

## Bodenschutz beim Forstmaschineneinsatz

Der zunehmende Einsatz von produktiveren und damit meist schwereren Maschinen erhöht die Gefahr nachteiliger Bodenstrukturveränderungen erheblich. Um Bodenschäden zu vermeiden, ist es notwendig, die grundlegenden Vorgänge im Boden zu verstehen und die Möglichkeiten eines angepassten Maschineneinsatzes zu kennen. Für Waldbesitzer, Forstpersonal und Unternehmer werden Grundlagen und Empfehlungen aufgezeigt.

### Rechtliche Vorgaben

1999 wurde der Boden per Gesetz zum dritten Schutzgut erklärt. Gesetze, Richtlinien, Leitfäden und Waldbaugrundsätze sowie Zertifizierungssysteme sollen das Umweltgut »Boden« sichern. Er ist in seiner *Funktions-, Regenerations* und nachhaltigen *Nutzungsfähigkeit* auf Dauer zu erhalten. Der Maschineneinsatz im Wald spielt sich *nicht* im rechtsfreien Raum ab.

### System Boden – Maschine

Das Ergebnis einer Befahrung ist ein Zusammenspiel zwischen der *Tragfähigkeit* des Bodens einerseits und der maschinenbedingten *Auflast* andererseits. Beide Faktoren sind komplex und hochvariabel. So ändert sich die Tragfähigkeit je nach Standort und Witterung, die Auflast variiert je nach Maschine und Ausstattung.

Spuren sind das äußerliche Erscheinungsmerkmal nach einem Maschineneinsatz. Die Ausprägung einer Spur wird wesentlich von *Feuchte*, Bodenart, Humusgehalt, Hangneigung und *Kontaktflächendruck* beeinflusst. Letzterer ergibt sich maschinenindividuell aus Masse, Gewichtsverteilung, Radanzahl und daraus resultierender Radlast. Zum anderen kontrollieren reifenspezifische Größen wie Reifendimension und Innendruck die Aufstandsfläche und letztlich wieder den Kontaktflächendruck.



Tiefe Gleise schädigen den Boden dauerhaft und verletzen das Prinzip der Nachhaltigkeit.

### Bodenveränderungen






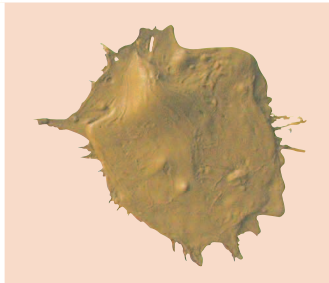
Das System Boden–Maschine befindet sich im Gleichgewicht, wenn der Kontaktflächendruck der Tragfähigkeit entspricht. In diesem Fall reagiert der Boden weitgehend elastisch, d.h. es wird nach dem Einsatz nahezu keine Spur erkennbar sein. Dazu müssen die Bodenfeuchte und/oder der Kontaktflächendruck sehr gering sein.

Mit steigender Bodenfeuchte nimmt die Tragfähigkeit ab, es kommt zur Spureintiefung mit *Sackungsverdichtung*. Dies stellt nach bisherigen Erkenntnissen eine mittel- bis langfristige Beein-

trächtigung der Struktur und der davon abhängigen Bodenfunktionen dar.

In sehr feuchtem Zustand ist die Tragfähigkeit nicht ausreichend, es kommt zum *Grundbruch* mit Ausbildung tiefer Gleise und ausgeprägter Randaufwölbungen. Die Bodenfunktionen gehen verloren, was zwangsläufig zum Verlust der strukturbildenden Bodenorganismen führt. Es kann eindeutig von einem Bodenschaden gesprochen werden. Das Prinzip der Nachhaltigkeit ist verletzt!

