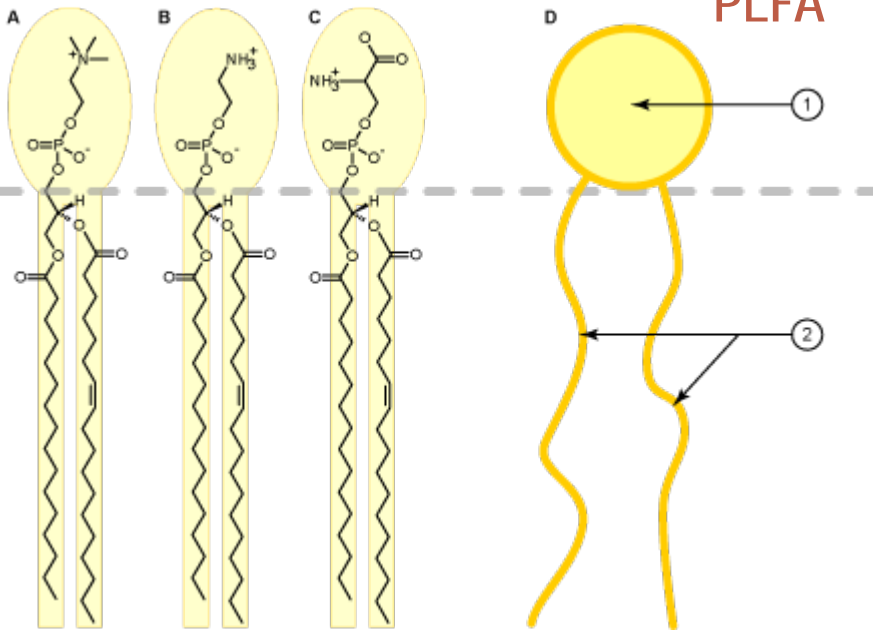
University of Natural Resources  
and Life Sciences



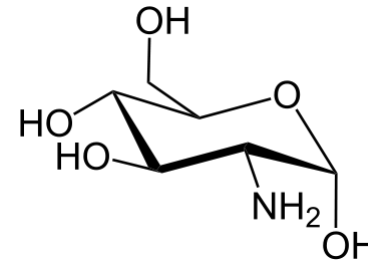
# Was ist Humus und wie entsteht er?



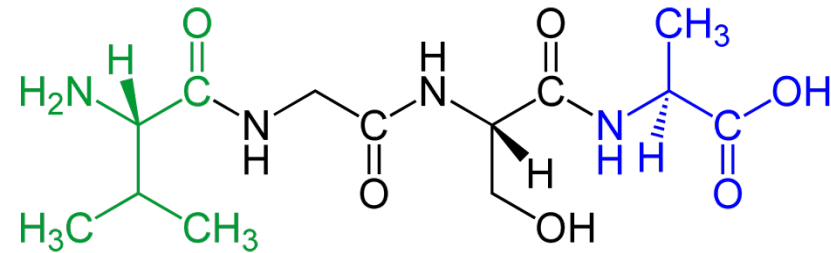
## ■ Humuskomponenten



### Hexosamine

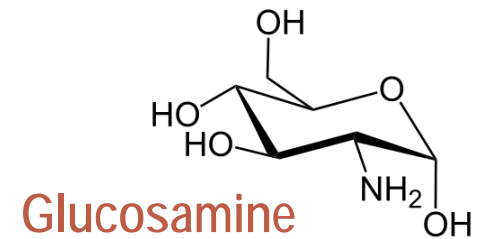
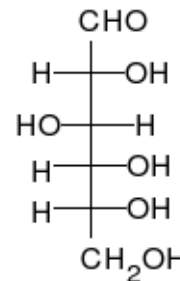
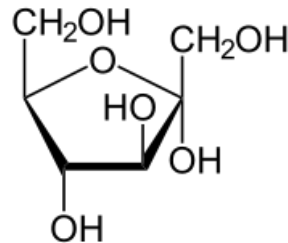


### Proteine



Von FooBar - self-made by FooBar, CC BY 2.5,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1433248>

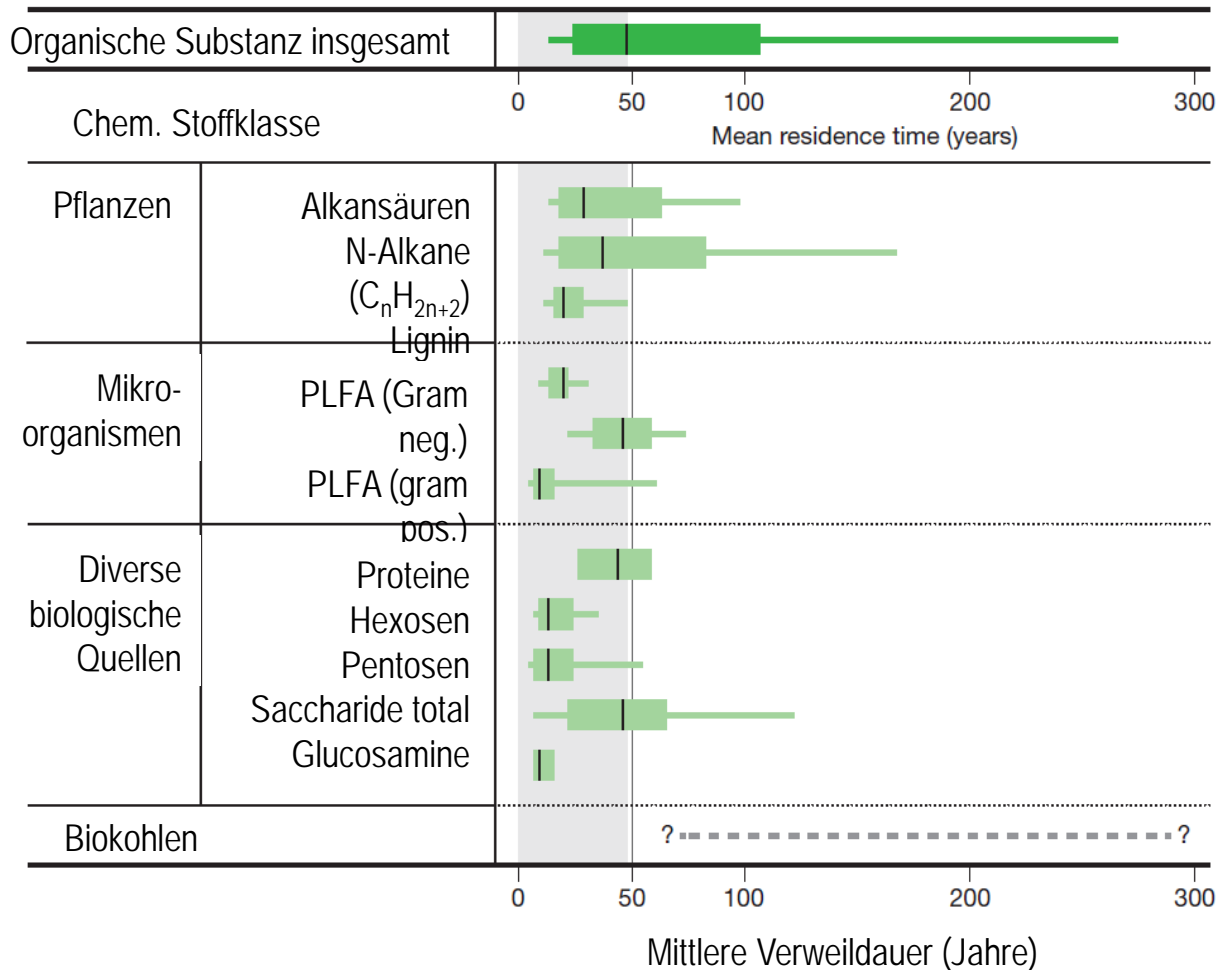
### Zucker (Hexosen, Pentosen,...)



### Glucosamine

# Was ist Humus und wie entsteht er?

- Verweildauer von organischer Substanz und Einzelkomponenten im Boden



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

- Daten von 20 Langzeitexperimenten
  - Gemäßigtes Klima
  - <sup>13</sup>C-Labeling zur Bestimmung der Verweildauer
- Lignin scheint rascher zu zyklieren als Gesamt-OS
- Zu Beginn rasch zyklierende Substanzen sind ähnlich stabil wie langsam zyklierende

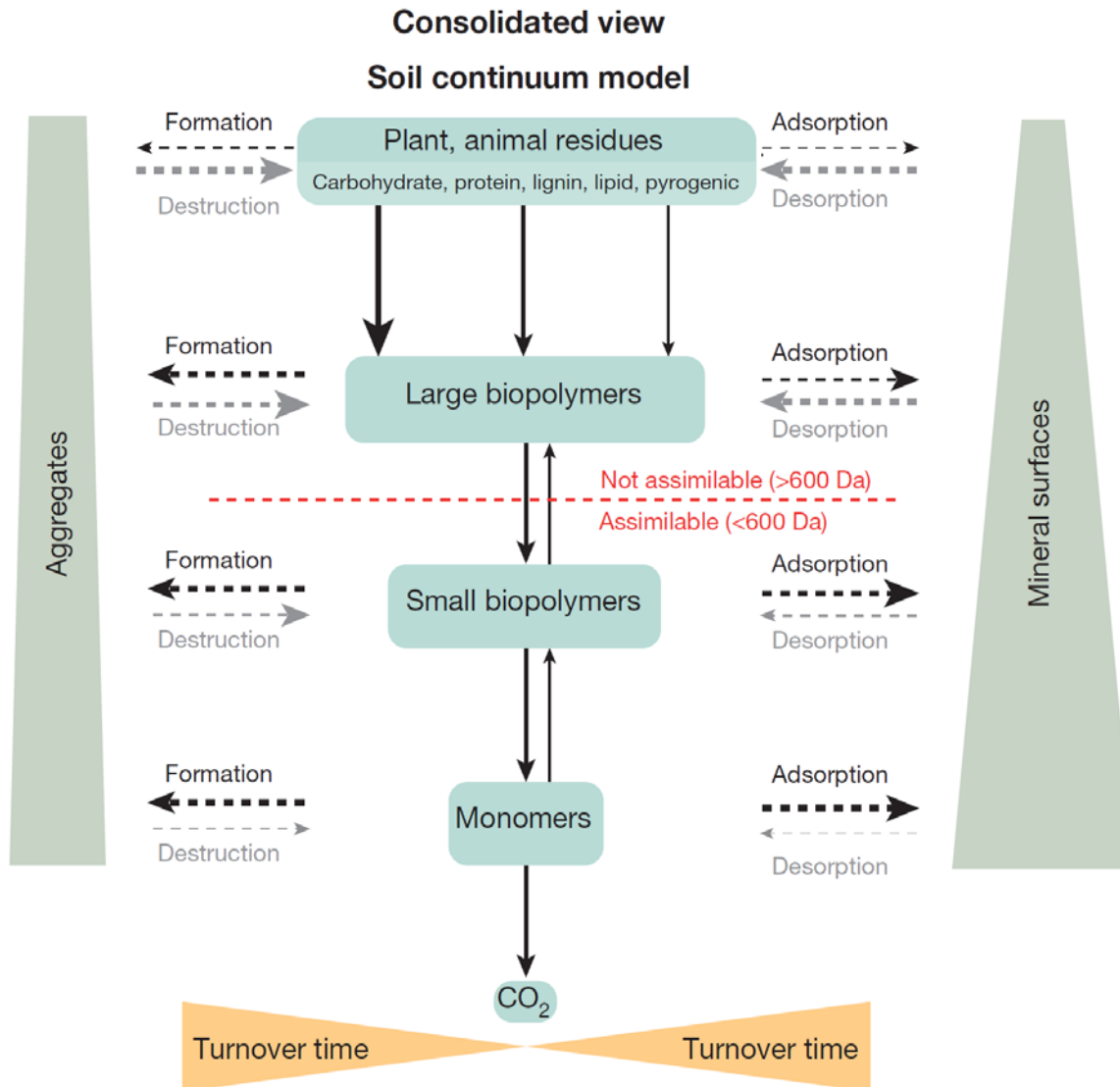


# Was ist Humus und wie entsteht er?



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Lehmann & Kleber (2015) Nature 528: 60-68



