

Pflanzen als Biopflug? Einfluss von Wurzeln auf die hydraulischen Eigenschaften des Bodens

Gernot Bodner^{1*}

Zusammenfassung

Wurzeln sind ein zentraler Faktor in der Ausbildung und Stabilisierung der Bodenstruktur. Die vorliegende Arbeit untersucht die Veränderung der Porengrößenverteilung bei Zwischenfrüchten mit unterschiedlichem Wurzelsystem. Es konnte gezeigt werden, dass Zwischenfrüchte mit größerem Wurzelsystem (Leguminosen) das Makroporenvolumen erhöhen, während solche mit dichtem Feinwurzelsystem zu einem größeren Volumen feinerer Porenklassen führten. Alle Arten mit ausreichend dichter Durchwurzelung zeigten ein signifikant höheres Gesamtporenvolumen als eine unbepflanzte Vergleichsvariante. Die Wurzel hat damit die Fähigkeit, als „Biopflug“ die Porenstruktur des Bodens zu verändern.

Schlagwörter: Zwischenfrucht, Wurzelsystem, Bioporen, Bodenstruktur

Summary

Roots have a key function in the formation and stabilization of soil structure. This study investigated the influence of cover crops with different root systems on soil pore size distribution. It was shown that cover crops with a coarse axes dominated root system (legumes) increase the volume of macropores, while species with dense fine root system enhance the volume of finer pore radius classes. All species with sufficiently developed root systems had a significantly higher pore volume compared to a unplanted control. Roots can therefore act as a “bio-plough” that modifies the structural porosity of soil.

Keywords: cover crops, root system, biopores, soil structure

Einleitung

Auch im gemäßigten Klimagebiet wird Trockenheit zunehmend zu einem wichtigen Thema der Landwirtschaft. Die Jahre 2012 und 2013 zeichneten sich beide durch längere Trockenperioden aus, die zu massiven Ertragsverlusten bei Getreide (2012) und Mais, Ölkürbis aber auch im Grünland (2013) führten. GREGORY (2004) präsentierte einen Rahmen für die Analyse eines wassereffizienten landwirtschaftlichen Managementsystems:

$$WUE = B/T * (1/(E+OA+S)/T).$$

Dabei ist WUE die Wassernutzungseffizienz, B die Pflanzentrockenmasse, T die Transpiration, E die Evaporation, OA der Oberflächenabfluss und S der Sickerwasseranfall. Dieser Ansatz zeigt, dass seine hohe Wassereffizienz über die Pflanzenphysiologie (Transpirationseffizienz, B/T) oder ein effizientes Bodenmanagement mit geringen Verlusten im Verhältnis zur produktiven Komponente (T) erreicht werden kann.

Geringe Verluste und eine möglichst hohe pflanzenverfügbare Wassermenge sind eng mit der Bodenwasserspeicherfähigkeit verbunden. Diese ist eine Funktion aus Bodentextur, Humusgehalt und Bodenstruktur. Während die Textur eine kaum veränderbare Standorteigenschaft ist, reagiert die Struktur als dynamische Eigenschaft deutlich auf Managementänderungen.

Es ist seit langem bekannt, dass die Bodenstruktur wesentlich von der Pflanze beeinflusst wird und dabei der Wurzel

eine bedeutende Rolle zukommt. Sie liefert ständig organische Substanzen an den Boden, erhöht die Aktivität der Bodenlebewesen und vernetzt, gemeinsam mit Bodenpilzen, (Makro)aggregate.

Aufgrund der Bedeutung der Wurzel für die Bodenstruktur und die damit einhergehenden hydraulischen Eigenschaften, wurde die Idee geprägt, die Wurzel gezielt zur Aufbereitung („priming“) der physikalischen Bodeneigenschaften zu nutzen. CRESSWELL und KIERKEGAARD (1995) prägten in diesem Zusammenhang den Begriff des „biodrilling“, dem die Idee innewohnt, Pflanzenarten wie einen „Biopflug“ zur Bodenlockerung und -verbesserung einzusetzen.

