



## Bodenstruktur als Leitstelle – Was die Wasseraufnahmefähigkeit von Böden steuert

Prof. Dr. Stephan Peth

*Institut für Erdsystemwissenschaften  
Abteilung Bodenkunde  
AG Bodenbiophysik*

# Trockenheit und Nässe gab es schon immer... Aber die Extreme nehmen zu!!!

Entweder zu **trocken**

...oder zu **nass**

Futterernte in Biesentahl (Kreis Bernau)



Bundesarchiv, CC BY-SA 3.0 DE, Wikimedia Commons, Aufnahme vom 12.8.71

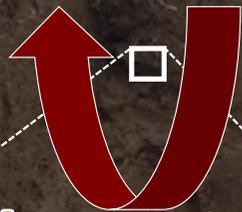
Überschwemmte Felder im Itzgrund (zwischen Hemmendorf und Lahm)



Reinhold Möller, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons, Aufnahme vom 9.1.22

# Bodenfunktion und Bodenarchitektur auf unterschiedlichen Skalen

60 – 120 GT a<sup>-1</sup>  
CO<sub>2</sub>



Aggregate

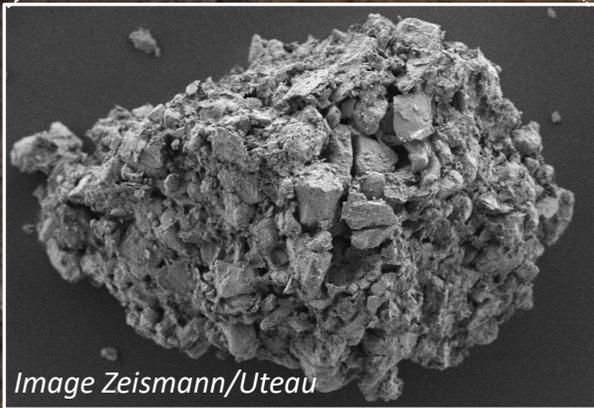
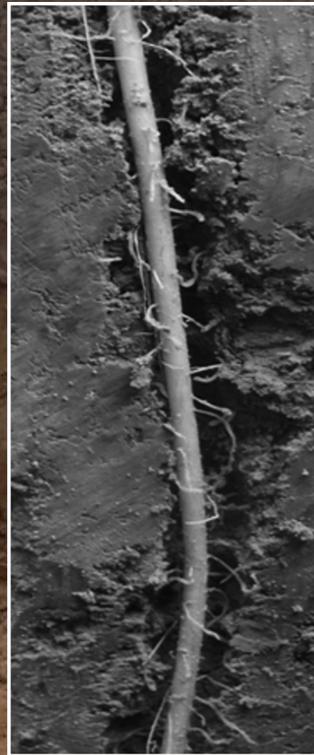
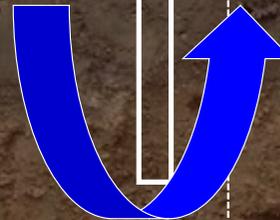


Image Zeismann/Uteau

Rhizosphäre



41.000 km<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>  
Wasser



Pedon





Wie sieht denn ein Schwammboden von innen aus?





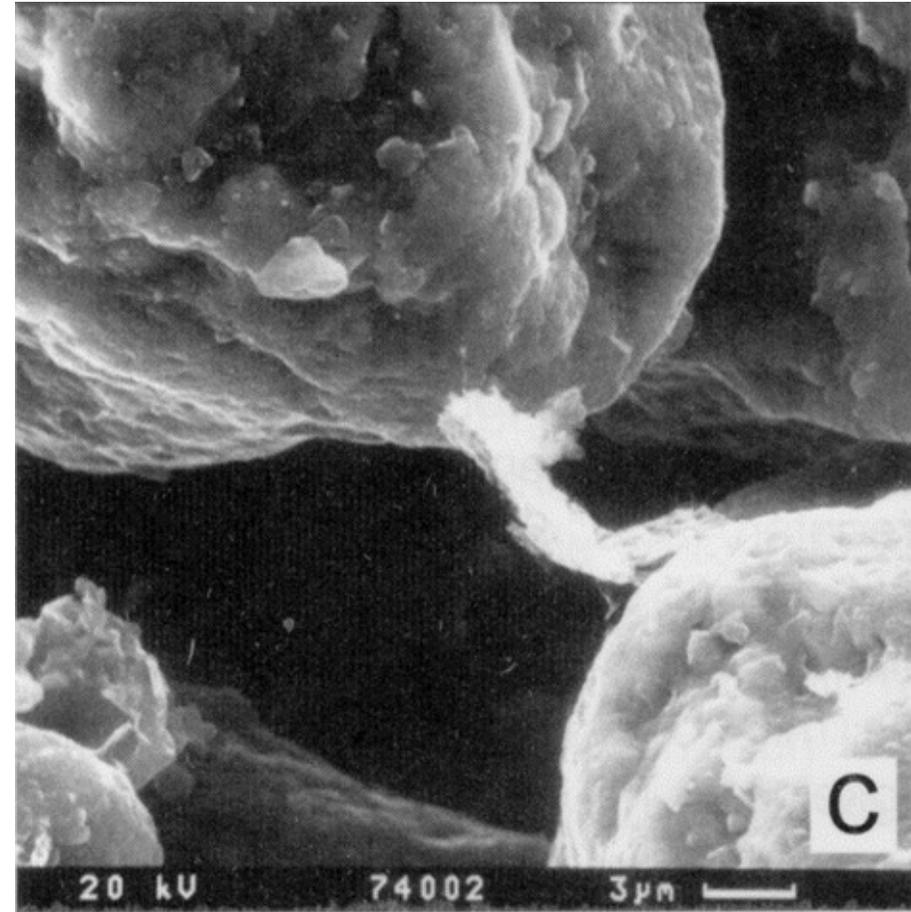
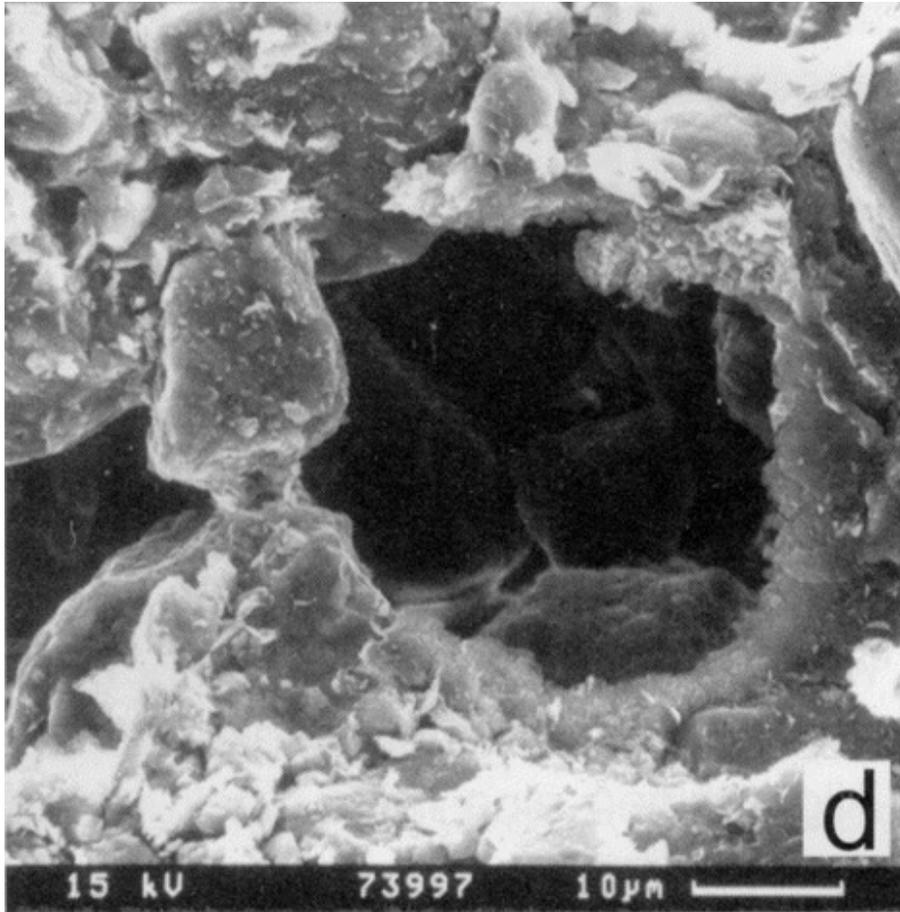
# Übersicht

- Wie entsteht Bodenstruktur?
- Welche Bedeutung hat sie für die Speicherfähigkeit und Infiltration von Wasser?
- Was können wir tun, um die Bildung von Bodenstruktur zu fördern und sie zu erhalten?



