



# Bodenscherfestigkeit auf Rückegassen

Je nach Standorteigenschaften kann die schnell zu ermittelnde Scherfestigkeit des Oberbodens ein gutes Mittel zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Rückegassen sein – Erfahrungen aus einem Praxisprojekt zur bodenschonenden Holzernte im Forstbezirk Leipzig.

---

*Felix Heubaum*

**D**ie Gleisbildung auf Rückegassen rückt im Internationalen Jahr des Bodens weiter in den Fokus der forstlichen Diskussion. Zur Vermeidung der kritisierten Spureintiefungen steht prinzipiell ein weites Spektrum an

technischen Möglichkeiten zur Verfügung: Seilkräne, Raupenfahrwerke, Schreitwerke, Biegebänder, Superbreitreifen, Traktionshilfswinden oder schlicht und einfach der Einsatz leichterer Maschinen. Doch bevor man sich für eine Technologie entscheidet, sind zunächst Kenntnisse über die Befahrungsempfindlichkeit der betreffen-

den Rückegassen hilfreich. In der Praxis behilft man sich mit der Standortkarte und kann so das Risiko der Spurausbildung grob abschätzen. Mit dem lokalen Erfahrungsschatz und ggf. dem Wissen um vorliegende Bodeneigenschaften (Bodenart, Bodentyp) wird das Bild ergänzt. Nicht selten kommt man dabei zu dem Schluss,



Abb. 1: Clark Terra-X TXL 150 mit zusätzlichen Traktionsstacheln

dass eine Befahrung eigentlich nur zu Zeiten der sommerlichen Austrocknung der Böden oder im Winter bei Bodenfrost schadenfrei möglich ist.

## Veränderte Rahmenbedingungen

In der Realität ist eine Beschränkung auf diese Zeiträume nur noch selten möglich: Veränderte Rahmenbedingungen, wie der Rückgang von Eistagen und damit der Anzahl von Tagen mit Bodenfrost [2], Naturschutzrestriktionen mit Ausschlusszeiten für die Holzernte [3], der Verzicht auf die Entwässerung mittels Gräben oder ganzjährige Lieferverpflichtungen aus Holzverkaufsverträgen können dafür beispielhaft genannt werden. Nicht selten bleibt nur ein kurzes Zeitfenster zur Durchführung der geplanten Maßnahmen. Unter solchen Sachzwängen steigen die Risikobereitschaft und die Toleranz gegenüber etwaiger Schäden. Weniger sensible Ausweichflächen können oft nur in sehr begrenztem Umfang vorgehalten werden [3].

Ein voll beladener, mit stählernen Boggiebändern ausgestatteter Achtrad-Forwarder bringt etwa 40 t auf die unbefestigte Rückegasse. Dabei fehlen häufig Erfahrungen, zu den möglichen Auswirkungen dieser Belastung, wie sich die Forstmaschinen auf sensiblen Böden, bei ungünstiger Witterung oder bei kritischer Bodenfeuchte verhalten. Schaut man sich die Rückegassen nach einer Holzerntemaßnahme an, wird jedoch schnell klar, dass wir uns dabei regelmäßig im Grenzbereich der Belastbarkeit unserer Waldböden bewegen. Ein Instrument zur Prognose möglicher Spurschäden erscheint unter diesen Voraussetzungen unabdingbar.

Bestärkt durch Untersuchungen des IFA Göttingen [4], welche die Scherfestigkeit des Oberbodens als vielversprechende Größe zur Beurteilung der Tragfähigkeit beschreiben, wurde diese während eines umfangreichen Praxisversuchs im Forstbezirk Leipzig [3] als einer der Hauptparameter zur Erklärung aufgetretener Spurriefen

herangezogen und konnte sich als Indikator für die Abschätzung der Befahrungs-sensibilität von Rückgassen bewähren.

## Was ist die Scherfestigkeit?

Die Scherfestigkeit ist eine von der Forstwissenschaft bisher kaum beachtete Größe, welche jedoch im Ingenieurwesen bei Baugrunduntersuchungen durchaus üblich ist. Sie bezeichnet den Widerstand des Bodens gegenüber auftretenden Scherkräften, die zum Aufbrechen der Bodenmatrix führen können – also jene Bodenspannung, die dem Verschieben der Bodenteilchen gegeneinander entgegenwirkt. Rein physikalisch ausgedrückt handelt es sich um das maximale Drehmoment, welches zum Abscheren von Boden erforderlich ist. Von dieser primär horizontalen Bodenspannung kann auf die Tragfähigkeit des Bodens im Sinne einer vertikal wirkenden Auflast, zum Beispiel ausgeübt von einer Forstmaschine, geschlossen werden [4, 6].

Die Scherfestigkeit ist in hohem Maße von der Bodenart (Korngrößenverteilung) und der Lagerungsdichte, sowie in begrenztem Umfang von der Bodenfeuchte (Wassergehalt) abhängig. Dabei gilt: je bindiger ein Boden, desto größer seine Scherfestigkeit; je höher die Bodenfeuchte, desto geringer die Scherfestigkeit; je größer die Lagerungsdichte, desto größer die Scherfestigkeit. Weiterhin kann sie von der Durchwurzelung sowie dem Skelett- und Humusgehalt des Bodens in unterschiedlichem Maße überprägt sein [3, 4, 6].

Aufgrund des starken inneren Zusammenschnitts im Feinkornanteil von Lehmböden besitzen diese eine wesentlich höhere Scherfestigkeit als grobkornreiche Sandböden. Mit zunehmendem Bodenwasergehalt sinkt ihre Scherfestigkeit jedoch rapide, sodass sie bei Wassersättigung zu den sensibelsten Böden überhaupt gehören.

Anzeige

**SBB CFF FFS**  
RollAway-Kombi: Bahn, Transfer, Eintritt.

Foire forestière  
**FORST MESSE LUZERN**  
20.-23.8.15 Messe Luzern  
9-17h [www.forstmesse.com](http://www.forstmesse.com)

So sind die Lösslehmböden des Leipziger Befahrungsversuchs zur Zeit ihrer größtmöglichen Austrocknung im Sommer „steinhart“ und lassen kaum eine Reaktion auf den Maschineneinsatz erkennen, während sie bei Befahrung nach Niederschlagsereignissen bereits nach wenigen Überfahrten heftige Spureintiefungen aufweisen (besonders hohes Wasserspeicherervermögen) [5].

Das Formelzeichen der Scherfestigkeit ist der griechische Buchstabe „Tau“  $\tau$  in Verbindung mit der Abkürzung „max“ für die maximale Schubspannung, bei welcher der Boden abgescheret wird:  $\tau_{\max}$ . Als Einheiten werden verwendet: kN/m<sup>2</sup>, kPa und t/m<sup>2</sup>.

Beim Einsatz einer Forstmaschine wirken mehrere Kräfte auf den Waldboden: Zunächst ergibt sich aus dem Gewicht der Maschine eine Auflast, welche als Kontaktflächendruck auf die Bodenoberfläche (verdichtend) einwirkt. Der Vortrieb der Maschine verursacht zudem Traktionskräfte, welche eine primär horizontale Beanspruchung des Bodenkörpers darstellen, wie sie im Flügelscherversuch nachvollzogen wird. Die Kombination beider Kräfte ist in der Praxis (bei Schlupf über 20 %) als tangentiales Abscheren des Bodens erkennbar.

### Bestimmung der Scherfestigkeit

Im Gegensatz zu Baugrunduntersuchungen ist es zur Beurteilung der Befahrungs-empfindlichkeit einer Rückegasse ausreichend, die Scherfestigkeit des Oberbodens zu bestimmen. Die obersten 30 cm des Bodens sollen das „Widerlager“ für die Forstmaschinen bilden und lassen sich mit dem Leichten Scherfestigkeitsmesser einfach untersuchen. Dazu wird eine Sonde mit zwei rechtwinklig zueinander stehenden Flügeln von definierter Form und Fläche in den Boden gedrückt. Das beim Verdrehen der Sonde im Moment des Bodenbruchs aufgebrachte maximale Drehmoment wird von einem Schleppzeiger festgehalten. Je nach Konsistenz des Bodens können Flügel verschiedener Größen verwendet werden. Zur Vorbereitung wird die Streuschicht entfernt und ein Loch mit definiertem Durchmesser vorgestochen, das als Führung für die Flügelsonde dient. Die Werkzeuge sind in Abb. 2 dargestellt und können in einem handlichen Koffer transportiert werden.

Möchte man nun die Tragfähigkeit einer Rückegasse beurteilen, empfiehlt es sich, entweder systematisch mit vielen Messungen (50 plus je Rückegasse) die Scherfestigkeit zu bestimmen oder anhand optischer Kriterien (Zeigerpflanzen, Nassstellen, Mikrorelief) sensible Bereiche aus-



Abb. 2: Leichter Scherfestigkeitsmesser (Flügelsonde „push-in-Typ“).  
a: Verlängerungsstange; b: Nadel zum Vorstechen des Messlochs;  
c: Messgerät für Drehmoment; d: Schleppzeiger; e: verschiedene Flügel

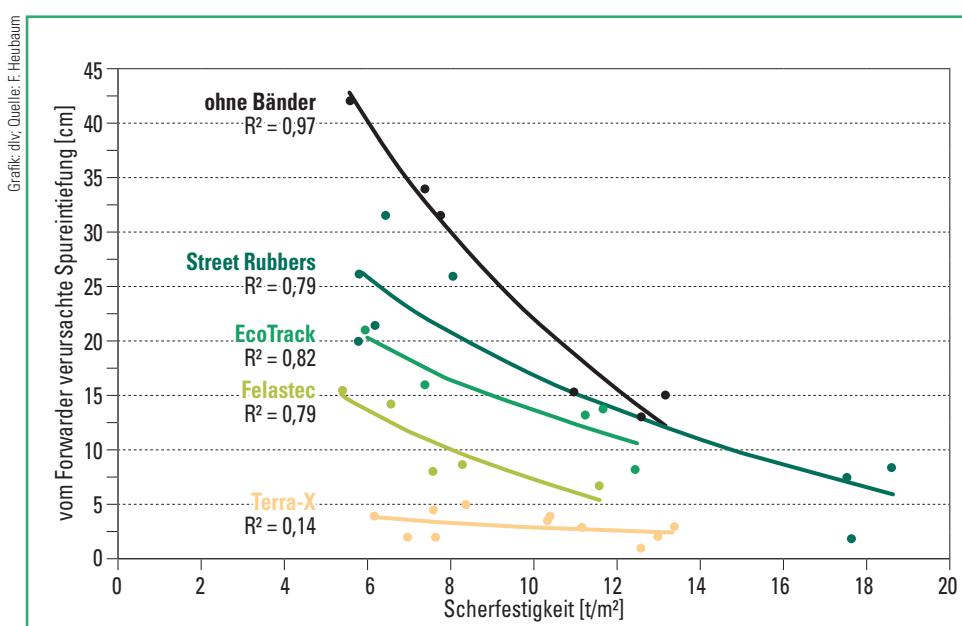


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Scherfestigkeit und Spureintiefe  
Spuriefemesswerte nach Belastung der Spur mit 140 t kumulativem Überfahrtgewicht bzw. nach Rückung von ca. 90 Fm Holzmenge



Abb. 4: Der Autor beim Einsatz der Flügelsonde

zumachen und diese zu beproben. Dabei sollten mindestens 20 bis 30 Messungen je Gasse durchgeführt werden, um einen statistisch abgesicherten Mittelwert zu erhalten. Der Zeitbedarf dafür liegt bei etwa einer halben Stunde. Die Genauigkeit kann erhöht werden, wenn zusätzlich in verschiedenen Tiefen (bis max. 50 cm) die Scherfestigkeit erfasst wird.

### Befahrungsversuch Leipzig

Im Forstbezirk Leipzig wurde in den Jahren 2012 bis 2014 ein umfangreicher Versuch zur Befahrung besonders sensibler Standorte durchgeführt. Dabei wurde neben weiteren Parametern, auch die Scherfestigkeit mittels Flügelsonde bestimmt und in Relation zu den jeweils aufgetretenen Spurturen gesetzt. Die Hauptergebnisse des Projekts „Angepasste Holzerntetechnologien und Restriktionen im Forstbezirk Leipzig“ können in AFZ-DerWald, Nr. 17/2014 (S. 16–20) nachgelesen werden.

Zahlreiche Untersuchungen belegen den Zusammenhang: je feuchter der Boden, desto tiefer die zu erwartenden Fahrspuren [5]. Die im Leipziger Versuch nach dem Rücken einer Holzmenge von ca. 90 Efm erfassen Spurturen wiesen jedoch nur eine schwache Abhängigkeit von der Bodenfeuchte auf. Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass die Bodenfeuchte im Untersuchungsgebiet überdurchschnittlich hoch war. Im gesamten Erprobungszeitraum lag diese während des Winters und im Frühjahr im Mittel bei 42,3 Vol.-%, was der Grenze zur Wassersättigung der dort anstehenden Decklöss-Staugleyböden entspricht. Bei gesättigtem Gesamtporenvolumen ist der Einfluss der Bodenfeuchte zwar überaus groß, jedoch können damit die teils erheblichen Unterschiede in der Spurausbildung nicht erklärt werden. An diesem Punkt tritt die Scherfestigkeit des Oberbodens in den Vordergrund, welche die festgestellten Spurturen mit in der Regel starken bis sehr starken Korrelationen weitaus besser erklärt.

