



Bodenstruktur – die funktionelle Architektur des Bodens

Thomas Keller^{1,2} und Peter Weiskopf¹

¹Agroscope, Forschungsbereich Agrarökologie & Umwelt, Zürich, Schweiz
(E-mail: thomas.keller@agroscope.admin.ch)

²Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil & Environment, Uppsala, Sweden

Was ist Bodenstruktur?



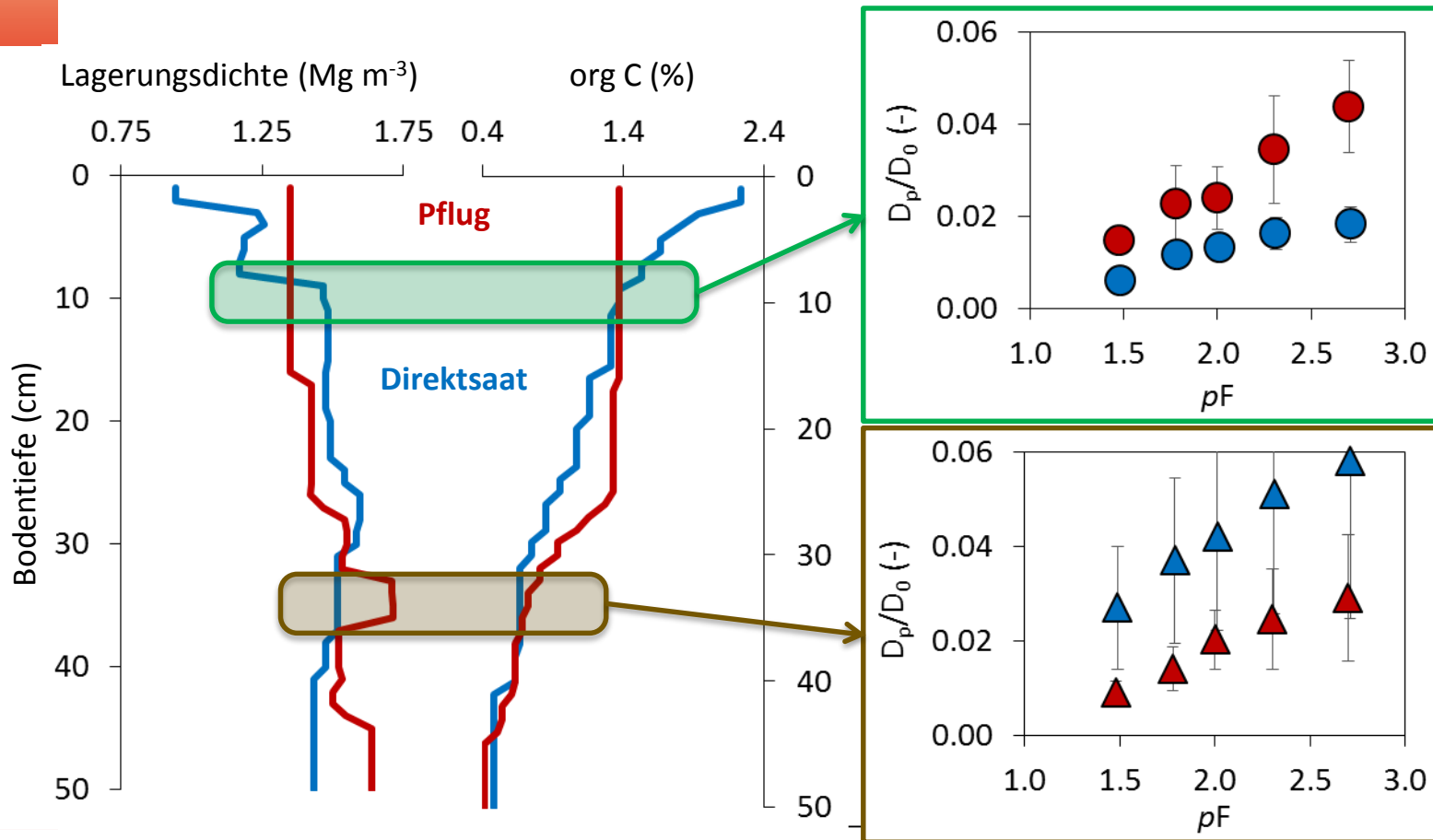
Photo: Gaby Brändle Agroscope, Switzerland

Was ist Bodenstruktur?

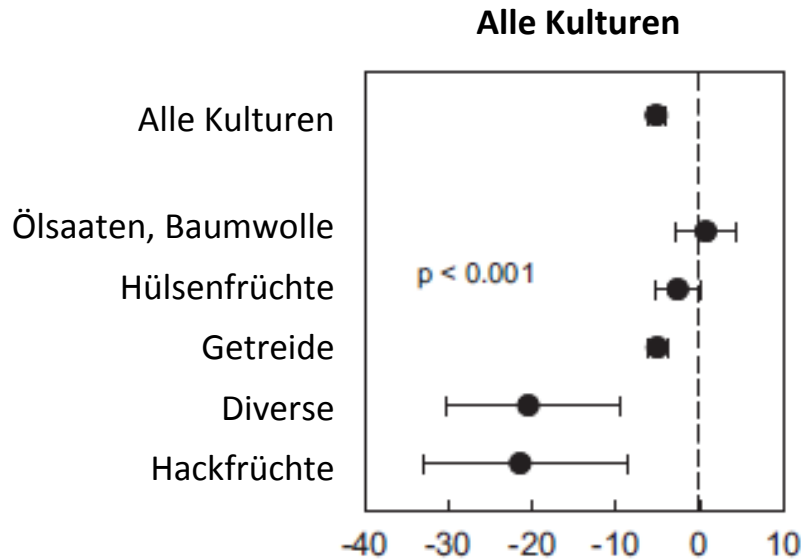


Photo: Bettina Marbot, Agridea, Switzerland

Beispiel: Bodenstruktur und funktionale Eigenschaften nach 20 Jahren Direktsaat und Pflug

