

Schlussbericht zum Projekt

„Regeneration von Wurzelraumfunktionen nach Bodenschäden durch mechanische Belastung“

für die Zeitperiode vom 1.9.2011 bis 31.8.2012

Kredit Nr.: A211.0107 Vertrag Nr.: 04.1214.PJ/H204-1909

1. Einleitung und Arbeitsablauf

Wie im letzten Zwischenbericht angekündigt erfolgte in der vorangegangenen Zeitperiode die Datenanalyse und statistische Auswertung für die ersten beiden Veröffentlichungen, welche sich nun in der Abschlussphase befinden. Weitere Publikationen zum Abschluss der Dissertation werden voraussichtlich im kommenden Quartal erarbeitet. Die Abschlussprüfung am Dept. USYS an der ETH (Prof. R. Schulín) ist im ersten Quartal 2013 geplant. Die Berechnungen und PANDA-Messungen am Standort Habsburg wurden auf den Standort Messen verlegt und durchgeführt, um die bereits vorhandene Datenbasis zu verbessern und somit „publikationsfähig“ zu machen. Des Weiteren konnte erfolgreich ein Artikel in „Wald und Holz“, mit dem Titel „Verdichteten Boden mit Schwarzerlen regenerieren?“, platziert werden (10/2011, siehe Anhang Beilage 1).

2. Stand der Feldarbeiten

Die Feldarbeiten sind abgeschlossen.

3. Stand der Laborarbeiten

Die Laborarbeiten sind abgeschlossen.

4. Vernetzung mit anderen Projekten

Die erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Gruppe Rhizosphärenprozesse der WSL wird fortgesetzt um die Zusammenhänge zwischen Verdichtung des Bodens in Fahrspuren und mikrobiologischen Prozessen genauer zu definieren.

Die letzten projektgebundenen Arbeiten mit Schülern bzw. Studenten (Jonathan Müller und Amira Linsi) sind abgeschlossen und als Beilage im Anhang (Beilage 2 & 3) zu finden.

5. Umsetzung: Exkursionen / Vorträge

- Teilnahme als Fachperson am Kurs „Physikalischer Bodenschutz im Wald - für Bewirtschafter im Kanton Luzern“ (27.09.2011) Betrag zur Regeneration mit Erlen (45 Min)
- Vortrag an der Sitzung der Forschungseinheit Waldböden und Biogeochemie der WSL (30.08.2011)
- Vortrag im Rahmen des „Bodenkundlichen Kolloquiums“ des Instituts für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim D, (Prof. Dr. Karl Stahr, 31.01.2012)
- Vortrag im Rahmen der Informationsveranstaltung „Waldbau mit Schwarzerle - Eine Baumart mit Potential“ (31.05.2012), organisiert vom Aargauischen Försterverband (Abteilung Wald)
- Begehung auf der Versuchsflächen in Heiteren mit der Fachhochschule Lullier (hepia) mit Prof. P. Boivin, 19.6.12
- Organisation / Teilnahme am INPRO Seminar (04.06.-15.06.2012) der ETHZ (Dept. USYS) als Fachperson für Bodenverdichtung und Regeneration

6. Teilnahme an Veranstaltungen mit Referat

- Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (Berlin, 3.-9.9.2011), Vortrag: „Bodenverdichtung unter Fahrspuren - Strukturregeneration nach Bepflanzung mit *Alnus glutinosa*“ (Anhang Beilage 4, Onlineartikel in „Berichte der DBG“).
- Jahrestagung der Schweizerischen Bodenkundlichen Gesellschaft „Mensch & Boden: Ein lösbarer Konflikt?“ (Bellinzona, 2.&3.2.2012)

7. Ausblick

Für das laufende und das nächste Quartal sind folgende Arbeiten geplant:

- abschliessende Datenanalyse und statistische Auswertung
- Fertigstellen der noch ausstehenden Publikationen
- Abschlussprüfung im ersten Quartal 2013 (ETHZ, Dept. USYS, Prof. R. Schulin)

8. Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse

8.1 Rekapitulation Übersicht Beprobung

An jedem Standort wurden in den Fahrspuren ohne Massnahmen (i. F. = SL), den Fahrspuren mit Komposteintrag und mit Schwarzerle (i. F. = AWC bezeichnet), den Fahrspuren ohne Kompost und mit Schwarzerle (i. F. = ANC bezeichnet) und auf der unbefahrenen Refe-

The diagram illustrates a soil profile under a black alder tree. Key features include:

- black alder**: The tree above the profile.
- skid lane rut bed**: The surface layer of the soil profile.
- skid lane bulge**: A raised area on the surface.
- stem base**: The base of the tree trunk.
- organic overlay**: A layer of organic material.
- soil sample with drawal between soil layers under the rut bed area**: A red box indicating the location of soil samples.
- profile walls**: The vertical boundaries of the soil profile.
- distances from stem base**:
 - 0.0-0.2 m
 - 0.2-0.4 m
 - 0.4-0.6 m
- soil depth**:
 - 0.0-0.2 m
 - 0.2-0.4 m
 - 0.0-0.2 m
- 1.50 m**: The width of the profile.

