



Wie wirken sich Ladungsgewicht und Anzahl Überfahrten von Forstmaschinen auf Bodenverdichtung und Spurbildung aus?

Bodenverdichtung und Spurbildung auf Rückegassen

Was bringt das Rücken mit halber Ladung?

In Weiterbildungskursen zum Bodenschutz bei der Holzernte kommt regelmässig die Frage auf, ob das Rücken mit halber Ladung und einer entsprechend grösseren Anzahl Überfahrten den Boden in den Rückegassen weniger beeinträchtigt. Die WSL hat diese Frage im Forstbetrieb Wagenrain in Bremgarten AG mit einem entsprechenden Versuch abgeklärt und kommt zum Schluss, dass sich so zwar die Bodenverdichtung, aber nicht unbedingt auch die Spurtiefe verringern lässt.

Von Fritz Frutig und Peter Lüscher.

Teilnehmende von Bodenschutzkursen der WSL haben in den letzten Jahren verschiedentlich hinterfragt, ob «Fahren mit halber Ladung» bei hoher Bodenfeuchte zu einer geringeren Beeinträchtigung des Bodens führe. Bei tieferen Radlasten wird allgemein erwartet, dass die Bodenverdichtung geringer ist und auch weniger tief in den Boden reicht. Wenn eine bestimmte Holzmenge zu rücken ist, braucht es bei halber Ladung allerdings die doppelte Anzahl Fahrten. Beobachtungen und Erfahrungen aus der Praxis weisen darauf hin, dass dies einen eher nachteiligen Effekt auf die Spurbildung

hat. Die Bedingungen, unter welchen eine Befahrung mit verminderter Ladung stattfand, waren jedoch meist nicht genau bekannt, d.h., es liegen kaum Informationen zu Bodenaufbau, Bodeneigenschaften, Bodenfeuchte, Betriebsgewicht der Maschine und genauer Anzahl Überfahrten vor.

Aus diesem Grund hat die WSL im *Forstbetrieb Wagenrain* in Bremgarten AG eine Fallstudie zu diesem Thema durchgeführt. Auf zwei nebeneinander liegenden Rückegassen mit vergleichbaren und vor allem bekannten Bedingungen wurde ein Befahrungsversuch zu folgenden Fragestellungen durchgeführt:

- Wie wirkt sich das Befahren einer Rückegasse mit halber Ladung und doppelter Anzahl Überfahrten auf die Verdichtung des Bodens und auf die Spurbildung aus?
- Welche Unterschiede sind zwischen dem erstmaligen Befahren eines Waldbodens und dem erneuten Befahren einer schon bestehenden, bereits verdichteten Rückegasse festzustellen?

Versuchsanlage

Für den Versuch konnten zwei bestehende Rückegassen auf dem Waldstandortstyp *Waldmeister-Buchenwald mit Hainsimse* gefunden werden (Abb.1, Gassen 1 und