Im Rahmen einer landwirtschaftlichen Fruchtfolge bieten sich Zwischenfrüchte als „Primer“-Pflanzen an. Sie dienen neben dem Grundwasserschutz vor allem der Bodenverbesserung und es gibt zahlreiche Studien, die ihren positiven Effekt auf die Bodenstruktur zeigen. In der vorliegenden Studie war die zentrale Frage, wie Zwischenfruchtwurzeln als kurzfristige Maßnahme in der Fruchtfolge die hydraulischen Bodeneigenschaften verändern.

Material und Methoden

Ein Feldversuch mit 12 verschiedenen Zwischenfrüchten wurde auf einem Versuchsfeld der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf am 28. Juli 2011 als randomisierte Blockanlage in drei Wiederholungen angelegt. Die Bodeneigenschaften des Standorts sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

¹ Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Gregor Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

* Ansprechpartner: Univ. Ass. DI Dr. Gernot Bodner



Tabelle 1: Bodeneigenschaften des Versuchsstandortes.

Horizont	Tiefe cm	Sand kg kg ⁻¹	Schluff kg kg ⁻¹	Ton kg kg ⁻¹	Textur	C _{org} kg kg ⁻¹	Feldkapazität cm ³ cm ⁻³	Welkepunkt cm ³ cm ⁻³
A	0-40	0.19	0.56	0.24	SiL	0.025	0.32	0.15
AC	40-55	0.23	0.54	0.23	SiL	0.015	0.27	0.10
C	> 55	0.22	0.62	0.16	SiL	0.008	0.25	0.07

Tabelle 2: Untersuchte Zwischenfrüchte und deren Familien.

Art	Family
Saatwicke (<i>Vicia sativa</i> L.)	Fabaceae
Saatplatterbse (<i>Lathyrus sativus</i> L.)	Fabaceae
Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i> L.)	Fabaceae
Gelber Steinklee (<i>Melilotus officinalis</i> L.)	Fabaceae
Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i> L.)	Brassicaceae
Ölrettich (<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i> L.)	Brassicaceae
Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolium</i> Benth.)	Boraginaceae
Öllein (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Linaceae
Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i> MOENCH.)	Polygonaceae
Roggen (<i>Secale cereale</i> L.)	Poaceae
Mixture 1 (<i>Secale cereale</i> L., <i>Trifolium incarnatum</i> L., <i>Vicia villosa</i> ROTH.)	-
Mixture 2 (<i>Phacelia tanacetifolium</i> Benth., <i>Sinapis alba</i> L., <i>Vicia sativa</i> L.)	-