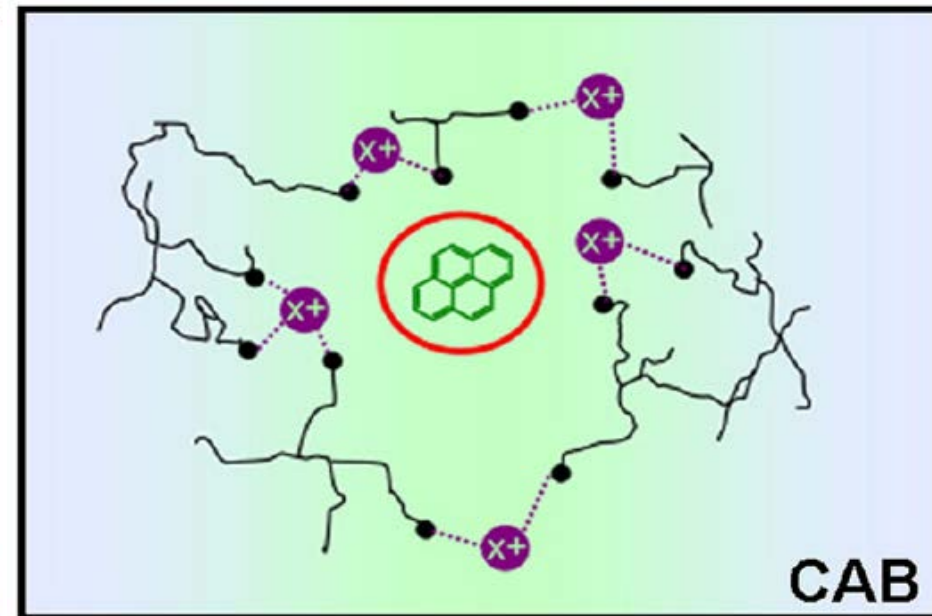
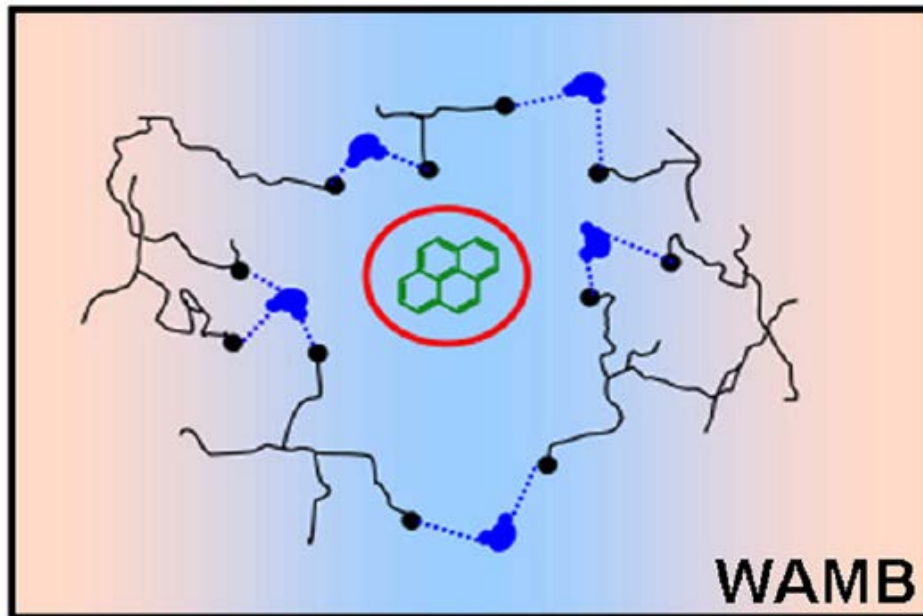
# Was ist Humus und wie entsteht er?

- Humusmodelle
  - Water molecule bridging model (WAMB)
  - Cation bridging model (CAB)



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Schaumann % Thiele-Bruhn (2011):  
Geoderma 169, 55–68





**University of Natural Resources  
and Life Sciences**  
Department of Forest and Soil Sciences

# Wieviel Humus kann ein Boden speichern? Wieviel ist tatsächlich in Böden enthalten?

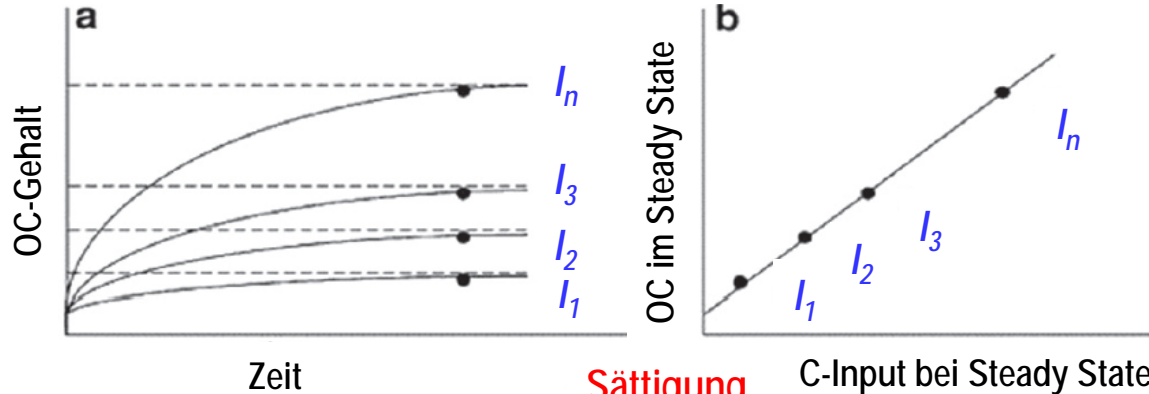
# Wieviel Humus kann ein Boden speichern?



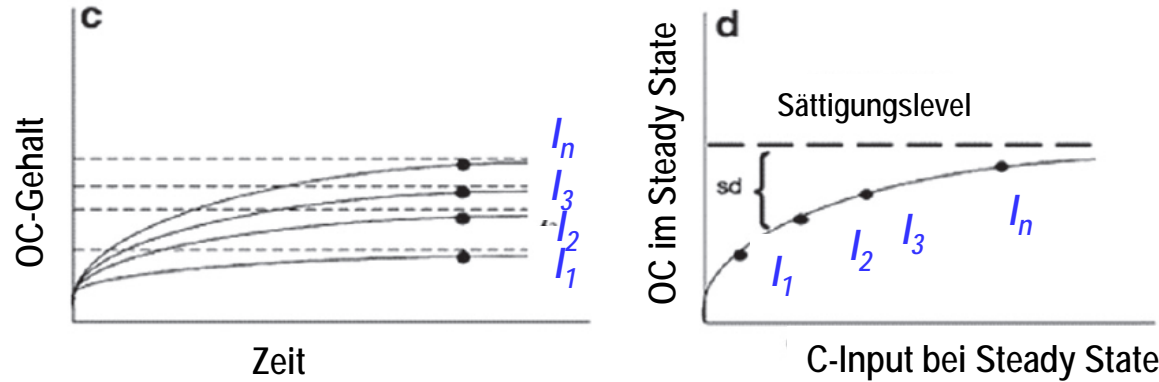
University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Campbell & Paustian (2015):  
*Environ. Res. Lett.* 10

Sättigungsdefizit



Sättigung



$I_1 \dots I_n = \text{Inputlevel}$

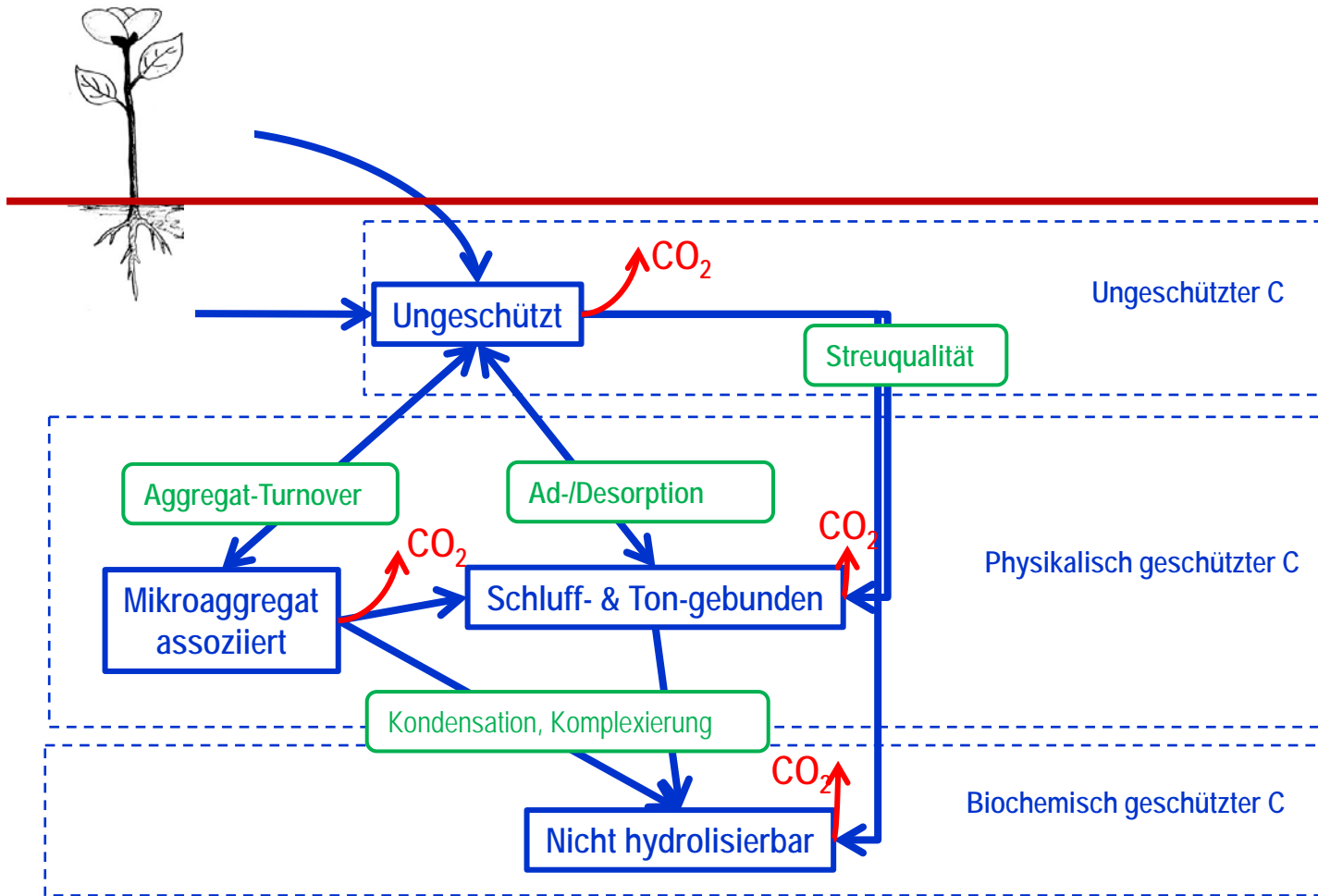
# Wieviel Humus kann ein Boden speichern?

## ■ Modell der Kohlenstoffstabilisierung in Böden



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Six et al. (2002)  
Plant & Soil 241: 155-176.





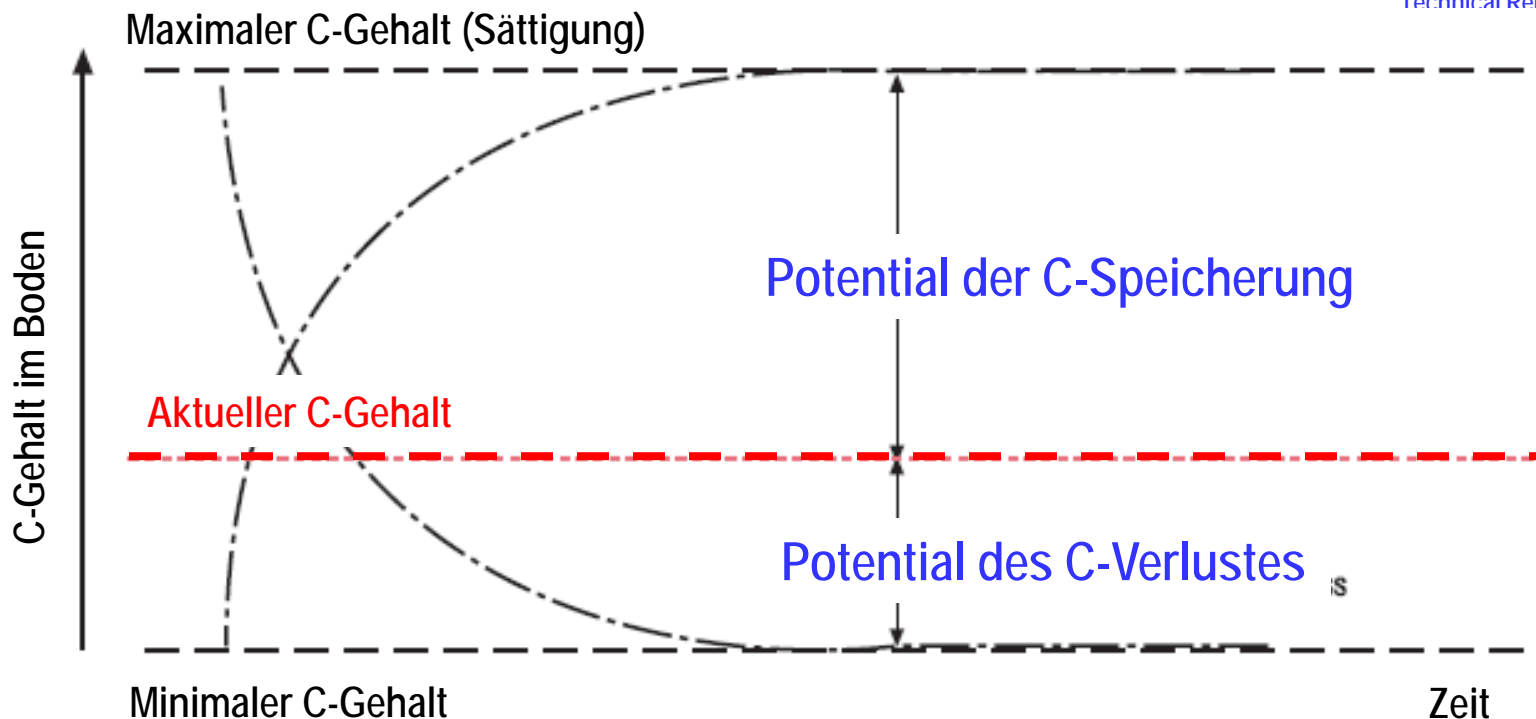
# Wieviel Humus kann ein Boden speichern?



