

# **AFZ** **DerWald**

B 1089 D

17. März 2008

**6**



**Forsttechnik**  
**Verbundprojekt „Testkit“:**  
**Alte Fahrlinien integrieren**

# AFZ DerWald

**Allgemeine Forst Zeitschrift  
für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge**

**63. Jahrgang** **2008**  
Erscheinungsweise: jeden 1. und 3. Montag im Monat

## VERLAG + HERAUSGEBER

Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH  
Lothstraße 29, 80797 München  
Postfach 400 580, 80705 München;  
Tel. 089-12705-1; Fax 089-12705-335  
dlv.muenchen@dlv.de  
www.dlv.de  
Postbank München 646 565 804, BLZ 700 100 80  
ISSN: 1430-2713

## GESCHÄFTSFÜHRER:

Amos Kotte, Bernd Kuhmeier, Hans Müller

## REDAKTION:

Muskatstraße 4, 70619 Stuttgart;  
Tel. 0711-44827-0; Fax 0711-44827-77  
redaktion@afz-derwald.de  
www.afz-derwald.de

- **Chefredakteur**, verantwortlich für den Inhalt:  
Bernd-Gunther Encke (bge),  
Tel. 711-44827-0  
encke@afz-derwald.de
- **Waldwirtschaft / Forstschutz / Privatwald:**  
Herbert Kronauer (hk),  
Tel. 0711-44827-22  
kronauer@afz-derwald.de
- **Aktuelles / Umweltvorsorge / Holzmarkt:**  
Martin Steinfath (ste),  
Tel. 0711-44827-66  
steinfath@afz-derwald.de
- **Außenstelle München:**  
Rainer Soppa (so), rainer.soppa@dlv.de  
Lothstraße 29, 80797 München
- **Außenstelle Berlin:**  
Stephan Loboda (sl),  
Tel. 030-293974-25; Fax 030-293974-59  
Stephan.Loboda@dlv.de  
Berliner Straße 112A, 13189 Berlin

## VERTRIEB:

- **Verlagsbüro Nord und BeNeLux:**  
Robert Meyer, Kabelkamp 6,  
30179 Hannover;  
Tel. 0511-67806-206; Fax 0511-67806-130  
robert.meyer@dlv.de
- **Verlagsbüro Süd und Österreich:**  
Ludwig Stadler, Lothstr. 29, 80797 München;  
Tel. 089-12705-280; Fax 089-12705-548  
ludwig.stadler@dlv.de

## BEZUGSPREIS:

- **Inland:** 158,00 € inkl. MwSt. und Versand
- **Studenten, Anwärter, Referendare, Pensionäre:**  
118,50 € inkl. MwSt. und Versandkosten
- **Ausland:** jährlich 168,85 € inkl. Versand
- **Einzelpreis:** 7,50 €

**Abonnement-Service:** Ruth Wagner,  
Tel. 089-12705-459; Fax 089-12705-586

Kündigungen sind nur schriftlich 8 Wochen vor Ende des Bezugszeitraumes möglich. Höhere Gewalt entbindet den Verlag von der Lieferungsverpflichtung oder Rückzahlung des Bezugspreises. Gerichtsstand und Erfüllungsort ist München.

## ANZEIGEN:

- **Anzeigenleitung:**  
Henning Stemmler
- **Anzeigenverkauf:**  
Martin Babel, Tel. 089-12705-260
- **Verantwortlich für den Anzeigenteil:**  
Reinhard Tichy, Tel. 089-12705-343
- **Anzeigenpreislste:**  
Es gilt Nr. 49 vom 1.1.2008
- **Anzeigen-Anschrift:** siehe Verlagsanschrift  
anzeigen@afz-derwald.de

## VERLAGSVERTRETUNGEN:

- **Verlagsbüro Nielsen I, V, VI - Nord:**  
impulse medienservice GmbH Hans-J. Hecht  
Konsulweg 82, 23683 Scharbeutz;  
Tel. 04503-7074-07; Fax 04503-777670
- **Verlagsbüro Nielsen II, VI - West:**  
Siegfried Pachinger GmbH  
Wertherstr. 17, 33615 Bielefeld;  
Tel. 0521-977998-10; Fax 0521-977998-90
- **Verlagsbüro Nielsen IIIa, VII -West:**  
Promedia Tobias Völk  
Jupiterstr. 61, 55545 Bad Kreuznach;  
Tel. 0671-7967-594; Fax 0671-7967-595
- **Verlagsbüro Nielsen IIIb, VII - Ost:**  
E.T. Media, Elke Tochtermann  
Elisabeth-Selbert-Str. 42, 71364 Winnenden;  
Tel. 07195-178363; Fax 07195-17 83 64  
mobil 0172-7157919; elke.tochtermann@gmx.de
- **Verlagsbüro Nielsen IV:**  
mediapartner GmbH, Wolfgang Dodl  
Am Ziegelstadel 15, 86807 Buchloe;  
Tel. 08241-9664-0; Fax 08241-9664-38

## DRUCK

### und Lieferanschrift für Beilagen/Beihefter:

Zauner Druck- u. Verlags GmbH  
Nikolaus-Otto-Straße 2, 85221 Dachau;  
Tel. 08131-1859; Fax 08131-25648

## REDAKTIONELLE HINWEISE

- Manuskripte dürfen nicht gleichzeitig anderen Verlagen oder sonstigen Stellen zum Abdruck angeboten werden.
- In Erweiterung von § 38 UrhG räumt der Verfasser hiermit dem Verlag das ausschließliche Verlagsrecht an seinen Beiträgen für die Dauer eines Jahres ab dem Zeitpunkt der Veröffentlichung ein, wenn nicht ausdrücklich schriftlich etwas anderes vereinbart wird. Dies beinhaltet auch das Vermarkten über Internet auf der Homepage von AFZ-DerWald.
- Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlags strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen (auch Internet).
- Für unverlangt eingesandte Manuskripte, Bilder und Bücher wird keine Haftung übernommen. Meldungen und Nachrichten nach bestem Wissen, aber ohne Gewähr.
- Mit Namen gezeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion oder der Herausgeber wieder.



**Produkte und Maschinen  
für die Forstwirtschaft**

**276**

## Forsttechnik

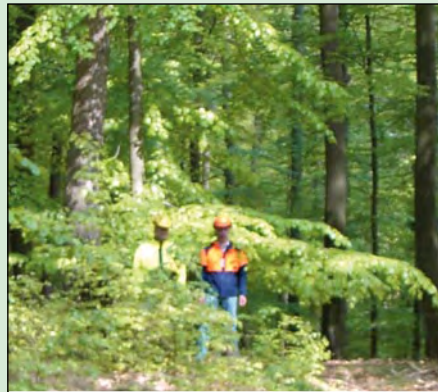
- 276** Produktschau
- 281** Das Angebot der 15. KWF-Tagung
- 282** GIS im Bereich Disposition und Logistik  
M. Stöcker
- 284** Digitale Fotovermessung von Industrieholz und Abschnitten  
E. R. Jørgensen, L. Kristiansen
- 286** Handys für die Unterstützung von Logistik und Planung  
J. Ruff
- 288** Signalfarbe – wichtiges Element für die Erkennbarkeit  
J. Hartfiel

## Nachrichten

Privatwald .....	320
Persönliches .....	321
Holzmarkt.....	322
Aus Bund und Ländern .....	324
Termine .....	327



**Verbundprojekt Testkit – Bodenschäden vermeiden** 291



**Signalfarben – Erkennbarkeit der Forstwirte** 288



**Digitale Fotovermessung von Industrieholz** 284



**Handys für Logistik und Planung** 286

Projekte der Technikfolgen-Abschätzung im Rahmen des BMBF-Verbundes „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ haben die tiefreichenden, irreversiblen Bodenschäden bei allen untersuchten, praxisüblichen Ernteverfahren bestätigt. Aus bodenphysikalischer Sicht kann ein Boden nur dann ohne jegliches ökologische Risiko befahren werden, wenn die verformende Kraft seine Scherfestigkeit nicht übersteigt. Abgesehen von wenigen Frosttagen ist diese Situation zumeist nur auf vorbelasteten Bodenarealen (z.B. alten Fahrspuren) gegeben. Wenn es gelänge, bei neuen Erschließungskonzepten die vorhandenen Befahrungslinien in die Planung zu integrieren, wäre ein erheblicher Beitrag zu einer bodenschonenden Holzernte geleistet. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundvorhabens „Testkit“ wurde versucht, Instrumentarien zu entwickeln, die es Praktikern ermöglichen sollen, alte Fahrlinien aufzufinden und in neue Erschließungskonzepte zu integrieren. Über die Ergebnisse der Untersuchungen wird auf den Seiten 291 bis 303 berichtet.