Anzeige

## HackTruckflexibel unterwegs mit dem DOPPSTADT DH 811 L



### Das Spezialgerät zur Erzeugung von Biomasse – flexibel am Einsatzort und im Material!

- Doppstadt Hacker DH 811 L mit 530 PS (390 kW) Aufbaumotor
- geländegängiger 4-Achs-Allrad-LKW (32 Tonnen)
- Hacker beidseitig drehbar auf dem Fahrgestell montiert
- verschiedene Forstkräne mit bis zu 10 Metern Reichweite möglich
- hydraulisches Einzugsband
- ideal zur Erzeugung von Qualitätshackschnitzeln und Waldhackgut

Werner Doppstadt Umwelttechnik  
GmbH & Co. KG  
Steinbrink 13, D-42555 Velbert  
Tel.: +49 (0) 20 52 / 889 - 0  
info@doppstadt.de



Besonders die Variante ohne Bänder, bei welcher mit jeder Überfahrt eine deutliche Zunahme der Spurturen zu verzeichnen war, lässt eine klare Abhängigkeit von der Scherfestigkeit des Oberbodens erkennen. Varianten von Bogiebändern mit großen Aufstandsflächen – in Abb. 3 durch das Modell Terra X vertreten – verursachen auch bei niedrigen Scherfestigkeitswerten eine vergleichsweise geringe Spurturenzunahme.

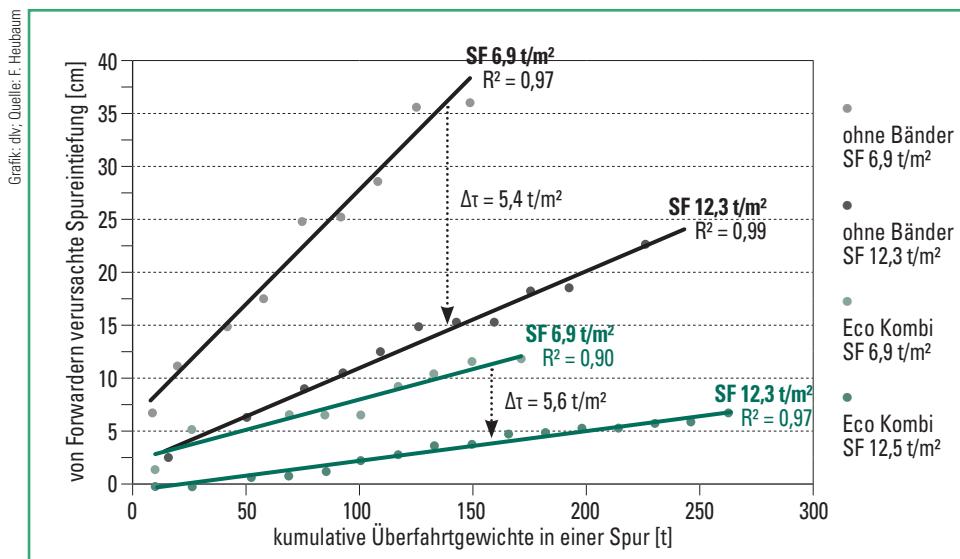
Bei Vergleichsmessungen wurde deutlich, dass die Scherfestigkeit der Rückegassen bereits vor der Holzerntemaßnahme um 18,2 % höher war als im Waldbestand unmittelbar daneben. Hier ist die verdichtende Wirkung der in der Vergangenheit erfolgten Maschineneinsätze bzw. die Nutzung des permanenten Rückegassensystems zu erkennen. Durch die Befahrungen während der Versuche erhöhte sich die Scherfestigkeit der Rückegassen erneut im Mittel um 20,4 %. Hierbei konnte jedoch eine starke Differenzierung je nach Bändertyp festgestellt werden: Der Einsatz von Moorbändern mit großer Aufstandsfläche führte zu einer geringeren Zunahme der Scherfestigkeit, als dies bei Traktionsbändern mit kleineren Aufstandsflächen der Fall war.

Betrachtet man ausschließlich Rückegassen mit nahezu identischem Bodenwassergehalt und klammert so den Faktor Bodenfeuchte aus, wird die Auswirkung unterschiedlicher Scherfestigkeiten auf die Spurausbildung besonders deutlich. Abb. 5 zeigt, dass Rückegassen mit hohen Scherfestigkeiten im Vergleich zu Gassen mit geringen Scherfestigkeitswerten auch wesentlich geringere Spureintiefungen aufweisen.

Die Scherfestigkeit des Oberbodens ist demzufolge ein guter Parameter zur Erklärung aufgetretener Spureintiefungen und erleichtert die Beurteilung der Befahrungs-sensibilität von kritischen Standorten.

## Ausblick

Die Ergebnisse der beschriebenen Versuche gelten zunächst nur innerhalb der Grenzen der Leipziger Bodenverhältnisse auf mehr oder weniger ebenen Flächen. Dabei handelt es sich um recht homogene bindige Standorte, welche aufgrund der Bestockung mit Laubbaumarten – hier vorwiegend Eiche – kaum „störende“ Durchwurzelung im Oberboden aufweisen. Starke „Feinwurzelmatte“, wie sie zum Beispiel für flachwurzelnde Fichten in den Mittelgebirgen typisch sind, können ebenso wie ein starker Skelettanteil im Oberboden die Messung der Scherfestigkeit erschweren. Prinzipiell ist auch die Bedeutung der Scherfestigkeit bei nicht bindigen, grobkornreichen



**Abb. 5: Wirkung der Scherfestigkeit (SF) auf die Ausbildung von Fahrspuren**  
Innerhalb der Nullvariante (Forwarder ohne Bänder) wird der Einfluss der Scherfestigkeit besonders deutlich. Bei beiden Varianten bzw. auf allen vier Rückegassen herrschte die gleiche Bodenfeuchteklaasse (40–43 Vol.-%) vor, sodass ein verzerrender Einfluss ausgeschlossen werden kann.

Böden fraglich. Um diese Effekte näher zu beleuchten und das Verfahren der Scherfestigkeitsmessung mittels Flügelsonde für forstliche Anwendungen zu optimieren, wird derzeit eine entsprechende Bachelorarbeit an der Professur für Forsttechnik der TU Dresden durchgeführt.

Der Zustand des Feinerschließungssystems wird heute regelmäßig als ein Maßstab für die Güte der Waldbewirtschaftung herangezogen. Um Gleisbildungen konsequent vermeiden zu können, ist es notwendig, mehr über die Tragfähigkeit der Rückegassen (im Jahresverlauf) zu wissen. Neben den bisher verwendeten Variablen Bodenfeuchte und Bodenart kann die einfach zu erhebende Scherfestigkeit des Oberbodens als Größe zur Beurteilung der Befahrungs-sensibilität dienen. Dabei ist ihre Eignung von weiteren Standorteigenschaften wie Durchwurzelung oder Skelettgehalt abhängig. In den Leipziger Befahrungsversu-

chen wurde eine enge Korrelation zwischen der im Vorfeld gemessenen Scherfestigkeit des Oberbodens und den während der Holzernte entstandenen Spureintiefungen festgestellt. Damit kann bei zukünftigen Holzerntemaßnahmen im Untersuchungsgebiet auf Basis weniger Scherfestigkeitsmessungen eine Prognose der zu erwartenden Spurturen getroffen werden, sofern Gassenabstand, Erntemenge, Maschinentyp und -ausstattung als Eingangsgrößen bekannt sind.

**Felix Heubaum** absolvierte den Diplomstudiengang Forstwissenschaften an der TU Dresden in Tharandt und schloss die Laufbahnausbildung zum höheren Forstdienst beim Freistaat Sachsen an. Anschließend bearbeitete er das Projekt „Angepasste Holzerntetechnologien im Forstbezirk Leipzig“. Gegenwärtig ist er Referent Forsttechnik bei der Geschäftsleitung des Staatsbetriebes Sachsenforst.

## Literatur

- [1] FLECHSIG, B.; WINKLER, B.; BREZINA, T.; SCHREIBER, J.; GEMBALLA, R. (2006): Holzerntetechnologien – Richtlinie zur Anwendung im Staatswald des Freistaates Sachsen. Freistaat Sachsen, Staatsbetrieb Sachsenforst (Hrsg.).
- [2] www.dwd.de/klimaatlas
- [3] HEUBAUM, F.; PADBERG, A. (2014): Praxisprojekt zur bodenschonenden Holzernte mit Bogiebändern. AFZ-DerWald, H. 17, S.16–20.
- [4] JACKE, H.; HITTENBECK, J.; STRIEM, C. (2011): Spuren im Wald. Zur Spurrialendiskussion um und auf Rückegassen. Bericht über die Ergebnisse einer Kurzstudie. IFA-Mitteilungen, Reihe A, H. 9. Universität Göttingen.
- [5] KREMER, J.; WOLF, B.; MATTHIES, D.; BORCHERT, H. (2007): LWF Merkblatt 22 – Bodenschutz beim Forstmaschineneinsatz.
- [6] TÖLLE, R.; PROCHNOW, A.; KRASCHINSKI, S. (2000): Messverfahren zur Bewertung der Befahrbarkeit von Niedermoorgrünland. Agrartechnische Forschung 6, H. 3, S. 54–61.