3. Entnahme von Bodenproben für physikalische Untersuchungen

8.2 Baumwachstum

3

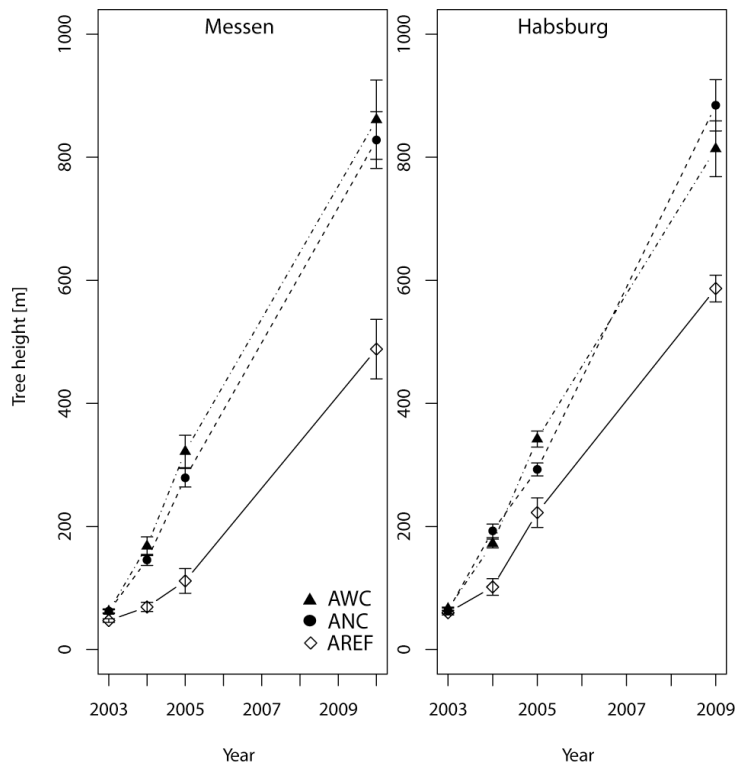


Abbildung 2:
Wachstum der Schwarzerlen zwischen 2003 und 2010 in Messen und Habsburg

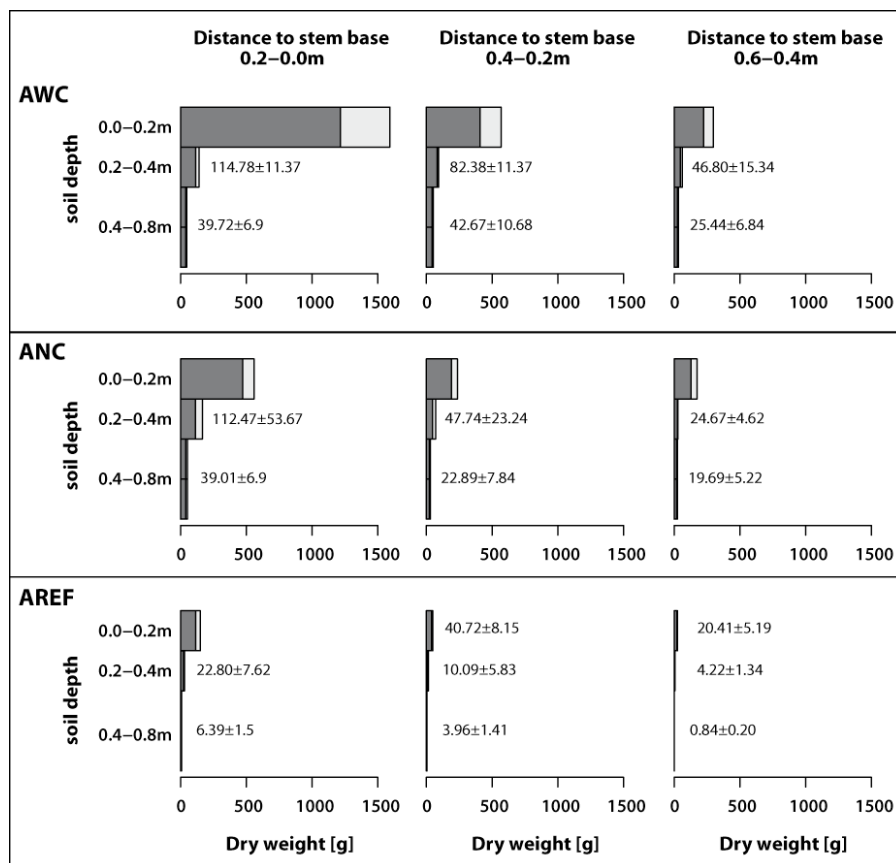


Abbildung 3:
Trockengewicht der Wurzeln in verschiedenen Tiefen und Abständen zum Baum am Standort Messen;
AWC = Fahrspur mit Erle und Kompost,
ANC = Fahrspur mit Erle ohne Kompost,
AREF = Erle auf unbefahrenem Boden (Referenzfläche)