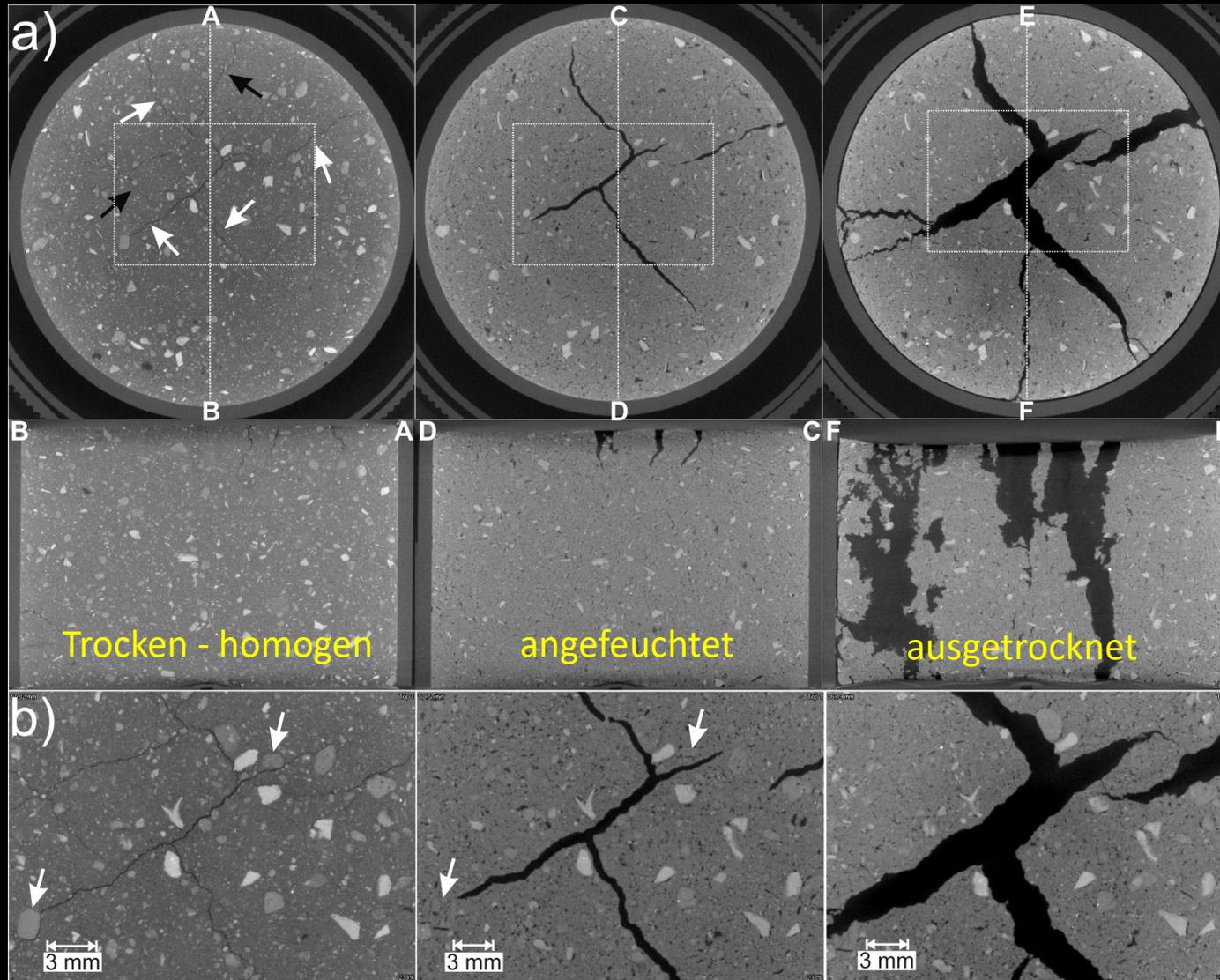
# Übersicht

- Wie entsteht Bodenstruktur?
- Welche Bedeutung hat sie für die Speicherfähigkeit und Infiltration von Wasser?
- Was können wir tun, um die Bildung von Bodenstruktur zu fördern und sie zu erhalten?