## Wassergehalt – die entscheidende Größe

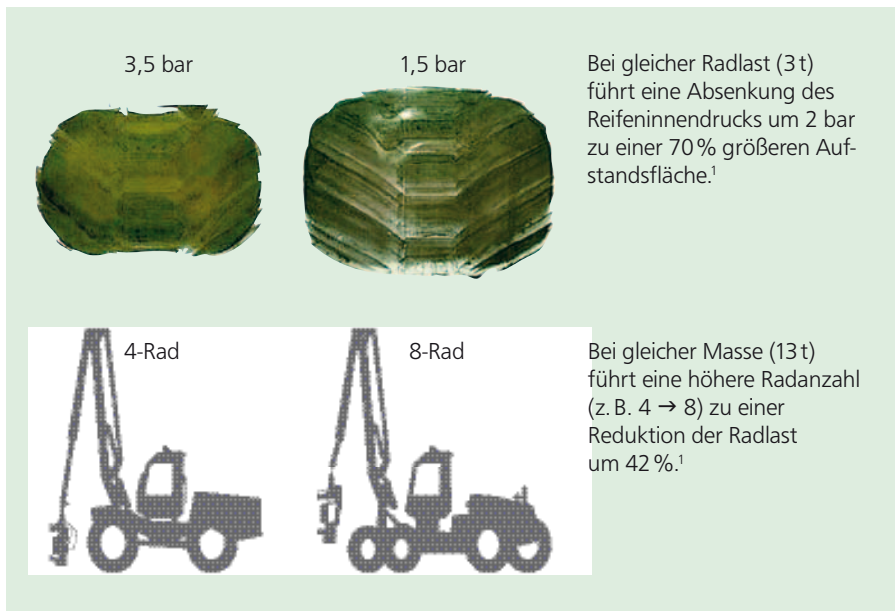
	Spurtyp 1	Spurtyp 2	Spurtyp 3
			
Merkmale	<b>Elastische Verformung</b> meist nur Stollenabdrücke oder organische Auflage verpresst	<b>Plastische Verformung</b> deutliche Eintiefung	<b>Grundbruch</b> ausgeprägte randliche Aufwölbung
<b>Einflussfaktoren Boden</b>			
<b>Ausprägung der Spur</b>			
Wassergehalt	trocken		feucht
Bodenart	grob		fein
Hangneigung	flach		steil
<b>Anstieg der Tragfähigkeit</b>			
<p>Das Verformungsrisiko eines Bodens hängt neben der <i>Bodenart</i> und <i>Hangneigung</i> entscheidend vom <i>Wassergehalt</i> ab. Während grobkörnige und/oder stark skeletthaltige Böden im Allgemeinen kaum gefährdet sind, kann die Tragfähigkeit feinkorndominierter Böden in Abhängigkeit von deren Bodenfeuchte stark herabgesetzt sein. Ob sie in diesem Zustand befahrbar sind, hängt dann vom Kontaktflächendruck ab und ist im Einzelfall zu prüfen. »Vorsicht! – auch ein intensives Wurzelsystem kann (befristet) eine hohe Tragfähigkeit des Bodens vortäuschen«. Zudem erhöht zunehmende Hangneigung das Befahrungsrisiko. Auf Grund von höherem Schlupf und Ausbrechen des Bodens kommt es zu ausgeprägten Fahrspuren, die ein deutlich höheres Erosionsrisiko bergen.</p>			
<b>Wurftest</b>			
<p>Ein einfaches und für jeden durchführbares Verfahren zur Beurteilung der Befahrbarkeit stellt der <i>Wurftest</i> dar. Eine Bodenprobe ohne organische Auflage wird zu einer Art »Schneeball« geformt und gegen eine glatte Oberfläche, z.B. Forstmaschine, geworfen. Anhand der Form kann das Befahrungsrisiko eingeschätzt werden.</p>			
			
Erscheinungsbild	Risse in der Oberfläche, fällt u.U. ab	Oberfläche geschlossen und flach	»Spritzer« unregelmäßig und flach
Typisches Spurbild	Spurtyp 1	Spurtyp 2	Spurtyp 3
Wassergehalt	gering	mittel	hoch
Tragfähigkeit	hoch	mittel bis gering	nicht ausreichend
Risiko	<b>gering</b>	<b>mittel bis hoch</b>	<b>Bodenschaden unvermeidbar</b>
Befahrung	<b>immer</b>	<b>zu prüfen</b>	<b>nie</b>

## Bodenschonende Einflussgrößen

Einflussgrößen	Optimierung	Effekt	max. Wirkungsanteil
Radanzahl	erhöhen	geringere Radlast	55 %
Reifeninnendruck	absenken	größere Aufstandsfläche	35 %
Reifenbreite	erhöhen	bessere Druckverteilung	10 %