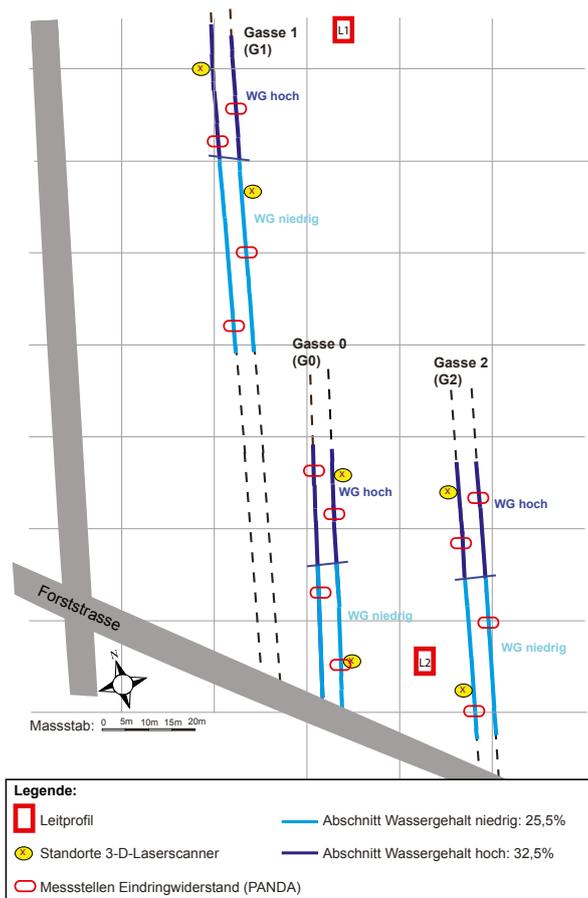


Abb. 2: Der im Befahrungsversuch eingesetzte 8-Rad-Forwarder Valmet 830.3 mit voller Ladung. Sein Leergewicht betrug 12,2 t, das Betriebsgewicht mit voller Ladung 20,3 t und mit halber Ladung 16,4 t.



Weniger Verdichtung mit halber Ladung

Untersucht wurden die Parameter Lagerungsdichte (Abb. 3), Porenvolumen, Luft- und Wasserleitfähigkeit, Vorverdichtung (Elastizität des Bodens) und Eindringwiderstand.

Die Lagerungsdichte war bei voller Ladung in beiden Tiefenstufen höher als bei halber Ladung (Abb. 3). Entsprechend war auch das Porenvolumen bei voller Ladung geringer. Die Luft- und Wasserleitfähigkeit nahm nach dem Befahren sowohl mit voller als auch mit halber Ladung leicht ab.

Bei der Vorverdichtung, einem Mass für die Elastizität des Bodens, wurde keine wesentliche Veränderung nach dem Befahren festgestellt. Dies bedeutet, dass die Rückegassen aufgrund der Verdichtung aus früherer Befahrung eine gewisse Tragfähigkeit aufwiesen.

Erwartungsgemäss war der Eindringwiderstand nach dem Befahren mit voller Ladung mehrheitlich höher als mit halber Ladung. Einzelne unplausible Messwerte ergaben sich aufgrund von Steinen und Wurzeln im Boden.

Fazit: Weniger Ladung führt auch bei höherer Anzahl Überfahrten zu geringerer Bodenverdichtung und die Verdichtung reicht weniger tief in den Boden.

Kein eindeutiges Ergebnis bezüglich Spurbildung

In den Abschnitten mit niedrigem Wassergehalt (ca. 25%) liess sich bei der Spurbildung praktisch kein Unterschied zwischen dem Befahren mit voller und mit halber Ladung feststellen. In den Abschnitten mit hohem Wassergehalt (33%, nahe der Fließgrenze) war die Spurbildung bei halber Ladung tendenziell etwas geringer, die Fallstudie erlaubt jedoch diesbezüglich keine gesicherte Aussage.

2), die letztmalig vor rund zehn Jahren befahren worden waren. Zwischen diesen beiden Gassen wurde zusätzlich eine neue Gasse mit vergleichbaren Bedingungen auf bisher unbefahrenem Waldboden ausgewählt (Gasse 0), um Unterschiede zwischen erstmaligem und wiederholtem Befahren eines Bodens feststellen zu können.

Beim Boden auf der Versuchsfläche handelt es sich um eine tiefgründige, skelettarme, saure Braunerde bzw. Parabraunerde mit örtlich mässigem Stauwassereinfluss. Die Körnung entspricht mehrheitlich einem sandigen Lehm.