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Louwagie et al. (2009) JRC Scientific &  
Technical Reports EUR 23820 EN - 2009

- Standortsspezifische Grenzen von Kohlenstoffspeicherung und -verlusten



# Wieviel Humus kann ein Boden speichern?

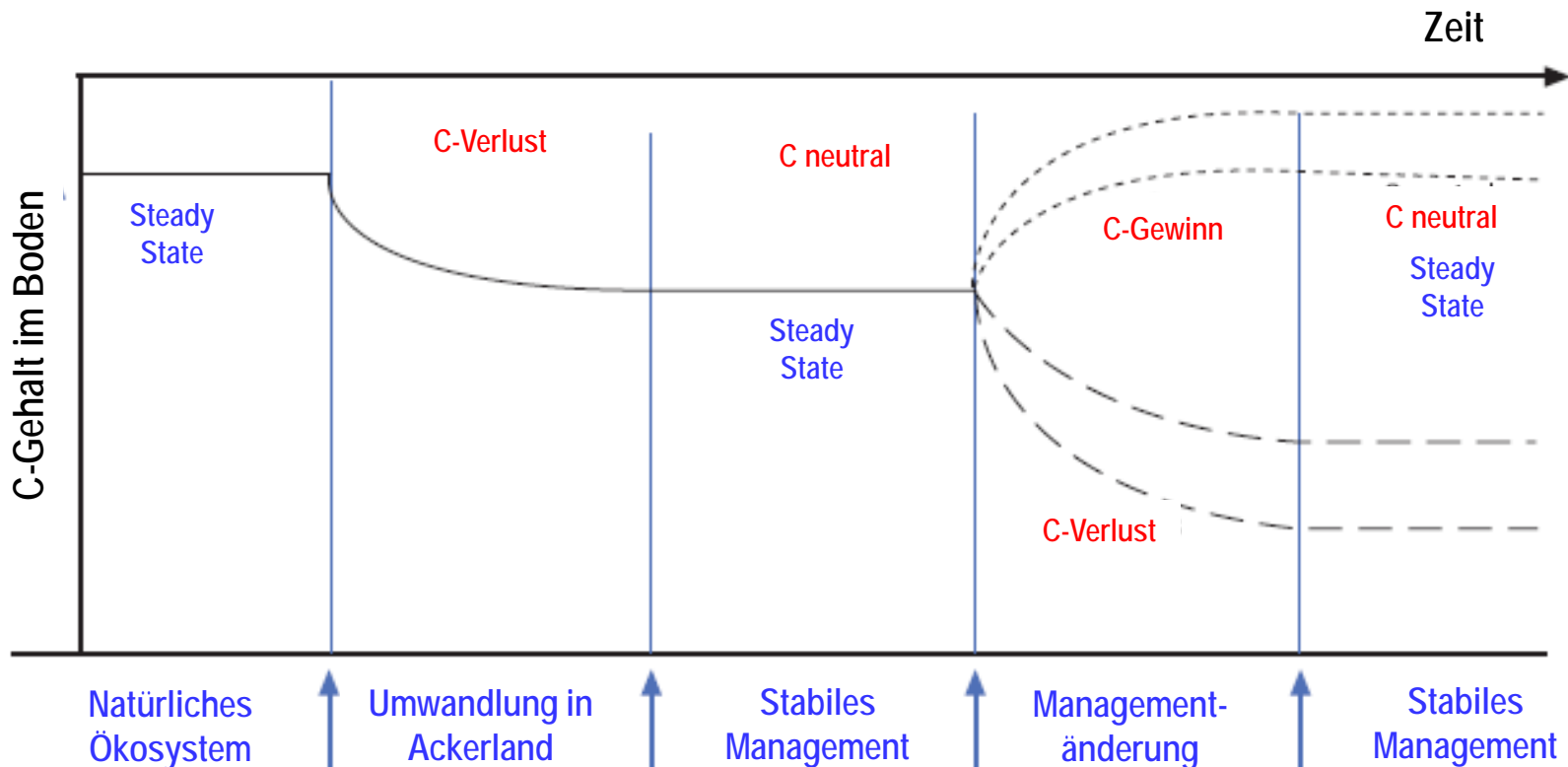


- Managementeffekte auf den C-Gehalt in Böden

Louwagie et al. (2009) JRC Scientific & Technical Reports EUR 23820 EN - 2009



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences



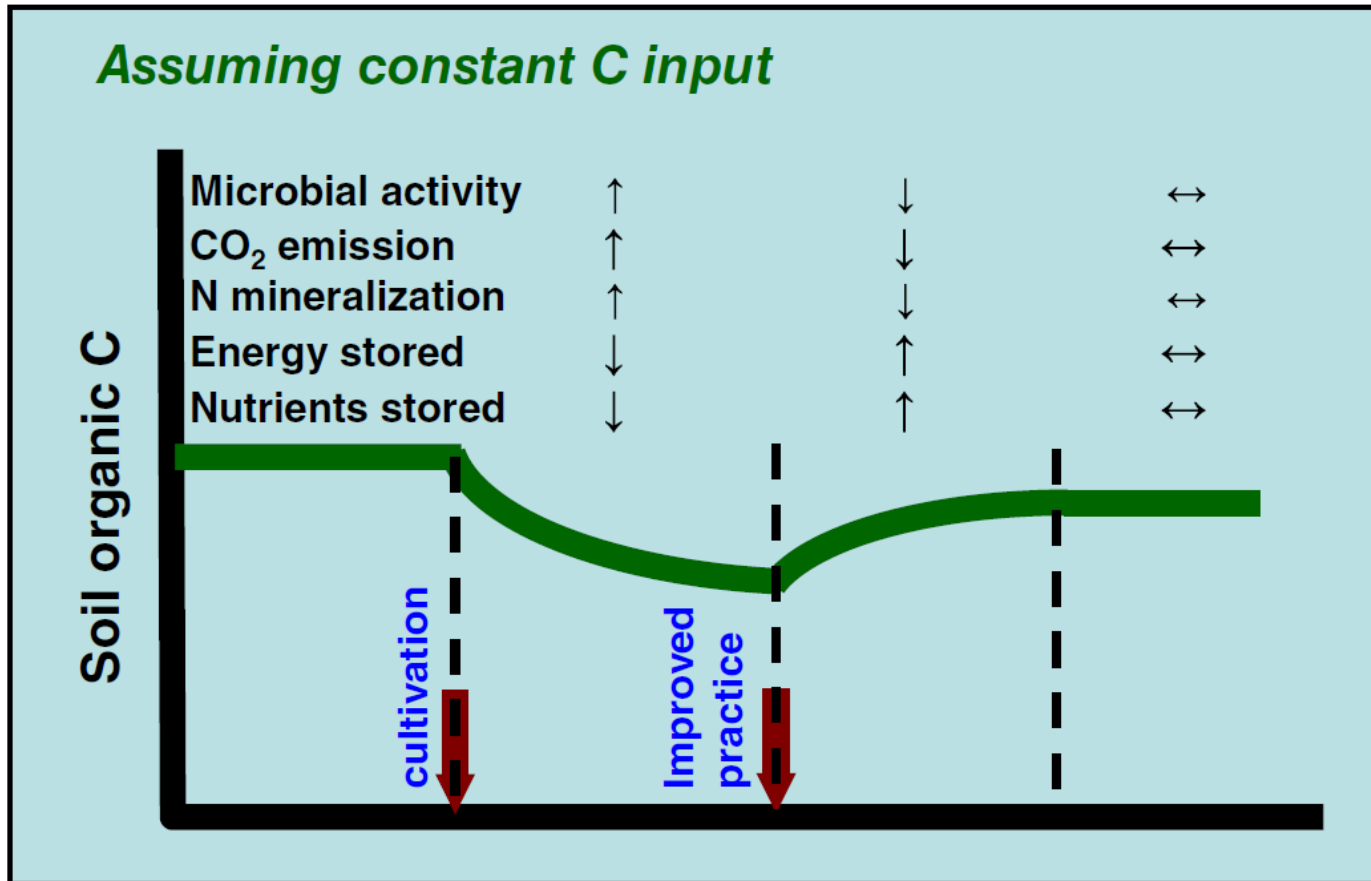
# Was ist Humus und wie entsteht er?

- Auswirkungen von Managementänderungen.....



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Janzen (2015) *European Journal  
of Soil Science*, 66, 19–32



# Wieviel Humus ist tatsächlich im Boden?



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Gerzabek et al. (2005) Canadian J.  
Soil Science 85: 491-497

Wenzel, unpublished

- C-Vorräte in Böden Österreichs bzw. Niederösterreichs (in t C ha<sup>-1</sup> bzw. Mt C)
  - 0-20 cm Tiefe
  - 20-50 cm Tiefe

## Bodentiefe (cm)

Landnutzung	0-20		± 0.5 AAD <sup>z</sup> (%)	20-50		0-20		20-50		Area (10 <sup>6</sup> ha)	
	(t C ha <sup>-1</sup> )	NÖ		(t C ha <sup>-1</sup> )	NÖ	(Mt C)	(Mt C)	NÖ	NÖ		
Acker	41.3	36.3	5.0	18.2	29.2	57.8	25.4	25.5	20.4	700	1397
Grünland	60.5	63.5	9.1	20.5	23.6	56.7	11.6	19.3	4.3	182	938
Almen	91.8		15.1	27.2		92.3		27.3			1005
Weingärten	39.3		5.5	18.3		2.1		1.0			52.5
Obstgärten, Gärten	57.0		14.6	21.0		1.5		0.5			27.1
Total						210.4		73.6			3420

<sup>z</sup> absolute mittlere Abweichung vom Median

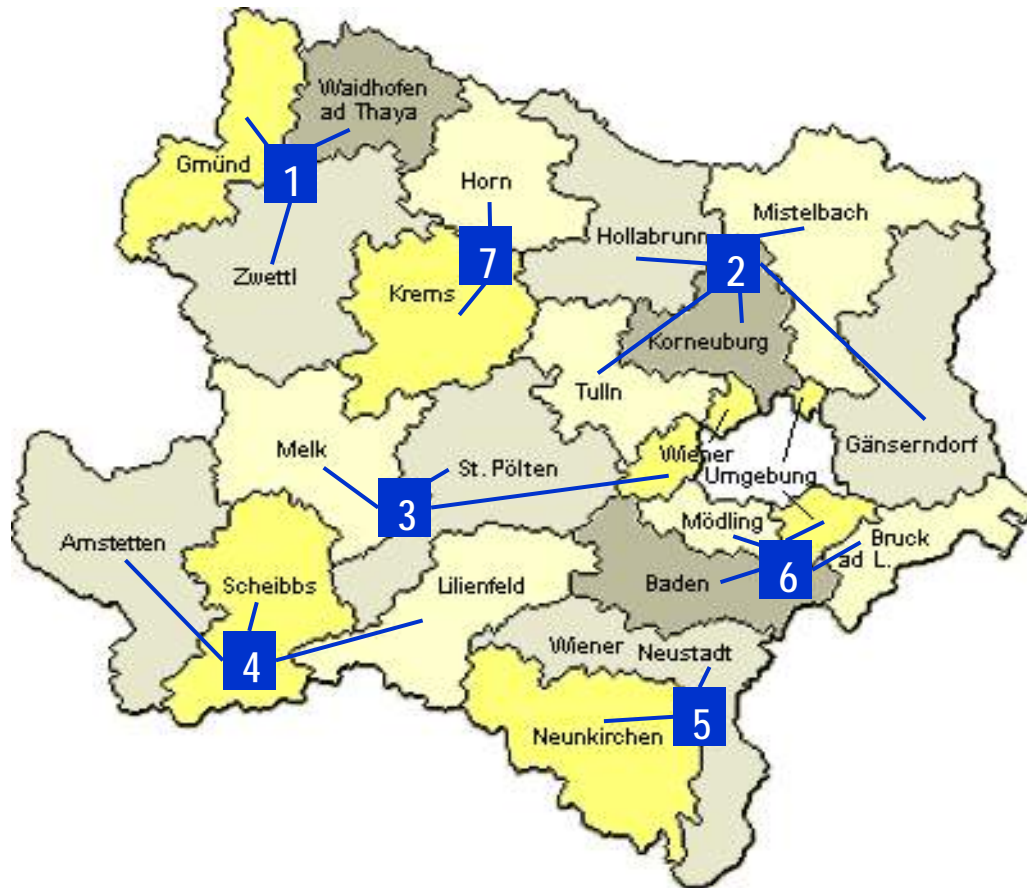
NÖ Niederösterreich (Wenzel, nicht publiziert)

# Wieviel Humus ist tatsächlich im Boden?



- Regionale Modellierung der Kohlenstoffsättigungspotentiale und der Kohlenstoffdefizite in Niederösterreich

