



Fotos: Roger Ködahl



Abbildung 1: Fahrspur Typ 3 (links), Bepflanzungsmassnahmen mit und ohne Kompost (rechts).

Vorwaldbaumarten im Bodenschutz

Verdichteten Boden mit Schwarzerlen regenerieren?

Nach «Lothar» gab es nicht nur waldbauliche Fragen zu diskutieren, es ging auch um den Bodenschutz – denn Räumungsarbeiten hinterlassen Spuren, zum Teil sogar Schäden. Seit 2003 wird untersucht, ob die Regeneration von Bodenverdichtungen durch Bepflanzung mit Vorwaldbaumarten unter Fahrspuren gefördert werden kann. Acht Jahre nach Versuchsbeginn liegen nun erste Ergebnisse vor.

Von Christine Meyer, Peter Lüscher und Rainer Schulin. Im Bodenschutz gilt wie in fast allen Lebensbereichen grundsätzlich das Motto: *Vorsorge ist besser als Nachsorge*. Doch was geschieht, wenn unvorhersehbare Ereignisse wie Stürme Massnahmen erzwingen, die sich nicht mit dem Vorsorgeprinzip vereinbaren lassen? Vor allem bei Räumungen von Sturmflächen unter widrigen Bedingungen mit hoher Bodenfeuchtigkeit kommt es zu Fahrspuren und damit zu Bodenschäden. Wie und in welchem Umfang der empfindliche

Waldboden nach solchen Schäden regeneriert werden kann, das erforscht die WSL auf drei «Lothar»-Reservatsflächen.

Was ist ein Bodenschaden?

Nicht jede sichtbare Fahrspur ist gleichbedeutend mit einem Bodenschaden. Ein schwerwiegender Schaden im ökologischen Sinn liegt erst vor, wenn der Unterboden betroffen ist. Veränderungen im Unterboden sind jedoch nicht direkt sichtbar und können nur durch indirekte Merkmale bestimmt werden.

Lüscher *et al.* (Merkblatt für die Praxis Nr. 45) haben Fahrspuren untersucht und typisiert, so dass Verdichtungsschäden schnell optisch beurteilt werden können. Beim Fahrspurtyp 1 (Abb. 2) ist die organische Auflage nur wenig tief eingewölbt. Dieser Spurtyp stellt eine leichte Beeinträchtigung und keinen Schaden dar. Der Fahrspurtyp 2 weist stärkere Vertiefungen im Oberboden auf, die bis zu 10 cm tief reichen können. Teilweise entstehen durch weggedrücktes organisches Material bereits seitliche Aufwölbungen an den Fahrspurrändern. Auch dieser Spur-

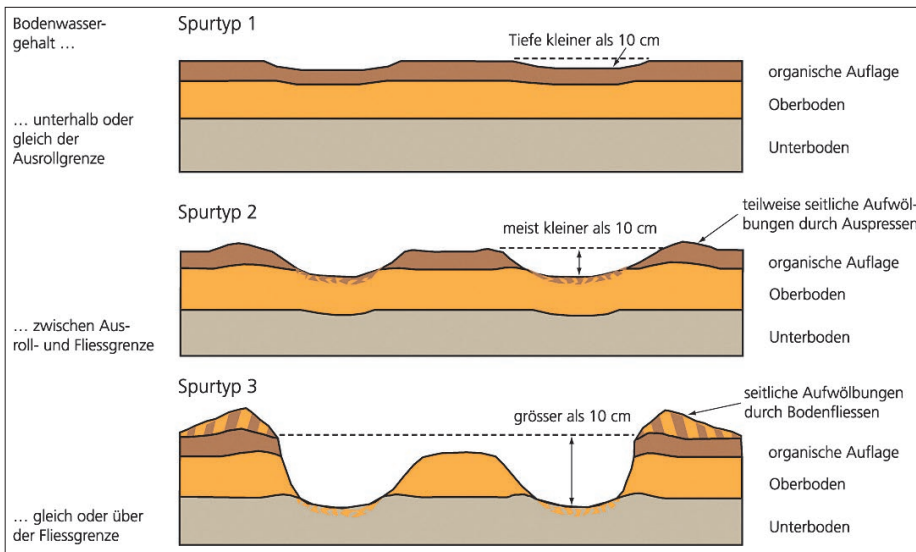


Abbildung 2: Visuelle Typisierung der drei Fahrspurtypen.

typ ist nicht als schwerwiegender Schaden einzustufen. Beim Fahrspurtyp 3 hingegen sind die Fahrspuren deutlich tiefer als 10 cm, die seitlichen Aufwölbungen sind stark ausgeprägt. Das entscheidende Merkmal dieses Fahrspurtyps ist, dass die Fahrspursohle bis in den Unterboden reicht und in den seitlichen Aufwölbungen Humusauflage, Ober- und Unterboden durchmischt werden (Abb. 2).