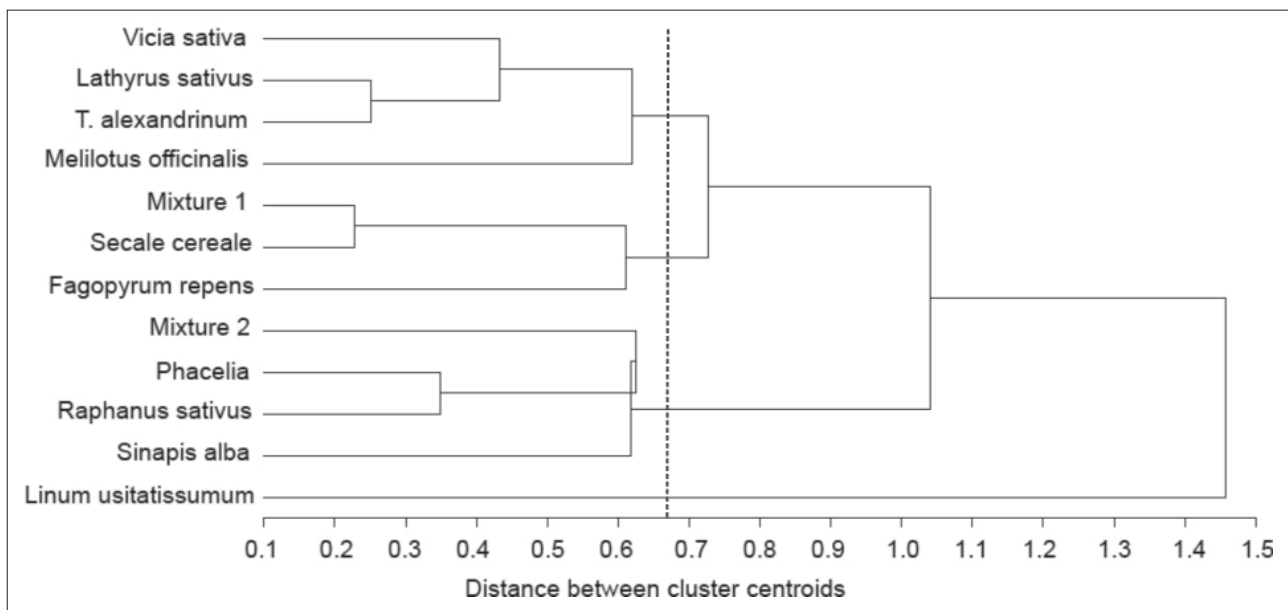


Abbildung 1: Wurzelklassifizierung anhand von Clusteranalyse.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die verwendeten Zwischenfrüchte. Die Analyse wurzelmorphologischer Parameter erfolgte an Proben aus der obersten Bodenschicht (ca. 2 - 7 cm) mithilfe von Bildanalyse gewaschener Proben. Die Durchwurzelungsdichte ist meist in der obersten Schicht am höchsten. Darüber hinaus ist die Dynamik der Bodenstruktur im Oberboden am ausgeprägtesten, da hier verschiedene strukturbildende Faktoren am intensivsten auf den Boden einwirken.

Die Quantifizierung der bodenhydrologischen Eigenschaften (Porenverteilung) wurde über inverse Parameterschätzung aus Infiltrationsmessungen mit einem Tensionsinfiltrimeter durchgeführt. Es wurden dabei die Parameter des Retentionsmodells von Kosugi im Programm HYDRUS 2 D inverse optimiert.

Die Klassifizierung der Wurzelsysteme erfolgte über Clusteranalyse. Die varianzanalytische Auswertung aller Daten wurde mit der Prozedur PROC MIXED in SAS durchgeführt. Kausale Zusammenhänge wurden mit der Prozedur PROC REG ebenfalls in SAS getestet.

Ergebnisse und Diskussion

Wurzelklassifizierung

Abbildung 1 zeigt Ähnlichkeiten zwischen den Wurzelsystemen auf Grundlage einer Clusteranalyse, in die die erfassten wurzelmorphologischen Parameter einfließen.

Vier unterschiedliche Gruppen wurden dabei festgestellt. Die Leguminosen bildeten eine Gruppe mit Wurzelsyste-

Tabelle 3: Durchschnittliche Parameterwerte der Gruppen von Zwischenfruchtarten mit ähnlichen Parametern in der Porengrößenverteilung (Verschiedene Buchstaben zeigen einen signifikanten Unterschied bei $p \leq 0.05$).

	j_s $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	r_m mm	s_i -
Gruppe 1	0.463a	86.9a	2.21a
Gruppe 2	0.460a	51.3b	2.38b
Gruppe 3	0.457a	73.8a	1.88c
Gruppe 4	0.425b	46.5b	2.10ac

men, die hohen Wurzeldurchmesser und hohe Wurzelmasse zeigten, jedoch geringere Dichte. Lein stellte das andere Extrem dar, mit einem stark Dichte-dominierten Feinwurzeltyp. Die Kreuzblütler sowie Phacelia gruppierten sich ebenfalls in einem noch stark Dichte-dominierten Cluster, während Buchweizen, Roggen und das Landsberger Gemenge (Mixture 1) zwischen den beiden Typen lagen. Buchweizen und Roggen zeigten insgesamt die geringste Wurzeldichte.

Porengrößenverteilung

Hinsichtlich der Porengrößenverteilung des Bodens zeigten sich ebenfalls vier Gruppen, die sich in zumindest einem Parameter des Kosugi-Modells (θ_s , Gesamtporenvolumen; r_m , Medianporenradius, σ , Standardabweichung der Porenverteilung) signifikant unterschieden.