University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences



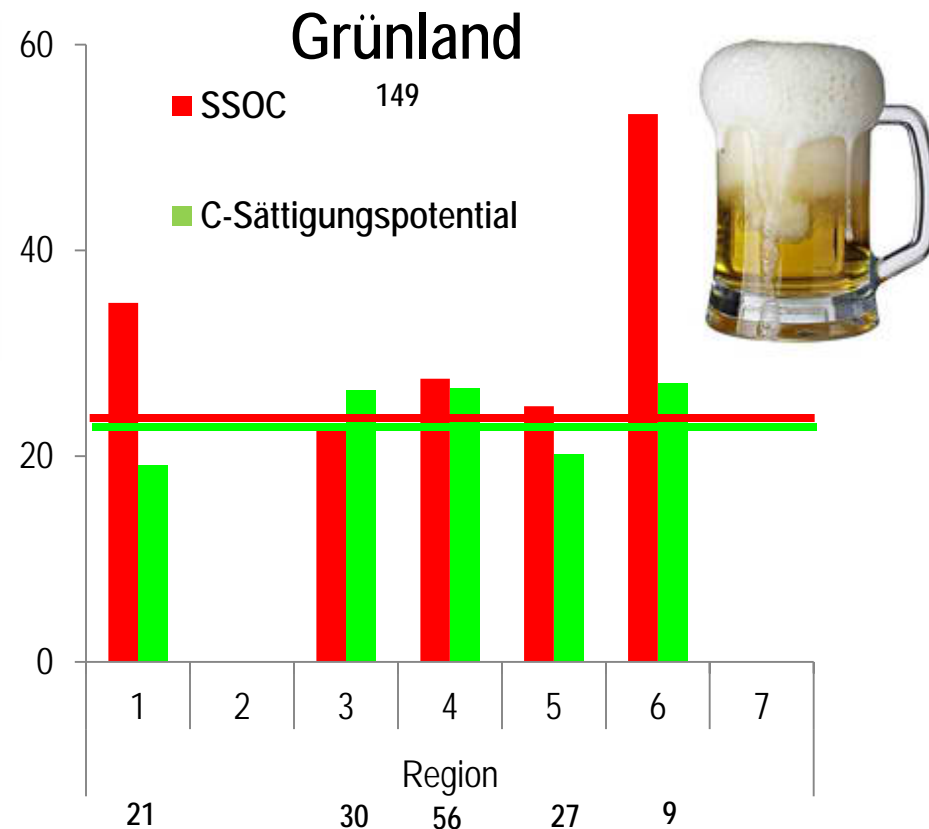
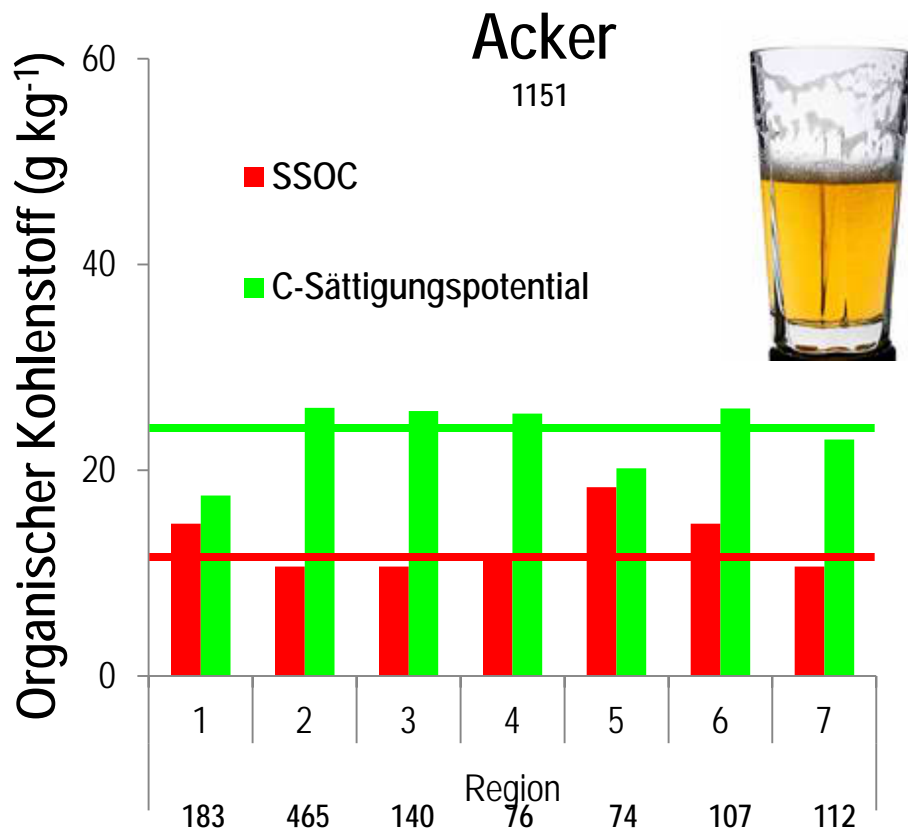


# Wieviel Humus ist tatsächlich im Boden?



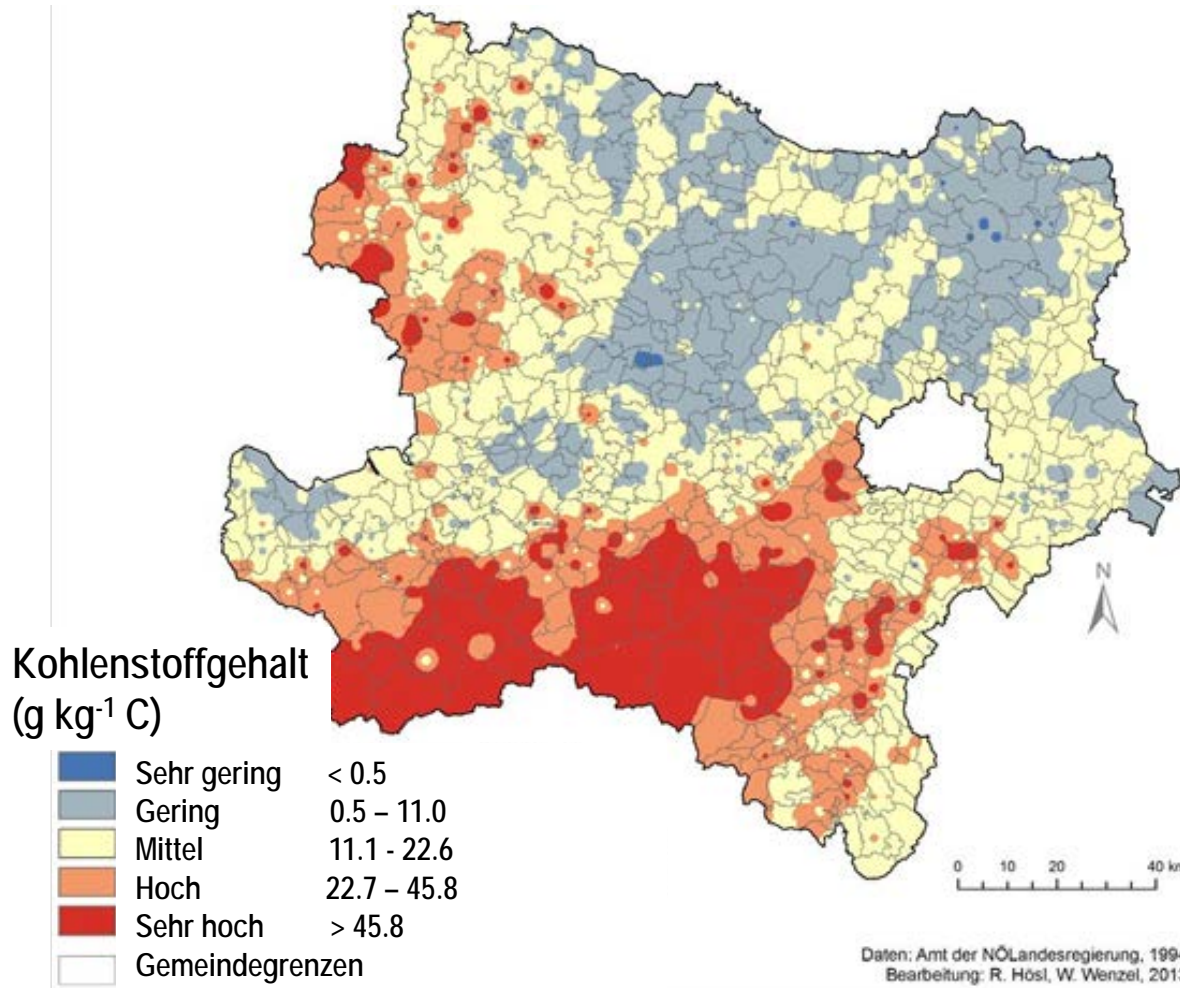
University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

- Mediane der Sättigungspotentiale und aktueller C-Gehalte für NÖ (Linien) und einzelne Regionen (Säulen); Bodentiefe 0-20 cm
- Datenquelle: BZI NÖ (Probenahme 1990/91)



# Wieviel Humus ist tatsächlich im Boden?

## ■ Kohlenstoffgehalte in Böden Niederösterreichs



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Hösl & Wenzel (2013)  
Lower Austrian Soil Report  
(unpublished).

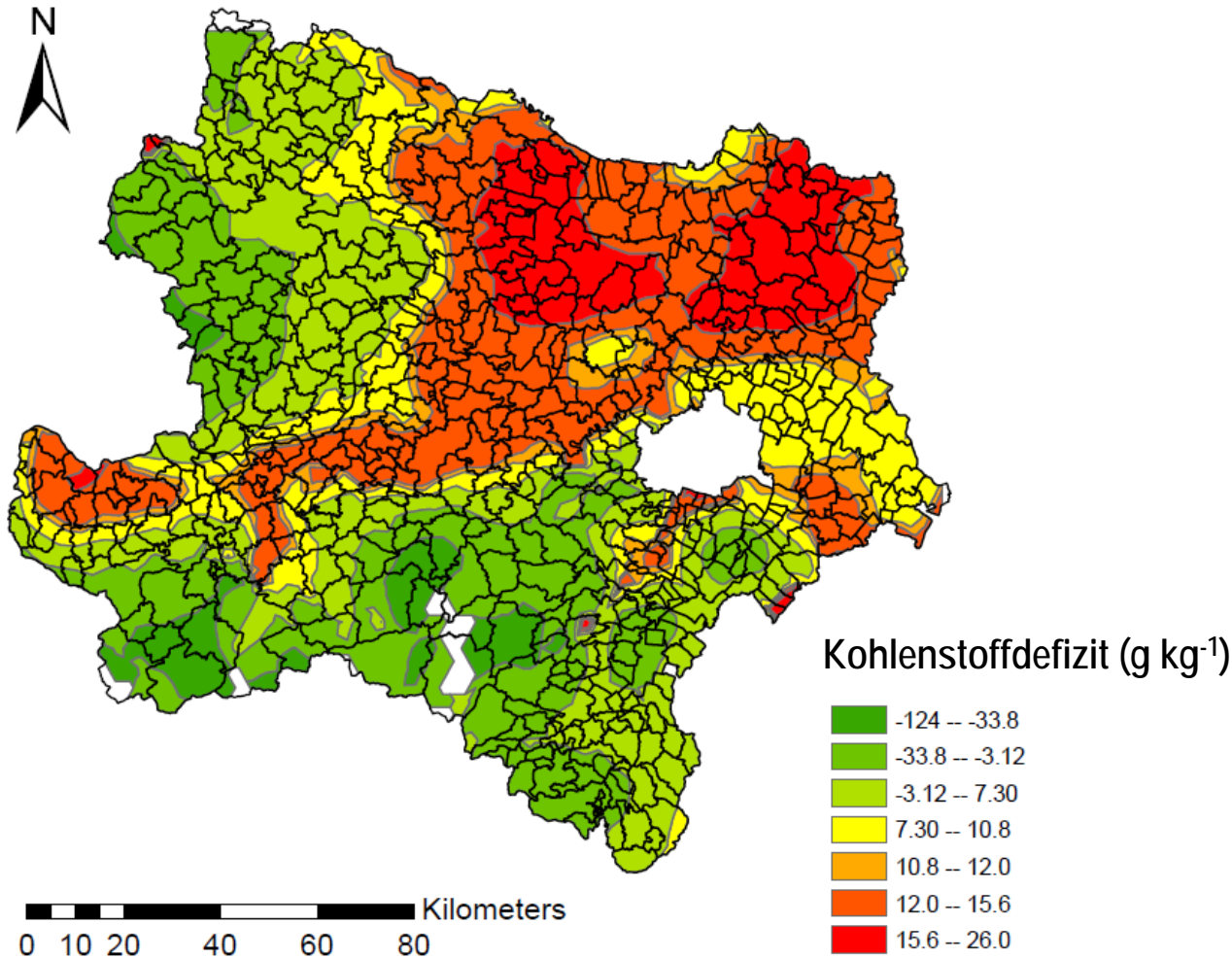
# Wieviel Humus ist tatsächlich im Boden?

- Kohlenstoffdefizite in Oberböden Niederösterreichs



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Gruber & Wenzel (2014)  
(unpublished).