Im Oberboden ist die natürliche Regeneration von Verdichtungen durch Quellungs- und Schrumpfungsprozesse bei Austrocknung und Wiederbefeuchtung, durch Frost und Bodenorganismen sehr effektiv. Die organische Auflage und auch der Oberboden (Fahrspurtyp 1 und 2) werden so auf natürliche Weise in einem

überschaubaren Zeitraum regeneriert. Reicht die Verdichtung wie beim Fahrspurtyp 3 bis in den Unterboden, regeneriert sich der Boden von selber nicht mehr ausreichend und der Boden bleibt langfristig verdichtet. Daher wird der Fahrspurtyp 3 als ökologischer Schaden eingestuft.

Uneinig sind sich Forscher und Praktiker über die Zeitspanne, die der Unterboden braucht, um sich von selbst zu regenerieren. Schätzungen gehen je nach standörtlichen Voraussetzungen und Tiefe der Verdichtung von vielen Jahren bis zu mehreren Jahrzehnten aus. Dementsprechend ist das Porensystem auf Jahrzehnte hinaus gestört, was sich auf den Wasser- beziehungsweise Gashaushalt des Bodens auswirkt. Dadurch kommt es häufig zu Vernässung, Sauerstoffmangel und Erosion. Einhergehend damit ist die Naturverjüngung gehemmt, denn der Wurzelraum liegt für Nutzbaumarten brach und die Produktivität der Waldfläche und die Bodenfruchtbarkeit sind damit langfristig eingeschränkt.

halt des Bodens auswirkt. Dadurch kommt es häufig zu Vernässung, Sauerstoffmangel und Erosion. Einhergehend damit ist die Naturverjüngung gehemmt, denn der Wurzelraum liegt für Nutzbaumarten brach und die Produktivität der Waldfläche und die Bodenfruchtbarkeit sind damit langfristig eingeschränkt.

Gemäss dem dritten Landesforstinventar (LFI 3, 2011 / Schwyzer, A. & Keller, M. 2009) sind 13 500 ha (2%) der befahrbaren Waldfläche von Verdichtung betroffen. Hinter diesem Wert steckt eine weitere Zahl: 12% aller Stichproben zeigten Anzeichen von Verdichtung. Um diesen Zustand langfristig zu regulieren und die Fruchtbarkeit des Waldbodens dauerhaft zu gewährleisten, ist neben Vorsorge auch Schadenbehebung notwendig.

Vorgehensweise

Doch wie soll die Schadenbehebung vonstatten gehen? Im Gegensatz zur Landwirtschaft ist im Wald ein maschineller Eingriff zur Lockerung des Bodens nicht möglich. Die WSL führt daher Versuche auf drei geräumten «Lothar»-Reservatsflächen in Brüttelen/BE, Habsburg/AG und Messen/SO durch, um die mögliche Wirkung «pflanzlicher Helfer» zu untersuchen. Alle Untersuchungsflächen befinden sich im Schweizer Mittelland und liegen in Waldmeister-Buchenwald-Gesellschaften.

In der Annahme, dass eine Durchwurzelung die verdichteten Bodenbereiche wieder auflockern könnte, wurden 2003 in Fahrspuren des Typs 3 zweijährige



Abbildung 3: Versuchsfeld drei Jahre nach Bepflanzung.