Die Ergebnisse bestätigen, dass *Alnus glutinosa* aufgrund diverser Anpassungsmechanismen an staunasse, sauerstoffarme Böden in der Lage ist ein gutes Wachstum auf dem „Extremstandort Fahrspur“ zu zeigen. Offensichtlich sind die standörtlichen Bodeneigenschaften ausschlaggebend für die Wirksamkeit des Komposteintrags auf das Baumwachstum und somit auf die Wirksamkeit der Massnahmen auf die Regeneration des Bodens.

8.3 Physikalische und mechanische Bodeneigenschaften

An beiden Standorten konnte in den Behandlungen mit Schwarzerlen (AWC / ANC) in der Tiefe von 0.2-0.3 m eine deutliche Verbesserung der physikalischen und mechanischen Parameter des Bodens im Vergleich zu den unbehandelten Fahrspuren (SL) nachgewiesen werden. Durch die von der Schwarzerle gebildeten Wurzeln wurde das Grobporenvolumen (Abb. 4) in AWC und ANC gegenüber SL deutlich vergrössert, erreichte jedoch nicht das Niveau von AREF. In Messen wurde in den AWC Behandlungen das beste Resultat erzielt, während in Habsburg die ANC Behandlungen bessere Werte zeigten. Durch die Entwicklung des Porenraums konnten sich auch die Werte der Lagerungsdichte (Abb. 5) erholen und zeigten deutliche Unterschiede zu den unbehandelten Fahrspuren. Auch hier wurde die Tendenz festgestellt, dass in Messen AWC und in Habsburg ANC Behandlungen sich am stärksten erholen konnten. Für die Aktivität des Edaphons, und somit für die Fruchtbarkeit des Bodens, ist eine gute Durchlüftung via eines ausgeprägtem und gut vernetzten Porensystems ein entscheidender Faktor. Die Messungen der Luftleitfähigkeiten (Abb. 6) lieferten dementsprechend erfreuliche Ergebnisse. In Messen wiesen die AWC Behandlungen und in Habsburg die ANC Behandlungen bereits ähnliche Luftleitfähigkeiten wie in AREF auf, während die anderen Behandlungen nur leicht bessere Werte als SL zeigten. Die mechanischen Eigenschaften des Bodens wurden anhand von Vorverdichtungsmessungen bestimmt. Auch in diesem Parameter wurden dieselben Tendenzen wie zuvor beobachtet, die Vorverdichtung (Abb. 7) war in SL am grössten während die ANC und AWC Behandlungen und AREF geringere Werte zeigten.

In der Tiefenstufe von 0.4-0.5 m war tendenziell dieselbe Entwicklung wie in 0.2-0.3 m zu beobachten, allerdings waren die Kontraste zwischen den Behandlungen hier nur marginal und es konnten kaum signifikante Unterschiede festgestellt werden. Das Vorkommen von Sandstein, ab etwa 0.4 m Tiefe, in Messen erschwerte jedoch den Vergleich und lässt keine Schlüsse zu der Stärke des Einflusses der Verdichtung in SL, AWC und ANC zu.

Die Messungen in der Tiefe zwischen 0.6 und 0.7 m lassen vermuten, dass die Befahrung in dieser Bodentiefe keinen bzw. lediglich nur leichten Einfluss auf den Boden hatte.

Korrelationsanalysen und Regressionsanalysen der aufgenommenen Parameter und den Wurzelgewichten pro Zylinder bestätigten den Zusammenhang zwischen Durchwurzelung und physikalischen Eigenschaften des Bodens.

Die Ergebnisse bzw. die Unterschiede zwischen den Standorten legen nahe, dass die Wirksamkeit der Kompostapplikation stark abhängig von Bodeneigenschaften wie der Textur und auch dem Gehalt an organischer Substanz (Analyse noch ausstehend) ist. Die Regeneration wird in dem sandigeren Boden in Messen mit einer aktiveren Humusform durch Zugabe von Kompost zusätzlich gefördert. In Habsburg wurde der Kompost aufgrund des höheren Schluffgehaltes des Bodens und der weniger aktiven Humusform nicht gut eingearbeitet und führte zu einer eingeschränkten Wurzelbildung in den tieferen

Bodenschichten und somit zu einer eingeschränkten Wirksamkeit der Bepflanzung auf die Regeneration.