**University of Natural Resources  
and Life Sciences**  
Department of Forest and Soil Sciences

# Welche Funktionen hat Bodenhumus? Warum ist das wichtig?



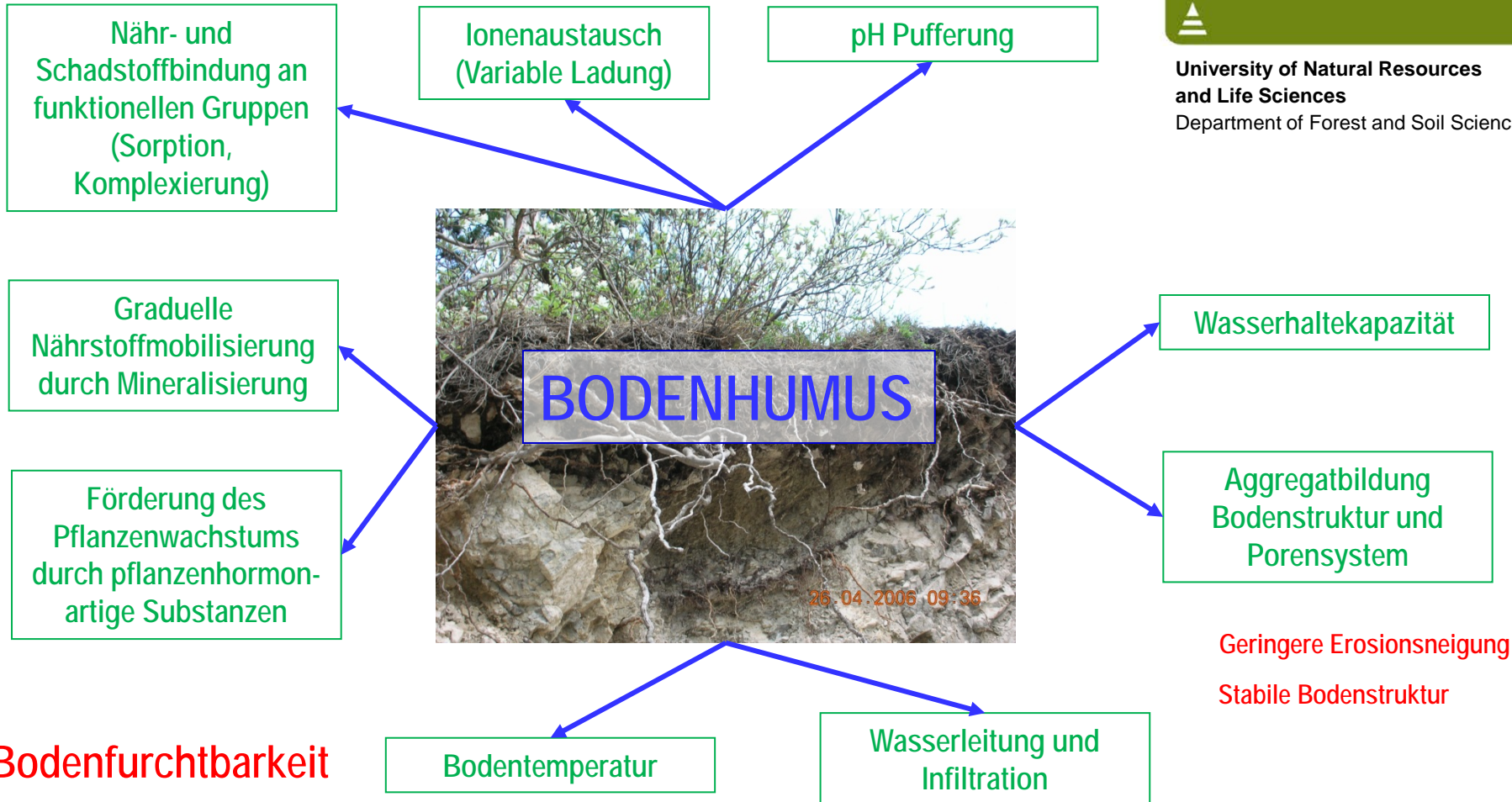


# Funktionen



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

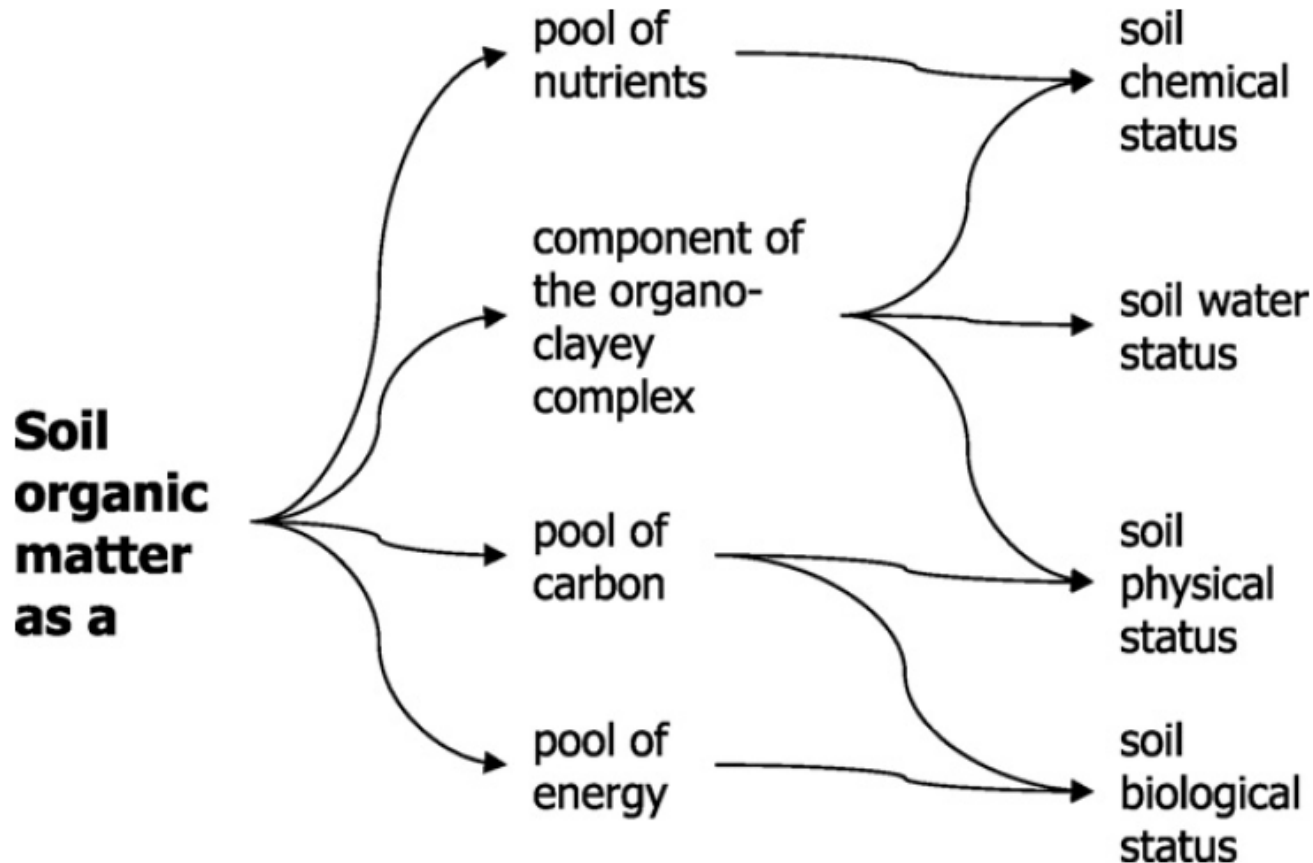
## Säure- und Schadstoffpuffer





# Funktionen

## ■ Organische Substanz und Bodenfruchtbarkeit



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

[Manlay et al. \(2007\): Agriculture,  
Ecosystems and Environment 119  
217-233](#)

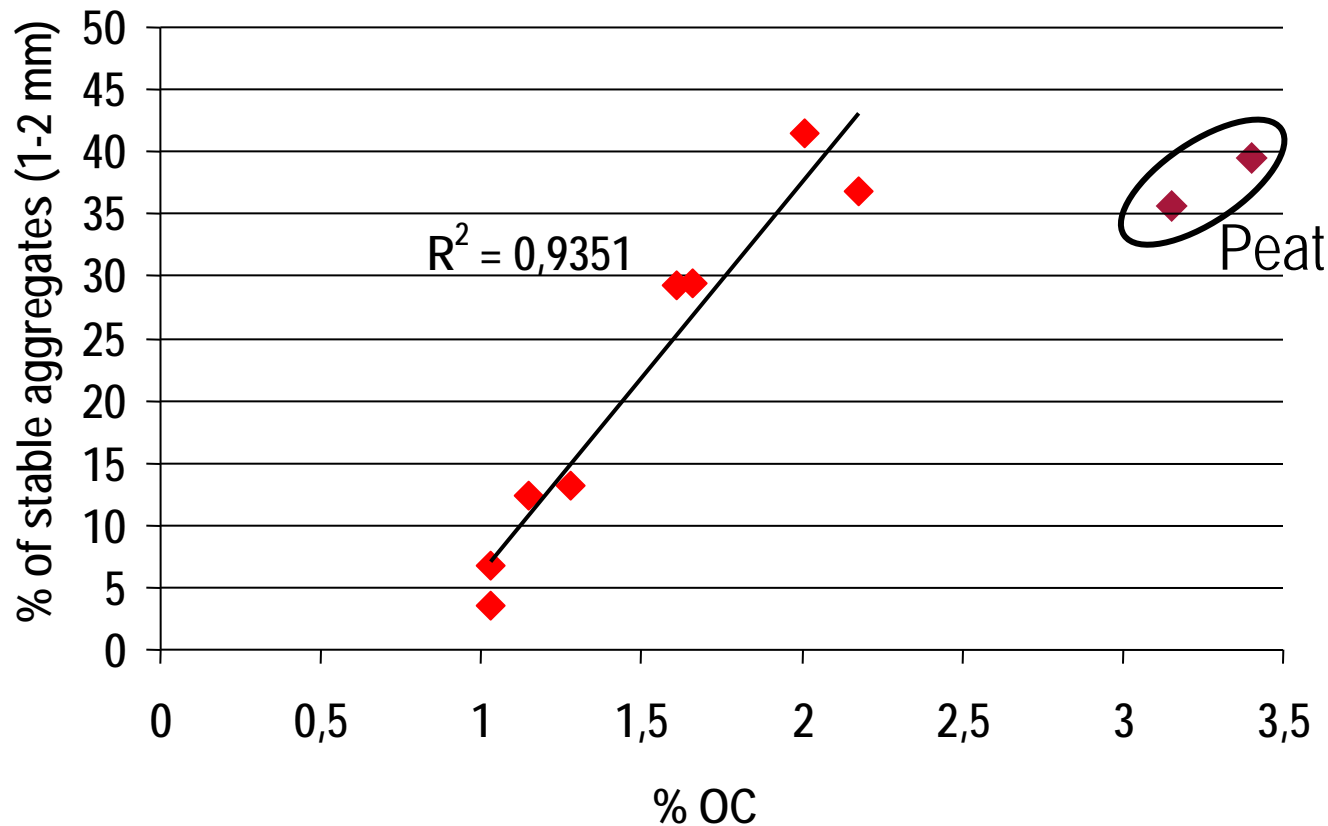
# Funktionen

- Einfluss organischer Substanz auf Aggregatstabilität



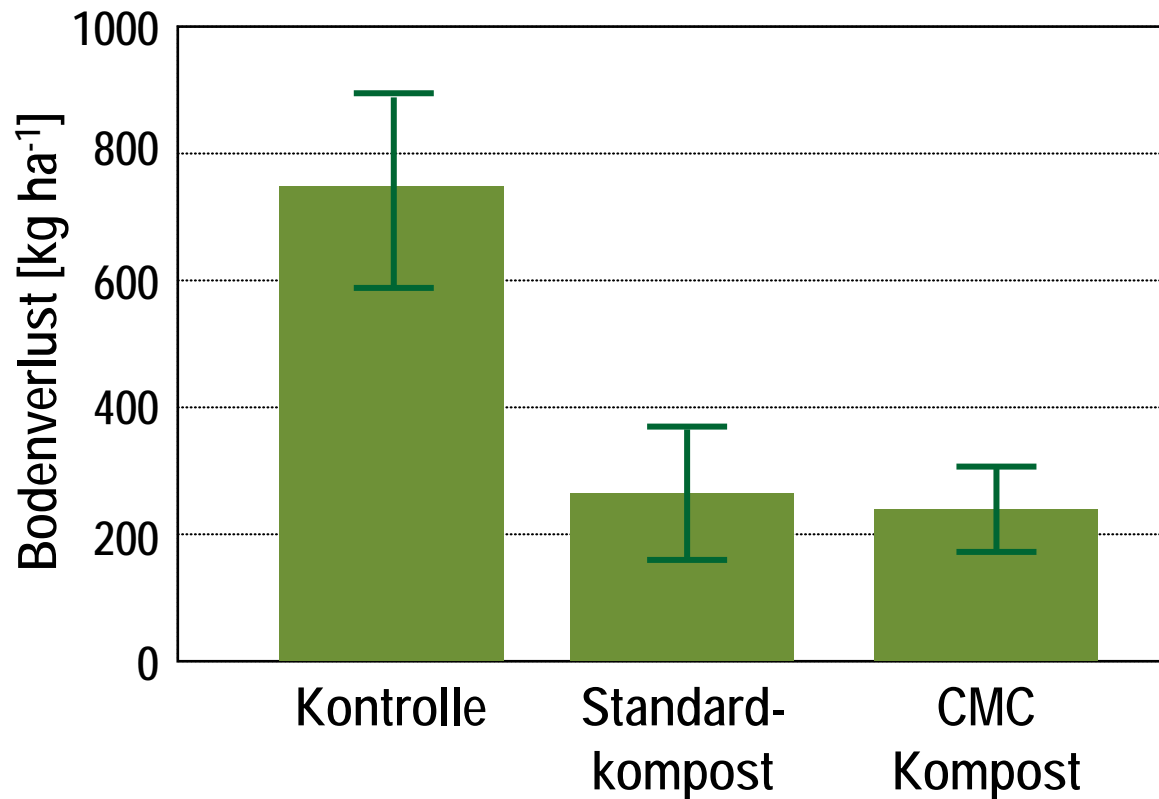
University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