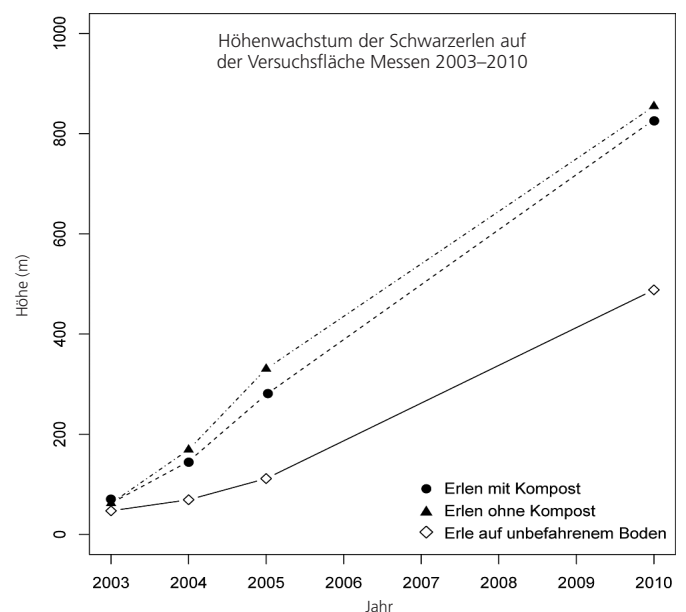


Abbildung 4: Höhenwachstum der Schwarzerlen auf der Versuchsfeldfläche Messen 2003–2010.



Abbildung 5: Bodenprofil durch eine Fahrspur ohne Kompost direkt an der Stammbasis verlaufend. Erkennbar ist die Durchwurzelung durch den verdichteten Bereich bis zu etwa 50 cm Tiefe.

Schwarzerlensetzlinge gepflanzt. Ein Teil der Fahrspuren wurde vor der Bepflanzung zusätzlich mit Kompost aufgefüllt. Nach vielversprechenden Voruntersuchungen (Lüscher et al. 2008; Sciacca et al. 2010) begannen 2009 umfassende Untersuchungen zur Wurzelentwicklung der Schwarzerlen und der Regeneration der Bodenstruktur.

Vorwaldbaumart Schwarzerle regeneriert Fahrspurverdichtung

Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass sich Schwarzerlen in den Fahrspuren gut etablieren konnten und in den Jahren nach der Anpflanzung gute Wachstumsraten zeigten (Abb. 4). Da die Schwarzerle eine Pionierbaumart ist, die auch bei Sauerstoffmangel und Vernässung gut wächst, entwickelten sich die Bäume auf den Fahrspuren sogar bedeutend besser als auf den benachbarten unbefahrenen Referenzflächen.

Für die genaue Analyse der Durchwurzelungsintensität und der Bodeneigenschaften wurden in verschiedenen Abständen zu den Bäumen quer zu den Fahrspuren verlaufende Profile gegraben (Abb. 5). Anhand von Wurzelzählungen an diesen Profilen wurde die Durchwurzelungsleistung beurteilt.

Die Bäume auf den Fahrspuren waren in der Lage, die verdichteten Bodenbereiche bis in über 80 cm Tiefe zu durchwurzeln. Die Hauptwurzelmasse wurde im Oberboden bis etwa 20 cm Tiefe gebildet (Abb. 6 und Abb. 7). In Tiefen zwischen 20 und 40 cm gab es weniger als ein Drittel der Wurzelmasse (Abb. 4).

Ein grosser Unterschied im Wurzelwachstum wurde zwischen Erlen mit und

Abbildung 7: Trockengewichte der Grobwurzeln in den Behandlungen, in Abhängigkeit der Tiefe am Standort Messen.

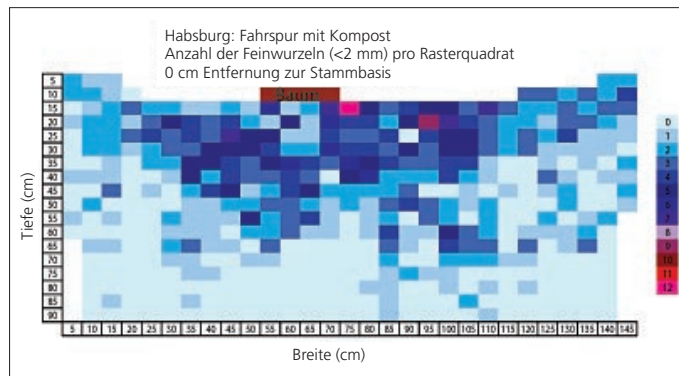
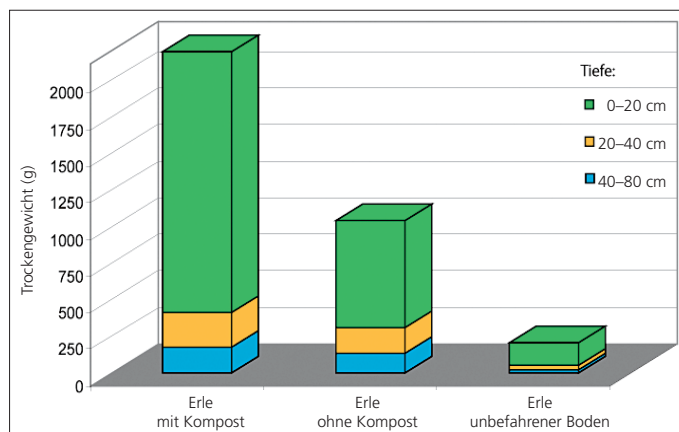