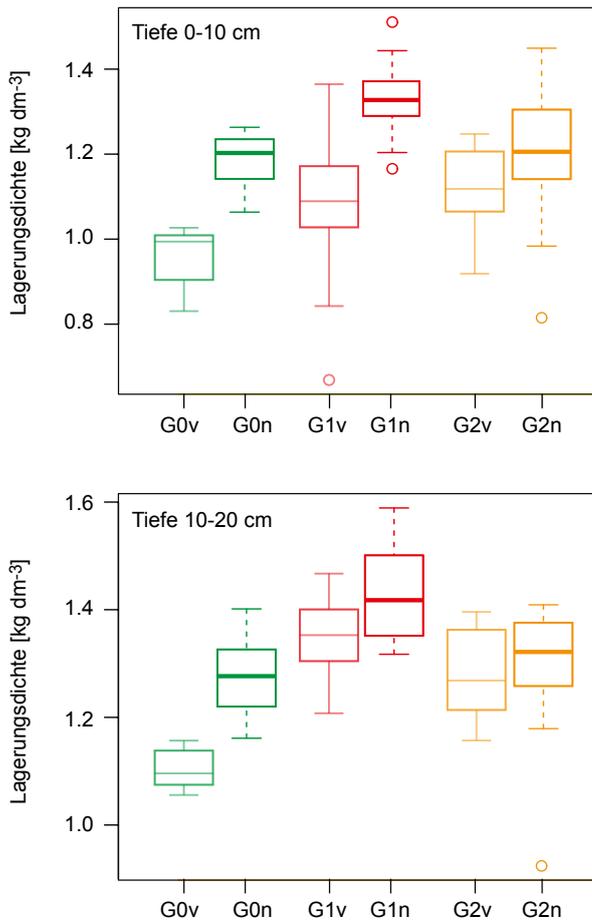
Auf allen Gassen wurde je ein Abschnitt mit niedrigem und mit hohem Wassergehalt (WG) angelegt. «WG niedrig» entsprach dem witterungsbedingten Wassergehalt, der zum Zeitpunkt des Befahrens (Juni 2013) mit rund 25% recht hoch lag. Im Abschnitt «WG hoch» wurde der Wassergehalt mittels Bewässern nahe der Fließgrenze des Bodens eingestellt (ca. 33%).

Auf der Gasse 1 erfolgten vier Überfahrten mit voller Ladung und auf der Gasse 2 acht Überfahrten mit halber Ladung. Auf der neu angelegten Gasse G0, d.h. auf dem bisher nicht befahrenen

Waldboden, wurden zwei Überfahrten mit voller Ladung ausgeführt.

Vor und nach der Befahrung wurde der Zustand der Fahrspuren mittels visueller Ansprachen und bodenphysikalischer Erhebungen charakterisiert:

- Probenahme mit Stechzylindern für bodenphysikalische und bodenmechanische Untersuchungen im Labor (Lagerungsdichte, Porenraum, Vorverdichtung, Luft- und Wasserleitfähigkeit).
- Mit einer PANDA-Sonde wurde vor und nach der Befahrung in allen Abschnitten der Eindringwiderstand gemessen, also die Kraft, die aufgewendet werden muss, um den Boden mit einer Metallspitze zu durchdringen. Damit lässt sich nachweisen, wie stark und wie tief der Boden beim Befahren verdichtet wurde.
- Die Fahrspuren wurden vor und nach der Befahrung visuell den Fahrspurtypen 1, 2 oder 3 zugeordnet (Lüscher et al. 2009).
- Zusätzlich hat die Forschungsgruppe Fernerkundung der WSL die Fahrspuren vor und nach der Befahrung mit einem 3-D-Laserscanner dokumentiert (Abb. 4).



Streckenabschnitt mit **hohem** Wassergehalt (ca. 33%)
 Gasse 1: volle Ladung (4 x) Gasse 2: halbe Ladung (4 x)