[Gerzabek et al. \(1995\)](#)



# Funktionen

- Einfluss organischer Substanz auf Bodenerosion
  - Pseudogley (schluffig-lehmige Textur)
  - 7 Jahre nach Kompostanwendung (Ritzlhof, Linz)



# Funktionen



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Strauss (2001)

- Einfluss organischer Substanz auf Wasserleitfähigkeit
  - Pseudogley (schluffig-lehmige Textur)
  - 7 Jahre nach Kompostanwendung (Ritzlhof, Linz)

Variante	Lagerungs- dichte kg m <sup>-3</sup>	Organischer Kohlenstoff g kg <sup>-1</sup>	Hydraulische Leitfähigkeit mm h <sup>-1</sup>
Kontrolle	1410	13.4	3.9
Standardkompost *	1350	16.3	6.9
CMC Kompost **	1380	16.9	5.9

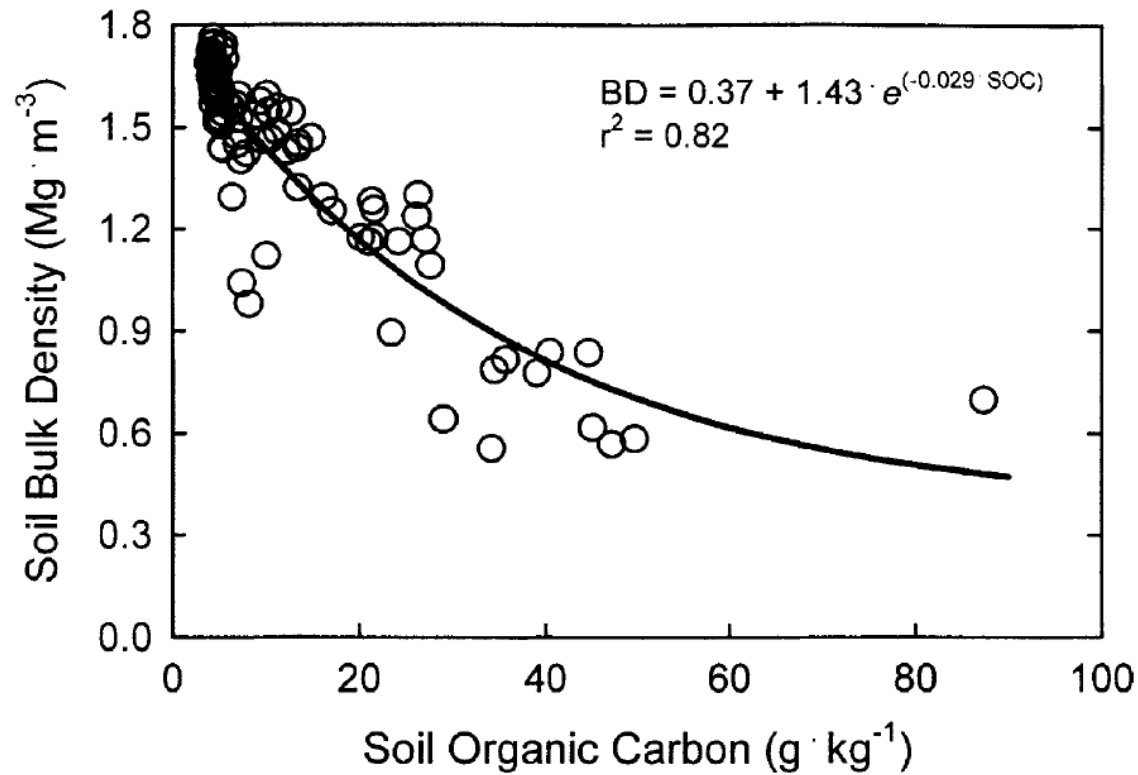
# Funktionen

- Einfluss organischer Substanz auf Lagerungsdichte



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Franzluebbers et al. (2002): Soil & Tillage  
Research 66, 197-205







**University of Natural Resources  
and Life Sciences**  
Department of Forest and Soil Sciences

**Wie wirken sich Pflanzenwurzeln auf den  
Bodenumus aus?**

**Wie werden Pflanzenwurzeln vom Bodenumus  
beeinflusst?**

# Wie wirken sich Pflanzenwurzeln auf den Bodenhumus aus?



**University of Natural Resources  
and Life Sciences**  
Department of Forest and Soil Sciences



# Wie wirken sich Pflanzenwurzeln auf den Bodenhumus aus?



University of Natural Resources  
and Life Sciences

Department of Forest and Soil Sciences

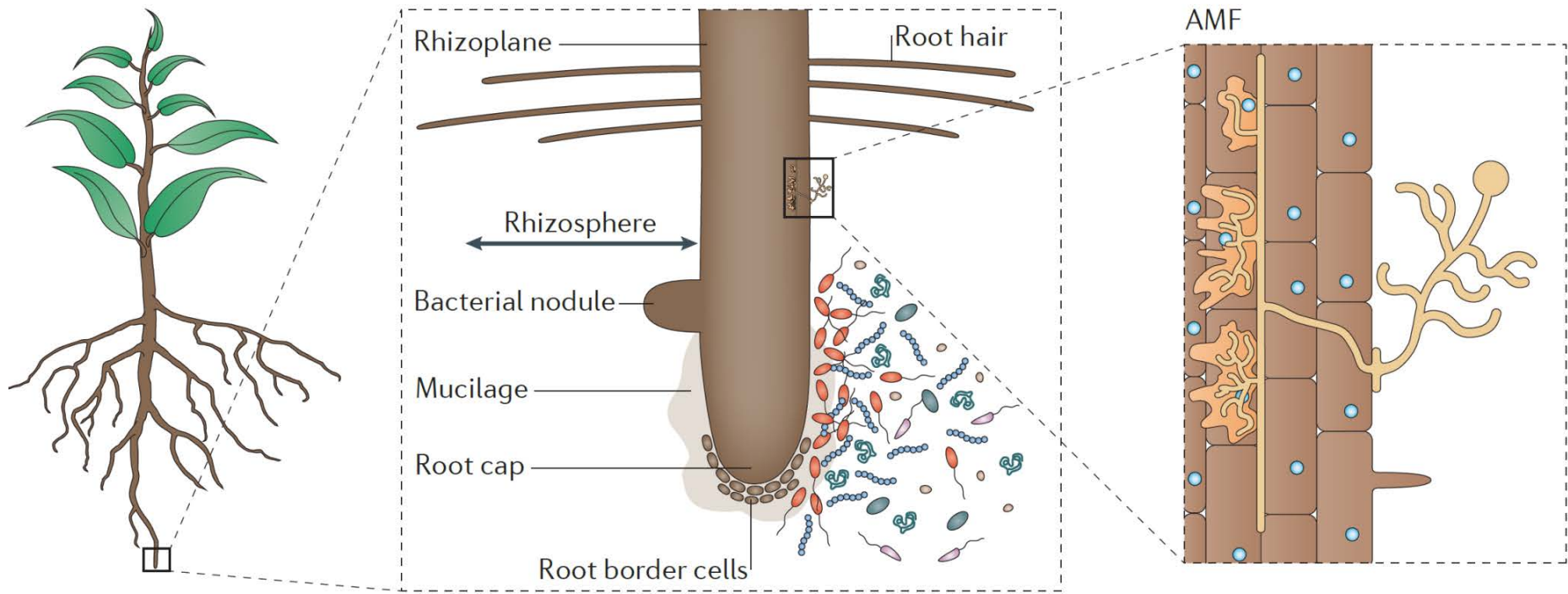
[Watt et al. \(2006\): Annals of  
Botany 97, 839-855](#)

- Biologische Komponenten in Ackerböden
  - Wurzeln 170-900 kg TM ha<sup>-1</sup> (davon ca. 40-45% C)
  - Bakterien 30-90 kg C ha<sup>-1</sup>
  - Pilze 4-70 kg C ha<sup>-1</sup>
  - Protozoen 50 kg C ha<sup>-1</sup>
  - Nematoden 0.01-0.24 kg C ha<sup>-1</sup>
  - Mikroarthropoden 0.01-0.19 kg C ha<sup>-1</sup>
  - Makroarthropoden 0-0.1 kg C ha<sup>-1</sup>
  - Regenwürmer 0-13.5 kg C ha<sup>-1</sup>



# Wie wirken sich Pflanzenwurzeln auf den Bodenumus aus?

## ■ Pflanzenwurzeln und Rhizosphäre



# Wie wirken sich Pflanzenwurzeln auf den Bodenumus aus?

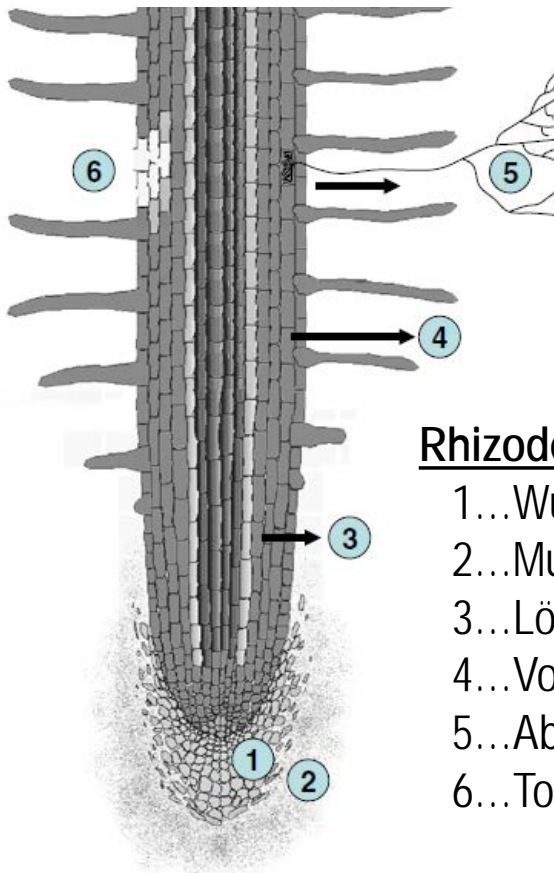


## ■ C-Flüsse mit Rhizodeposition

Source:  
Jones et al. (2009)



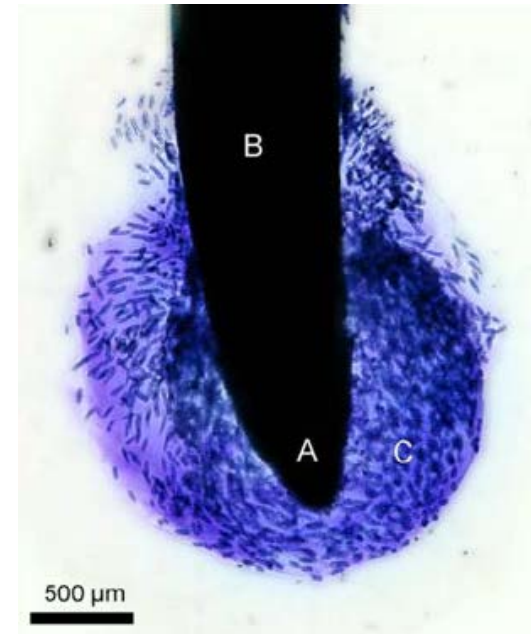
University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences



### Rhizodeposition:

- 1...Wurzelrandzellen
- 2...Mucilage (unlöslich)
- 3...Lösliche Wurzelexsudate
- 4...Volatiler org. C
- 5...Abgabe von C an Symbionten
- 6...Tod und Lysis von Wurzelzellen