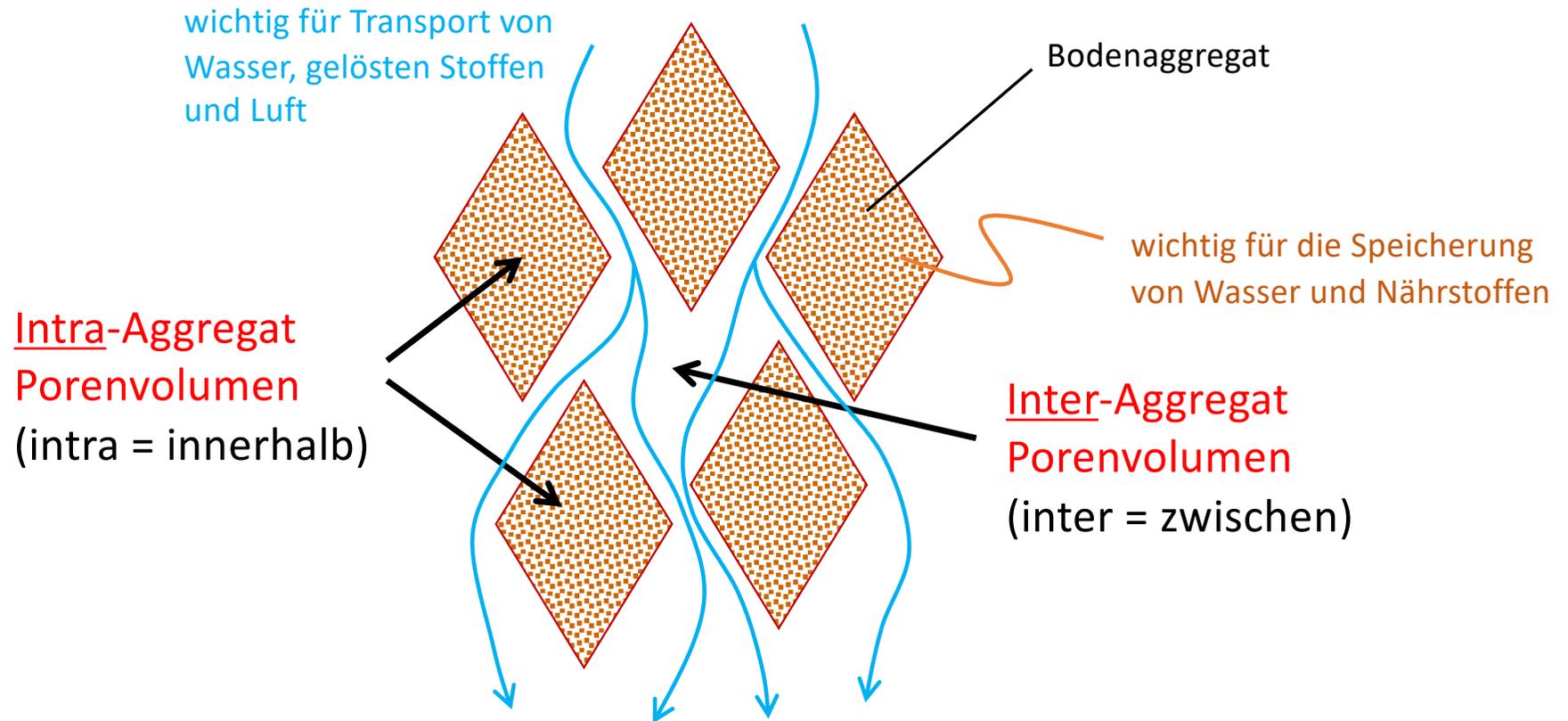


*Feeser et al. 2001*

# Bodenstruktur ist dynamisch



# Poren lassen sich in strukturierten Böden in zwei Bereiche unterscheiden

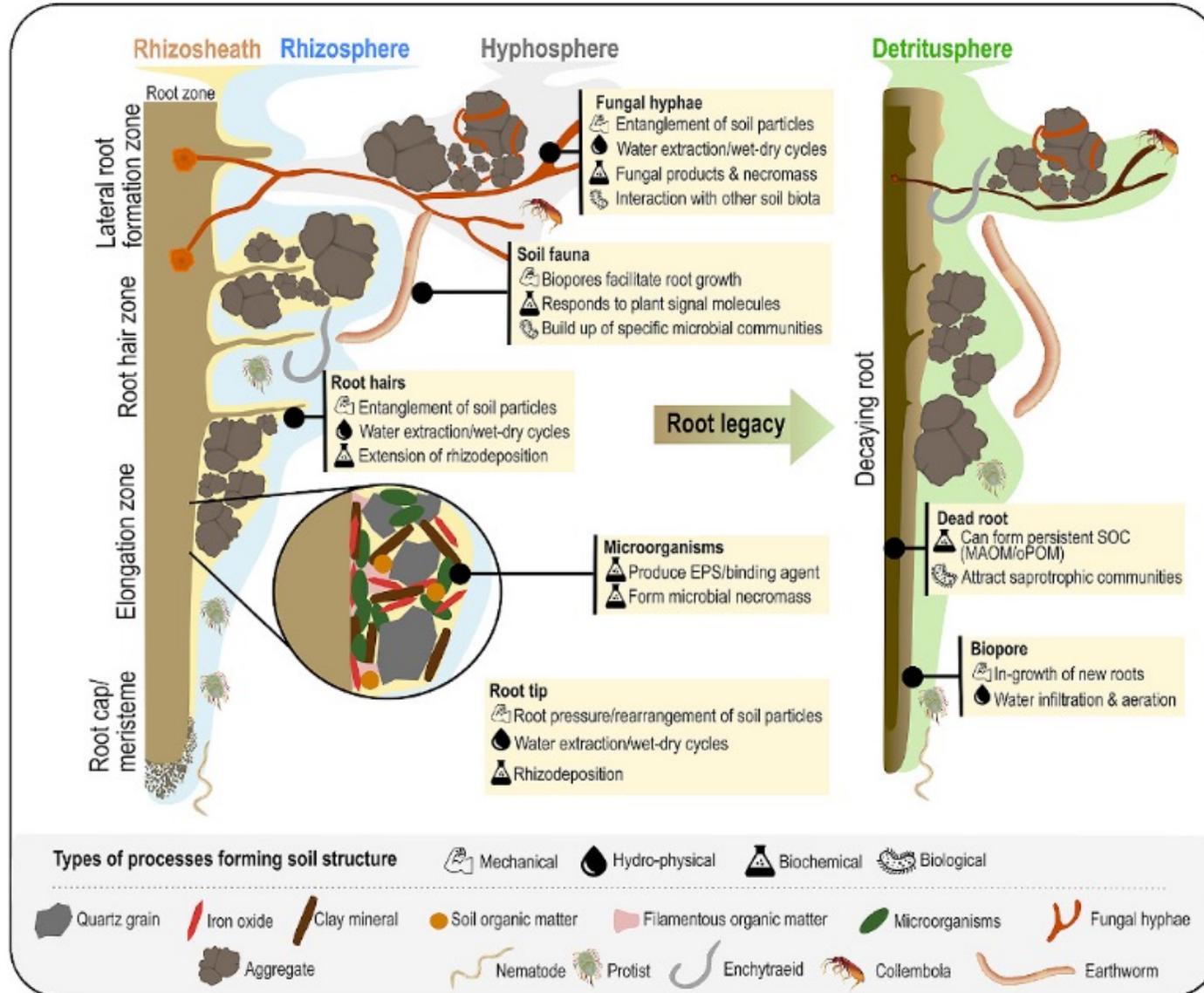




# Ursachen für die Gefügeentstehung

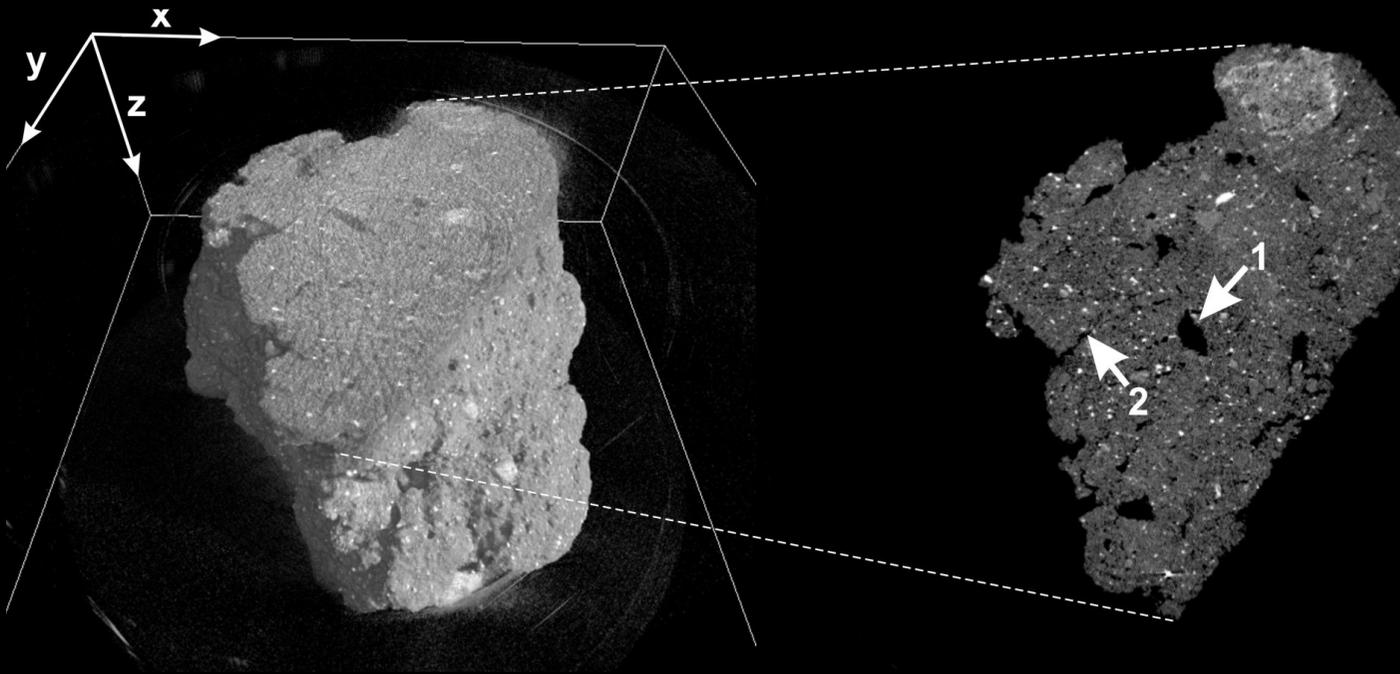
(das Bodengefüge wird häufig auch als **Bodenstruktur** bezeichnet)

- 1) **Quellen und Schrumpfen** – in tonhaltigen Böden durch wiederholtes Austrocknen und Wiederbefeuchten
- 2) **Frieren und Tauen** – Frostaufbrüche und horizontale Bodenpressung beim Gefrieren von Wasser durch Volumenausdehnung (+9 Vol.-%)
- 3) **Biologisch** – Durchporung (z.B. Regenwürmer, Wurzeln) und Vermischung/Verklebung von mineralischer und organischer Substanz (Abbauprodukte von Mikroorganismen und Ausscheidungsprodukte von Bodentieren)
- 4) **Chemisch** – durch Ausfällung und Verkittung von Bodenteilchen
- 5) **Mechanisch** – durch Bruch und Scherung z.B. bei der Bodenbearbeitung

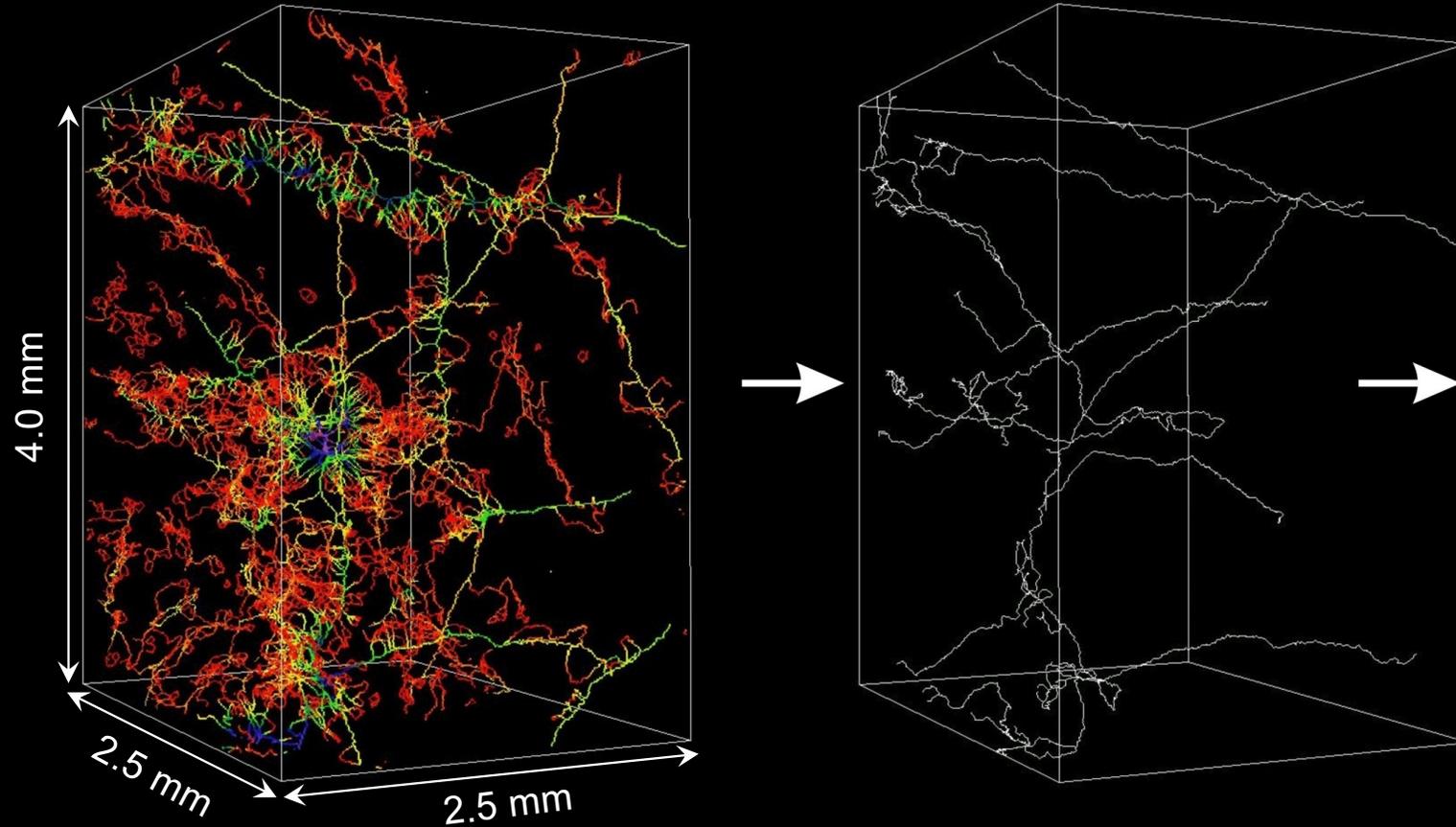


## Porenräume sind 3-dimensional vernetzt

(Röntgen-CT Aufnahme eines 5mm Bodenaggregates)