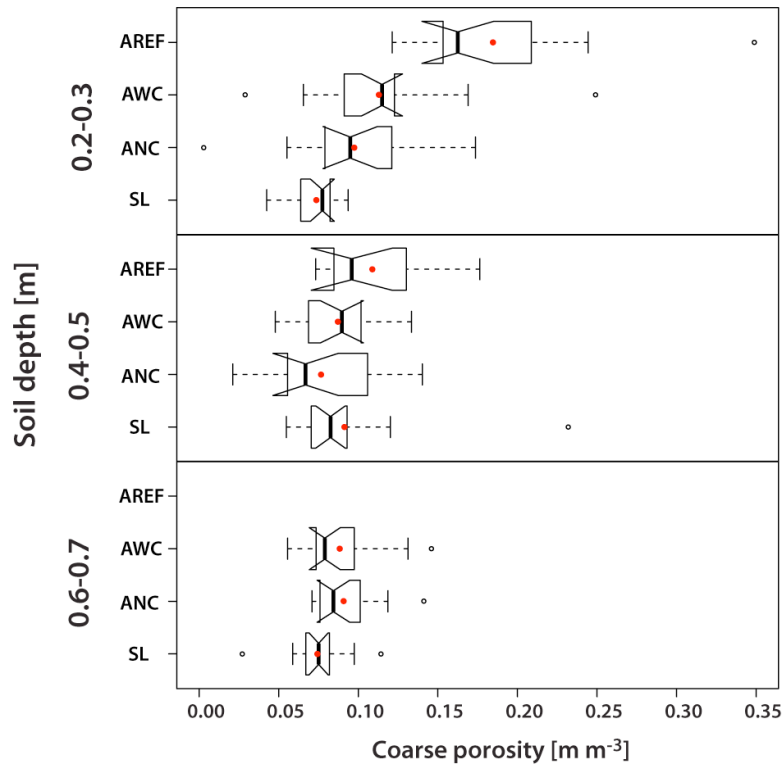


Abbildung 4:

Grobporenvolumen (Feinerde) in den verschiedenen Behandlungen und Beprobungstiefen am Standort Messen, der rote Punkt repräsentiert den Mittelwert [links]; Grobporenvolumen 0.2-0.3 m Tiefe in Habsburg [rechts], --- Linie = Voruntersuchung 2003

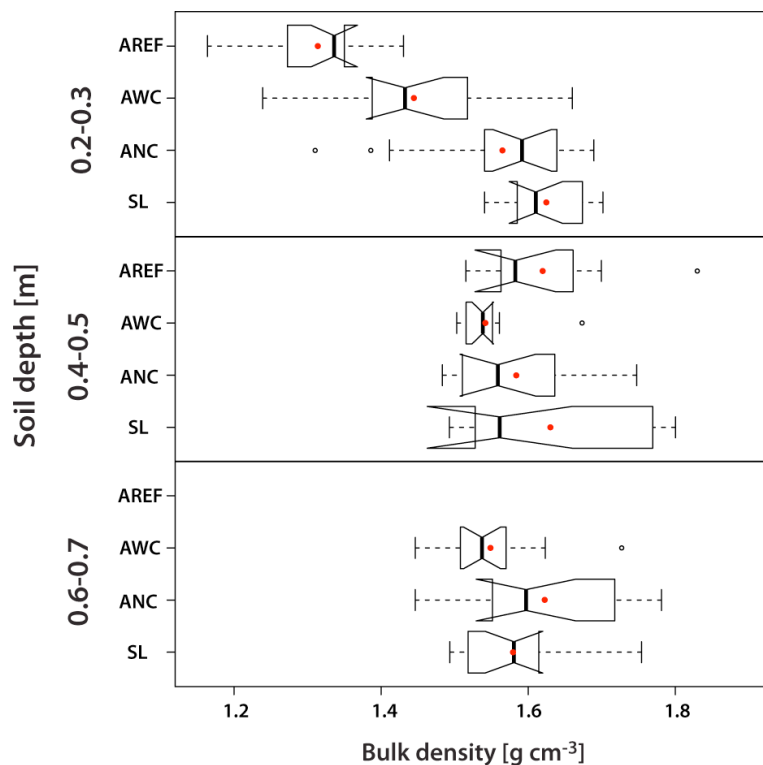
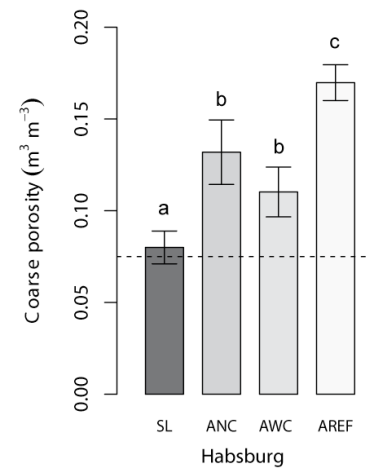
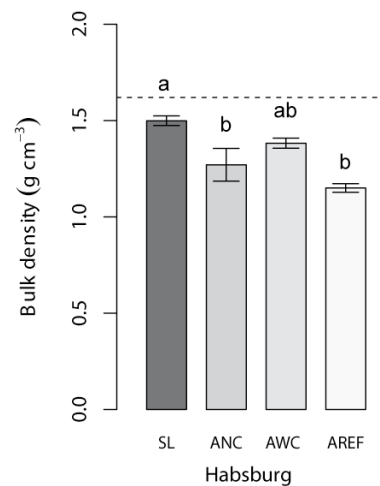