## Mucilage und Randzellen

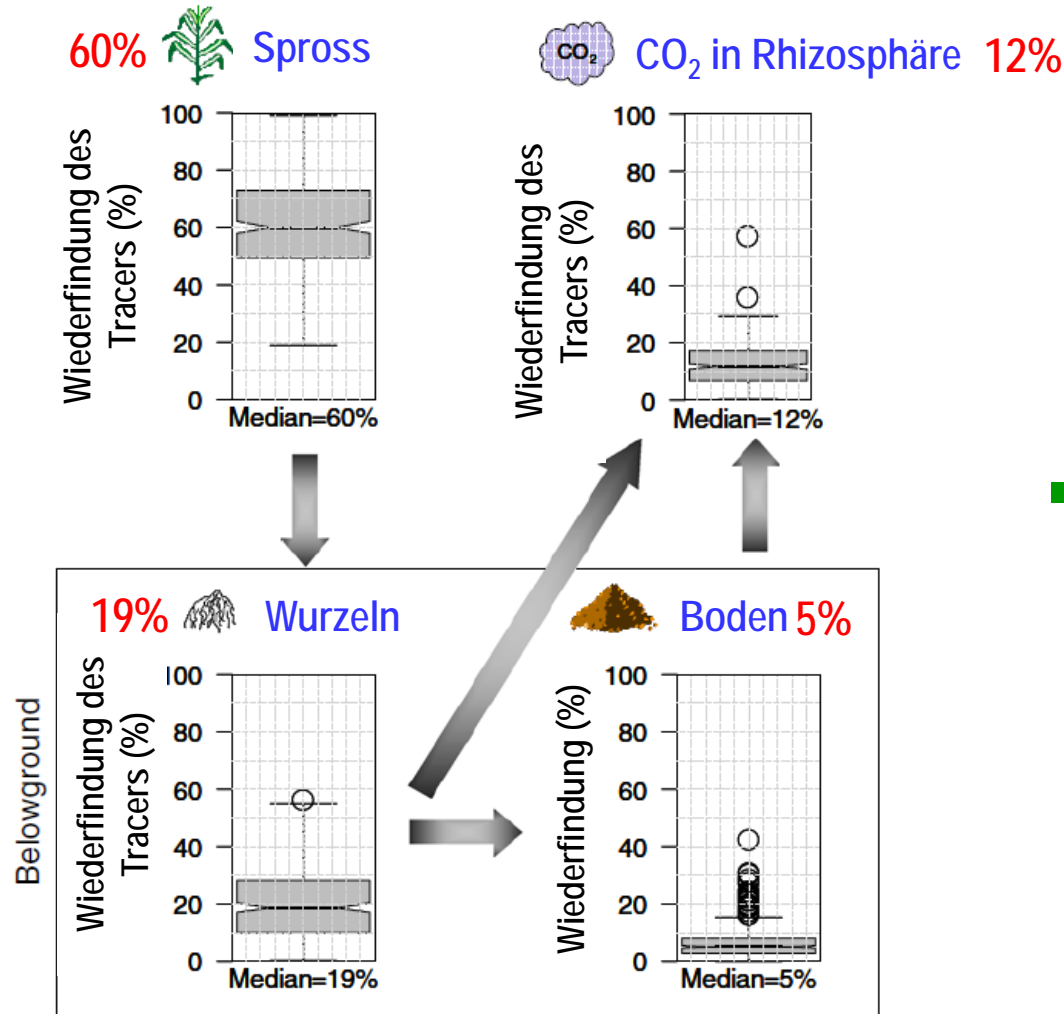


# Wie wirken sich Pflanzenwurzeln auf den Bodenhumus aus?



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Sources:  
Jones et al. (2009)



- Verteilung des durch Nettoassimilation fixierten C
  - <sup>14</sup>C Puls / kontinuierlich
  - Boxplots aus 271 Verteilungskoeffizienten

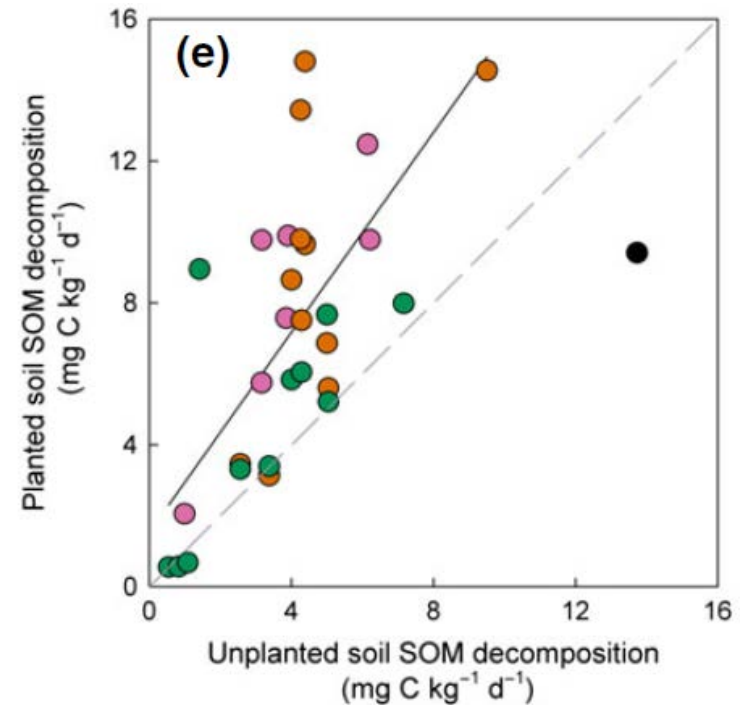
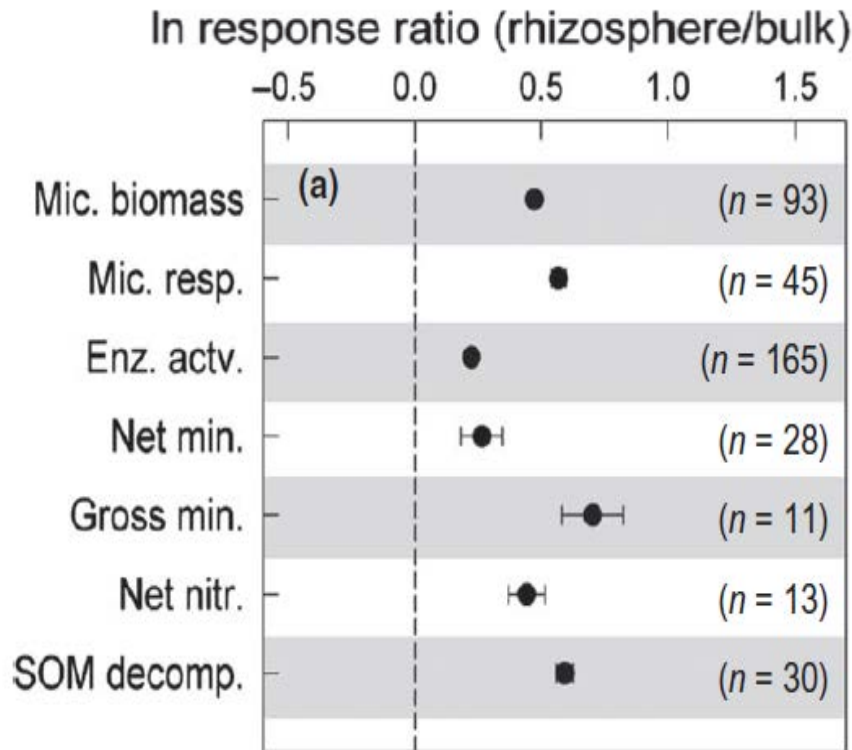
# Wie wirken sich Pflanzenwurzeln auf den Bodenhumus aus?



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Finzi et al. (2015): *Global Change Biology* 21, 2082–2094

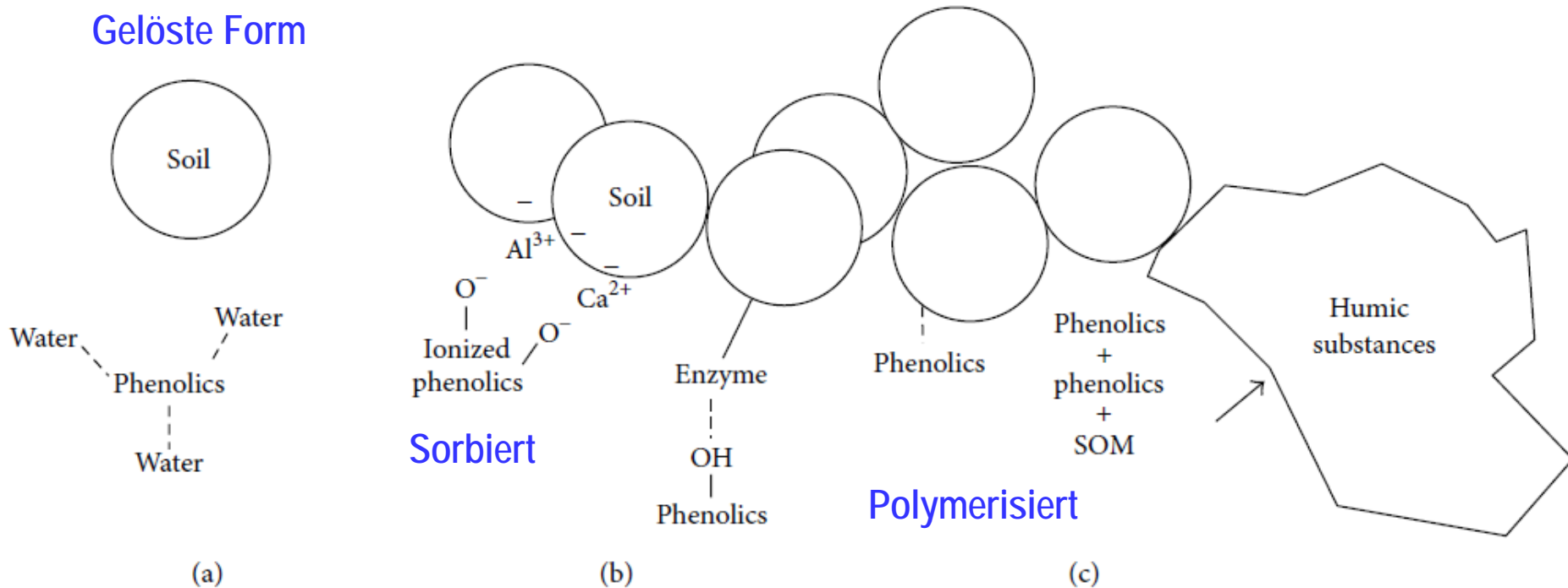
- Einfluss von Wurzeln auf biologische Aktivitäten und den Abbau organischer Substanz



# Wie werden Pflanzenwurzeln vom Bodenhumus beeinflusst?

## ■ Phenolische Substanzen im Boden

### Gelöste Form





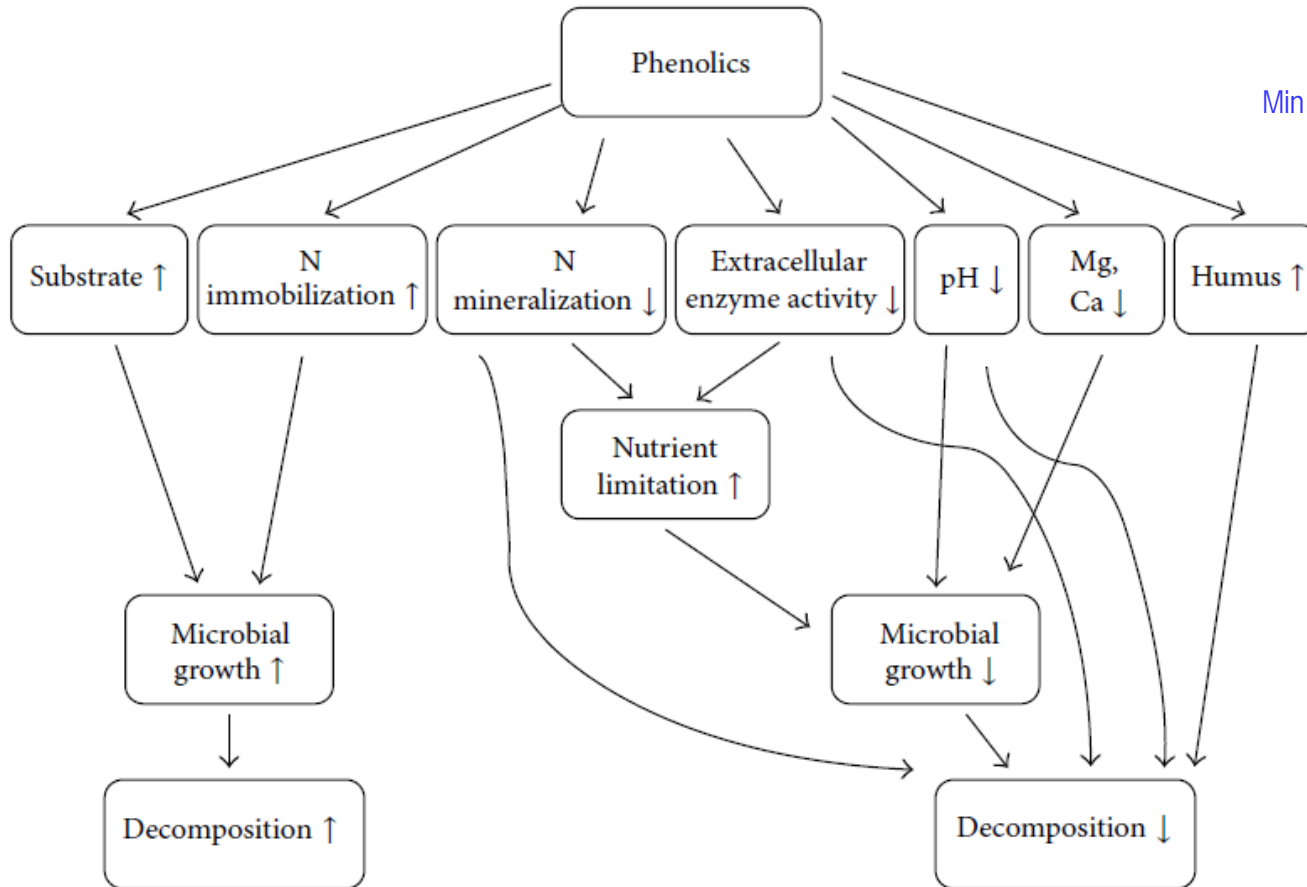
# Wie werden Pflanzenwurzeln vom Bodenumus beeinflusst?