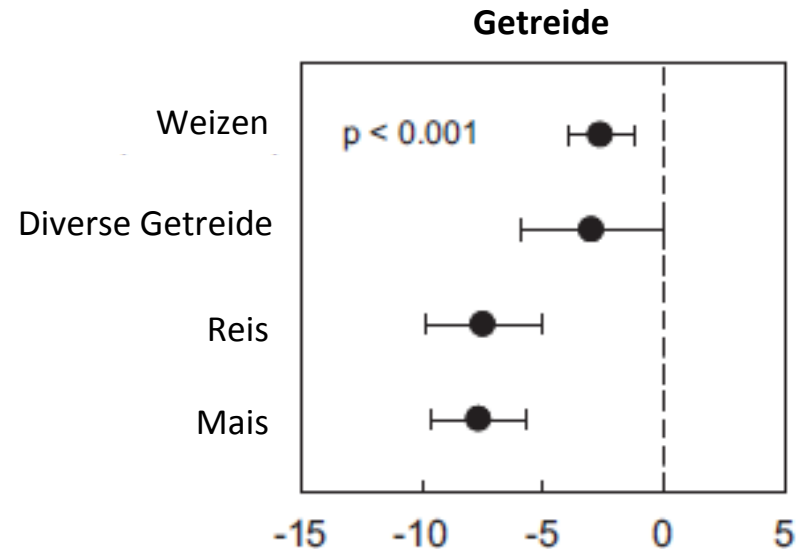


Ertrag von verschiedenen Kulturen: Direktsaat vs. konventionelle Bodenbearbeitung (Meta-Studie)



Ertragseinbusse
Direktsaat (%)

Ertrag konventionelle
Bodenbearbeitung



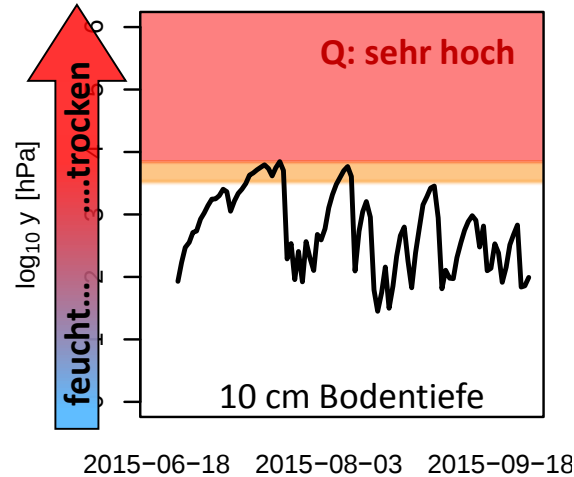
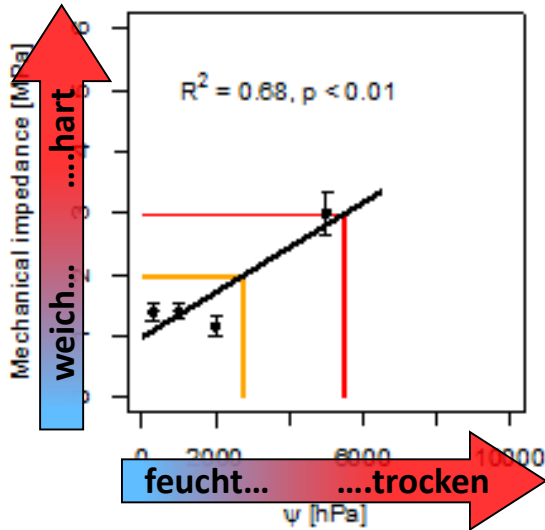
Ertragseinbusse
Direktsaat (%)

Ertrag konventionelle
Bodenbearbeitung

Wenn wir den Boden verdichten...

Colombi *et al.* 2018 *Science of the Total Environment* In press.

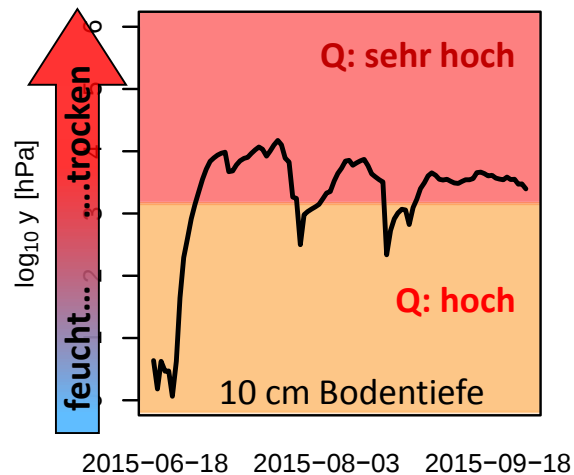
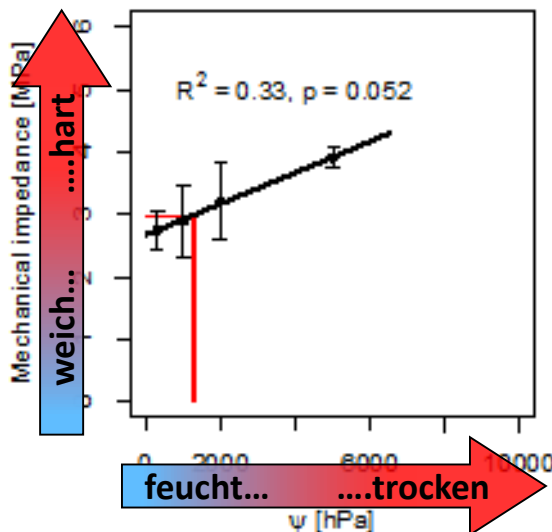
Unverdichtet:



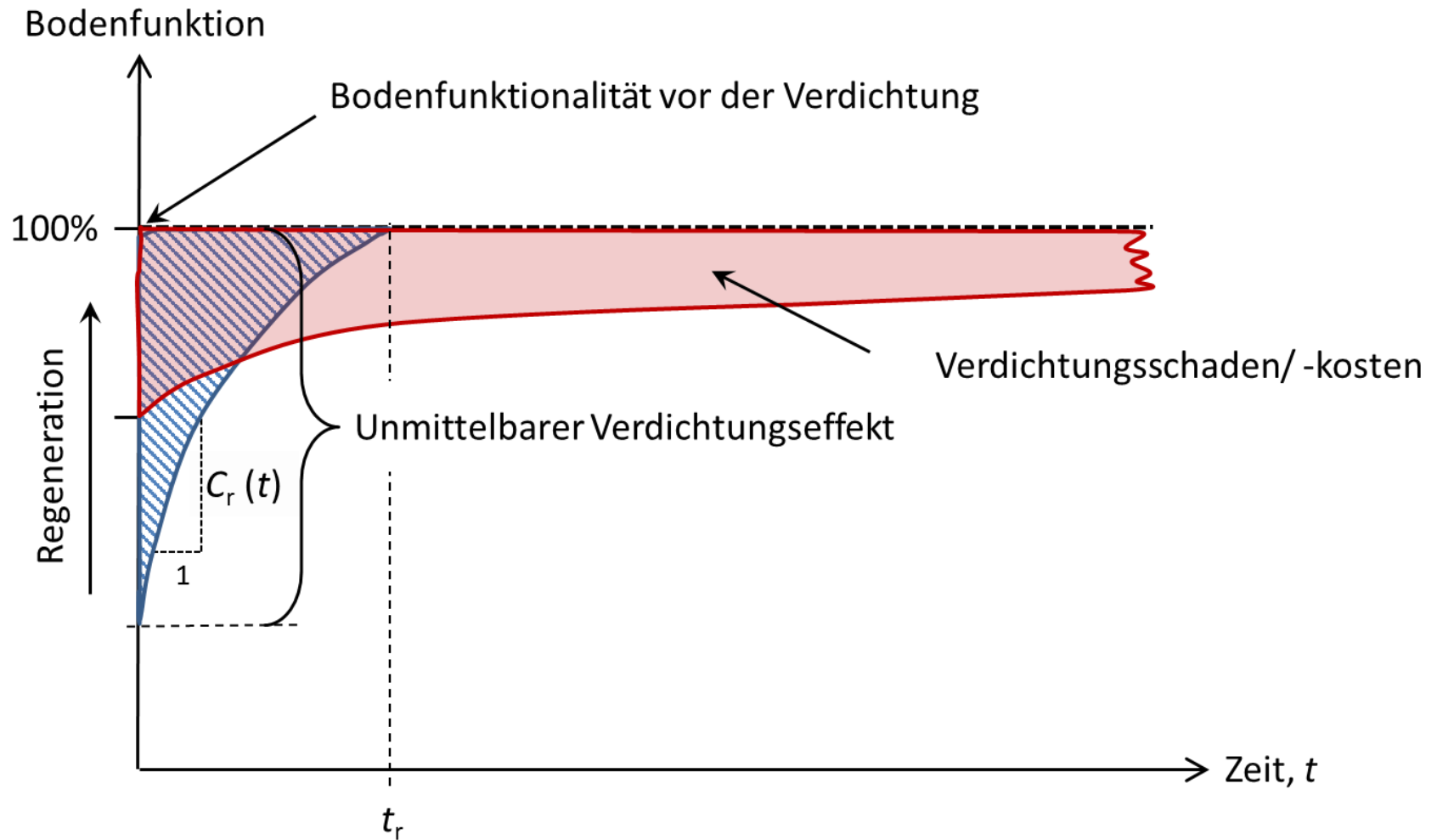
Q = mechanischer Widerstand



Verdichtet:



Wie lange bleibt ein verdichteter Boden verdichtet?



Feldversuch Bodenstrukturregeneration nach Verdichtung – “Soil Structure Observatory (SSO)”

Initiale Verdichtung mit 8 Tonnen Radlast im März 2014

Vier Bewirtschaftungsverfahren (nach der Verdichtung begonnen):