Abbildung 5:

Lagerungsdichte (Feinerde) in den verschiedenen Behandlungen und Beprobungstiefen am Standort Messen, der rote Punkt repräsentiert den Mittelwert [links]; Lagerungsdichte 0.2-0.3 m Tiefe in Habsburg [rechts], --- Linie = Voruntersuchung



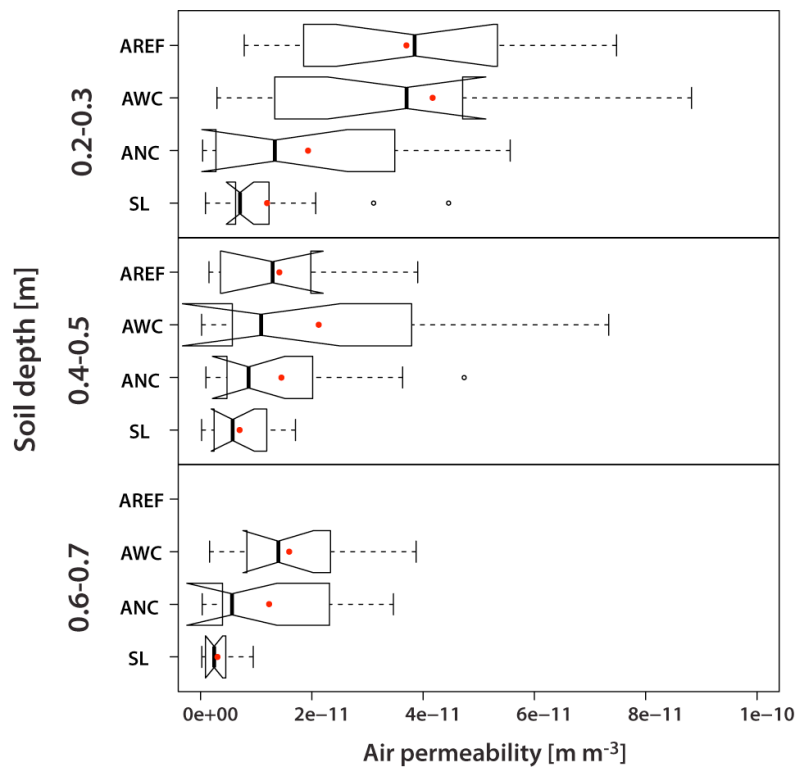


Abbildung 6:

Luftleitfähigkeit in den verschiedenen Behandlungen und Beprobungstiefen am Standort Messen, der rote Punkt repräsentiert den Mittelwert [links], Luftleitfähigkeit 0.2-0.3 m Tiefe in Habsburg [rechts]