# 3D-Porennetzwerk in einem 5 mm Bodenaggregat



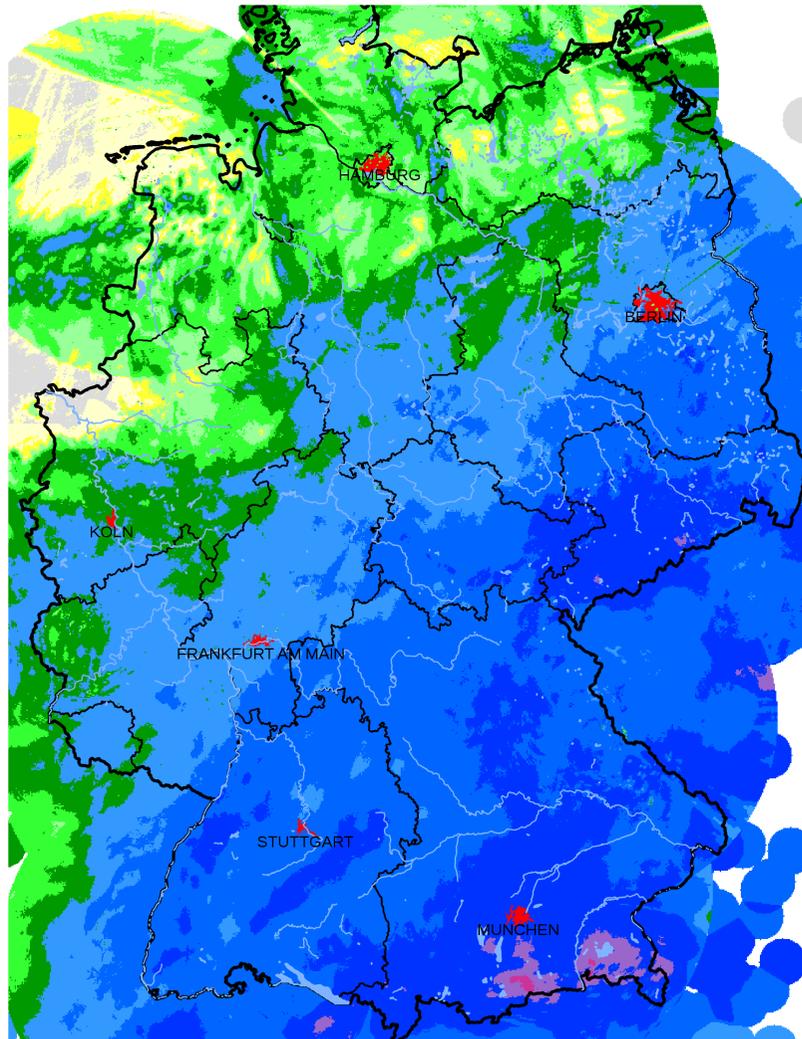


# Übersicht

- Wie entsteht Bodenstruktur?
- Welche Bedeutung hat sie für die Speicherfähigkeit und Infiltration von Wasser?
- Was können wir tun, um die Bildung von Bodenstruktur zu fördern und sie zu erhalten?



# Niederschlagsverteilung bei der Flut 2013



Deutscher Wetterdienst  
Wetter und Klima aus einer Hand



## Legende

Wochensumme bis 03.06.2013, 06 UTC

- 0
- >0 bis 1,0
- >1,0 bis 2,0
- >2,0 bis 5,0
- >5,0 bis 10,0
- >10,0 bis 20,0
- >20,0 bis 50,0
- >50,0 bis 100,0
- >100,0 bis 200,0
- >200,0 bis 300,0
- >300,0

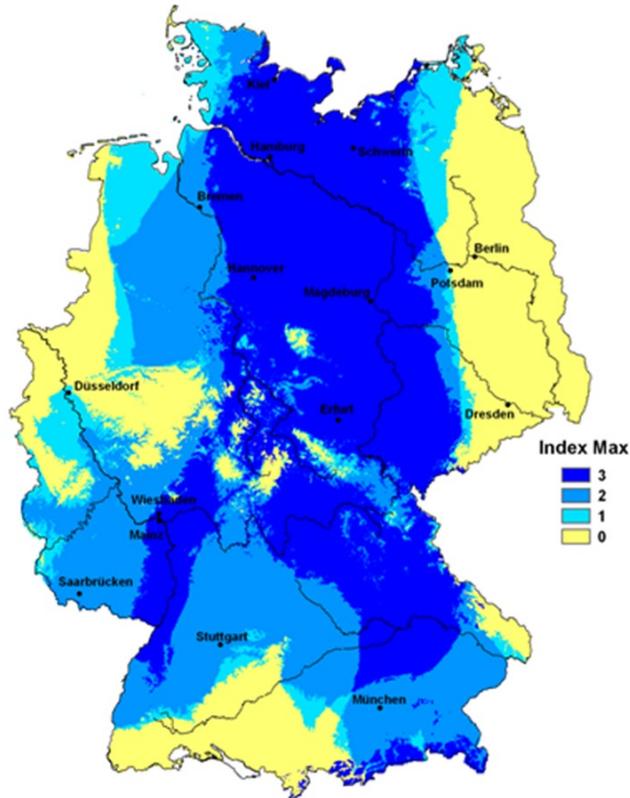
in mm

0 100 km

(c) DWD-Hydrometeorologie, 2013

# Bodenfeuchteverteilung bei der Flut 2013

Extremwerte der Bodenfeuchte am 26.05.2013

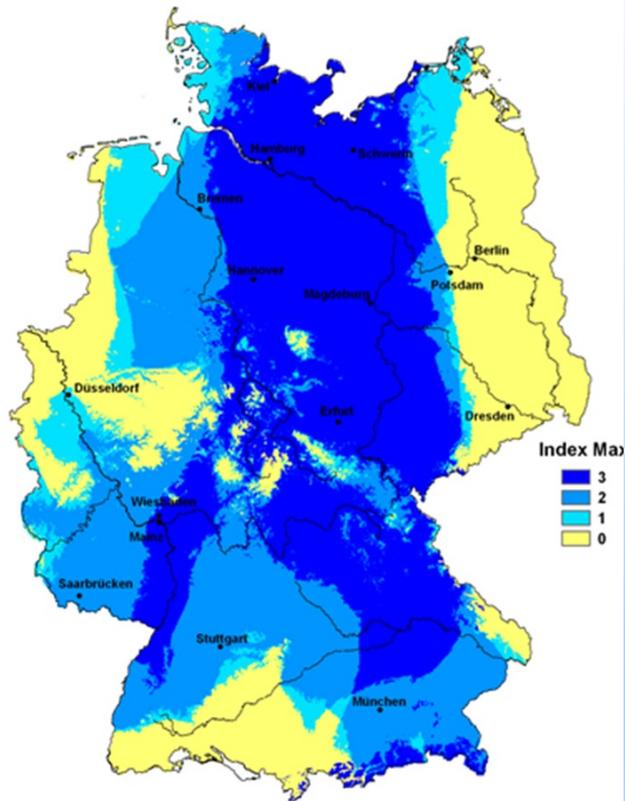


**Schröter et al. 2015:** ... insbesondere das Zusammenspiel von Ereignisniederschlägen und nassen Einzugsgebieten innerhalb einer großflächigen Überlagerung erweist sich als Schlüsselfaktor für die außergewöhnliche hydrologische Schwere des Juni-Hochwassers 2013 ...

- 0 – kein Maximum überschritten
- 1 – der dritthöchste Bodenfeuchtwert wird überschritten
- 2 – der zweithöchste Bodenfeuchtwert wird überschritten
- 3 – der höchste Bodenfeuchtwert wird überschritten – neues absolutes Maximum

Quelle: DWD

# Bodenfeuchteverteilung bei der Flut 2013



Quelle: DWD

Wieviel mehr Wasser kann man im Boden speichern wenn wir ca. 5% mehr Porenvolumen haben?

Die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland beträgt:  
= 166.673.000.000 m<sup>2</sup>

Geteilt durch 2, da nur ca. ½ der Fläche betroffen war  
= 83.336.500.000 m<sup>2</sup>

Nehmen wir eine Bodentiefe von ca. 50 cm an:

→  $0.5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times 0.05 = 25 \text{ Ltr.} / \text{m}^2$

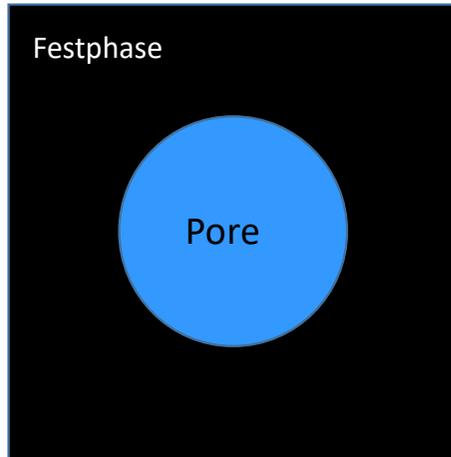
→  $83.336.500.000 \text{ m}^2 \times 25 \text{ Ltr./m}^2 =$

**2.083.412.500.000 Ltr. höherer Wasserspeicher**

-----  
**22.750.000.000.000 Ltr. Niederschlag**



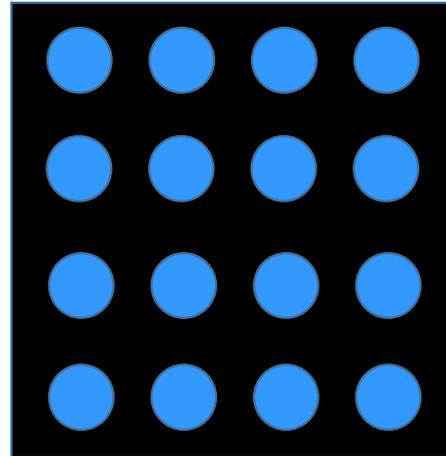
# Einfluss der Porenraumverteilung auf die Wasserleitfähigkeit