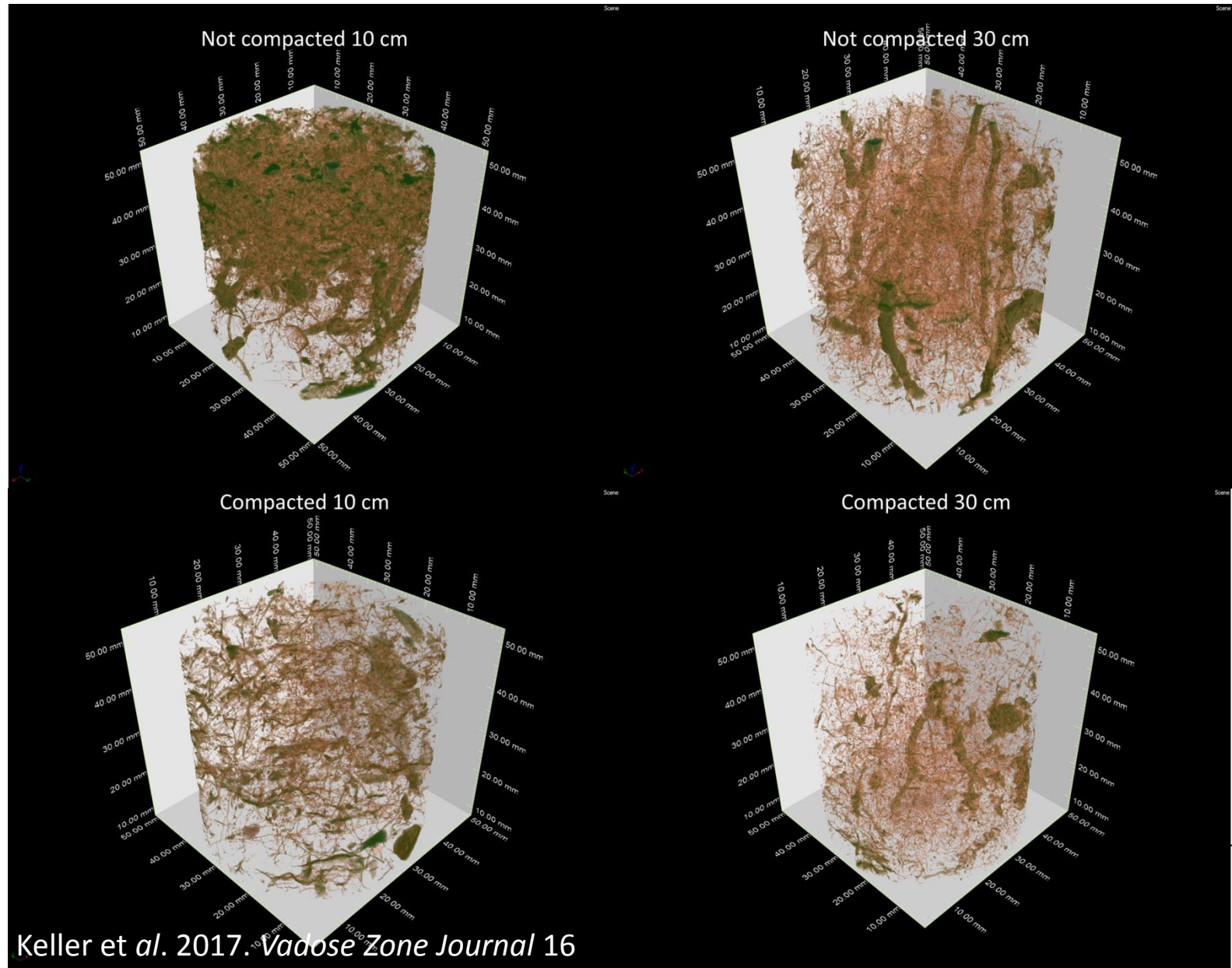
- Dauerwiese (natürliche Regeneration mit Pflanzen)
- Schwarzbrache (natürliche Regeneration ohne Pflanzen)
- Fruchtfolge ohne mechanischer Bodenlockerung (Direktsaat)
- Fruchtfolge mit mechanischer Bodenlockerung (Pflug)

Monitoring Bodenzustand (Feuchtigkeit, Temperatur, CO₂ und O₂ in der Bodenluft, Redox-Zustand)

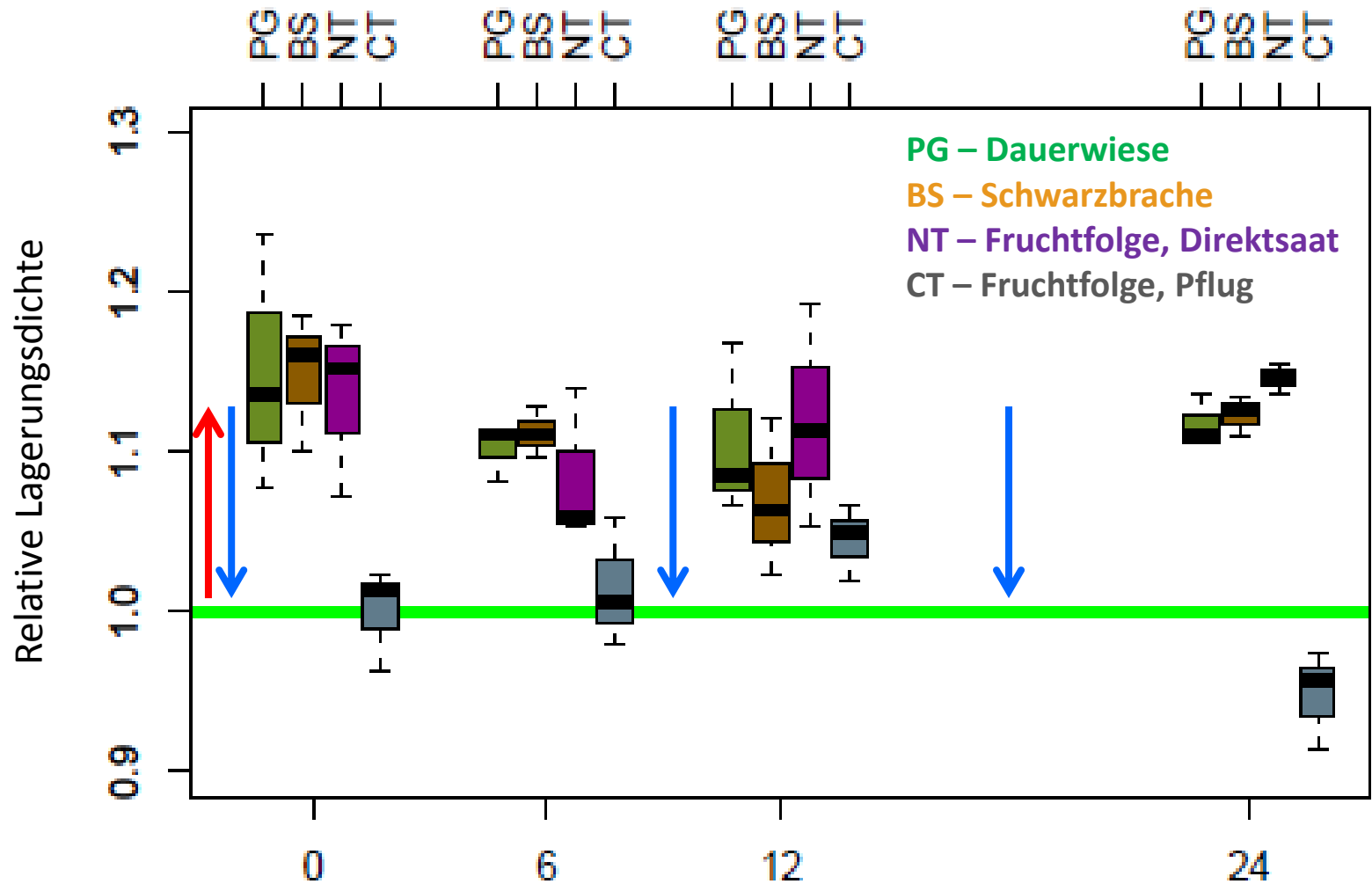
Regelmässige Beprobung: Bodenstruktur und funktionelle Eigenschaften, Regenwurmpopulationen, Pflanzeigenschaften