Der Kontaktflächendruck einer Maschine entscheidet gemeinsam mit der Tragfähigkeit des Bodens über die Art der Spurausprägung. Er hängt von mehreren Faktoren mit unterschiedlichem Wirkungsgrad ab (s. Tabelle). Die herausragende Stellung des Reifeninnendrucks zeigt sein hohes Bodenschutzpotenzial an, welches unmittelbar und kostenfrei zur Verfügung steht. So kann der Kontaktflächendruck eines vollbeladenen Timberjack 810B durch Absenkung von z. B. 4,5 bar auf 1,5 bar um rund 29% verringert werden (vgl. Reifendhandbuch von TRELLEBORG und die darin enthaltenen Mindestdrücke). Frühere Untersuchungen deuten zudem darauf hin, dass dadurch gleichzeitig eine höhere Lebensdauer der Reifen, eine bessere Zugkraftübertragung und ein geringerer Kraftstoffverbrauch erreicht wird. Entgegen landläufiger Meinung besteht kein besonderes Risiko für das Durchstechen der Reifenflanken aufgrund ihrer erhöhten Elastizität. Die Verwendung breiterer Reifen wirkt sich insbesondere durch bessere Druckverteilung bodenschonend aus. Steigende Radlasten schränken die Optimierungsmöglichkeiten des Bodenschutzes durch Veränderung der Reifencharakteristika ein. Radlasten von 4 bis 4,5 t stellen einen wichtigen Schwellenwert dar, der auf empfindlichen Standorten möglichst nicht überschritten werden sollte.

Weitere Möglichkeiten, den Kontaktflächendruck zu reduzieren, liegen im Einsatz von Raupenlaufwerken, dem Aufziehen von Bogiebändern oder der Verringerung der Radlast. Letzteres kann z. B. durch Wahl einer Maschine mit höherer Radanzahl oder Beschränkung der Zuladung erreicht werden. Im Fall von Raupenlaufwerken und Bogiebändern besteht ein unter Umständen hohes Risiko für Wurzelverletzungen.



<sup>1</sup> Beispiele gerechnet mit ProFor (TUM): Standortsabhängig errechnet das Programm durch das Verschneiden von Boden- und Maschinendaten den für eine bodenschonende Befahrung maximal zulässigen Wassergehalt

### Beispiel Forwarder Timberjack 810 B



Der Kontaktflächendruck kann nach Optimierung aller maschinenbezogenen Einflussgrößen um rund 44% abgesenkt werden (nach ProFor).

## Empfehlungen/Handlungsanweisungen

Bodenschutz ist Aufgabe aller am Maschineneinsatz beteiligten Akteure, angefangen vom Waldbesitzer bis hin zum Maschinenführer. Die Weichen müssen schon frühzeitig in der Planungsphase gestellt werden. Unter der Maßgabe, dass die Befahrung ausschließlich auf der Feinerschließung stattfindet, können folgende Empfehlungen ausgesprochen werden:

### Auftrags- und Planungsebene

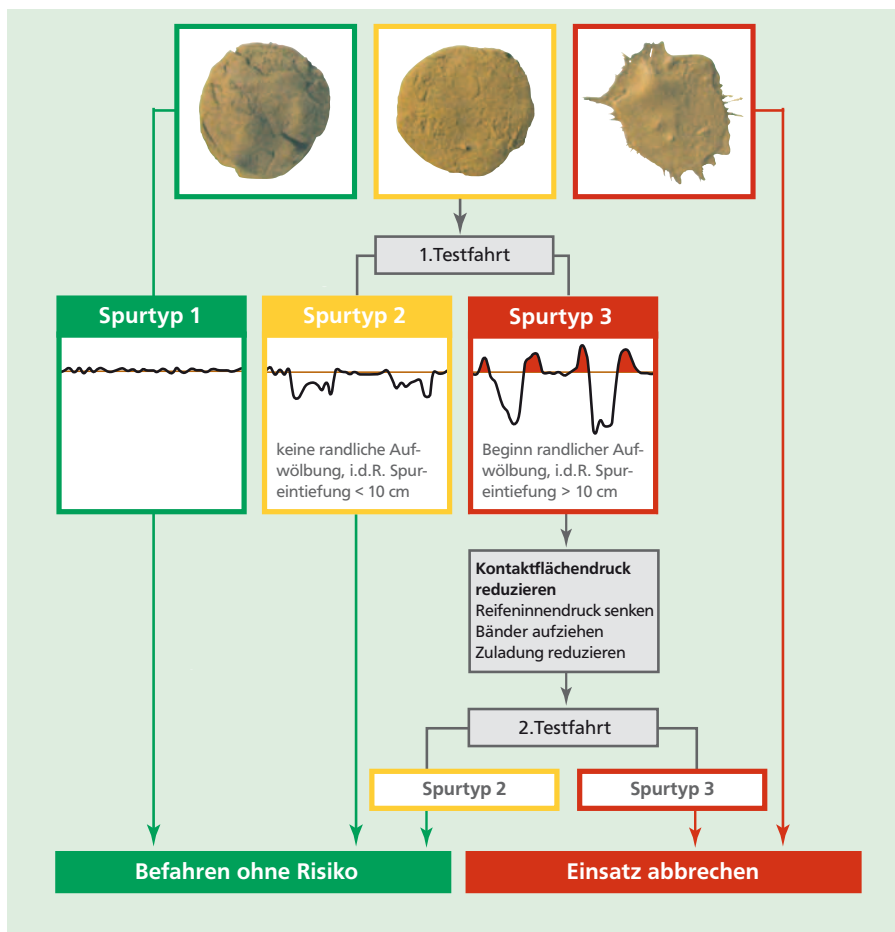
Vom Auftraggeber sind mittels Standort- und/oder Bodenkarten *Ausweichbestände* zu planen, die auf grobkörnigen Böden mit einem geringeren Befahrungsrisiko stocken. Unter Verwendung *langjähriger Klimadaten* kann zudem der voraussichtlich günstigste *Einsatzzeitpunkt* geplant werden. Ein ebenfalls wichtiges Steuerungselement stellt die *Ausschreibung* dar. Sie sollte *Mindestanforderungen* zur Maschine und ihrer Ausstattung, wie z. B. Masse, Radanzahl, Reifenart und Reifeninnendruck sowie Informationen zu Standorten und Erschließungssituation enthalten.