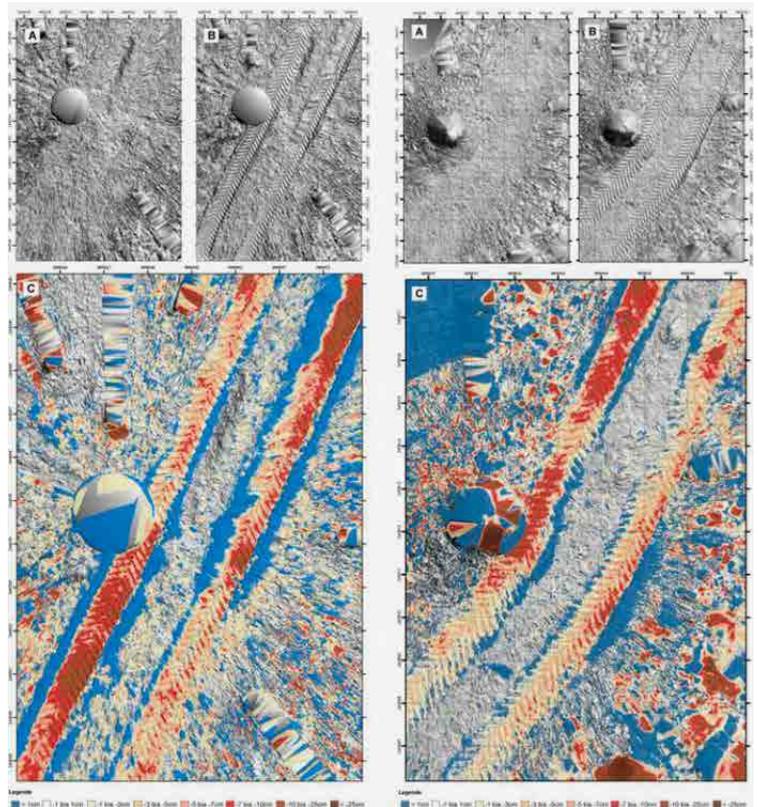


Abb. 4: Terrestrischer Laserscan für die Abschnitte mit hohem Wassergehalt. Bild A zeigt die Situation der Fahrspuren vor der Befahrung, Bild B nach der Befahrung (Reliefdarstellungen). In Bild C sind die berechneten Höhendifferenzen zwischen den Bildern A und B dargestellt. Die Farbtöne von Gelb über Rot zu Braun zeigen eine zunehmende Spurtiefe, während die blaue Farbe die Aufwölbungen darstellt (diese wurden nicht nach Höhe abgestuft). Tiefe Fahrspuren (rot bis braun) mit beidseitigen Aufwölbungen (blau) sind typisch für den Spurtyp 3.

Abb. 3: Lagerungsdichte des Bodens vor (v) und nach (n) dem Befahren in den einzelnen Gassen. Die Lagerungsdichte wurde im Oberboden in den Tiefen 0–10 cm und 10–20 cm bestimmt.

G0 = neue Gasse, erstmalige Befahrung / 2 x volle Ladung
 G1 = bestehende Gasse / 4 x volle Ladung
 G2 = bestehende Gasse / 8 x halbe Ladung.

Eine vergleichbare Untersuchung, die Wöstefeld (2011) auf zwei verschiedenen Standorten mit stauwasserbeeinflusstem Boden im Südschwarzwald (sandiger Lehm) und im Nordschwarzwald (schwach lehmiger Sand) ebenfalls mit 8-Rad-Forwardern durchführte, kam jedoch zu einem gegenteiligen Ergebnis: Bei Teilladungen und höherer Anzahl Überfahrten bildeten sich dort tiefere Fahrspuren. Um die Frage der Spurbildung zuverlässiger beantworten zu können, wären somit weitere Versuche auf Flächen mit unterschiedlichem Bodenaufbau nötig.

Wöstefeld hat im Schwarzwald zusätzlich untersucht, wie sich das Befahren mit Teilladungen und vermehrter Anzahl Überfahrten auf die Spurbildung auswirkt, wenn der Forwarder mit vier Bogiebändern ausgerüstet war, wobei auf der Hinterachse solche mit breiten Platten montiert waren: Das Fahren mit

Bogiebändern und Teilladungen verringerte trotz höherer Anzahl Überfahrten die Spurbildung. Dieser Effekt dürfte auf die im Vergleich zum Radfahrzeug größere Kontaktfläche der tragenden Bänder mit dem Boden sowie den geringeren Schlupf beim Fahren zurückzuführen sein.

Fazit: Bezüglich Spurbildung lässt sich die Massnahme «Rücken mit halber Ladung» aufgrund der bisherigen Erkenntnisse für Radfahrzeuge nicht empfehlen.

Geringe Bodenfeuchte beim erstmaligen Befahren einer Gasse

Zusätzlich zu den bereits bestehenden Rückegassen 1 und 2 wurde die Gasse 0 auf bisher unbefahrenem Boden angelegt (Abb. 1), um den Unterschied zwi-

schen einer erstmaligen und einer wiederholten Befahrung eines Waldbodens aufzuzeigen. Die erstmalige Befahrung verändert die Bodenstruktur stärker als das wiederholte Befahren eines bereits vorverdichteten Bodens. Erwartungsgemäss wurde der Boden im Sektor mit hohem Wassergehalt stärker verdichtet als in demjenigen mit niedrigem. Ebenfalls zeigte sich auf dem noch unbefahrenen Boden der Gasse 0 im Sektor mit hohem Wassergehalt nach der Befahrung eine etwas ausgeprägtere Spurbildung als auf der bereits bestehenden Rückegasse G1.