Einfluss von Verdichtung auf die Porenstruktur



Entwicklung Lagerungsdichte, 0.1 m Tiefe (relativ zu unverdichtet, Dauerwiese)

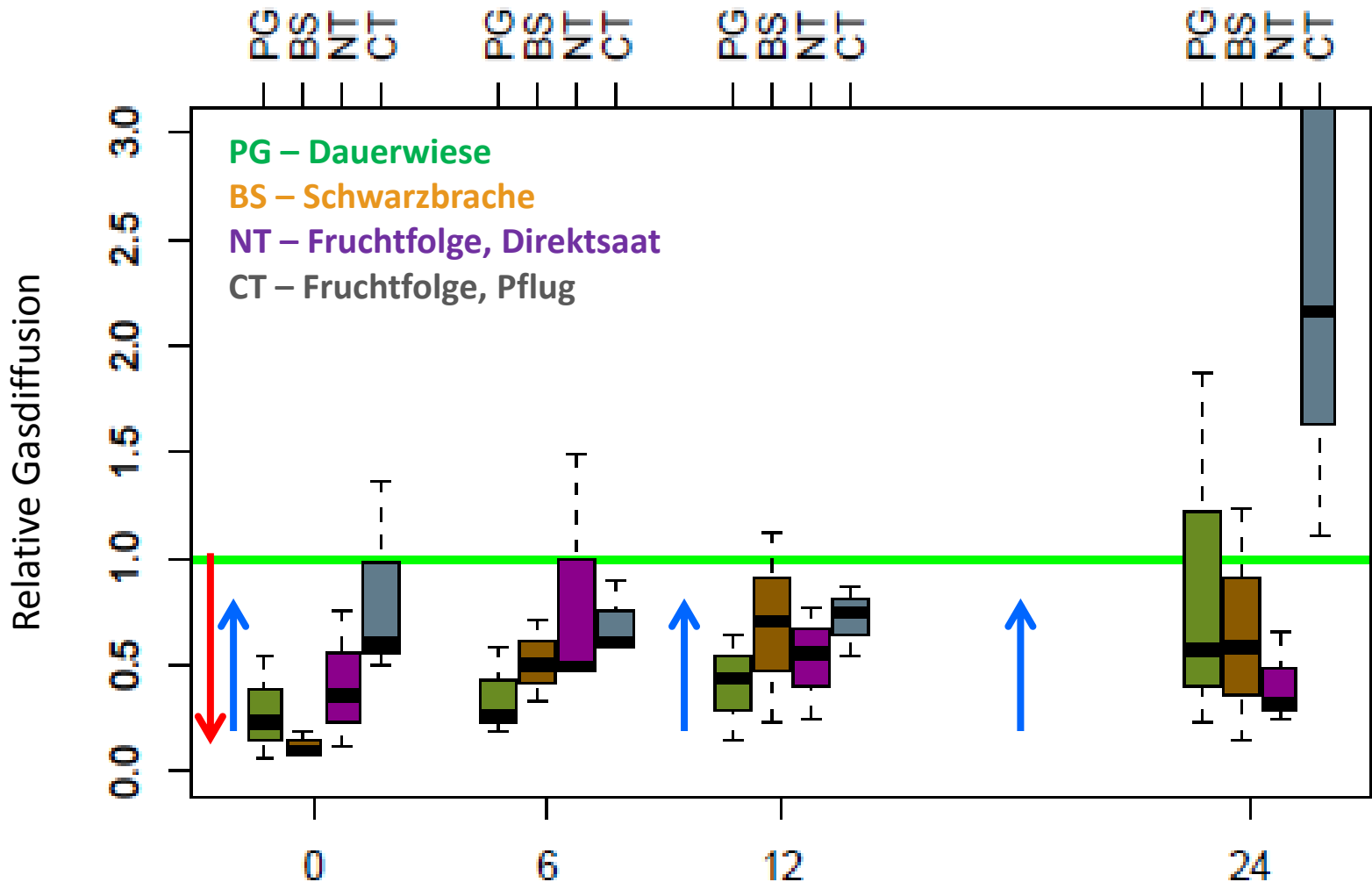


Verdichtung

Bodenbearbeitung (nur CT)

Monate nach Verdichtung

Entwicklung rel. Gasdiffusionskoeff., 0.1 m Tiefe (relativ zu unverdichtet, Dauerwiese)