Auch im Forstbereich gelten die kleinen und mittleren Unternehmen als „Rückgrat der Wirtschaft“. Als eines der wichtigsten Instrumente der Mittelstandsförderung gilt die mittelstandsgerechte Auftragsvergabe im öffentlichen Sektor. Dabei geht es aus der Sicht der mittelständischen Auftragnehmer vorrangig um Chancengleichheit, Gleichbehandlung und Transparenz der Verfahren. Für mittelständische Unternehmen ist es immer attraktiver, selbst bestimmte Fachlose anzubieten und als regulärer Bieter aufzutreten, als sich einem Generalunternehmer als Lieferant auszuschließen (s. Seite 316).

**Verbundprojekt Testkit**

- 291** Lässt sich das „Großraumexperiment Waldbodenverformung“ stoppen?  
E. Hildebrand
- 294** Bodenkundliche Feldmethoden zur Identifikation alter Fahrlinien  
D. Clemens
- 296** Integrationsmöglichkeiten alter Befahrungslinien  
M. Bacher-Winterhalter, G. Becker
- 298** Wie heterogen ist die natürliche Waldbodenstruktur?  
S. Amann, J. Schäffer
- 300** Waldbodenvegetation als Weiser für Bodenstrukturstörungen  
T. Gaertig, K. Green
- 302** Einbindung alter Fahrlinien in neue Feinerschließungssysteme  
M. Trumpa, T. Gaertig

**„Kyrill“**

- 304** Schadursachen
- 306** Der „Kyrill“-Förster  
M. Steinfath

**Aktuell**

- 308** Zu: Benötigen Kiefernbestände eine Bestandesvorbereitung?  
J. Flaschberger, B. Engler, D. Hessenmöller
- 310** Deutsche Forschungsagenda ForstHolzPapier vorgestellt
- 311** Wie sieht ein ‚Förster‘ heute aus?  
B. Schmid-Vielgut
- 312** Sägewerkskongress in Rosenheim

**Vergaberecht**

- 315** Auftragsvergaben an mittelständische Unternehmen
- 316** Der Vorrang der Losverteilung bei öffentlichen Aufträgen  
H. Schaller



Titelbild: T. Gaertig

# Lässt sich das „Großraumexperiment Waldbodenverformung“ stoppen?

Von Ernst E. Hildebrand

Baumwurzeln „wollen“ vom Boden hauptsächlich Wasser, Nährelemente, Sauerstoff und die Möglichkeit der mechanischen Verankerung. Bei diesen Anforderungen tritt eine natürliche Funktionenkonkurrenz auf (z.B. zwischen der Notwendigkeit der Wasser- und Sauerstoffaufnahme) da eine Bodenpore entweder nur mit Wasser oder mit Luft gefüllt sein kann. Aber auch bei der Verankerung und der Wasserverfügbarkeit kann eine Funktionenkonkurrenz bestehen. So ist bekannt, dass Stürme immer dann verheerende Wirkungen auf die Waldbestände haben, wenn die Böden aufgrund hoher Wassersättigung besonders „weich“ sind und daher die Stabilität der Verankerung nachlässt.

## Wie „lösen“ Böden diese Funktionenkonkurrenz?

Im Bereich der Wasser- und Luftversorgung wird die Funktionenkonkurrenz (mal besser, mal schlechter) durch die intrinsische Bodeneigenschaft „Struktur“ gelöst. Wie ist das zu verstehen? Bodenstruktur ist die Art der räumlichen Anordnung der Primärpartikel. Diese ist i.d.R. nicht chaotisch wie z.B. in einem Sediment, sondern durch abiotische und biotische Transportvorgänge von Festsubstanz entstehen auf unterschiedlichen Raumhierarchien „Aggregate“ (z.B. Polyeder, Subpolyeder, Krümel). Durch Aggregatbildung entsteht meist ein duales Porensystem, d.h. es gibt Poren zwischen den Aggregaten („Inter-Aggregat-Porensystem“) und in den

Aggregaten („Intra-Aggregat-Porensystem“).

Eine „gute“ Bodenstruktur gewährleistet im humiden Klimaraum ein enges räumliches Nebeneinander von groben, meist luftgefüllten Interaggregatporen und engeren, meist wassergefüllten Intraaggregatporen. Auf diese Weise können Pflanzenwurzeln und die damit symbiontisch verbundenen Mykorrhizahyphen gleichzeitig und nahezu am selben Ort mit beiden Transportphasen des Bodens, nämlich der Bodenluft und dem Bodenwasser wechsel-

wirken. Natürlich gibt es Böden, in denen diese Funktionenkonkurrenz aus der Sicht der Pflanzenproduktion nur unzureichend, d.h. entweder zulasten der Sauerstoffversorgung (z.B. hydromorphe Böden) oder zulasten der Wasserversorgung (z.B. Sandböden mit Einzelkornstruktur) gelöst ist.

Im Oberboden terrestrischer (d.h. nicht-hydromorpher) Waldböden ist die biogene Aggregatbildung i.d.R. der dominierende Strukturbildungsprozess. Das geht schon daraus hervor, dass  $A_h$ -Horizonte definitionsgemäß eine krümelige Struktur besitzen sollten. Daraus kann man schließen, dass eine natürliche, autochthone Waldvegetation an die Funktionen eines dualen Porensystems angewiesen sind, d.h. dass eine simultane Wechselwirkung von Wurzeln und Mykorrhizapilzhypen mit Luft und Wasser möglich sein muss.

Gleichzeitig bedeutet eine hohe Makroporosität an der Bodenoberfläche, dass der diffusive Gasaustausch, d.h. der Transport von Sauerstoff in die Bodenluft und die Abfuhr von Atmungs- $CO_2$  in die Atmosphäre ohne „Stau“ vorstatten geht, sodass auch tiefere Bodenlagen noch ausreichend be-

Prof. Dr. E. E. Hildebrand ist Leiter des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg.



E. E. Hildebrand  
ernst.hildebrand@bodenkunde.uni-freiburg.de

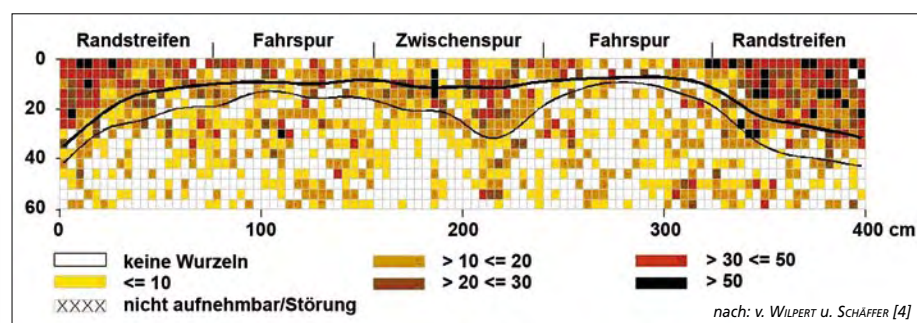


Abb. 1: Feinwurzelverteilung unter einer Fahrspur (Weil im Schönbuch befahren Nadel P1). Man erkennt am Muster der Feinwurzelverteilung, dass die Gasdiffusion ( $O_2$ -Versorgung bzw.  $CO_2$ -Entsorgung) offensichtlich der Ordnungsparameter der Feinwurzelverteilung unter Fahrspuren ist, da die Isolinien gleicher Wurzelhäufigkeit dasselbe Muster aufweisen wie die Isolinien gleicher Sauerstoffkonzentrationen unter einer Fahrspur [3].

lüftet werden können und als potenzieller Lebensraum für Wurzeln zur Verfügung stehen. Der Oberboden stellt damit aus der Sicht des diffusiven Gaswechsels eine Schleuse dar, die darüber entscheidet, bis zu welcher Bodentiefe eine für aerobe Atmungsprozesse notwendige Sauerstoffkonzentration etabliert werden kann.