- Wirkung von Phenolen auf Humusabbau



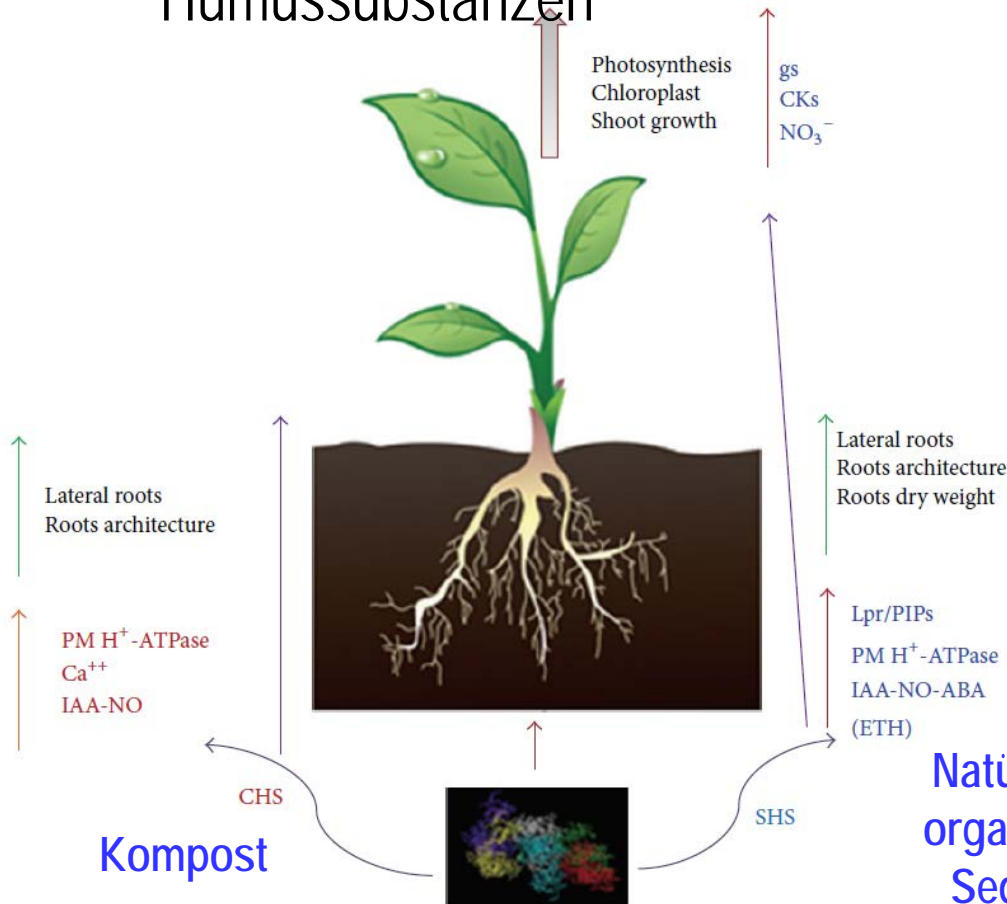
University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

Min et al. (2015): BioMed Research International  
Volume 2015, Article ID 825098, 11 pages



# Wie werden Pflanzenwurzeln vom Bodenhumus beeinflusst?

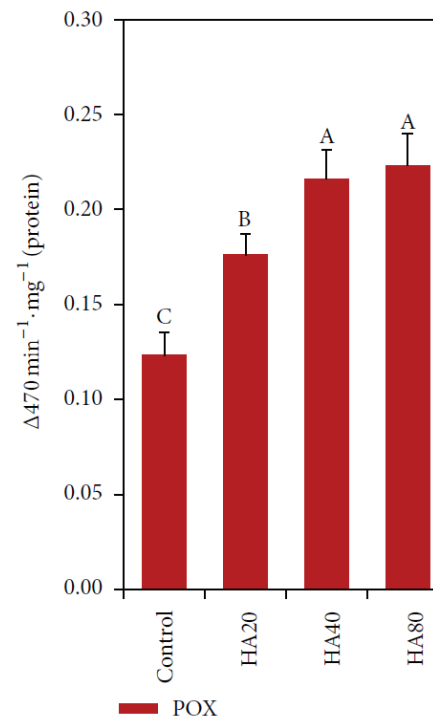
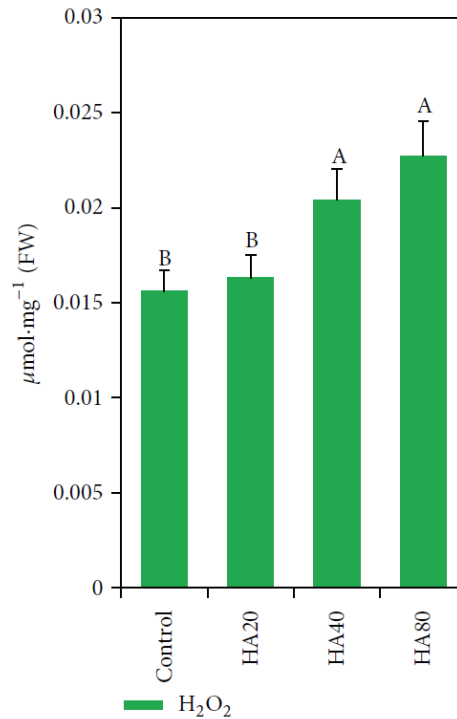
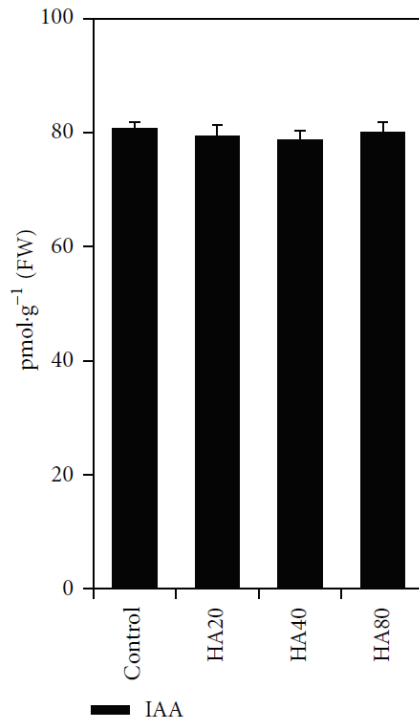
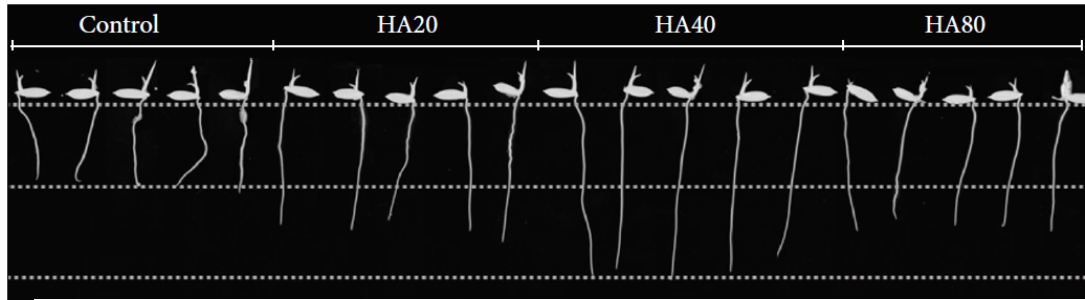
- Stimulation von Wurzel- und Pflanzenwachstum durch Humussubstanzen



- Stimulation von
  - Lateralem Wurzelwachstum
  - Verbesserte Wurzelarchitektur
- über metabolische Pfade:
  - Stimulation von H<sup>+</sup>-ATPase
  - Ca<sup>2+</sup> Transport
  - Signalpfade von
    - Auxin-Stickoxid (AUX-NO)
    - Auxin-Stickoxid Abszinsinsäure (AUX-NO-ABA)
  - Expression von Genen für Membran-Aquaporinen

# Wie werden Pflanzenwurzeln vom Bodenhumus beeinflusst?

García et al. (2016): BioMed  
Research International  
Article ID 3747501, 13 pages



- Beziehung zwischen Reiszurzeln und
  - Indol-3-Essigsäure (IAA)
  - Komponenten des Redoxsystems in der Wurzel (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)
  - Relativen Aktivität von Peroxidasen (POX)

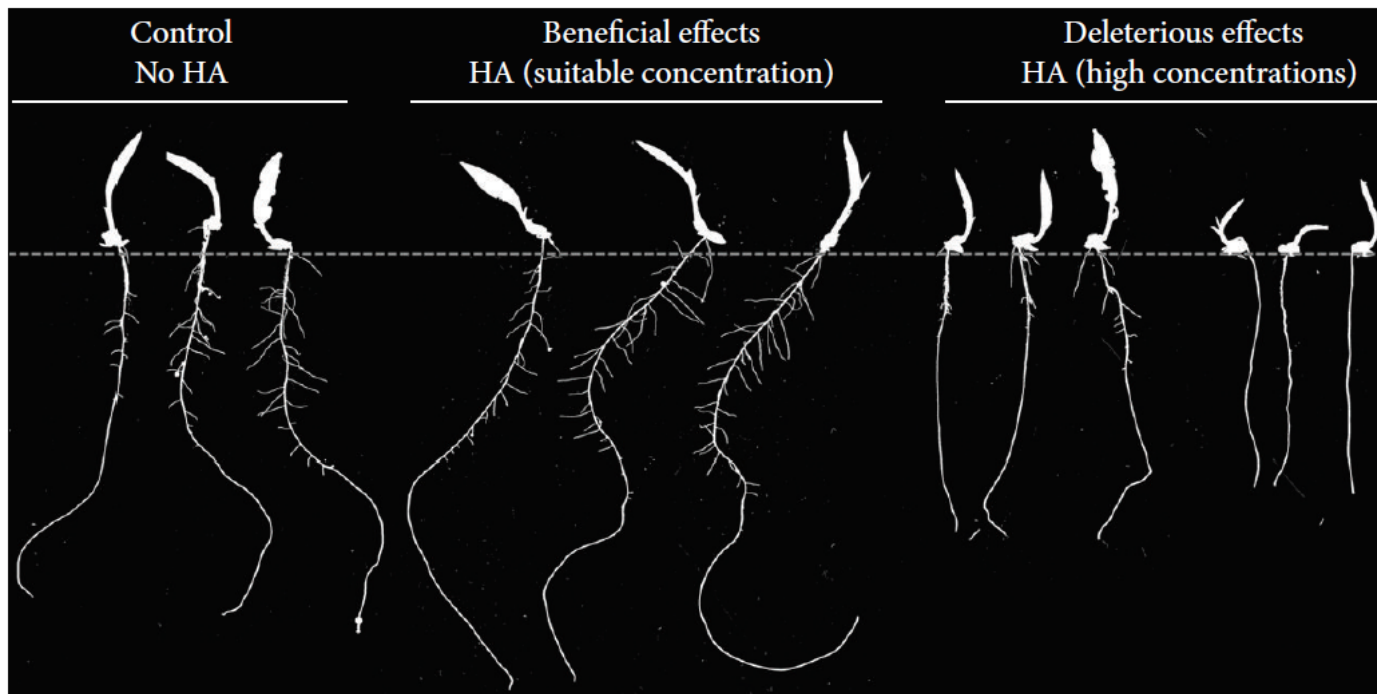
# Wie werden Pflanzenwurzeln vom Bodenumus beeinflusst?



University of Natural Resources  
and Life Sciences  
Department of Forest and Soil Sciences

- Einfluss von „Huminsäuren“ aus Stallmist-Vermikompost auf das Wurzelwachstum von *Brachiaria* (Süßgras)

García et al. (2016): BioMed  
Research International  
Volume 2016, Article ID  
3747501, 13 pages



# Kurz & Kernig (K&K)



**University of Natural Resources  
and Life Sciences**

Department of Forest and Soil Sciences

- Neue Humustheorie
- Bodenumus ist ein Multitalent
- Ein standortspezifisch ausreichender Humusgehalt ist wichtig für mannigfaltige Funktionen
- Kohlenstoffsequestrierung im Boden wird unser Klima nicht retten
- Ohne grundsätzliche Umstellung der Nutzungsart sind die Managementoptionen dafür sehr begrenzt
- Maximierung der C-Speicherung kann sich negativ auf die Fruchtbarkeit auswirken
- Management sollte (wieder) verstärkt auf C-Flüsse und wasserlösliche Anteile fokussieren
- Mannigfaltige positive Wirkungen auf Wurzel- und Pflanzenwachstum, Stressresistenz und Pathogen-Suppression