Gruppe 1 (Saatplatterbse, Mischung 1, Gelber Steinklee) hatten ein hohes Gesamtporenvolumen und den höchsten Medianporenradius. Gruppe 4 (Buchweizen, Roggen) dagegen lag in beiden Parametern am niedrigsten. Gruppe 2 und 3 unterschieden sich vor allem in der Standardabweichung der Porengrößenverteilung. Ein kleiner Wert in σ bedeutet eine starke Dominanz einer Porengrößenklasse, eine breite Verteilung weist auf ein heterogenes Sekundärporensystem hin. In Gruppe 2 (enge Porenverteilung) befanden sich die Arten Lein, Phacelia, Ölrettich und Saatwicke, in Gruppe 3 Alexandrinerklee, Gelbsenf und die Mischung 2.

Wurzel-Poren-Beziehungen

Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen den Porenparametern und Wurzeleigenschaften. Ein besonders deutlicher Zusammenhang zeigte sich zwischen dem Volumen der Wurzeln (RVD, Wurzelvolumendichte) und dem Gesamtporenvolumen. Ein dichteres Wurzelsystem erhöhte das Gesamtporenvolumen. Diese Beziehung lief auf ein Maximum zu, während die Arten mit der geringsten Durchwurzelung (Buchweizen, Roggen) sich nicht von einer unbepflanzten Vergleichsparzelle unterschieden. Der Medianporenradius zeigte einen negativen Zusammenhang mit einem Summenparameter (Hauptkomponente 2, PC2), der die Wurzeleigenschaften Wurzeldurchmesser und spezifische Wurzellänge (Feinwurzeldominanz) enthält. Ein Wurzelsystem, das durch dickere Wurzelachsen geprägt war (geringer spezifische Wurzellänge, hoher mittlerer Durchmesser) erhöhte den Medianradius, führte also zu einer stärkeren Ausprägung des Makroporenvolumens. Die Bodenfeuchte verstärkte diesen Zusammenhang, d.h. der Medianradius war auf einem feuchten Boden höher als

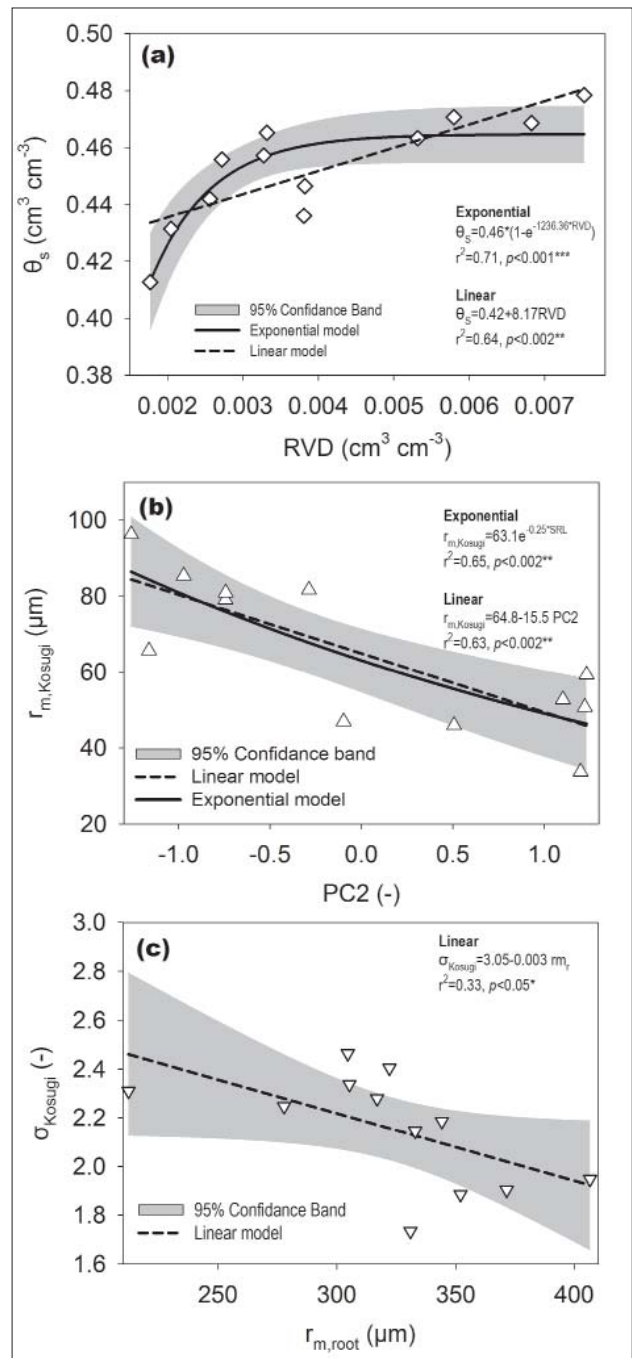


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Wurzeleigenschaften und Porenparametern.