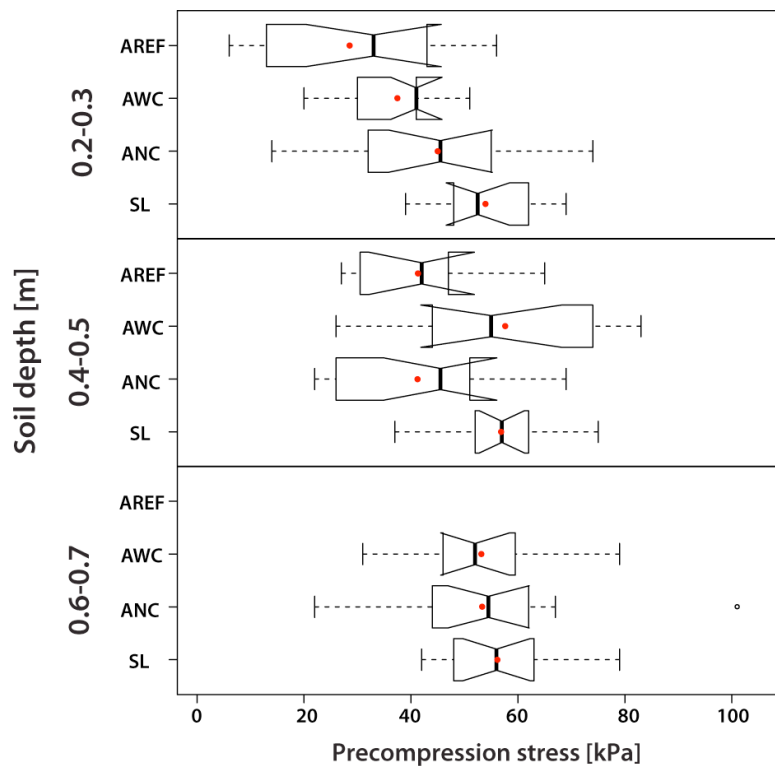
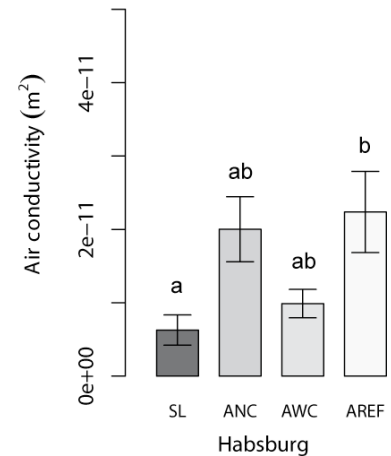
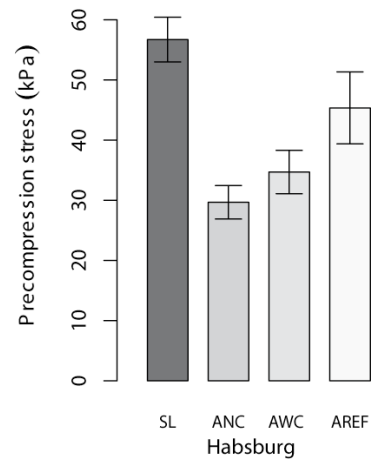


Abbildung 7:

Vorverdichtung in den verschiedenen Behandlungen und Beprobungstiefen am Standort Messen, der rote Punkt repräsentiert den Mittelwert [links], Vorverdichtung 0.2-0.3 m Tiefe in Habsburg [rechts]



8.4 Einfluss der Durchwurzelung auf das Bodengefüge und Vernässung (Ausblick)

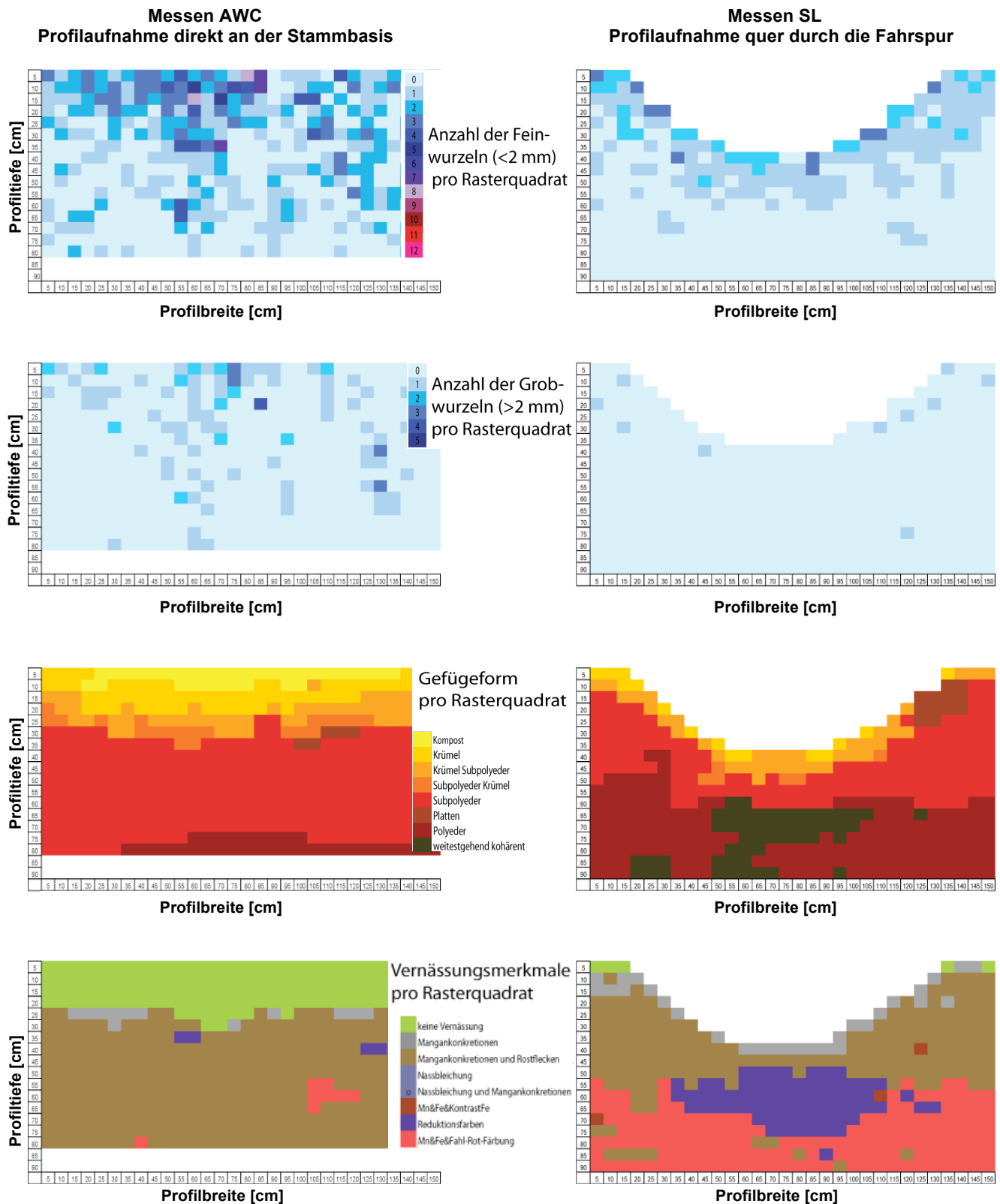


Abbildung 8: Resultate 2-er Profilaufnahmen (5x5 cm Raster) mit Fein- und Grobwurzelverteilung, Gefügeform und Vernässungsmerkmalen in Messen; Fahrspur mit Kompost und Schwarzerle direkt an der Stammbasis [links], Fahrspur ohne Massnahme [rechts]

Neben dem Porenraum und anderen wichtigen Faktoren bestimmt das Gefüge die Eigenschaften eines Bodens. Die Gefügebildung ist stark abhängig von Bodenlebewesen wie Regenwürmern und der An- bzw. Abwesenheit von Wurzeln, die durch Exsudate, die Penetration des Bodens und Quellen und Schrumpfen dessen Struktur beeinflussen. Gefügeform und Porosität wiederum bestimmen die hydraulischen Eigenschaften des Bodens und haben somit einen starken Einfluss auf dessen Vernässung, die man anhand von Vernässungsmerkmalen beschreiben kann. Anhand der in den Profilen aufgenommenen Daten besteht also die Möglichkeit diese „Dreiecksbeziehung“ genauer zu untersuchen und zu beschreiben.

Die durch die Profilaufnahmen erhaltenen Daten werden durch statistische Modellierung in zusammengefasst und beschrieben (Zusammenarbeit mit Andreas Papritz Ph. D., ETHZ). Ziel ist es aus den vielen einzelnen Aufnahmen generelle Aussagen machen zu können und Wurzeldichten mit der Gefügestruktur und dem Grad der Vernässung zu verbinden. Nach Möglichkeit sollten auch die physikalischen Daten Teil des Modells werden um quantitative und qualitative Zusammenhänge herauszuarbeiten.

8.5 Fazit

Mit der Schwarzerle wurde definitiv die richtige Baumartenwahl für die Regeneration von verdichtetem Boden gewählt. Das Wachstum von *Alnus glutinosa* auf den Fahrspuren war im Vergleich mit Literaturwerten sehr gut (McVean, 1956; Schmidt-Vogt, 1966, 1971) wodurch der Wurzelraum bereits nach 6-7 Jahren Wachstum bis zu 0.8 m Bodentiefe wieder erschlossen werden konnte.

Diverse Studien zeigen, dass die Regeneration des Oberbodens, induziert durch Quellungs- und Schrumpfungsprozesse, in einem Zeitraum zwischen 8-12 Jahren erfolgen kann (Håkansson and Reeder, 1994; Thorud and Frissel, 1976), während die Regeneration des Unterbodens wesentlich längere Zeiträume beansprucht (Corns, 1988). Blake et al. (1976) beispielsweise untersuchten die Lagerungsdichte eines verdichteten Bodens in Minnesota, der 9 Jahre nach Befahrung keine Anzeichen einer Regeneration zeigte. In Quebec konnten Gameda et al. (1987) 6 Jahre nach Verdichtung ebenfalls keine Anzeichen für Erholung der Lagerungsdichte in tonigen Lehmen beobachten. Labelle and Jaeger (2011) nahmen die Lagerungsdichte in Spodosolen des östlichen Kanadas über einen Zeitraum von 5 Jahren auf und konnten selbst im Oberboden keine Verbesserung der Werte verzeichnen. Von Wilpert and Schäffer (2006) berichten, dass die Regeneration des Wurzelraums und des Gasdiffusionskoeffizienten in verdichteten, lehmigen Böden Baden Württembergs 14 Jahre nach Befahrung lediglich bis zu einer Tiefe von 4 cm vorangeschritten war. Selbst 24 Jahre nach Befahrung waren noch deutliche Einflüsse der Verdichtung im Unterboden erkennbar. Ausgehend von diesen Berichten sind die Ergebnisse unserer Studie ermutigend und legen nahe, dass die Regeneration von verdichtetem Boden durch Bepflanzung mit *Alnus glutinosa* erheblich beschleunigt werden kann. Offen bleibt hierbei nur die Frage, ob ein langfristigeres Baumwachstum als in unserem Versuch auch eine weitere Verbesserung der Bodenstruktur unterhalb von 30 cm in einem überschaubaren Zeitraum gewährleisten kann.

9. Finanzen (Auszug 01.07.11 bis 30.06.12)

Ausgaben 2011

Lohnkosten C. Meyer	Fr. 26 910
Praktikant (Spesenanteil)	Fr. 165
Besuch DBG Tagung in Berlin	Fr. 320
Fahrzeugkosten (km)	Fr. 1 414
	Fr. 28 809

Ausgaben 2012 (1. & 2. Quartal)

Lohnkosten für C. Meyer	Fr. 31 334
BGS Jahrestagung in Bellinzona (Vortrag)	Fr. 60
Fahrzeugkosten (km)	Fr. 208
	Fr. 31 602

Total 11/12 **Fr. 60 411**

Einnahmen 2012

W&HFFonds Rn 2012 (Rest) Total **Fr. 16 000** mit der Abgabe des Schlussberichtes

10. Schlussbemerkung und Dank

Dieses Jahr werden noch die Manuskripte zum Handbuch „Physikalischer Bodenschutz im Wald“ (Reihe „BAFU WISSEN“ erscheint 2013) abgeschlossen. Ein Kapitel zum Thema „Regeneration von Wurzelraumfunktionen“ ist vorgesehen.

Wir möchten uns für die Unterstützung des Projektes beim Wald- und Holzforschungsfonds recht herzlich bedanken.

Birmensdorf, 15.08.12

Peter Lüscher

Christine Meyer

z.K. J.-P. Clément, Sekt. Boden, BAFU

Beilagen

- 1 Artikel Wald und Holz
- 2 Zusammenfassung Semesterarbeit Jonathan Müller (ETHZ UWIS)
- 3 Maturarbeit Amira Linsi (MNG Rämibühl Zürich)
- 4 Onlinepublikation aus „Berichte der DBG“ (2011)
- 5 Jahresbericht WSL 2011 mit dem Kurzen Beitrag zum Projekt (d/f)

Literatur

Blake, G.R., Nelson, W.W., Allmaras, R.R., 1976. Persistence of subsoil compaction in a Mollisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 40, 943-948.

Corns, I.G.W., 1988. Compaction by forestry equipment and effects on coniferous seedling growth on 4 soil in the Alberta Foothills. Can. J. For. Res.-Rev. Can. Rech. For. 18, 75-84.

Gameda, S., Raghavan, G.S.V., McKyes, E., Theriault, R., 1987. Subsoil compaction in a clay soil. II. Natural Alleviation. Soil Tillage Res. - 10, - 130.

Håkansson, I., Reeder, R.C., 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load--extent, persistence and crop response. Soil and Tillage Research 29, 277-304.

Labelle, E.R., Jaeger, D., 2011. Soil Compaction Caused by Cut-to-Length Forest Operations and Possible Short-Term Natural Rehabilitation of Soil Density. Soil Sci. Soc. Am. J. 75, 2314-2329.

McVean, D.N., 1956. Ecology of *Alnus Glutinosa* (L.) Gaertn: V. Notes on Some British Alder Populations. 44, 321- 330.

Schmidt-Vogt, H., 1966. Wachstum und Qualität von Forstpflanzen, Die Gütebeurteilung von Forstpflanzen, München-Basel-Wien.

Schmidt-Vogt, H., 1971. Wachstum und Wurzelentwicklung von Schwarzerlen verschiedener Herkunft. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 142, 149-156.

Thorud, D.B., Frissel, S.S., 1976. Time changes in soil density following compaction under an oak forest. Minnesota Forestry Research Notes, University of Minnesota, St. Paul 257.

Von Wilpert, K., Schäffer, J., 2006. Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. European Journal of Forest Research 125, 129-138.