Abbildung 6: Feinwurzelverteilung in der Fahrspur mit Kompost direkt an der Stammbasis, aufgenommen im 5 x 5 cm-Raster.



ohne Kompost festgestellt; der Kompost steigerte die gebildete Wurzelmasse um fast 50%.

Mehr Wurzeln – mehr Sauerstoff

In der Tiefe von 20 bis 30 cm nahm das Porenvolumen des Bodens zu, so dass sich die Werte der Lagerungsdichte im Vergleich zu 2003 (1,72 g/cm³) deutlich verbesserten. Während in den Fahrspuren ohne Massnahmen die Dichte 1,63 g/cm³ betrug (Verbesserung 3,6%), konnte durch die Bepflanzung mit Erlen ohne Kompost eine Verbesserung um mindestens 5% (1,57 g/cm³) und mit Kompost von 15% (1,45 g/cm³) erreicht werden. Zwischen 30 und 40 cm Tiefe war eine ähnliche Tendenz festzustellen, jedoch waren hier die Unterschiede zwischen den Behandlungen weniger deutlich.

Die Durchwurzelung beeinflusste insbesondere das Grobporenvolumen (Abb. 8) in 20 bis 30 cm Tiefe. Zwar wurde in den Fahrspuren mit Massnahmen noch nicht das Niveau der unbefahrenen Referenzfläche erreicht, doch die ermittelten Werte unterschieden sich deutlich von denjenigen der Fahrspur ohne Massnahmen. Im Vergleich zu 2003 vervierfachte sich der Grobporenanteil in bepflanzten Fahrspuren ohne Kompost,

in der bepflanzten Fahrspur mit Kompost vervielfachte er sich sogar.

Mit der Regeneration des Porenraums erholte sich auch die Durchlüftung des Bodens (Abb. 9). In den untersuchten Tiefen wiesen die bepflanzten Fahrspuren höhere Luftleitfähigkeiten auf als die unbehandelten Fahrspuren. Vor allem in den Fahrspuren mit Kompost nahm die Luftleitfähigkeit stark zu. Hier erreichte sie sogar das Niveau des unbefahrenen Bodens. Beregnungsexperimente zeigten, dass sich durch die Bepflanzung auch die Wasserleitfähigkeit in den Fahrspuren normalisiert hat. Dies bedeutet für den Boden weniger Vernässung und eine bessere Sauerstoffversorgung und somit bessere Bedingungen für eine gesunde Bodenflora und -fauna.

Folgerungen und Ausblick

Die Untersuchungen zeigen deutlich, dass die Bepflanzung verdichteter Fahrspuren mit Schwarzerlen die Regeneration der Bodenstruktur stark fördern kann. Nach sieben Jahren Baumwachstum waren die physikalischen Bodeneigenschaften bis in 30 cm Tiefe weitestgehend regeneriert. Im Boden darunter braucht die Regeneration mehr Zeit.

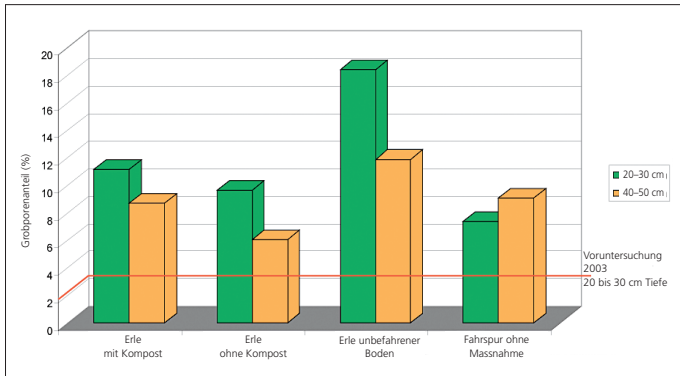


Abbildung 8: Grobporanteil des Bodens, Standort Messen.