Diese Erkenntnisse bestätigen, dass die erstmalige Befahrung eines Bodens, z.B. in einer neu angelegten Rückegasse, bei günstigen Bedingungen erfolgen sollte, also bei geringer Bodenfeuchte. Damit besteht für eine spätere Wiederbefahrung eine bessere Ausgangslage.

Folgerungen für die Praxis

Es konnte festgestellt werden, dass das Rücken mit halber Ladung den Boden erwartungsgemäss weniger und weniger tief reichend verdichtet. Bezüglich Spurbildung scheint diese Massnahme für Radfahrzeuge nach den bisherigen Erkenntnissen jedoch fraglich. Auch bei halber Ladung ist immer das gesamte Maschinengewicht vorhanden, sodass das Betriebsgewicht der Maschine nur um etwa einen Viertel sinkt, die Anzahl Fahrten sich jedoch verdoppelt. Dies kann sich bei hohen Wassergehalten ähnlich ungünstig auf die Spurbildung auswirken wie ein hohes Ladungsgewicht. Immerhin kann das Rücken von Teilladungen situativ eine wirksame Massnahme sein, wenn bei zunehmender Bodenfeuchte (einsetzender Regen) eine Rückearbeit noch fertig ausgeführt werden soll. Sobald jedoch die Bodenfeuchte gegen die Fliessgrenze ansteigt, ist auch beim Rücken mit Teilladungen mit dem Auftreten des Spurtyps 3 zu rechnen, sodass die Arbeit unterbrochen werden sollte. Nicht unerwähnt bleiben darf die Tatsache, dass das Rücken mit Teilladungen die Rückearbeit erheblich verteuert. *Wöstefeld* (2011) rechnet für die zwei Versuchsflächen im Schwarzwald mit Mehrkosten von 30% beim Rücken mit Forwarder.

Fritz Frutig, Peter Lüscher

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 8903 Birmensdorf

Dank

Die Autoren danken dem Forstbetrieb Wagenrain Bremgarten AG für die Möglichkeit, dass der Versuch in seinem Waldgebiet durchgeführt werden konnte, sowie Martin Burkard für die Versuchsfahrten mit seinem Forwarder. Ein weiterer Dank für die Unterstützung bei der Durchführung des Versuches und bei den Auswertarbeiten geht an Hans Kremer von der Technischen Universität München, an Oliver Thees, Christine Meyer, Marco Walser, Roger Köchli, Christian Ginzler und Patrick Thee, alle WSL, sowie an Andreas Freuler, Abteilung Wald Kanton Aargau. Dem BAFU und dem Wald- und Holzforschungsfonds danken wir für die finanzielle Unterstützung des Versuches.

Literatur

Lüscher, P., Frutig, F., Sciacca, S., Spjevak, S., Thees, O., 2009: Physikalischer Bodenschutz im Wald: Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. Merkblatt für die Praxis Nr. 45, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 12 S.

Wöstefeld, J.H., 2011: Auswirkungen von Bändern und Teillasten auf die Erhaltung der technischen Befahrbarkeit von Rückegassen auf befahrungsempfindlichen Standorten. Masterarbeit, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., 107 S.

 <h1>HERZOG Forsttechnik AG</h1>	
<h2>KONRAD Forsttechnik</h2>  <p>Konrad-Importeur seit 1993 Ueber 150 Schweizer Kunden durften wir mit Woody, Woodliner, Liftliner, MOUNTY und KMS beliefern.</p>	<h2>PONSSE</h2>  <p>Harvester und Forwarder der Weltspitze Ponsse Verkauf und Service Schweiz Wir beliefern Ponsse mit unserer Traktionswindentechnik weltweit</p>
<h2>Forstmesse Luzern Freigelände B24</h2>	