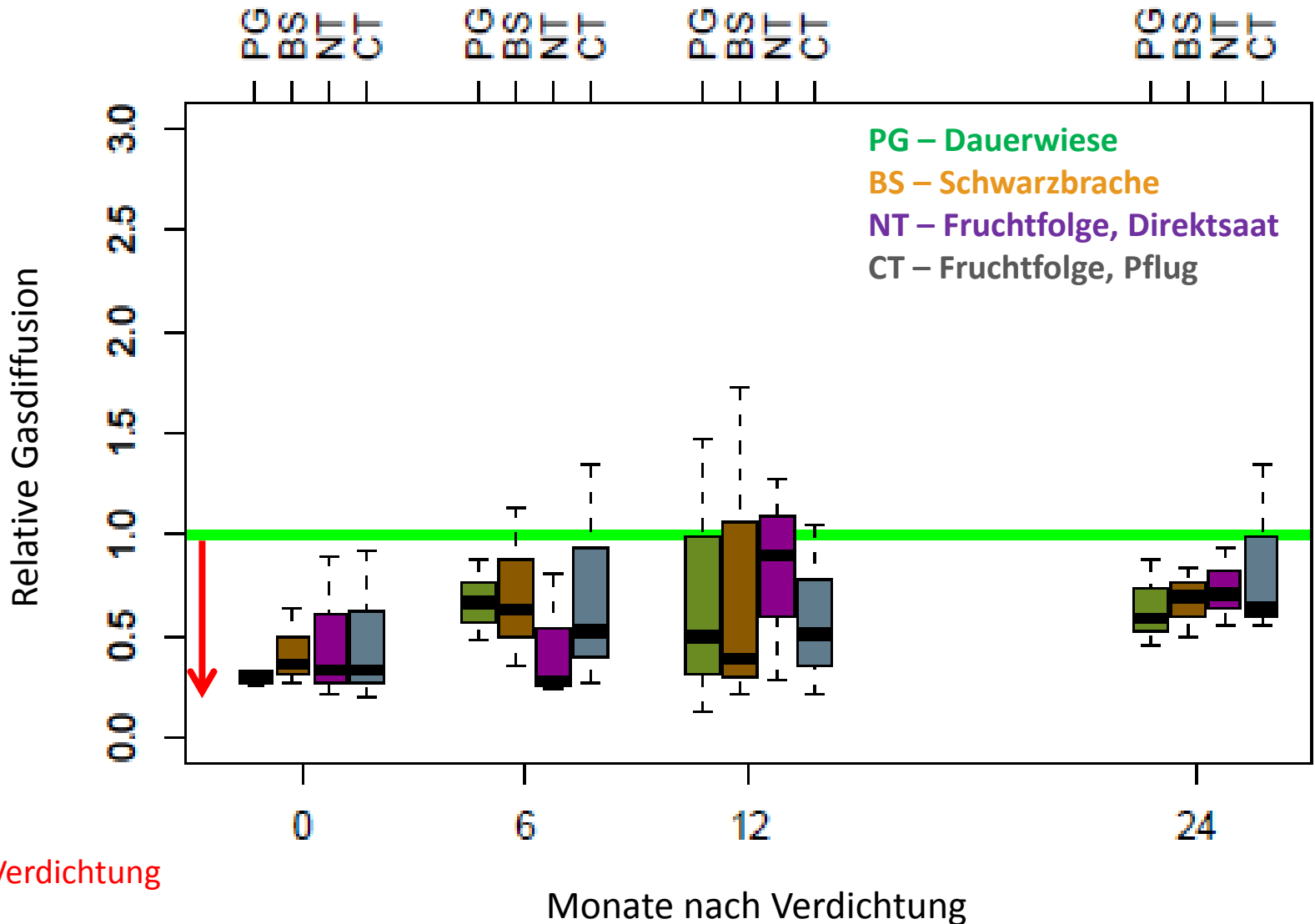


Verdichtung

Bodenbearbeitung (nur CT)

Monate nach Verdichtung

Entwicklung rel. Gasdiffusionskoeff., 0.3 m Tiefe (relativ zu unverdichtet, Dauerwiese)



Regenerationsmechanismen, oder allgemeiner: Bodenstrukturfördernde Prozesse

Natürliche Prozesse:

- Abiotische Prozesse: Schrumpf-Quell-Vorgänge aufgrund Austrocknung-Benetzungszyklen und Gefrier-Tau-Vorgängen
- Biotische Prozesse: Wurzel-Boden-Interaktionen, Bioturbation durch Regenwürmer



Anthropogene Prozesse:

- Bodenbearbeitung



«Vortriebsleistung» von Bodenorganismen



Photo: Bettina Marbot, Agridea (CH)

Regenwürmer:

Jährliche Transportraten (Menge Boden, die durch den Darm von Regenwürmer passiert) kann sich auf mehrere Hundert Tonnen Boden pro Hektare belaufen (Drake & Horn 2007. *Ann. Rev. Microbiol.* 61)



Photo: Thomas Keller

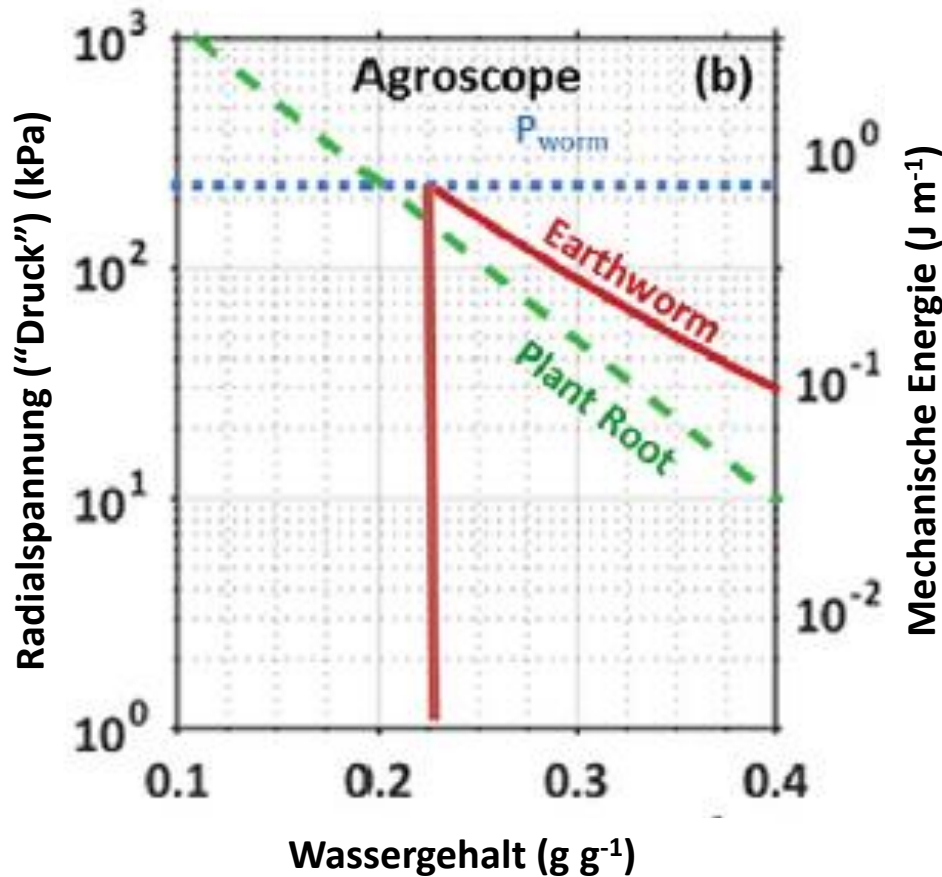


Sarzetti et al. 2013.
J. Hymenoptera Res. 33

Bodennistende Wildbienen:

Watanabe (1997) berechnete die Menge Boden, die von *Andrena prostimias* in einem japanischen Tempelgarten “zu Tage gefördert wurde” auf 27 Mg ha⁻¹. (Watanabe 1997. *App. Soil Ecol.* 9)

Wieviel Energie braucht eine Wurzel oder ein Regenwurm, um neue Porenräume zu schaffen?



Regenwürmer brauchen ca. 3 mal mehr Energie als Wurzeln, da sie ca. 1000 mal schneller sind

Wurzeln können einen fast 10 mal höheren Druck ausüben als Regenwürmer

Deshalb können Wurzeln unter trockeneren Bodenbedingungen noch wachsen, während der Widerstand für Regenwürmer zu hoch ist

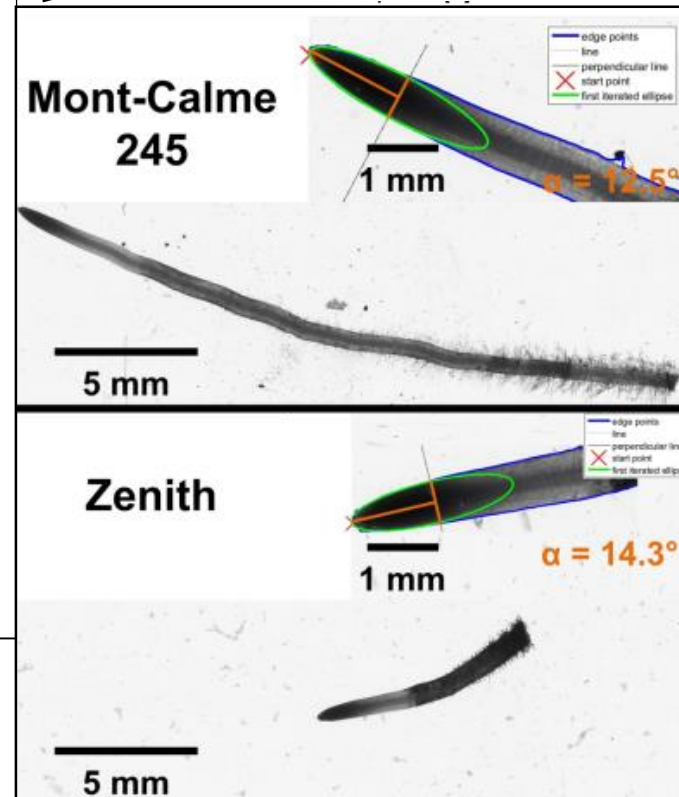
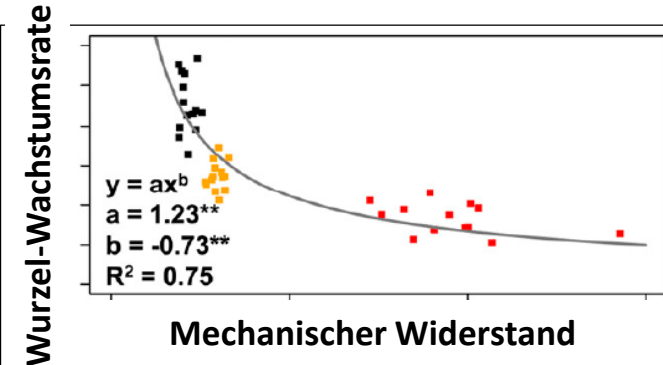
Wurzelwachstumsrate = f (mechanischer Widerstand im Boden, Wurzeleigenschaften)