auf einem trockenen Boden (Schrumpfung durch Kapillarkräfte).

Tabelle 4 zeigt beispielhaft die Volumina unterschiedlicher Porenklassen für Saatplatterbse (grober Wurzeltyp) und Phacelia (feiner Wurzeltyp) sowie eine unbepflanzte Vergleichsparzelle.

Interpretationsrahmen

Abbildung 3 zeigt einen Interpretationsrahmen für die unterschiedlichen Einflüsse grober und feiner Wurzelsysteme auf das Porennetzwerk des Bodens.

Tabelle 4: Porenvolumina unterschiedlicher Porenklassen (USDA) unter einer Art mit dominant groben Wurzelachsen (Saatplatterbse) und einer Art mit dominant feinen Achsen (Phacelia) sowie einer unbepflanzten Kontrolle.

	Porenvolumen cm ³ cm ⁻³		
	Unbepflanzt -	Grobe Wurzeln <i>L. sativus</i>	Feine Wurzeln <i>P. tanacetifolia</i>
Microporen1 ($r < 2.5$ mm)	0.023	0.019	0.055
Microporen2 ($2.5 \leq r < 15$ mm)	0.074	0.061	0.086
Mesoporen ($15 \leq r < 37.5$ mm)	0.061	0.055	0.055
Makroporen1 ($37.5 \leq r < 500$ mm)	0.149	0.178	0.131
Makroporen2 ($r \geq 500$ mm)	0.038	0.091	0.052

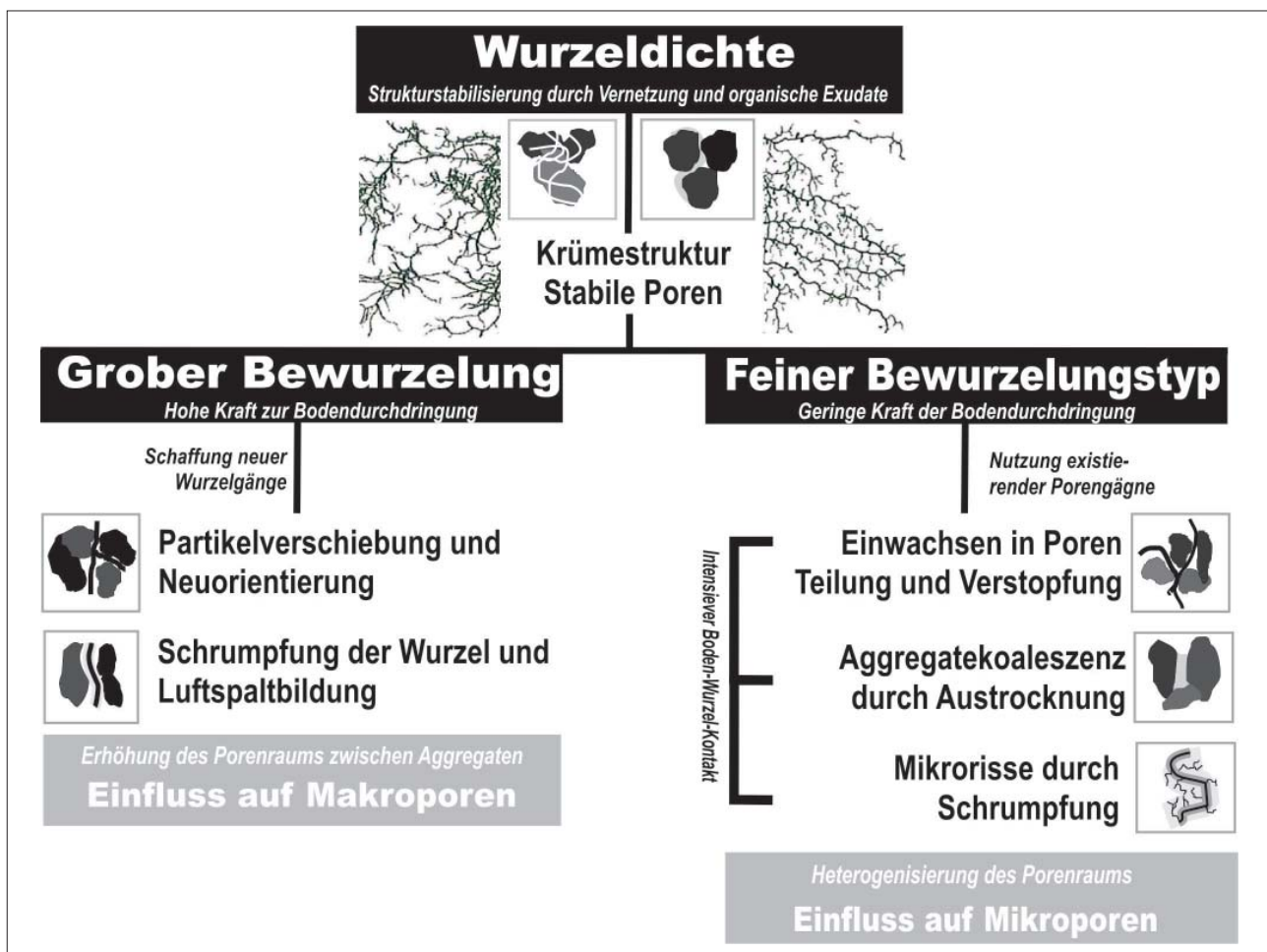


Abbildung 3: Prozesse im Zusammenhang mit dem Einfluss unterschiedlicher Wurzelsysteme auf das Porensystem des Bodens.

Bei entsprechender Durchwurzelungsdichte schaffen Pflanzen eine krümelige Struktur mit Sekundärporensystem und stabilisieren dieses gegen struktur-degradierende Prozesse. Grobwurzeln zeigen eine stärkere Beeinflussung des Makroporensystems. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass diese Wurzeln, im Gegensatz zu feineren Achsen, nicht ausreichend Porenraum vorfinden, den sie als Wurzelgang benutzen können. Dickere Wurzeln haben auch mehr Kraft, um Bodenteilchen zu bewegen und damit Wachstumsgänge zu schaffen. Feinere Wurzeln dagegen nutzen vorhandene Poren. Sie trocknen den Boden durch einen intensiven Wurzel-Boden-Kontakt stärker lokal aus, was über Mikro-

risse und kapillar bedingte Aggregatannäherung zu einem Anstieg von feineren Poren führt.

Zusammenfassung

Auch eine kurzfristige Zwischenfruchtmaßnahme führt über das Wurzelsystem zu einer signifikanten Veränderung des Porenraums. Pflanzenarten mit unterschiedlichem Wurzelsystem unterscheiden sich in den Porenklassen, die hauptsächlich beeinflusst werden, sofern sie eine Mindestdichte der Durchwurzelung erreichen. Die Arbeit gibt einen Interpretationsrahmen für relevante Prozesse der Wurzel-

Bodenstruktur-Interaktion, die den makroskopisch gezeigten Veränderungen der Porengrößenverteilung zugrunde liegen. Die Wurzel hat die Fähigkeit, als Biopflug den Boden aufzubereiten. Die Bestimmung der landwirtschaftlichen Ertragsrelevanz dieses „Feedback-Prozesses“ erfordert jedoch Messungen über längere Zeit, da der strukturbedingte Porenraum einer hohen zeitlichen Variabilität unterliegt.

Literatur

- GREGORY, P.J., 2004: Agronomic approaches to increasing water use efficiency. *water use efficiency in plant biology*, 142-170.
- CRESSWELL, H.P. and J.A. KIRKEGAARD, 1995: Subsoil amelioration by plant-roots-the process and the evidence. *Soil Research*, 33(2), 221-239.