**Porosität** = 20 %  
Porenradius = 1,8 mm

Annahme:  
Länge der Pore = 1 m  
Hydr. Potenzial = 1 m WS

**Durchflussrate** = 138 l/h



**Porosität** = 20 %  
Radius der Einzelpore = 0,5 mm

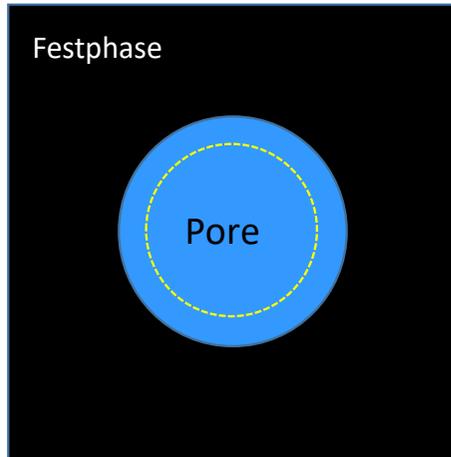
Annahme:  
Länge der Poren = 1 m  
Hydr. Potenzial = 1 m WS

**Durchflussrate** = 14,1 l/h (für alle 16 Poren)

Hagen-Poiseuille'sches  
Gesetz:

$$q = \frac{r^4 \pi}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$$

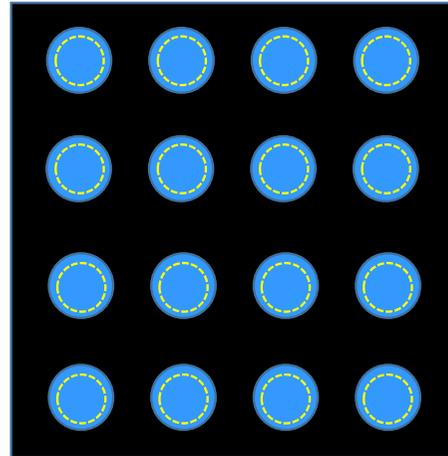
# Einfluss der Porenraumverteilung auf die Wasserleitfähigkeit



**Porosität** = 20 %  
 Porenradius = 1,8 mm  
**PV reduziert um 5 %**

Annahme:  
 Länge der Pore = 1 m  
 Hydr. Potenzial = 1 m WS

**Durchflussrate** = 138 l/h  
**bei 15 % PV = 82 l/h**



**Porosität** = 20 %  
 Radius der Einzelpore = 0,5 mm  
**PV reduziert um 5 %**

Annahme:  
 Länge der Pore = 1 m  
 Hydr. Potenzial = 1 m WS

**Durchflussrate** = 14,1 l/h (für alle 16 Poren)  
**bei 15 % PV = 7,6 l/h**

Hagen-Poiseuille

$$q = \frac{r^4 \pi}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$$

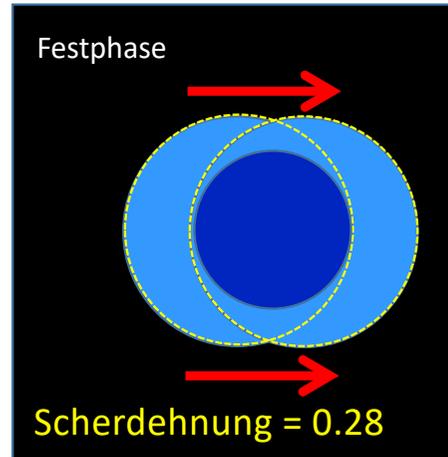
# Einfluss der Porenraumverteilung auf die Wasserleitfähigkeit



**PV** = 20 %  
Porenradius = 1,8 mm

Annahme:  
Länge der Pore = 1 m  
Hydr. Potenzial = 1 m WS

**Flussrate** = 145 l/h



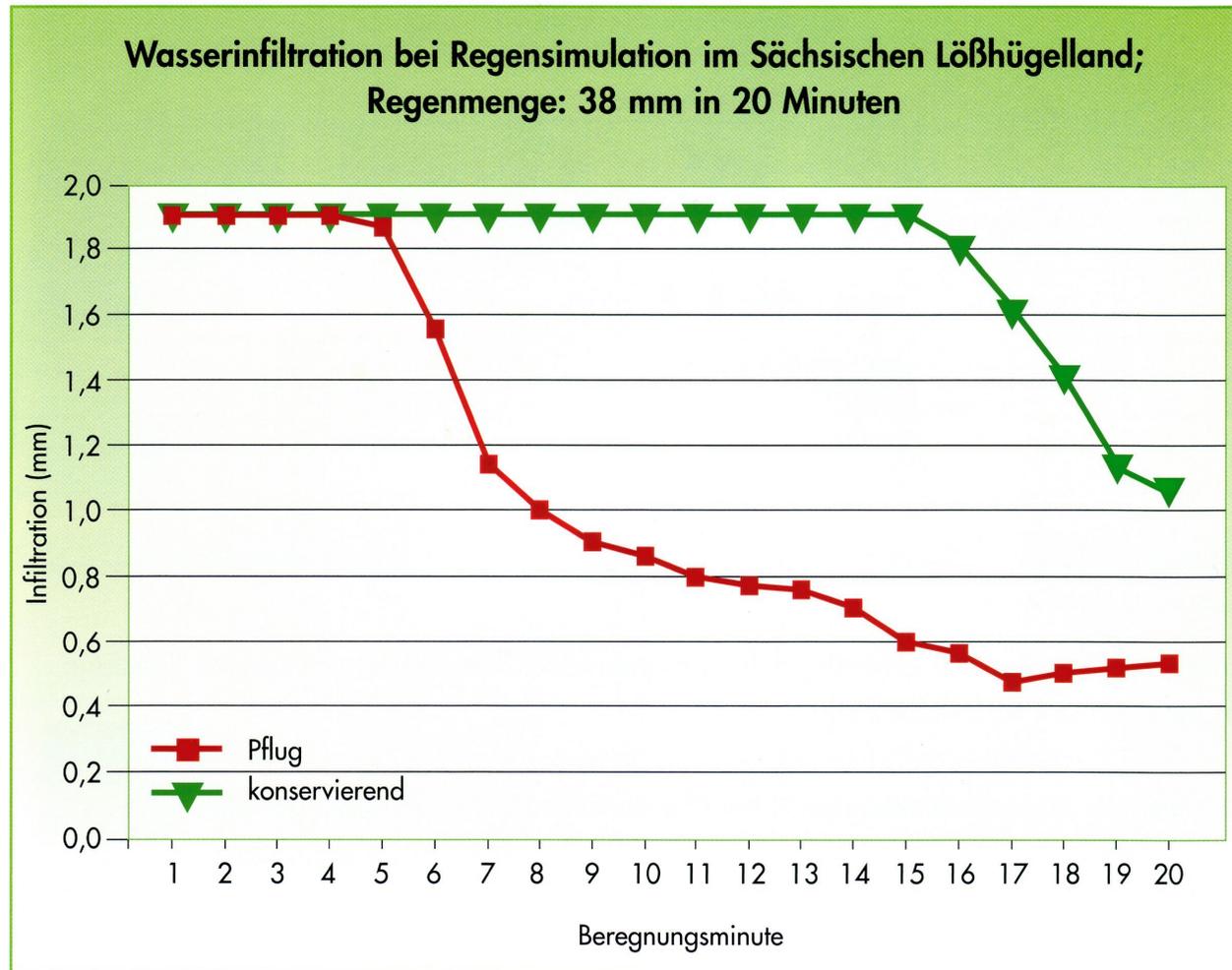
**PV** = 20 %  
Radius der Einzelpore nach Scherung = 1,24 mm

Annahme:  
Länge der Pore = 1 m  
Hydr. Potenzial = 1 m WS

**Flussrate** = 32,7 l/h

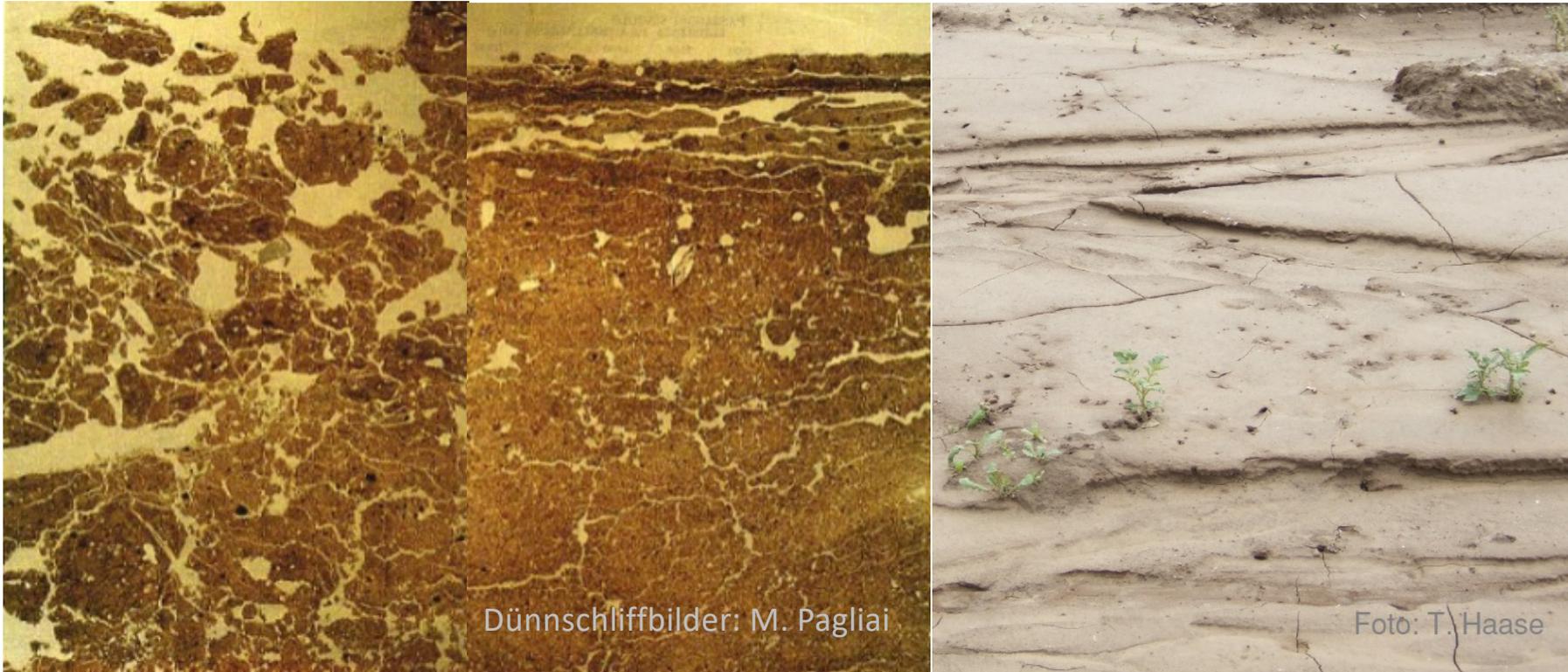
Hagen-Poiseuille

$$q = \frac{r^4 \pi}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$$



Quelle: (Schmidt 2003, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig)