«Spitzige» Wurzeln wachsen schneller

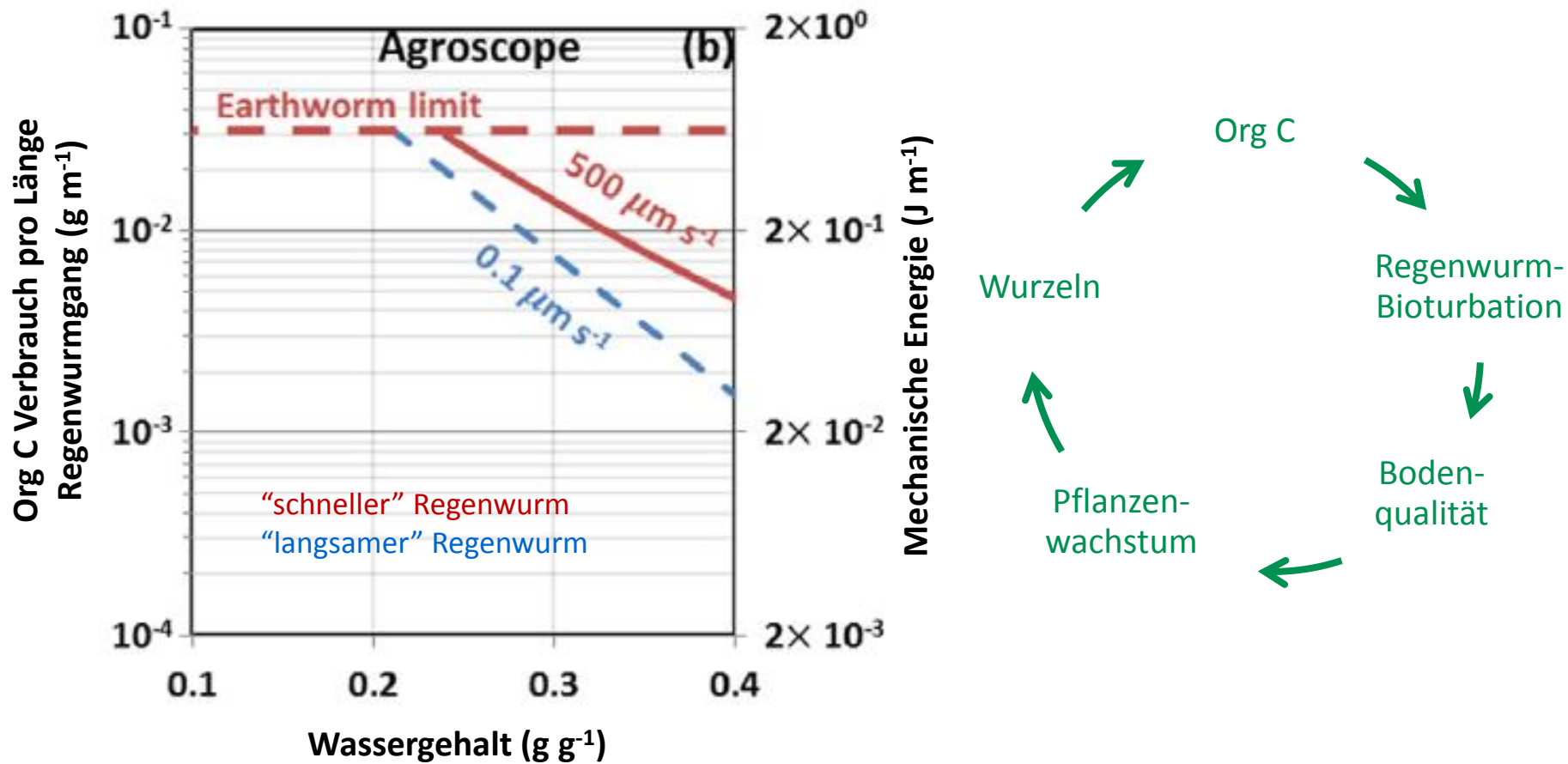
Durch Selektion oder Züchtung könnten Sorten ausgewählt/gefunden werden, dessen Wurzeln schneller wachsen.

Dadurch könnte potenziell ein grösseres Bodenvolumen erschlossen werden, was:

1. zu Ertragsstabilität führt, und
2. die Bodenstrukturentwicklung (z. B. nach einem Verdichtungsschaden) beschleunigt

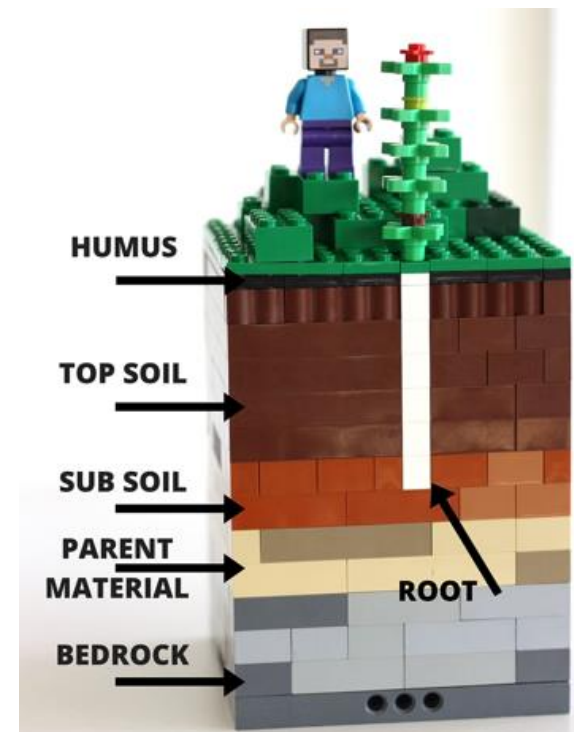


Und wieviel Kohlenstoff braucht ein Regenwurm für die Bioturbation?



Schlussfolgerungen

- Die Bodenfunktionalität ist an die Bodenstruktur gekoppelt
- Bewirtschaftung und Befahrung haben einen grossen Einfluss auf die Bodenstruktur und Bodenfunktionen
- Relevante Zeitskalen Bodendegradation (z. B. Bodenverdichtung):
 - Degradation (Verdichtung): Sekunden
 - Bodenstrukturaufbau/Regeneration Oberboden: Jahre
 - Regeneration Unterboden: Jahrzehnte
- Potenzial: natürliche Prozesse besser unterstützen (ausnützen), um die Bodenstrukturentwicklung zu beschleunigen



With permission of Sarah McClelland,
<http://littlebinsforlittlehands.com/>

Vielen Dank

Tino Colombi, Jan Rek, René Reiser, Hansruedi Oberholzer, Viktor Stadelmann, Marlies Sommer, Annika Tella, Lina Grahm, Andrea Bonvicini, Susanne Müller, Franco Widmer, Fritz Käser, Stefan Schwarz, Ernst Uhlmann, Dani Schmid, Marcel Locher, Hanspeter Müller, Sepp Helbling, Theodor Neukomm, Andres Sauter, Beat Kürsteiner Agroscope

Dani Or, Siul Ruiz, Stan Schymanski, Hans Wunderli, Dani Breitenstein, Norbert Kirchgessner, Achim Walter ETH Zürich

Andreas Chervet, Wolfgang G. Sturny Bodenschutz LANAT Zollikofen

Matthias Stettler HAFL Zollikofen

Ararso Etana, Inge Håkansson, Tomas Rydberg SLU, Uppsala, Sweden

Finanzierung:

SNF Schweizerischer Nationalfonds, Nationales Forschungsprogramm NFP 68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden», grant no. 406840-161902

Formas The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning