

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG  
Titel der Tagung: Böden verstehen, Böden nutzen, Böden fit machen  
Veranstalter: DBG, Symposium I+III, 3.-9. September 2011, Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Bodenverdichtung unter Fahrspuren – Strukturregeneration durch Bepflanzung mit *Alnus glutinosa***

Meyer, C.<sup>1/2</sup>, Lüscher, P.<sup>1</sup>, Schulin, R.<sup>2</sup>

### **Zusammenfassung**

Durch die Räumungsarbeiten nach dem Sturm "Lothar" 1999 kam es in den Wäldern des Schweizer Mittellands zu ausgeprägten Bodenverdichtungen unter Rückegassen. Um die Regeneration der Bodenstruktur zu fördern, wurden 2003 auf "Lothar-Reservatsflächen" in Brüttelen (Kt. BE), Messen (Kt. SO) und Habsburg (Kt. AG) Schwarzerlen direkt in stark geschädigte Fahrspuren gepflanzt. Zusätzlich wurden einige der Fahrspuren vor der Bepflanzung mit Kompost aufgefüllt. Als Referenz dienten eine unbefahrene Fläche mit Bepflanzung, sowie Fahrspuren ohne Bepflanzungsmassnahmen. Die Bepflanzung der Spuren führte zu viel versprechenden Ergebnissen bezüglich der nach 6 Jahren Versuchsdauer erhobenen bodenphysikalischen Parameter.

Schlüsselworte: Bodenverdichtung, Fahrspuren, *Alnus glutinosa*, Regeneration

### **Einleitung**

"Immer grösser, immer schwerer", getreu diesem Motto durchlebte die Forstmaschinerie in den letzten Jahrzehnten eine rasante Entwicklung. Doch zu welchem Preis für den Waldboden?

<sup>1</sup> Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstr. 111, CH- 8903 Birmensdorf  
[christine.meyer@wsl.ch](mailto:christine.meyer@wsl.ch)

<sup>2</sup> Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich, Universitätstr. 16, CH8092 Zürich

Bei unsachgemässer Befahrung, z.B. bei zu hohen Bodenwassergehalten oder Fahren ohne angepassten Reifeninnendruck kann der Boden unter Rückegassen stark verdichtet werden. Die Folgen davon sind Veränderungen des Porenraums und eine eingeschränkte Durchlüftung des Bodens. Dies wiederum schränkt das Bodenleben (FREY 2010) und die Bodenfruchtbarkeit stark ein. Die natürliche Regeneration von Bodenverdichtungen, durch Quellungs- und Schrumpfungsprozesse, Eislinsenbildung usw., verläuft umso langsamer je tiefer die Verdichtungen reichen und kann mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen (VON WILPERT & SCHÄFFER 2006). Seit 2003 erforscht die WSL die Folgen von Bodenschäden durch mechanische Belastung auf mehreren, durch den Sturm Lothar betroffenen Reservatsflächen.

### **Material & Methoden**

Im Rahmen des Projekts wurden in Habsburg, Messen und Brüttelen morphologische Fahrspurtypisierungen (LÜSCHER et al. 2009, LÜSCHER 2010) und Kartierungen der Schäden durchgeführt. Um die biologische Regeneration der geschädigten Bereiche zu fördern, wurden 2003 Fahrspuren mit den stärksten Bodenschädigungen und eine unbefahrene Referenzfläche mit Schwarzerlen bepflanzt. Die Versuchsfläche Messen befindet sich im Schweizer Mittelland zwischen Bern und Solothurn. Der Boden ist eine teilweise pseudovergleyte Braunerde mit einem pH von ~4 und einem Tonanteil von 13.9 ± 0.56 %. Die ursprüngliche Waldgesellschaft ist ein Waldmeister-Buchenwald mit *Luzula sylvatica*. Das Versuchsdesign besteht aus je drei Flächen mit Fahrspuren (Typ 3) welche in mit Erlen beplante Abschnitte mit und ohne Kompost unterteilt sind. Pro Behandlung und Versuchsfläche wurden jeweils 10 Bäume gepflanzt. Zusätzlich steht eine unbefahrene und beplante Referenzfläche zur Verfügung. Die Beprobung der Kontrolle (Fahrspur ohne Massnahmen) erfolgte jeweils in den unbepflanzten Teilen der Fahrspuren. Neben den ausgewählten Bäumen wurden

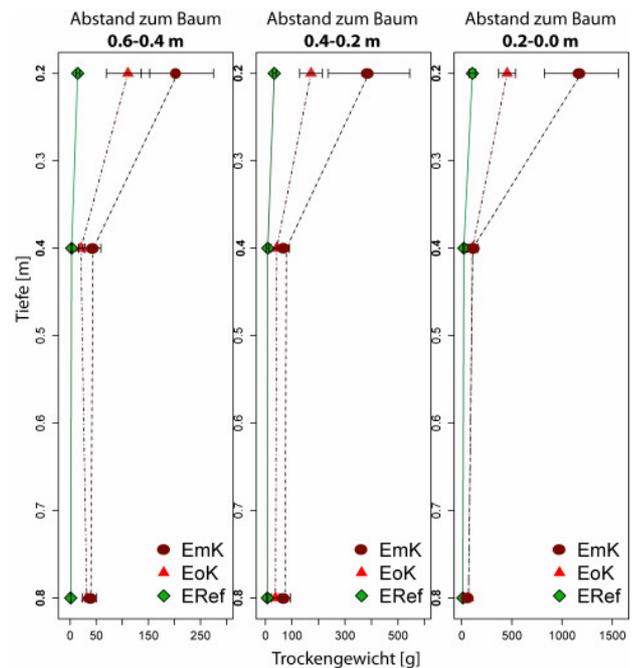
Bodenprofile (0.8 m tief, 1.50 m breit) in 0.6, 0.4 und 0.2 m Entfernung zur Stammbasis sowie direkt an der Stammbasis (0.0 m) quer über die Fahrspur verlaufend ausgehoben. Für die Analysen der Lagerungsdichte, Luftleitfähigkeit und Vorverdichtung wurden zwischen 0 cm und 20 cm Abstand zur Stammbasis pro Baum je drei ungestörte Bodenproben, mit Burger-Zylindern (1 dm<sup>3</sup>) aus einer Tiefe von 20-30 cm entnommen. Im Labor wurden die Proben im Wasserbad aufgesättigt und anschliessend mit einer hängenden Wassersäule auf Feldkapazität (-6 kPa) drainiert. Aus der gemessenen Gewichts-differenz ergab sich das Grobporenvolumen. Danach erfolgte die Messung der Luftleitfähigkeit und die Bestimmung der Vorverdichtung. Die Messung der Luftleitfähigkeit beruhte auf der von Berli (1996) beschriebenen Unterdruckmethode. Die Vorverdichtung wurde nach dem geometrischen Verfahren von CASAGRANDE (1936) aus Drucksetzungskurven abgeleitet, welche mittels Oedometern (Wille Geotechnik GmbH, Göttingen) aus uniaxialen Kompressions-tests erhalten wurden. Im Anschluss an die Oedometertests wurden die Proben getrocknet, um die Lagerungsdichte zu bestimmen.

## Ergebnisse

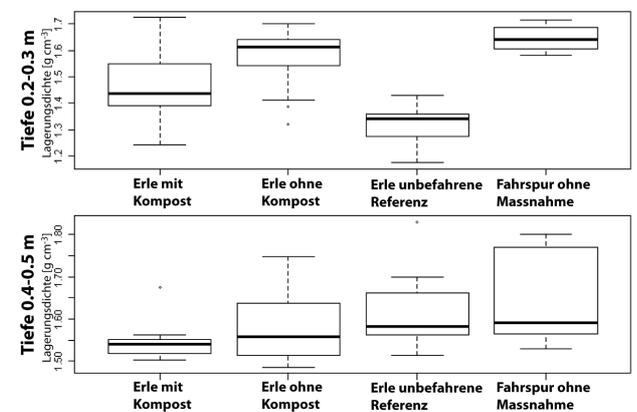
Die Schwarzerlen auf den Fahrspuren mit und ohne Kompost waren in der Lage den verdichteten Boden bis in eine Tiefe über 0.8 m zu durchwurzeln (Abb.1). Die Biomasse war in allen Behandlungen direkt an der Stammbasis und zwischen 0-0.2 m am grössten. Die Schwarzerlen auf der Fahrspur mit Kompost bildeten in allen Abständen und Tiefen die grösste Biomasse aus, gefolgt von den Schwarzerlen ohne Kompost. Auf der unbefahrenen Referenzfläche war das Baum- und Wurzelwachstum signifikant kleiner als auf den Fahrspuren.

Die Lagerungsdichte zwischen 0.2 und 0.3 m konnte in den Fahrspuren mit Bepflanzung im Vergleich zu 2003 (1.7 g cm<sup>3</sup>) und der Fahrspur ohne Massnahmen deutlich verringert werden (Abb. 2). In der Tiefe von 0.4-0.5 m waren die Unterschiede in den Behandlungen geringer. Auf

der unbefahrenen Referenz wurden in dieser Tiefe hohe Werte der Lagerungsdichte gemessen, was sich durch das Vorkommen von Sandstein ab 0.4 m begründet.



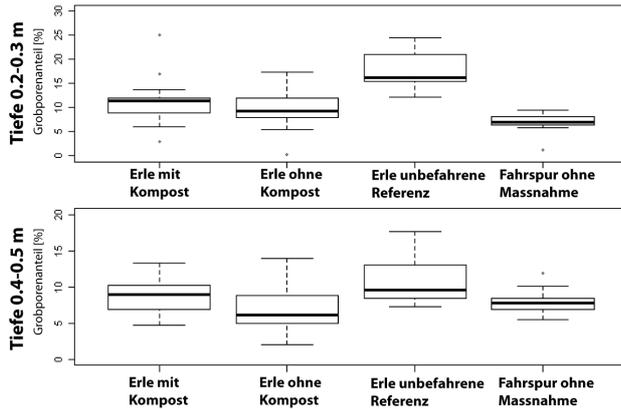
**Abb. 1:** Trockengewichte der Grobwurzeln in den Behandlungen und in verschiedenen Abständen zur Stammbasis, EmK=Fahrspur Mit Erle und Kompost, EoK= Fahrspur mit Erle, ERef= Erle auf unbefahrener Referenz, n=5 pro Behandlung



**Abb. 2:** Lagerungsdichte in den verschiedenen Behandlungen und in den Tiefen 20-30 cm und 40-50 cm, n=5 pro Behandlung

Diese Tendenzen spiegelten sich auch im Grobporenanteil (Abb. 3) wieder. Im Vergleich zu 2003 (2.1 %) war der Grobporenanteil in 20-30 cm Tiefe in der Fahrspur ohne Massnahmen verdreifacht, während sich der Anteil bei den Erlen ohne Kompost vervierfachte und bei den Erlen mit Kompost verfünffachte. In 40-50 cm Tiefe waren geringere Unterschiede

zwischen den Behandlungen zu beobachten.

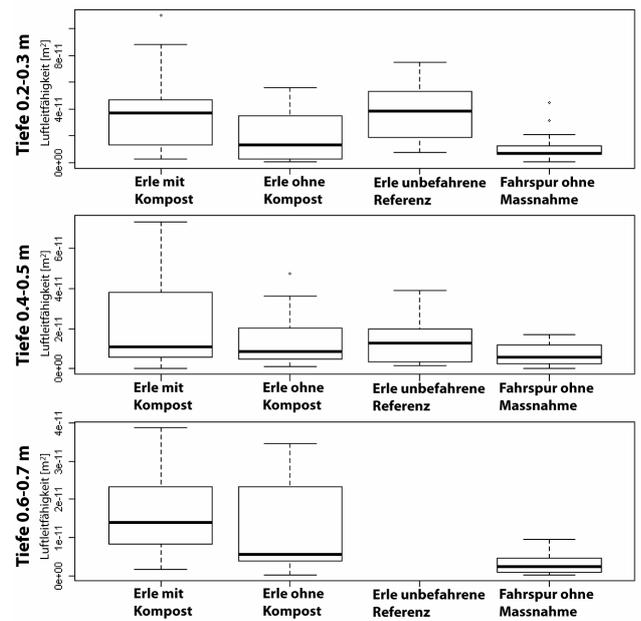


**Abb. 3:** Grobporanteil in den verschiedenen Behandlungen und in den Tiefen 20-30 cm und 40-50 cm, n=5 pro Behandlung

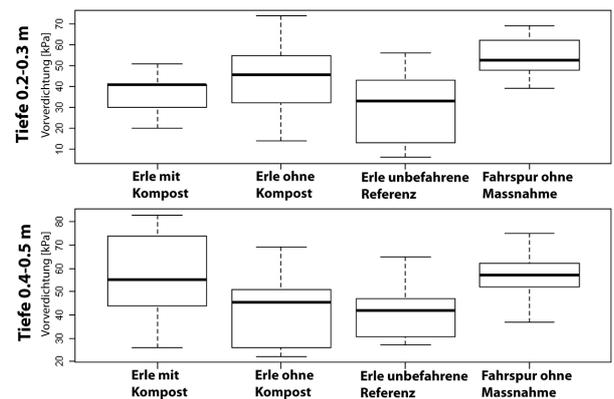
Als Mass für die Durchlüftung des Bodens dienen Messungen der Luftleitfähigkeit. Deren Werte waren zwischen 0.2 und 0.3 m Tiefe in der unbefahrenen Referenzfläche deutlich höher als in den Fahrspuren. In den Fahrspuren mit Erlen und Kompost war bereits eine deutliche Annäherung an die Referenzwerte zu erkennen, während in der Fahrspur ohne Kompost die Luftleitfähigkeiten kleiner waren. Die Fahrspur ohne Massnahmen zeigte die kleinsten Werte und die geringsten Streuungen, unterschied sich jedoch nicht signifikant von den anderen Behandlungen. Zwischen 0.4 und 0.5 m Tiefe war derselbe Trend zu erkennen. Die im Vergleich zu anderen Parametern besonders grosse Empfindlichkeit der Luftleitfähigkeit auf Bodenverdichtung wurde in der Tiefe von 0.6-0.7 m deutlich. Sie war hier deutlich grösser als in den Fahrspuren ohne Massnahme, obwohl bei den anderen aufgenommenen Parametern in dieser Tiefe keine signifikanten Unterschiede gefunden wurden.

Die Vorverdichtung war in 0.2-0.3 m Tiefe in den bepflanzen Fahrspuren niedriger als in den Fahrspuren ohne Massnahmen. Die Referenzfläche wies, wie erwartet, die niedrigsten Werte auf. In 0.4-0.5 m Tiefe unterschied sich die Vorverdichtung in den bepflanzen Fahrspuren mit Kompost nicht von den unbehandelten Fahrspuren, während sie in den bepflanzen Fahrspuren

ohne Kompost ähnliche Werte aufwies wie die unbefahrenen Referenzflächen.



**Abb. 4:** Luftleitfähigkeit in den verschiedenen Behandlungen und in den Tiefen 20-30 cm und 40-50 cm, n=5 pro Behandlung



**Abb. 5:** Vorverdichtung in den verschiedenen Behandlungen und in den Tiefen 20-30 cm und 40-50 cm, n=5 pro Behandlung

## Diskussion

Die bodenphysikalischen Messungen zeigten, dass die Bepflanzung der Fahrspuren mit Erlen die strukturelle Regeneration des verdichteten Bodens deutlich förderte. Wie auch von anderen Autoren beobachtet wurde (HELAL 1991, DEXTER 1991), ist die Durchwurzelung von verdichtetem Boden Teil der biologischen Regenerationsprozesse, die zu einer Verbesserung der bodenphysikalischen Eigenschaften führen. Die Wurzeln durchbrechen die verdichteten Bereiche und schaffen Makroporen (JAKOBSEN & DEXTER 1988).

Dadurch wird der Gas- und Wassertransport gefördert, was wiederum zu einer Förderung der Bodenfauna und -flora führt (DEXTER 1991). Das Absterben von alten Wurzeln und das Austreiben neuer Wurzelspitzen unterstützen diesen Vorgang, indem bestehende Transportwege freigegeben und neue gebildet werden. Eine offene Frage bleibt die Absterberate der Wurzeln, welche auch schon von HELAL (1991) als regulierender Faktor der Regeneration identifiziert wurden.

Die natürliche Regeneration ist besonders effektiv im Bereich des Oberbodens, da sich hier Faktoren wie Bodenfrost und Durchwurzelung besonders stark auswirken (HAKANSSON & REEDER 1994, VON WILPERT & SCHÄFFER 2006). In unserem Versuch hat die tiefreichende Durchwurzelung des verdichteten Bodens durch die Erlen deutliche regenerative Effekte auch im Unterboden erzielt, wobei nach 7 Jahren Baumwachstum der Bereich von 0.2-0.3 m Tiefe die grössten Fortschritte zeigte. In 0.4 m Tiefe waren die regenerativen Effekte, korrelierend mit der geringeren Durchwurzelung nur marginal vorhanden. Bisherige Studien gehen je nach standörtlichen Bedingungen und Grad der Verdichtung von einer Regenerationsdauer bis zu mehreren Dekaden aus (HAKANSSON & REEDER 1994, VON WILPERT & SCHÄFFER, 2006 DICKERSON, 1976). In unserem Versuch zeigte sich bereits nach 7 Jahren eine Annäherung der Lagerungsdichte in den bepflanzten Fahrspuren an die unbefahrene Referenz. Die Angaben zur Dauer der Regenerationsphase sind aber nur schwer vergleichbar, da in den verschiedenen Studien unterschiedliche Böden untersucht wurden und unterschiedliche Parameter zur Beurteilung des Bodenzustandes herangezogen wurden. Generell wird die Dauer auf minimal 10 Jahre angesetzt. Unsere bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Regenerationsprozesse durch Bepflanzung mit *Alnus glutinosa* auf jeden Fall beschleunigt werden können.

## Literatur

BERLI, M., J. HOERNER (1996): Bestimmung der Verdichtungsempfindlichkeit von Kulturböden

mittels Ödometer- und Luftdurchlässigkeitsuntersuchungen. Diplomarbeit ETH Zürich.

CASAGRANDE, A. (1936): The determination of pre-consolidation load and its practical significance. Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Harvard University. 3, 22–26: 60–64.

DEXTER, A. R. (1991): Amelioration of soil by natural processes. Soil & Tillage Research 20: 87-100.

DICKERSON, B. P. (1976): Soil compaction after tree-length skidding in Northern Mississippi. Soil Sci. Soc. Amer. Journal 40: 965-966.

FREY, B. (2010): Bewertung von befahrungsbedingten Bodenveränderungen mittels Bakterienpopulationen. Schweiz. Z. Forstwesen 161 (12): 498-503.

HAKANSSON, I, R. C. REEDER (1994): Subsoil compaction by vehicles with high axle load – extend, persistence and crop response. Soil & Tillage Research 29: 277-304.

HELAL, M. (1991): Bodengefüge, Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen. Zeitschrift zur Pflanzenernährung Bodenkunde 154: 403–407.

HILDEBRAND, E. E. (1983): Der Einfluss der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort. Sonderdruck Forstwissenschaftliches Centralblatt 102 (2): 111-125.

JAKOBSEN, B.E., DEXTER A.R. (1988): Influence of biopores on root growth, water uptake and grain yield of wheat (*Triticum aestivum*) based on predictions from a computer model. Biology and Fertility of Soils 6:315-321.

LÜSCHER, P (2010): Bodenveränderungen und Typisierung von Fahrspuren nach mechanischer Belastung. Schweiz. Z. Forstwesen 161 (12): 504-509.

LÜSCHER, P., F. FRUTIG, S. SCIACCA, S. SPJEVAK, O. THEES (2009): Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. Merkbl. Prax. 45: 12 S. ISSN 1424-2876.

VON WILPERT, K.; J. SCHÄFFER (2006): Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. European Journal of Forest Research 125: 129-138.

WHALLEY, W. R., E. DIMITRU, A. R. DEXTER (1995): Biological effects of soil compaction. Soil and Tillage Research 35: 53-68.