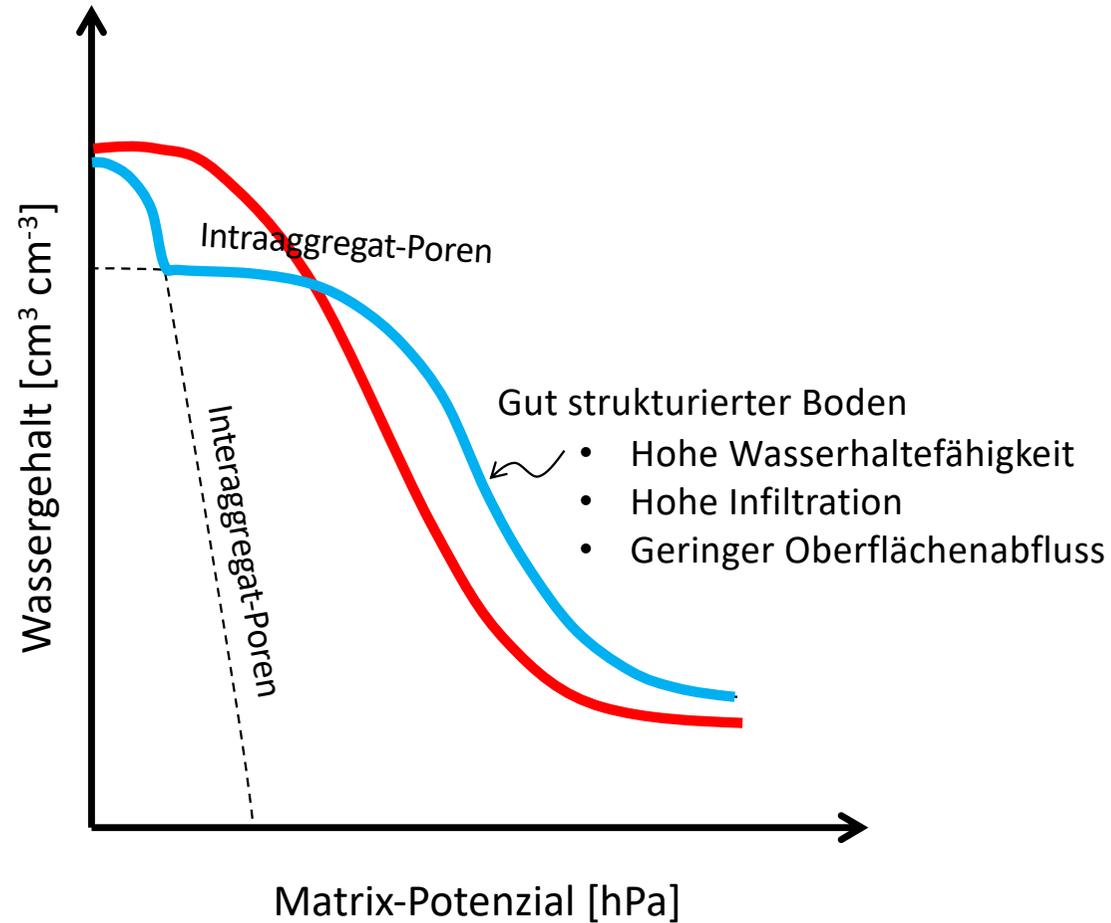
# Die Beschaffenheit der Oberfläche ist ein kritischer Faktor





# Übersicht

- Wie entsteht Bodenstruktur?
- Welche Bedeutung hat sie für die Speicherfähigkeit und Infiltration von Wasser?
- Was können wir tun, um die Bildung von Bodenstruktur zu fördern und sie zu erhalten?