### Operative Ebene

Um Maschineneinsatz während zu feuchter Bedingungen zu vermeiden, muss der Auftragnehmer unter Berücksichtigung der *Witterung* den exakten *Einsatzzeitpunkt* planen: Dafür eignen sich ortsnahe Wetterprognosen. Außerdem sollte er die in der Ausschreibung festgelegten *Mindestanforderungen* einhalten. Im eigenen Interesse ist ein *Qualitätssicherungssystem* einzuführen, in dem von der Planung bis zur Endkontrolle alle Schritte einer Maßnahme dokumentiert sind.

### Entscheidungs- und Handlungsebene

Die Einsatzbeurteilung vor Ort ist Aufgabe des Maschinenführers. *Vor dem Einsatz* sollte er den Bodenfeuchtezustand prüfen. Eine einfache Möglichkeit bietet hierfür der »Wurftest«. Das Erscheinungsbild gibt eine erste Entscheidungshilfe. Besondere Sorgfalt erfordern mittlere Bodenfeuchten (vgl. Spurtyp 2 und Wurftest, mittlerer Wassergehalt). Hier besteht durchaus die Gefahr, dass ein Bodenschaden eintritt. Für eine Beurteilung sollte der Maschinenführer daher die Spurausprägung regelmäßig überprüfen (bei Forwardern insbesondere in beladenem Zustand). Treten Fahrspuren mit deutlicher Eintiefung (>> 10 cm) und beginnender Randaufwölbung auf,



sind zur Wahrung des Bodenschutzes weitere Maschinenanpassungen vorzunehmen, z. B. Reifeninnendruck absenken, Bogiebänder aufziehen, Raupenfahrzeug einsetzen. Wird dadurch keine wesentliche Verbesserung erzielt, ist mit der verantwortlichen Person Rücksprache zu halten.

Liegt ein Spurtyp 2 (mit Eintiefung < 10 cm) vor, kann in der Regel der Einsatz gefahrlos durchgeführt werden. Droht ein Spurtyp 3 (vgl. Wurftest, hoher Wassergehalt), sollte der Einsatz in jedem Fall abgebrochen werden. Ein Bodenschaden ist unvermeidbar. Die Entscheidung, ob befahren wird, liegt letztendlich beim Auftraggeber.

### Goldene Regeln des Bodenschutzes

- Grundbruch prinzipiell vermeiden
- Geringere Radlast → geringerer Reifeninnendruck → geringerer Kontaktflächendruck → größere Bodenschonung
- Flächenanteil der Sackungsverdichtung unter Ausschöpfen aller technischen Möglichkeiten gering halten
- In Hanglagen erhöhten Schlupf vermeiden

### Impressum

#### Herausgeber und Bezugsadresse:

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising  
Telefon: +49 (0)8161 71-4801  
Fax: +49 (0)8161 71-4971  
E-Mail: redaktion@lwf.bayern.de  
Internet: www.lwf.bayern.de

#### Verantwortlich: Olaf Schmidt, Präsident der LWF

Redaktion: Tobias Bosch  
Autoren: J. Kremer, B. Wolf, D. Matthies (TU München), H. Borchert (LWF)  
Bildnachweis: LWF, TUM  
Druck: Druckerei Lanzinger, Oberbergkirchen  
3. Auflage: 20.000 Stück  
Layout: Christine Hopf

Vervielfältigung und Weitergabe, auch in elektronischer Form, ist nach Rücksprache mit dem Herausgeber ausdrücklich erwünscht.