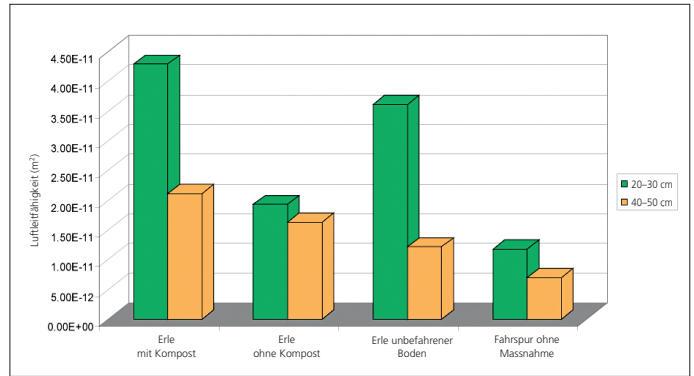


Abbildung 9: Luftleitfähigkeit des Bodens am Standort Messen in verschiedenen Tiefen.

Die Wirkung des Kompostes war standortabhängig. Auf dem Standort Messen, der relativ feucht ist und eine sehr aktive Humusform mit hohem Umsatz aufweist, hatte der Kompost eine fördernde Wirkung. Auf dem Standort Habsburg, der trockener ist und eine weniger aktive Humusform hat, förderte der Kompost die Regeneration kaum.

Weitere praktische Überlegungen

- Auf offenen Flächen ist die Schwarzerle eine geeignete Baumart für Regenerationsmassnahmen. In geschlossenen Wäldern müssten aufgrund des hohen Lichtbedarfs der Erle andere Baumarten wie zum Beispiel der Faulbaum zum Einsatz kommen.
- Wenn bei der systematischen Planung der Feinerschliessung vorhandene Rückegassen mit Fahrspurtyp 3 nicht mehr benötigt werden, lässt sich durch gezielte Erlenbepflanzung die Bodenfruchtbarkeit wieder herstellen.
- Die Bepflanzung mit Schwarzerlen könnte auch als eine «Armierung» des

Bodens für eine erneute Befahrung dienen.

- Zusätzlich könnte die Schwarzerle durch ihren Stockausschlag nach einer erneuten Befahrung auch zur Markierung von Rückegassen dienen.

Unsere Untersuchungen zeigen zwar, dass sich befahrene Böden gezielt regenerieren lassen, der Aufwand jedoch hoch ist. Mit geringerem Aufwand (Anpassen des Reifeninnendrucks) und einer Befahrung zum richtigen Zeitpunkt (geringe Bodenfeuchte) können Bodenschäden vermieden werden. Dies erspart Arbeitsaufwand und Kosten für spätere, teure Regenerationsmassnahmen.

Christine Meyer und Peter Lüscher

sind Mitarbeitende an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Forschungseinheit Waldböden und Biogeochemie.

Rainer Schulin

ist Professor am Institut für Terrestrische Ökosysteme an der ETH Zürich, Gruppe Bodenschutz.

Verdankung

Wir bedanken uns beim Bundesamt für Umwelt und dem Wald- und Holzforschungsfonds für die finanzielle Unterstützung der Untersuchung sowie beim lokalen Forstdienst und den beteiligten Kollegen der WSL-Forschungseinheit Waldböden und Biogeochemie, die uns bei diesem Projekt unterstützen.

Literatur

Brändli, U.-B. (Red.) 2010: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, BAFU. 312 S.

Lüscher, P., Frutig, F., Sciacca, S., Spjevak, S., Thees, O. (2009): Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. Merkblatt Praxis 45: 12 S. ISSN 1424–2876.

Lüscher, P., Sciacca, S., Halter, M. (2008): Regeneration von Wurzelraumfunktionen nach mechanischer Belastung. In Fahrsuren gepflanzte Erlen fördern die Regeneration in verdichteten Böden. LWF aktuell 15, 67: 11–12.

Schwyzler, A., Keller, M. (2009): Schäden im Schweizer Wald. Wald und Holz 11: 32–35.

Sciacca, S., Halter, M., Frey, B., Brunner, I., Lüscher, P. (2010): Regenerationsfähigkeit von Fahrsuren nach mechanischer Belastung. BGS Bulletin 30: 37–38.