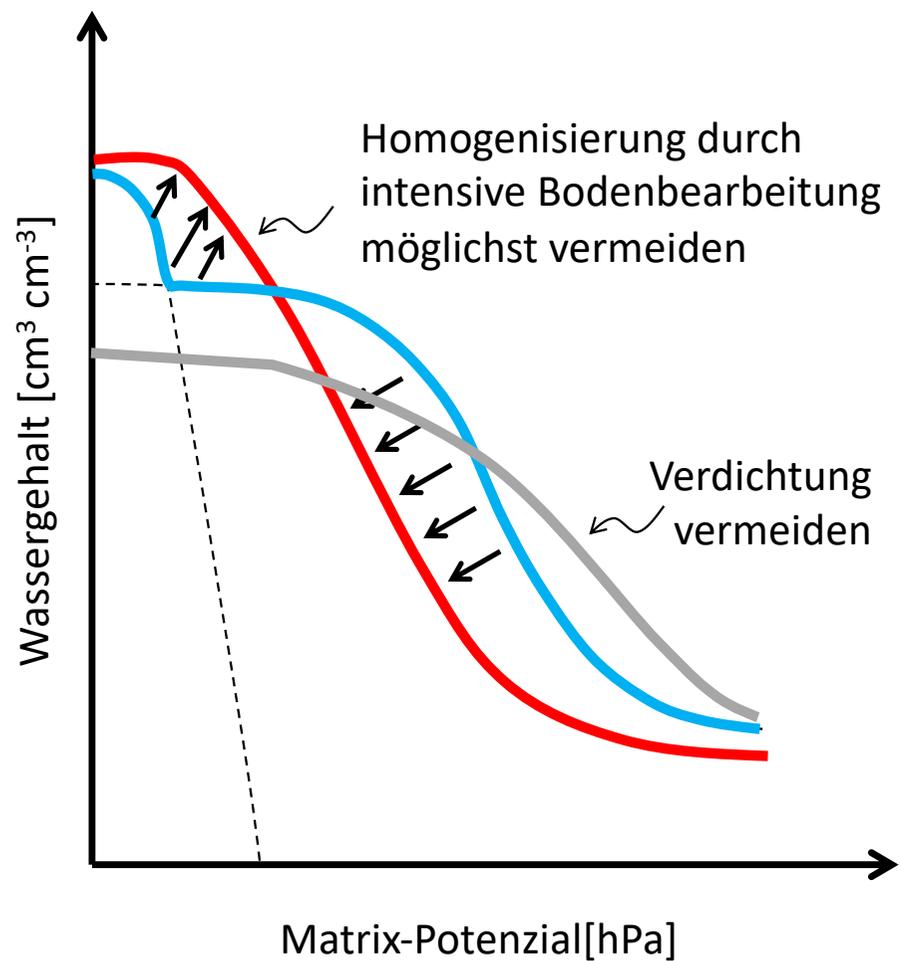


## Zwei Porendomänen

- Interaggregat-Poren → Infiltration
- Intraaggregat-Poren → Speicherfunktion



# Einfluss der Porenraumverteilung auf Schwammeigenschaften

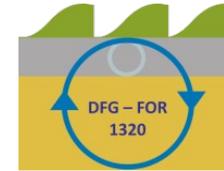


Jonathan Billinger, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons

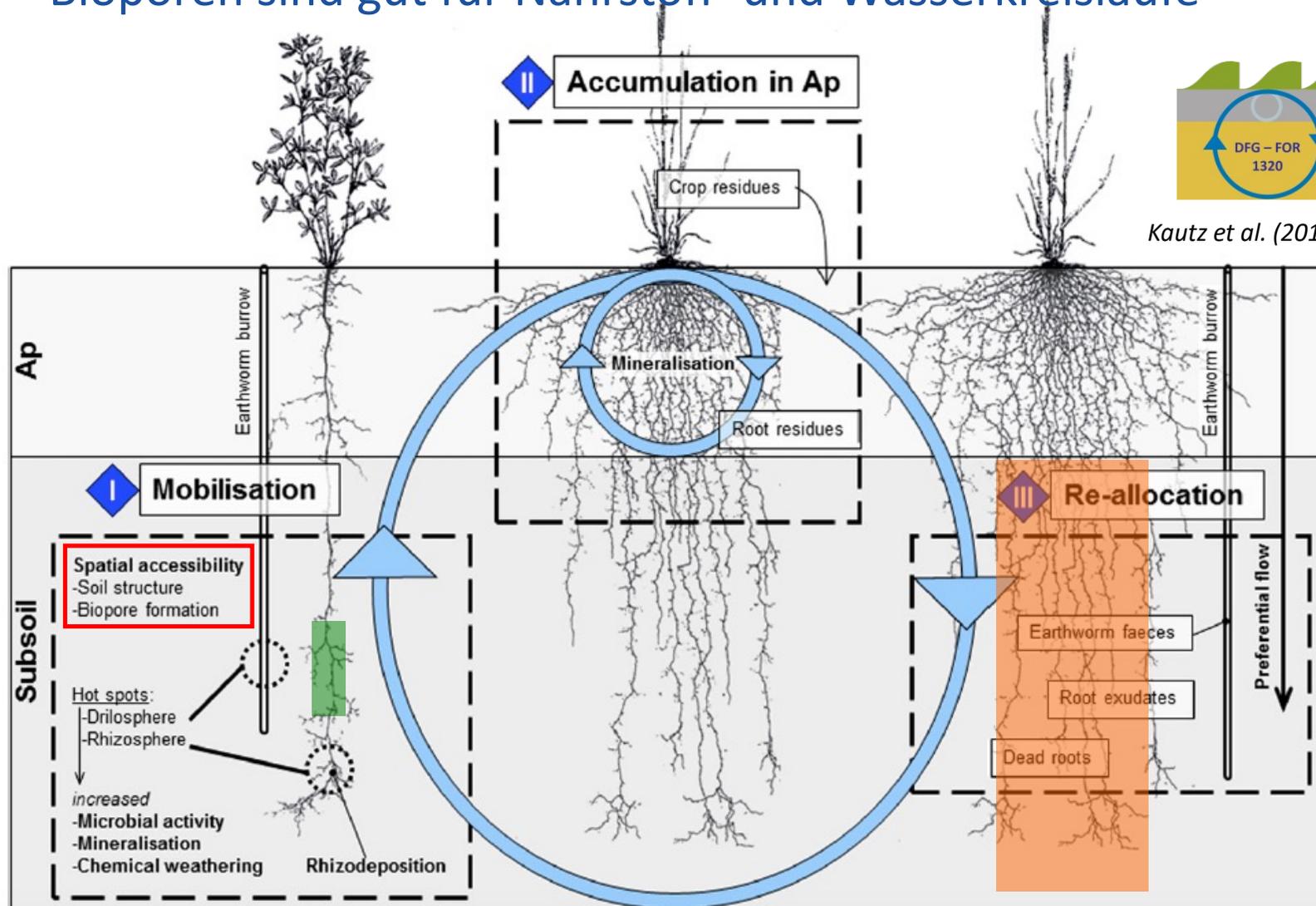


Volker Prasuhn, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons

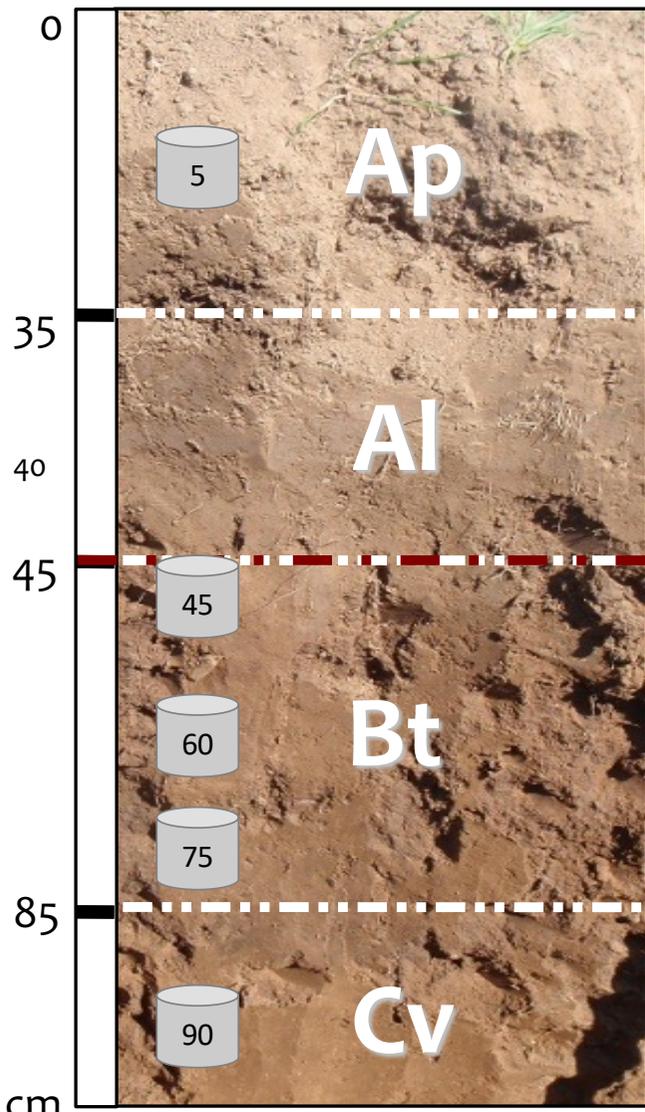
# Bioporen sind gut für Nährstoff- und Wasserkreisläufe



Kautz et al. (2013). SBB 57: 1003-1022



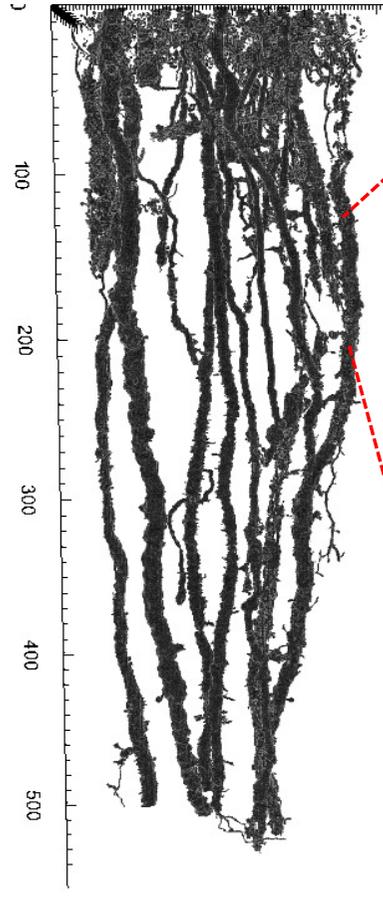
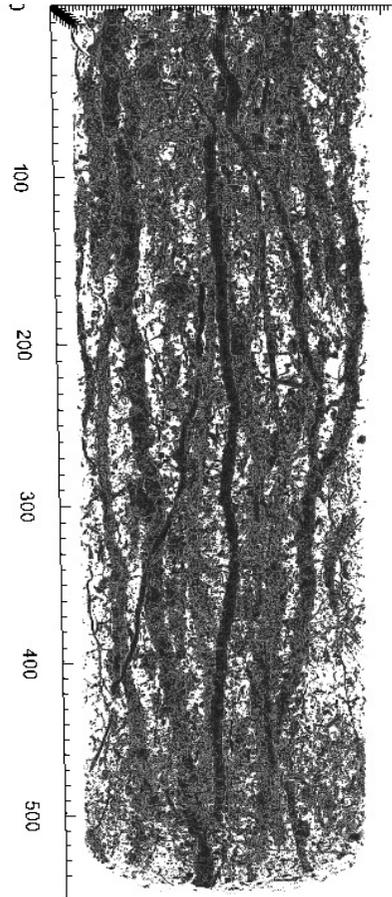
# Bioporen sind gut für Nährstoff- und Wasserkreisläufe



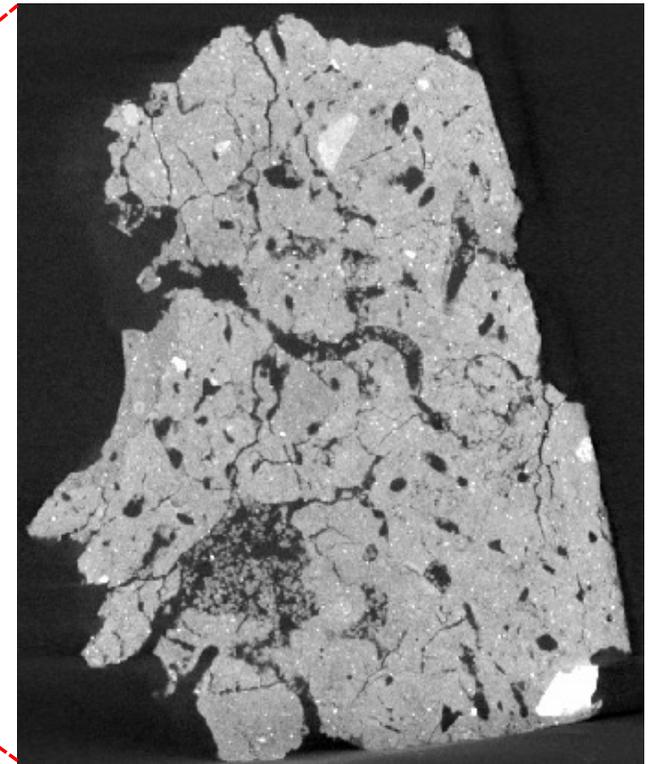
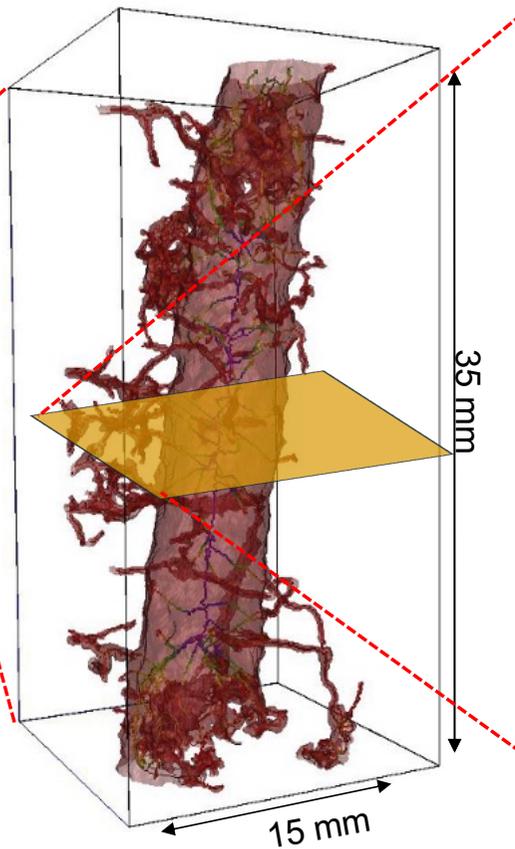
1, 2 and 3 years cultivation



## Bioporennetzwerk Luzerne

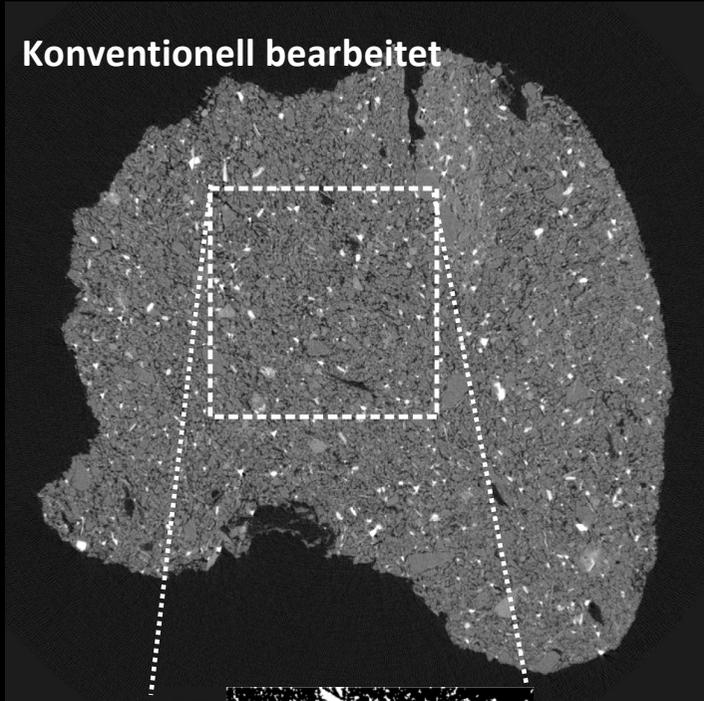


## Porennetzwerk in der Rhizosphäre

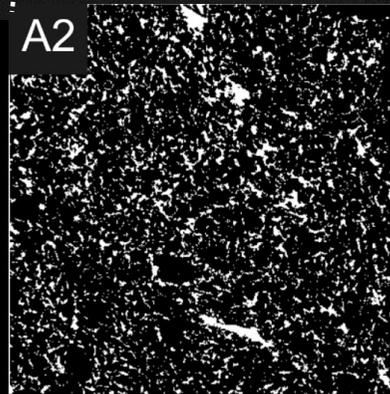


# Bioporen sind gut für Nährstoff- und Wasserkreisläufe

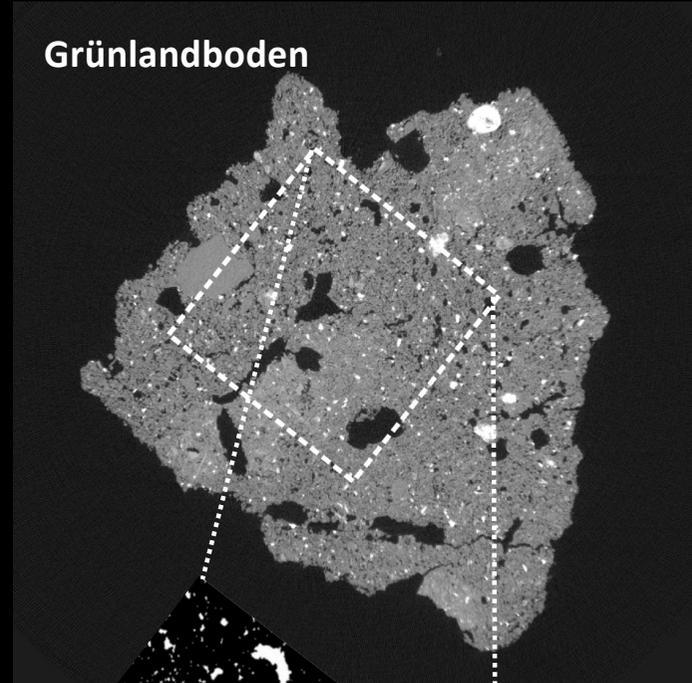
Konventionell bearbeitet



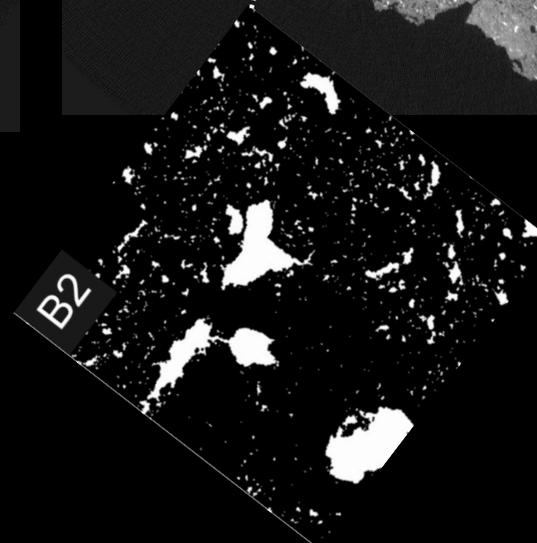
A2



Grünlandboden



B2





## Fazit

- Die Bodenstruktur hat eine herausragende Bedeutung für die Aufnahmefähigkeit, Speicherung und Infiltrationsleistung von Wasser
- Das Zusammenspiel von Bodenbiologie, -physik und -chemie führt zum Gefügebau → wichtig für eine Vielzahl von Bodenfunktionen
- Förderung der Bodenstrukturbildung und -stabilisierung durch Wurzelwachstum, Humusaufbau und vor allem Bodenruhe (Reduzierung von Bodendruck und Bodenbearbeitung) macht Böden resilienter gegenüber Trockenheit, Staunässe und Erosion

**Bodenschutz ist Hochwasserschutz!**



# Wie Wassertropfen den Boden verändern



INES REINISCH | DESIGN & FILM

IHRE PARTNERIN FÜR  
FILMISCHEN WISSENSTRANSFER

DOKUMENTARFILM  
WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION  
ÖKOLOGISCHE LANDWIRTSCHAFT  
MEERESWISSENSCHAFTEN

[WWW.INESREINISCH.DE](http://WWW.INESREINISCH.DE)





# Quellenangaben

Feeser, V., Koch, A. & Peth, S. 2001. Ingenieurgeologische Probleme bei Gründungen in Löß. *Meyniana*, 53, 31–49.

Kautz, T., Amelung, W., Ewert, F., Gaiser, T., Horn, R., Jahn, R., Javaux, M., Kemna, A., Kuzyakov, Y., Munch, J.-C., Pätzold, S., Peth, S., Scherer, H.W., Schloter, M., Schneider, H., Vanderborght, J., Vetterlein, D., Walter, A., Wiesenberg, G.L.B. & Köpke, U. 2013. Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 1003–1022. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.09.014>

Mueller, C.W., Baumert, V., Carminati, A., Germon, A., Holz, M., Kögel-Knabner, I., Peth, S., Schlüter, S., Uteau, D., Vetterlein, D., Teixeira, P. & Vidal, A. 2024. From rhizosphere to detritosphere – Soil structure formation driven by plant roots and the interactions with soil biota. *Soil Biology and Biochemistry*, **193**, 109396. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109396>

Peth, S., Horn, R., Beckmann, F., Donath, T., Fischer, J. & Smucker, A.J.M. 2008. Three-Dimensional Quantification of Intra-Aggregate Pore-Space Features using Synchrotron-Radiation-Based Microtomography. *Soil Science Society of America Journal*, **72**, 897–907. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0130>

Peth, S. 2010. Applications of Microtomography in Soils and Sediments. In: *Synchrotron-based techniques in soils and sediments* (eds. Singh, B. & Gräfe, M.), pp. 73–101. Elsevier.

Peth, S., Nellesen, J., Fischer, G., Tillmann, W. & Horn, R. 2013. Dynamics of soil macropore networks in response to hydraulic and mechanical stresses investigated by x-ray microtomography. In: *Quantifying and Modeling Soil Structure Dynamics*, pp. 121–154. Soil Science Society of America, Madison. <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel3.c6>

Rogger M., Agnoletti M., Alaoui A., Bathurst J. C., Bodner G., Borga M., Chaplot V., Gallart F., Glatzel G., Hall J., Holden J., Holko L., Horn R., Kiss A., Kohnová S., Leitinger G., Lennartz B., Parajka J., Perdigão R., Peth S., Plavcová L., Quinton J. N., Robinson M., Salinas J. L., Santoro A., Szolgay J., Tron S., van den Akker J. J. H., Viglione A., & Blöschl G. 2017. Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resources Research*, **53**, 5209–5219. <https://doi.org/10.1002/2017WR020723>

Schröter, K., Kunz, M., Elmer, F., Mühr, B. & Merz, B. 2015. What made the June 2013 flood in Germany an exceptional event? A hydro-meteorological evaluation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **19**, 309–327. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/309/2015/>

Schmidt 2003. Pflanzenbauliche Maßnahmen zur umweltgerechten Bewirtschaftung – Bodenbearbeitung und Düngung. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen. (Vortrag): [https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Vortrag\\_Dr.\\_Walter\\_Schmidt.pdf](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Vortrag_Dr._Walter_Schmidt.pdf)