Gerade für langlebige Holzgewächse ist die Möglichkeit einer tieferen Bodendurchwurzelung ein entscheidendes Kriterium der Stabilität in Zeiten, in denen im Rahmen des bereits begonnenen „Global Change“ über die Zunahme von Extremereignissen (z.B. Sturm, Trockenphasen) diskutiert wird. Alle diese Randbedingungen, die besonders typisch und relevant für Waldstandorte sind, zeigen, dass die Bodenverformung im Wald eine andere ökologische Dimension als in der Landwirtschaft hat. In der technisierten Landwirtschaft kann durch Bodenbearbeitung immer wieder ein zumindest kurzfristig wirksames, überbrückendes „Inter-Aggregat-Porensystem“ hergestellt werden.

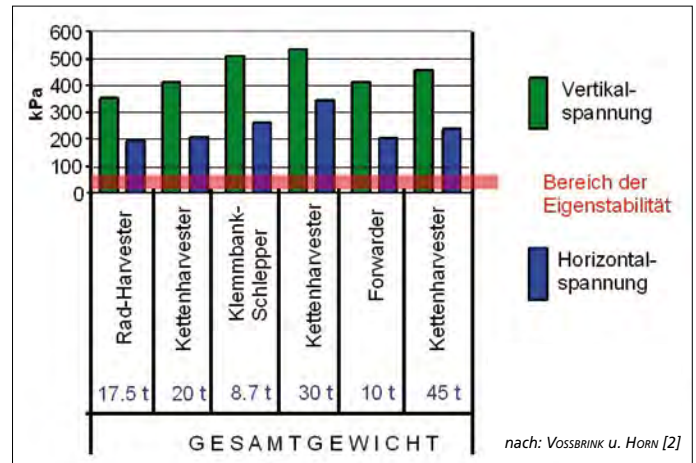
### Wie beeinflusst eine Bodenverformung die Funktionenkonkurrenz?

Die Tatsache, dass die Befahrung von Waldböden schwere Funktionsstörungen verursachen kann, wird kaum mehr bestritten. Im Prinzip wird durch die Befahrung das duale Porensystem durch den Kollaps der Inter-Aggregat-Poren auf ein unimodales Porensystem zurückgeführt. Ein weiterer negativer ökologischer Effekt besteht darin, dass durch die Scherung des Bodens die „Porenkontinuität“, d.h. der Grad der „Vernetztheit“, stark vermindert wird. Es ist also vor allem der verlangsamte Gastransport, der die Lebensraumfunktion verformter Waldböden vermindert. Dies wird z.B. eindrucksvoll durch Wurzelzählungen unter Fahrspuren bestätigt [4]. Man sieht, dass die Einbuße an Lebensraumqualität für Wurzeln auch in die nicht befahrenen Bodenareale ausstrahlt – genau so, wie man es bei einer Hemmung des Wurzelwachstums aufgrund verminderter Sauerstoffzufuhr und/oder Kohlendioxidabfuhr erwarten würde (Abb. 1).

Da man Energie nicht „vernichten“, sondern nur umwandeln kann, ist klar, dass alle Forstmaschinen mit Gesamtgewichten von mehreren Tonnen aufwärts auf den Waldboden Kräfte ausüben, die weit über der Eigenstabilität nicht vorbelasteter Waldböden liegen, und dass damit plastische d.h. bleibende Bodenverformungen entstehen müssen [1].

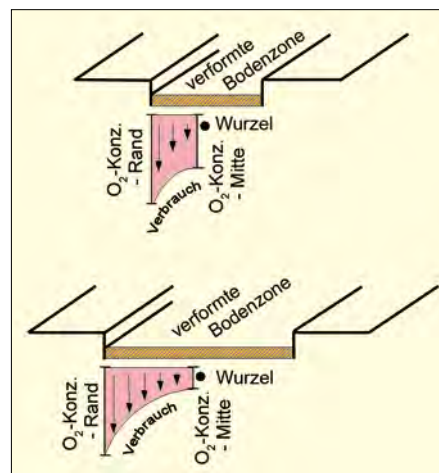
Projekte der Technikfolgen-Abschätzung im Rahmen des BMBF-Verbundes

**Abb.2:**  
Maximale horizontale und vertikale Bodenspannungen in 20 cm Tiefe bei der Überfahrt verschiedener Forstmaschinen, (nach [2] verändert). Die gemessenen Kräfte zeigen keine Beziehungen zum Gesamtgewicht der eingesetzten Forstmaschinen



„Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ haben die tiefreichenden, irreversiblen Bodenschäden bei allen untersuchten, praxisüblichen Ernteverfahren bestätigt [2]. Insbesondere ist bemerkenswert, dass keine Beziehung zwischen dem Gesamtgewicht der eingesetzten Fahrzeuge und den vertikalen und horizontalen Kräften zu finden ist – und das obwohl die Bandbreite der Gesamtgewichte der untersuchten Forstmaschinen zwischen 8,7 und 45 t lag! Dieses vielleicht zunächst dem „gesunden Menschenverstand“ widersprechende Ergebnis zeigt, dass die tatsächlich auftretenden Kräfte offensichtlich kaum aufgrund statischer Maschinenkennziffern (Gesamtgewicht, Achslast) prognostiziert werden können, da offensichtlich die während der Fahrzeugbewegung auftretenden dynamischen Kräfte, die ein Vielfaches der statischen Kräfte betragen können, den Verformungsprozess dominieren.

Aus bodenphysikalischer Sicht kann ein Boden nur dann ohne jegliches ökologische Risiko befahren werden, wenn die



**Abb. 3:** Je größer die verformte Bodenoberfläche ist, um so niedriger wird die Sauerstoffkonzentration an einer Wurzel in der Fahrspurmitte, da umso mehr Sauerstoff verbraucht wird, je länger der Umweg der „by-pass-Diffusion“ ist.

verformende Kraft seine Scherfestigkeit nicht übersteigt. Abgesehen von wenigen Frosttagen, in denen der Mineralboden einige cm tiefgefroren sein sollte, ist diese Situation zumeist nur auf vorbelasteten Bodenarealen (z.B. alten Fahrspuren) gegeben, nicht aber (wie in Abb. 2 eindrucklich dokumentiert) bei natürlich gelagerten Waldböden. Gerade aufgrund des hohen biogenen Aggregierungsgrades im Oberboden terrestrischer Waldböden besteht ein sehr sensibles Inter-Aggregat-Porensystem, was eine sehr geringe und von der Primär-Körnung weitgehend abgekoppelte Eigenstabilität von Waldböden bedingt.

### Einbeziehung alter Fahrspuren

Wenn es also gelänge, bei neuen Erschließungskonzepten die bereits vorhandenen Befahrungslinien in die Planung zu integrieren und im Rahmen des ökonomisch Vertretbaren zu nutzen, wäre ein erheblicher Beitrag zu einer bodenschonenden Holzernte bzw. Waldpflege geleistet. Eine Wiederbenutzung vorhandener Befahrungslinien trägt auch der Tatsache Rechnung, dass der an Sauerstoffkonzentrationen gemessene Effekt der Verformung im Wesentlichen von der zusammenhängenden Größe der verformten Bodenzone abhängt. Dieser Zusammenhang, der zwingend aus der Gleichung der instationären Diffusion (d.h. die Diffusion antreibenden Konzentrationsgradienten ändern sich mit der Zeit) folgt, ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

#### Literaturhinweise:

- [1] HILDEBRAND, E. E. (1983): Der Einfluss der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort. Forstwiss. Cbl. 102/2, 111-125. [2] VOSSBRINK, J.; HORN, R. (2004): Modern Forestry vehicles and their impact on soil physical properties. Eur. J. Forest Res. 123, 259-267. [3] SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND, E. E.; WILPERT, K. v. (1993): Bodensauerstoffhaushalt unter Fahrspuren – Einsatz eines Simulationsmodells. Allg. Forstzeitschr. 3, 118-121. [4] WILPERT, K. V. SCHÄFFER, J. (2006): Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. European Journal of Forest Research. 125/2 129-138.

Diese (eigentlich sehr nahe liegende und bodenschutzeffektive) Vorgehensweise des „Recyclings“ alter Fahrspuren scheitert bislang daran, dass alte Befahrungslinien häufig nicht mehr eindeutig im Gelände identifiziert werden können. Darüberhinaus ist es unklar, wie teuer ein solches „Recycling“ ist.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundvorhabens „Testkit“ haben wir daher versucht, auf verschiedenen Ebenen der Planungshierarchie Instrumentarien zu entwickeln, die es Praktikern ermöglichen sollen, alte Fahrlinien aufzufinden und in neue Erschließungskonzepte zu integrieren. Dazu ist es notwendig, alte Fahrlinien unabhängig von der Art ihrer Identifizierung in Karten aufzunehmen. Diese Karten sind dann Planungsgrundlage für die Etablierung des neuen Erschließungssystems.

Zum Erkennen der Fahrspuren wurden folgende potenzielle Informationsquellen geprüft:

- Geländeerkundung zur Kartierung sichtbarer Fahrlinien (**Zusammenführen von lokal vorhandenem Erfahrungswissen**);
- Auswertung von Laserscandaten und Luftbildern (bearbeitet im Teilprojekt: **Konzept zur Identifizierung alter Befahrungslinien und ihre Integration in aktuelle Erschließungskonzepte**. Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg);
- Erkennen von Fahrlinien mithilfe von Zeigerpflanzen, die an ein sauerstoffarmes Substrat angepasst sind (bearbeitet im Teilprojekt: **Bodenvegetation als Verformungsindikator**. Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Fakultät für Ressourcenmanagement);
- Gewinnung bodenkundlicher Informationen zur Erkennung von Fahrlinien mithilfe der Ansprache der Bodenstruktur, dem Auftreten von Redoximorphie und einem chemischen Schnelltest zum Nachweis von reduzierten Fe(II)-Ionen (bearbeitet im Teilprojekt: **Erstellung und Erprobung eines Testkits zur Identifikation alter Fahrlinien in Forststandorten**. Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Freiburg);
- Definition des Referenzzustandes und der Heterogenität der Lagerung nicht befahrener Böden in Fichtenbeständen (bearbeitet im Teilprojekt: **Knetende Prozesse von Fichtenwurzeln bei Sturm**, FVA Baden-Württemberg, Abteilung Boden und Umwelt);
- Kostenkalkulation für die Einbeziehung alter Fahrlinien in aktuelle Erschließungskonzepte (bearbeitet im Teilprojekt: **Wie teuer ist das Fahrspurrecycling?** Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg). ◀

# Bodenkundliche Feldmethoden zur Identifikation alter Fahrlinien

Von Dorit Clemens, Freiburg

Die Verformung der Waldböden zeigt sich einerseits in einer primären Veränderung der Bodenstruktur und andererseits in sekundären Redoximorphie-Merkmalen, die durch einen verlangsamten Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre verursacht werden. Diese charakteristischen Merkmale verformter Böden (Struktur und Redoximorphie) können genutzt werden, um alte Fahrlinien zu erkennen und diese in neue Feinerschließungsnetze einzubinden.

## Bodenverformung und ihre Folgen

Durch die Befahrung der Waldböden während Holzerntemaßnahmen und der damit einhergehenden Verformung des Bodens wird der Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre eingeschränkt. Eine Folge davon ist Sauerstoffmangel im Oberboden, der zur Ausbildung redoximorpher Merkmale (Rostflecken und Bleichzonen) führt. Unter natürlichen Bedingungen treten solche Redoximorphie-Merkmale in terrestrischen Böden nur im Unterboden aufgrund von Staunässe auf. Das Phänomen der befahrungsbedingten „Oberflächenredoximorphie“ wurde bereits 1980 von LEUTZ et al. als „Zwerg-Pseudogley“ beschrieben und diskutiert [4].

Weitergehende Untersuchungen durch GAERTIG et al. [2] haben gezeigt, dass neben der Bodenstruktur (Gefüge) auch die sekundären Redoximorphie-Merkmale diskretisiert und damit zur Quantifizierung der Verformungsintensität verwendet werden können.

Kommt es im Boden aufgrund von Belüftungsmängeln zu einem Sauerstoffdefizit (d.h., das Milieu ändert sich von aerob zu anaerob), wird dreiwertiges Eisen am Ende einer anaeroben Atmungskette als Elektronenakzeptor benutzt und zu zweiwertigem Eisen reduziert. Dieses kann durch eine chemische Reaktion mit

Angesichts dieser Ausgangslage galt es, folgende Aspekte zu prüfen, um zu einer sicheren Identifikation alter Befahrungslinien zu kommen:

- Ist der Verformungsschlüssel von GAERTIG et al. [2] auf Böden unterschiedlichen Ausgangssubstrates anwendbar?
- Inwieweit können zusätzliche, chemische Schnelltests die Diagnose „Fahrlinie“ sicherer machen?

## Gefügeform und redoximorphe Merkmale im Oberboden

Durch die statischen und dynamischen Kräfte während der Befahrung kommt es zu einem Kollaps der zwischen den Aggre-

2,2'-Bipyridin-Lösung nachgewiesen werden [1]. Der „Bipyridin“-Test wird bereits in der internationalen Bodenklassifizierung „WRB“ [3] zur Identifikation von reduzierenden Bedingungen als Folge von Wassersättigung im Boden genutzt.

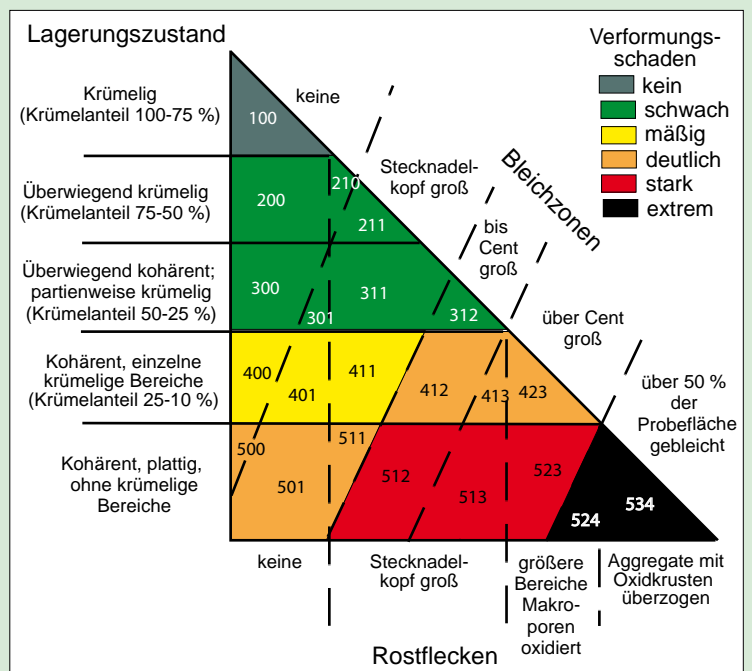
## Nachweismöglichkeiten für Verformungsschäden

Die Untersuchungen fanden auf verschiedenen Ausgangssubstraten statt (Lösslehm, Löss mit Muschelkalk und Buntsandstein), um die Robustheit der Prüf- und Testverfahren gegenüber Substratheterogenitäten zu prüfen.

In den untersuchten Waldstandorten wurde entlang von Transekten, die verformte und nicht verformte Areale umfassten, mit dem Feldschlüssel nach GAERTIG et al. [3] die Verformungsintensität anhand von Lagerungszustand und dem Anteil an Rostflecken und Bleichzonen an einem Bodenkörper von etwa 250 cm<sup>3</sup> abgeschätzt (Abb. 1). Kriterien der Verformungsintensität sind: Gefüge, Bleichzonen und Rostflecken.

Zum Nachweis von Eisen (II) wurde eine Bodenprobe im Feld mit einer 2,2'-Bipyridin-Lösung beträufelt. Eine rote Färbung zeigt das Vorhandensein von zweiwertigem Eisen an und deutet auf anaerobe Bedingungen und somit auf einen Verformungsschaden hin.

Abb. 1: Dreieckschlüssel zur Abschätzung der Verformungsintensität. Die Zahlen in den einzelnen Feldern geben die Ausprägung der Lagerungsart (1. Ziffer), der Rostflecken (2. Ziffer) und Bleichzonen (3. Ziffer) wieder.



Dipl.-Geoökol. D. Clemens ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Bodenkunde und Waldernährung an der Universität in Freiburg.



**Dorit Clemens**  
dorit.clemens@bodenkunde.uni-freiburg.de



Abb. 2: Unterschiede der Gefügestruktur in nicht verformten und verformten Bodenbereichen. Links: unbefahren – Krümelgefüge, rechts: befahren – plattiges Gefüge

gaten befindlichen Makroporen, d. h., aus dem natürlichen Bodengefüge im Oberboden, das i.d.R. in belebten Ah-Horizonten ein lockeres Krümelgefüge sein sollte, entsteht meist ein kohärentes, manchmal auch plattiges Gefüge (Abb. 2). Diese Ergebnisse haben sich auf allen Standorten gleichermaßen gezeigt. Im Gegensatz zu den Redoxmorphie-Merkmalen gibt der Lagerungszustand des Oberbodens Aufschluss über den Verformungsschaden eines Bodens, auch wenn eine stark maskierende Eigenfärbung des Bodens vorliegt (z.B. häufig bei Buntsandsteinsubstraten).

Die Ausprägung redoximorpher Merkmale ist in Abb. 3 deutlich zu erkennen. Unterhalb des befahrenen Bereichs haben sich Rostflecken und Bleichzonen in ca. 20 cm Tiefe gebildet. Diese Charakteristika sind auf Ausgangssubstraten, die den Boden kaum färben (z.B. Lösslehm) sehr gut erkennbar. In Böden mit einer starken Eigenfärbung kann es jedoch sehr schwierig sein, redoximorphe Merkmale zu erkennen und vor allem im Sinne des Feldschlüssels von GAERTIG et al. zu quantifizieren.

### Praxistauglichkeit und Informationsgehalt des chemischen Schnelltests

Um Aussagen über die Zuverlässigkeit der Nachweisreaktion mit Bipyridin treffen zu können, wurden im ersten Versuchsschritt unbefahrene und befahrene Bereiche getestet. Hier zeigte sich jedoch, dass auch in offensichtlich verformten Bodenarealen ein negatives Testergebnis vorliegen kann. Wir stellten daraufhin die Arbeitshypothese auf, dass in älteren Fahrspuren die farblosen, beweglichen Fe(II)-Ionen in aerobe Bereiche diffundiert sind und dort durch Fällung als Fe(III)-Oxide und Hydroxide aus der Bodenlösung entfernt wurden. Aus diesem Grund wurden gezielt Fahrspuren mit bekanntem, unterschiedlichen Alter beprobt. Diese Untersuchungen zeigten wiederum ein nicht völlig konsistentes

Muster positiver und negativer Testergebnisse. Mithilfe der statistischen „Clusteranalyse“ konnte jedoch gezeigt werden, dass der Gehalt an gefällten Eisenoxiden und der Anteil organischer Substanz die Nachweisreaktion stark beeinflussen, und damit den Einfluss des Alters der Fahrspur überlagern. Aufgrund der Clusteranalyse, die auf Kriterien der „Ähnlichkeit“ unterschiedlicher Probenkollektive beruht, konnten zwei Gruppen (Cluster) von Bodenproben gebildet werden: Alle Fahrspur-Proben der Gruppe 1 mit hohem Gehalt an amorphen („jungen“) und kristallinen („alten“) Eisenoxiden und einem hohen Gehalt an organischer Substanz reagierten positiv auf den chemischen Nachweis von zweiwertigem Eisen. In Gruppe 2 (geringere Gehalte an amorphem und kristallinem Eisen, geringere Gehalte an organischer Substanz) zeigte sich nur in 62 % der Fälle eine positive Reaktion. D.h. dass eine Verarmung an Eisenoxiden und

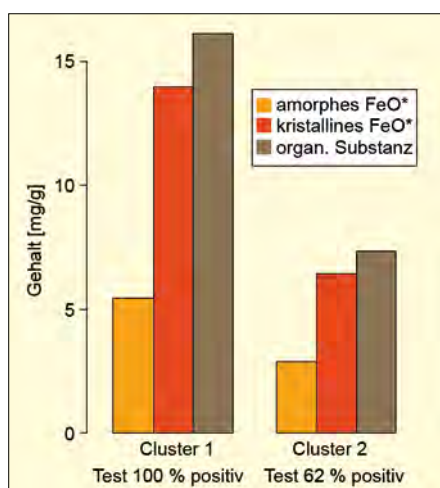


Abb. 4: Gehalt der Eisenoxide und der organischen Substanz von Cluster 1 (chemischer Test zu 100 % positiv) und Cluster 2 (chemischer Test zu 62 % positiv)

**\*Eisenoxide: Amorphe Eisenoxide sind frisch gebildete („junge“) Eisenoxide ohne kristalline Strukturen. Kristalline Eisenoxide bilden sich durch „Alterung“ amorpher Eisenoxide und sind schwerer löslich.**



Abb. 3: Ausprägung redoximorpher Merkmale im Oberboden unterhalb einer Fahrspur

organischer Substanz (aus welchem Grund auch immer, das kann z.B. auch im Alter der Fahrspur begründet liegen) zu einem negativen Testergebnis führen kann, obwohl der Boden eine Verformung aufweist (Abb. 4).

Leider erwiesen sich damit die Ergebnisse bodenchemischer Schnelltests als zu komplex, um generell als Routineverfahren zur Identifikation von Fahrspuren eingesetzt werden zu können.

### Folgerungen

Das beste derzeit verfügbare Kriterium zur Erkennung alter Fahrspuren mit bodenkundlichen Feldmethoden ist das Gefüge des Oberbodens. Dieses Merkmal ist unabhängig von der Eigenfärbung des Bodens und so lange erkennbar, bis Regenerationsprozesse eine Neu-Strukturierung bewirkt haben.

Die redoximorphen Merkmale im Oberboden sind ebenfalls sichere Indikatoren der Bodenverformungen unter der Voraussetzung, dass keine starke Eigenfärbung die Redoxmorphie-Merkmale maskiert.

Der chemische Nachweis von zweiwertigem Eisen ist nach derzeitigem Stand des Wissens nur eingeschränkt praxistauglich, da die Faktoren, die das Testergebnis beeinflussen, durch aufwändige Laborverfahren bestimmt werden müssten (z.B. Gehalte an amorphen und kristallinen Eisenoxiden). In Spezialfällen kann allerdings ein solcher chemischer Schnelltest wertvolle Zusatzinformationen liefern.

#### Literaturhinweise:

[1] BARTLETT, R. J. (1998): Characterizing soil redox behavior. In: Sparks, D. L. (ed.): Soil Physical Chemistry, S. 409. [2] GAERTIG, T.; PULS, C.; SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND, E. E. (2000): Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, Vol. 171, H. 12, S. 227-234. [3] IUSS Working Group WRB (2006): World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. [4] LEUTZ, R.; SCHAACK, H.; WIEBEL, M. (1980): Oberflächenverdichtung bei Parabraunerden aus Lösslehm nach Einsatz schwerer Holzbringungsmaschinen. Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, 28, S. 11-20.



# Lassen sich ‚historische‘ Befahrungslinien erkennen und visualisieren?

Von Manuela Bacher-Winterhalter und Gero Becker, Freiburg

*Besonders bei befahrungsempfindlichen Böden ist es erforderlich, alte Befahrungslinien für Holzerntemaßnahmen zu nutzen. Ist keine systematische Feinerschließung vorhanden und dokumentiert, müssen zunächst alte Befahrungslinien lokalisiert und verifiziert werden. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen sollten diese soweit als technisch möglich in ein permanentes Erschließungskonzept integriert werden.*

Systematisch angelegte Feinerschließungsnetze sind eine wesentliche Voraussetzung für eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Holznutzung. Schon die einmalige Befahrung mit einer Holzerntemaschine, insbesondere mit Beladung, kann bereits eine erhebliche Bodenbeeinträchtigung verursachen. Richtlinien von Landesforstverwaltungen [7] und Leitlinien zur Zertifizierung [2, 8] fordern eine geordnete Befahrung auf systematisch angelegten Linien mit Abständen von mindestens 20 m. Die Befahrungslinien sollen dauerhaft markiert sein, um sie langfristig wieder benutzen zu können und so mögliche Schädigungen auf die Linien zu beschränken, dh. ein flächenhaftes Befahren zu vermeiden.

In der Vergangenheit sind vielerorts Waldareale auf großer Fläche ungeplant und zum Teil mehrfach befahren worden, und es zeigen sich entsprechende Auswirkungen in der Bodenstruktur. Aus Sicht der Bodenpfleglichkeit liegt es deshalb nahe, diese alten Befahrungslinien zu identifizieren und soweit als technisch möglich und ökonomisch sinnvoll in zukünftige Holzerntemaßnahmen zu integrieren, um das Risiko weiterer Schäden zu minimieren.

## Zielsetzung

Eine Zielsetzung des Projektes<sup>1)</sup> ist die Identifikation einer rationellen und hinreichend zuverlässigen Methode zur Erfassung von alten Befahrungslinien. Dazu wurden auf ausgewählten Standorten alte Befahrungslinien mit verschiedenen Erhebungsmethoden erfasst. Diese Vorblokalisierung von ‚wahrscheinlichen‘ Befahrungslinien dient dazu, das als Stichprobenverfahren konzipierte ‚TESTKIT‘ effizient einzusetzen, indem die zu beprobende Fläche vorab eingegrenzt wird. Die Proben mit ‚TESTKIT‘ sollen letztlich darüber Aufschluss geben, ob auf den identifizierten Befahrungslinien tatsächlich Veränderungen im Oberboden nachweisbar sind.

## Ergebnisse

Die Fallstudien zeigten, dass zur hinreichend zuverlässigen und vollständigen Aufnahme aller visuell erkennbaren „historischen“ Befahrungslinien grundsätzlich eine Geländeaufnahme mit einem GPS-Gerät erforderlich ist. Im Vergleich zu den anderen Erhebungsmethoden ist dabei die Genauigkeit am höchsten, allerdings ist auch ein erheblich höherer Zeitaufwand erforderlich.

Während für die Geländeaufnahmen und die folgende Visualisierung im GIS insgesamt 20 bis 25 Stunden je Probefläche benötigt wurden, ist der Zeitaufwand für die Erstellung digitaler Modelle (Laser-

Dr. M. Bacher-Winterhalter ist Mitarbeiterin von Prof. Dr. G. Becker am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaften der Universität Freiburg.



Manuela Bacher-Winterhalter  
schwoererhof@t-online.de

<sup>1)</sup> Das Forschungsvorhaben „Einbindungsmöglichkeiten alter Befahrungslinien in neue Erschließungskonzepte unter standörtlichen, technischen und ökonomischen Gesichtspunkten“ gehört zum Projektverbund „TESTKIT“ und wird vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) gefördert.

## Datenaufnahme

Auf befahrungsempfindlichen Standorten wurden sowohl junge als auch alte Nadel- und Laubholzbestände als Probeflächen mit je 8 ha Größe ausgewählt. Zur Identifikation alter Befahrungslinien wurden vier folgende Erhebungsmethoden eingesetzt und nach Machbarkeit, Zeitaufwand sowie Genauigkeit überprüft:

- 1. Air-Laserscanning:** Mittels flugzeuggestützter Laserdaten wurde versucht, alte Befahrungslinien in den Beständen zu erkennen. Mit dieser geodätischen Messtechnik werden großflächige und detailreiche Objekte mit geringen Aufnahmezeiten über Laserstrahl als 3-D-Modelle erfasst. Im Forstbereich wurden bisher Laseraufnahmen zur Erfassung von Vegetation, von Baumbeständen, von Gewässerläufen und der forstlichen Erschließung eingesetzt [u.a. 1,3-6,9-10].
- 2. Luftbilder:** Weiterhin wurde geprüft, inwieweit alte Befahrungslinien auf Orthofotos erkennbar sind.
- 3. Expertengespräch:** Durch Expertengespräche mit den örtlichen Revierleitern wurde deren Erfahrungswissen zur Identifikation alter Befahrungslinien genutzt.
- 4. Geländeaufnahme:** Schließlich wurden alte Befahrungslinien anhand des Mikroreliefs, der Bodenstruktur sowie der Vegetation bei Ortsbegehungen erfasst und mittels eines mobilen GPS-Geräts vermessen, um so eine digitale Datenauswertung zu ermöglichen.

scan) für die Luftbildinterpretation oder für das Expertengespräch mit 2 bis 5 Stunden pro Fläche erheblich geringer.

In Abb. 1 und Abb. 2 sind die GPS-Geländeaufnahme, digitale Modelle und die Luftbildinterpretation für die Fallbeispiele „Nadelholz alt“ auf Moränenlehm und „Laubholz jung“ auf Lösslehm dargestellt. Die jeweilige Anzahl an Befahrungslinien ist Tab. 1 zu entnehmen.

Vergleicht man die Abbildungen und die Tabellenwerte, ist festzustellen, dass nur mit der GPS-Geländeaufnahme alle Befahrungslinien mit hoher Genauigkeit erfasst werden können. Allerdings können Teilinformationen auch aus der Luftbildinterpretation und der Laserscan-

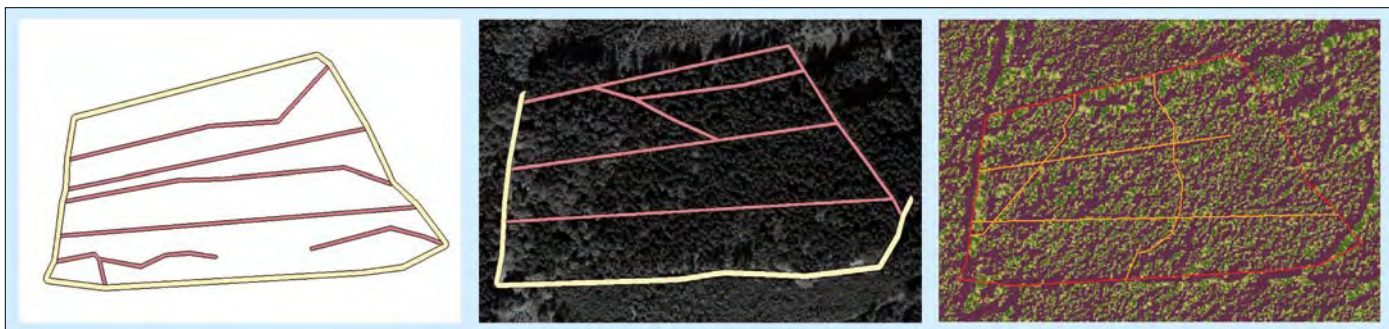


Abb. 1: Darstellung der alten Befahrungslinien vom Fallbeispiel „Nadelholz alt“, basierend auf der Geländeaufnahme mit GPS (links), der Luftbildinterpretation (Mitte) und auf dem digitalen Oberflächenmodell (rechts)

Tab. 1 : Erschließungsparameter für zwei ausgewählte Fallbeispiele

Fallbeispiele	Hiebsfläche	identifizierte Rückegassen		
		Geländeaufnahme GPS	Luftbild <sup>2)</sup>	Laserscan <sup>2)</sup>
Nadelholz alt (80 Jahre)	6,6 ha	8	4	3
Laubholz jung (30 Jahre)	8,1 ha	19	8	4

<sup>2)</sup> Anzahl der richtig erkannten Rückegassen

auswertung gewonnen werden. Die Machbarkeit und Genauigkeit dieser Fernerkundungsmethoden hängt u.a. von der Belichtungsqualität der Luftbilder, vom Gelände, von der Bestandesstruktur (Baumart, Alter, Stufigkeit), von der Vegetationszeit und der Nutzungsintensität der Befahrungslinien ab.

Folgende Folgerungen lassen sich ableiten:

- Je heterogener der Bestand, desto weniger entspricht das aus der Luftbildinterpretation oder aus den digitalen Laser-Modellen abgeleitete Befahrungsmuster der Realität. In jungen Laubholzbeständen (Abb. 2) sind die Ergebnisse unbrauchbar und können nicht einmal als Vorinformationen genutzt werden. Dagegen sind in homogenen Beständen, wie z.B. dem alten Nadelholzbestand (Abb. 1), die tatsächlichen Befahrungslinien zum Teil im Luftbild und im durch Lasertechnik erstellten digitalen Oberflächenmodell erkennbar und vergleichbar.
- Systematisch langfristig angelegte und mehrfach genutzte Befahrungslinien sind sowohl auf dem Luftbild als auch mithilfe des digitalen Oberflächenmodells besser erkennbar als „wirre“ Befahrungen (s. Abb. 1 und 2).

Mithilfe der Expertengespräche können Zusatzinformationen, wie z.B. über frühere Holzerntemaßnahmen und -systeme oder Markierungstechniken, gewonnen werden, die als Groborientierung die Geländeaufnahme erleichtern.

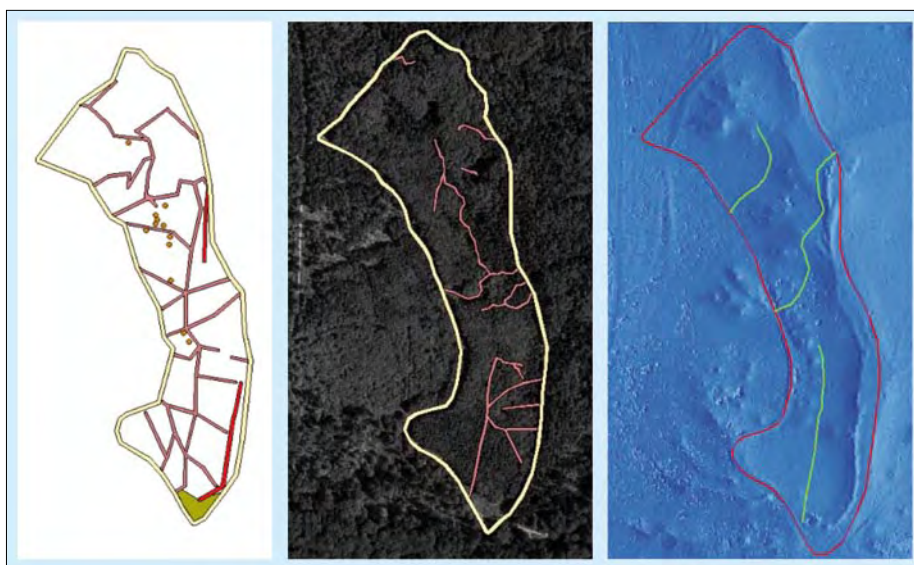


Abb. 2: Darstellung der alten Befahrungslinien vom Fallbeispiel „Laubholz jung“, basierend auf der Geländeaufnahme mit GPS (links), der Luftbildinterpretation (Mitte) und auf dem digitalen Geländemodell (rechts)

### Folgerungen

Die Erkennung von „historischen“ Befahrungslinien im Bestand mittels digitaler Modelle und auf Luftbildern ist nur schwer möglich. Bei homogenen Nadelholzbeständen mit einem systematisch angelegten und mehrfach genutzten Befahrungsnetz können diese Methoden zur Unterstützung der Geländeaufnahme herangezogen werden. Laseraufnahmen mit hoher Auflösung könnten die Ergebnisse dieser Aufnahmetechnik zukünftig verbessern. Um alte Befahrungslinien mit hoher Genauigkeit zu erfassen, kann aktuell jedoch grundsätzlich auf eine zeitaufwendige Geländeaufnahme mit GPS-Gerät nicht verzichtet werden.

Zur Vermeidung weiterer Bodenverdichtung ist es erforderlich, dass möglichst viele vorhandene Befahrungslinien in zukunftsgerichte Erschließungs- und Holzerntekonzepte permanent integriert werden. Dazu ist eine Erfassung mit hoher Genauigkeit unabdingbar. Allerdings

spielt auch der Zustand alter Befahrungslinien für ihre Wiederverwendung eine wesentliche Rolle. Durch intensive Nutzung unbrauchbar gewordener Befahrungslinien können nur dann wieder verwendet werden, wenn die technische Befahrbarkeit wiederhergestellt wird.

#### Literaturhinweise:

[1] BREIDENBACH, J. (2003): Verwendung von Laserscannerdaten in Forstinventuren. Diplomarbeit an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. [2] FSC (Hrsg.) (2001): Deutscher FSC-Standard. 48 S. [3] FRIEDLÄNDER, H. (2002): Die Anwendung von flugzeuggetragenen Laserscannerdaten zur Ansprache dreidimensionaler Strukturelemente von Waldbeständen. Dissertation an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. [4] HAILER, J. (2005): Erprobung von Laserscannerdaten zur Erfassung der forstlichen Erschließungseinrichtung am Beispiel des Distrikts I, Stadtwald Rottenburg. Diplomarbeit an der FH Rottenburg, 74 S. [5] HEURICH, M. (2005): Erfassung vertikaler Waldstrukturen mit flugzeuggetragenen Laserscannern. AFZ-DerWald Nr. 5, S. 242-244. [6] MAKKONEN-SPIECKER K. (2005): Laserscanner für Wald- und Landschaftsinventuren. Verbundprojekt „NATSCAN“. AFZ-DerWald Nr. 5, S. 239-240. [7] MLR Baden-Württemberg (Hrsg.) (2003): Richtlinie zur Feinerschließung von Waldbeständen. 27 S. [8] PEFC (Hrsg.) (2005): PEFC-Standards für Deutschland. 13 S. [9] THIES, M.; KOCH, B.; SPIECKER, H. (2002): Einsatzmöglichkeiten von Laserscannern für Wald- und Landschaftsinventuren. AFZ-DerWald Nr. 8, S. 395-397. [10] WACK, R.; OLIVEIRA, T.; KLEIN, C.; NIESCHULZE, J.; SLOBODA, B. (2005): Analyse der vertikalen Vegetationsstruktur fürs Feuermanagement mittels Luft-Laserscanning. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Nr. 138.

## Eine Analyse am Beispiel von Fichtenbeständen in Oberschwaben

# Wie heterogen ist die natürliche Waldbodenstruktur?

Von Sonja Amann und Jürgen Schäffer

Neben befahrungsbedingter Verdichtung ist in Waldböden auch natürlicherweise mit Unterschieden in der Bodenstruktur zu rechnen. Die Kenntnis dieser natürlichen Heterogenität ist unerlässlich für die zuverlässige Anwendung diagnostischer Verfahren zur Erfassung befahrungsbedingter Strukturveränderung. Unter bestimmten standörtlichen Voraussetzungen (strukturschwache, verdichtungsanfällige Substrate; Staunässe; flache, ausgedehnte Wurzelteller v.a. bei Fichte) kann die windinduzierte Wurzelbewegung als ein Hauptverursacher natürlich bedingter Strukturstörungen angesehen werden.

### Bodenluftmerkmale geben Hinweise auf Bodenstruktur

Den Untersuchungen des Zusammenhangs von Bodenstruktur und Bodenbelüftung liegt folgende Hypothese zugrunde: In gut belüfteten Böden kann das im Boden durch die Atmung von Wurzeln und Mikroorganismen entstandene Kohlendioxid nahezu ungehindert an der Bodenoberfläche entweichen und im Gegenzug strömt Sauerstoff aus der Atmosphäre in den Boden. Wird der Boden verdichtet, kommt es zu Änderungen in der Porengrößenverteilung (die für den Lufthaushalt maßgeblichen Grobporen werden zu Mittel- oder sogar Feinporen verkleinert), zum anderen wird die Porenkontinuität durch Verschmieren, bzw. Abscheren herabgesetzt. Dies hat zur Folge, dass das im Boden produzierte Kohlendioxid nicht mehr an die Atmosphäre abgegeben werden kann und auch das Nachströmen von Sauerstoff in den Boden unterbunden wird.

### Flächige Muster

Mithilfe eines mobilen Gaschromatographen und einer Einstechsonde zum Ansaugen der Bodenluft wurde an zwei

S. Amann und J. Schäffer sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Abt. Boden und Umwelt, FVA Baden-Württemberg.

Sonja Amann  
sonja.amann@forst.bwl.de

Standorten auf einer 15 x 20 m großen Fläche im 50 x 50 cm Raster die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Bodenluft in zwei Tiefenstufen (10 und 20 cm) bestimmt. Abb. 2 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchungen am Standort „Steinhausen“: vor allem in 20 cm Tiefe ist eine deutliche Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Radius von 1 bis 1,5 m im Umkreis von Fichten und Wurzelstöcken erkennbar.

Bei der Interpretation der Werte ist zu beachten, dass erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen einerseits auf Strukturstörungen zu-

rückgeführt werden können, andererseits aber auch erhöhte Produktion im Wurzelraum die Ursache sein kann.

Um dies zu prüfen, wurden auf dem Standort „Heiligkreuztal“ mittels so genannter „Bodengaslysimeter“, einem diffusiven Sammelsystem für die Bodenluft, Tiefenprofile der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Bodenluft bis in 90 cm Bodentiefe erstellt. An diese Tiefenprofile der Konzentration wurden mittels einer Spline-Modellierung [1] Tiefenfunktionen angepasst, aus denen die CO<sub>2</sub>-Produktion innerhalb der verschiedenen Bodenhorizonte abgeleitet werden kann (Abb. 3).

Die CO<sub>2</sub>-Produktionsprofile für die getrennt instrumentierten Situationen Fichte, Zwischenstammbereich und Wurzelstock zeigen eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Produktion im Umfeld der Fichten und Wurzelstöcke. Dies könnte vordergründig als Ursache der erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in diesen Bereichen gedeutet werden. Bei näherer Betrachtung wird allerdings deutlich, dass die erhöhte CO<sub>2</sub>-Produktion an Fichten und Wurzelstöcken hauptsächlich

### Versuchsflächen

Untersucht wurden zwei Standorte in Oberschwaben (Heiligkreuztal und Steinhausen), die als besonders disponiert für die windinduzierte Wurzelbewegung eingestuft wurden (Abb. 1): An beiden Standorten ist der Bodentyp ein Parabraunerde-Pseudogley auf Moränenlehm, d.h. der Standort ist strukturschwach und verdichtungsanfällig. Rostfleckigkeit ab 45 cm Bodentiefe (BtSd-Horizont) weist auf Staunässe einfluss hin, der eine tiefe Durchwurzelung durch die Fichten limitiert. Dementsprechend haben die auf dem Standort stockenden Fichten ein flach abstreichendes, weitläufiges Grobwurzelwerk ausgebildet. Die Bestandeshöhe beträgt 35 m und mehr, somit kann davon ausgegangen werden, dass bei Starkwindereignissen hohe Windkräfte über das Wurzelwerk auf den Untergrund übertragen werden.

Abb. 1: Bodenprofil der Versuchsfläche Heiligkreuztal. An der Rostfleckigkeit im AISw-Horizont wird der Staunässeinfluss deutlich.



auf CO<sub>2</sub>-Quellen im obersten Mineralbodenhorizont (Ah-Horizont, 0 bis 4 cm) zurückzuführen sind: Den Mikroorganismen steht in den Wurzelachseln der Fichten durch Streuanhäufung, bzw. im Umfeld der Wurzelstöcke durch die abgestorbene Biomasse ein deutlich höheres Nahrungsangebot zur Verfügung als im Zwischenstammereich.

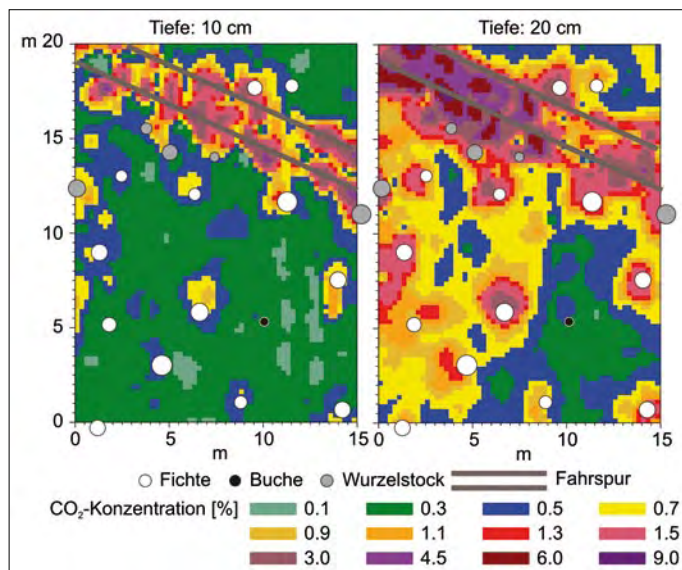
Interessant sind die beiden Mineralbodenhorizonte Al von 4 bis 16 cm und AlSw von 16 bis 45 cm (Abb. 3), da in diesen auch die flächigen CO<sub>2</sub>-Konzentrationsmessungen durchgeführt wurden. Hier zeigt sich eine erhöhte Produktion für die Situationen Fichte und Zwischenstammereich, im Gegensatz dazu wird im Bereich der Wurzelstöcke kaum Kohlendioxid produziert. Die Erklärung hierfür liegt vermutlich in der Verteilung der lebenden Feinwurzelbiomasse als Hauptproduzent von Kohlendioxid im Boden, entweder direkt über Wurzelatmung oder indirekt über die Bereitstellung von Exsudaten als Nahrungsquelle für Mikroorganismen. Baumnah und im Zwischenstammereich ist ein hoher Anteil an Feinwurzelbiomasse zu erwarten. Um die alten Wurzelstöcke ist die Feinwurzelbiomasse der ehemals stockenden Fichten bereits abgebaut und noch nicht durch die Feinwurzeln lebender Fichten wieder erschlossen.

Somit ergeben sich zwei Befunde:

- Die CO<sub>2</sub>-Konzentration ist erhöht im Bereich der Fichten und Wurzelstöcke,
- CO<sub>2</sub>-Produktion findet vermehrt im Bereich der Fichten und im Zwischenstammereich statt.

Wäre eine vermehrte CO<sub>2</sub>-Produktion die

**Abb. 2: CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf der Rasterfläche in Steinhausen.**  
 Linke Seite: 10 cm Bodentiefe.  
 Rechte Seite: 20 cm Bodentiefe



Ursache für hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, müssten die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen konsequent dort erhöht sein wo auch die CO<sub>2</sub>-Produktion hoch ist. Für die Versuchsfächen wären das die Bereiche um die Fichten und der Zwischenstammereich. Im Bereich der Wurzelstöcke dagegen müssten analog zur schwachen CO<sub>2</sub>-Produktion auch niedrigere Konzentrationswerte gemessen werden.

Die oben genannten Befunde entsprechen nicht diesem ursächlichen Zusammenhang. Somit lassen die bisherigen Ergebnisse vermuten, dass die baum- und wurzelstocknahen erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu einem wesentlichen Teil auf Strukturstörungen infolge von Wurzelbewegung und nicht auf erhöhte CO<sub>2</sub>-Produktion zurückzuführen sind.

### Unterscheidung zu befahrungsbedingter Verdichtung

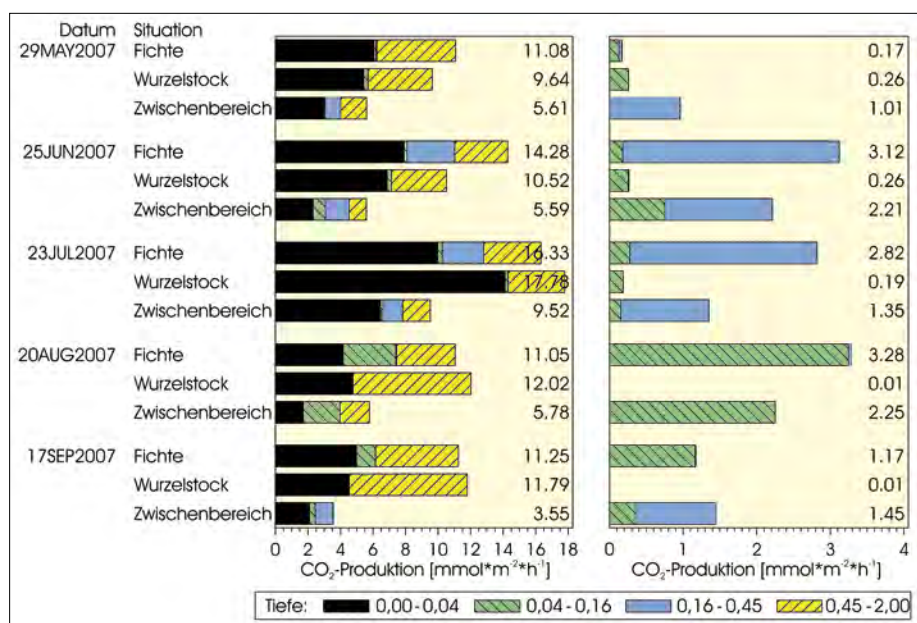
Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zwischen Strukturstörungen infolge windinduzierter Wurzelbewegung und befahrungsbedingtem Strukturverlust wird in Abb. 2 deutlich: Während im Bereich der Fahrspur schon in 10 cm Bodentiefe eine deutliche Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration erkennbar ist, treten höhere Kohlendioxid-Konzentrationen im Umkreis der Bäume erst in 20 cm Bodentiefe auf.

### Folgerungen für die Testkit-Anwendung

Bezieht man zusätzlich die Reichweite der erhöhten Werte um die Bäume in die Betrachtung mit ein, sollten für die Anwendung diagnostischer Verfahren zur Erfassung von befahrungsbedingten Strukturveränderungen, wie es zum Beispiel mit dem Testkit geplant ist, folgende Hinweise beachtet werden:

1. In einer Bodentiefe von 10 cm besteht keine Gefahr, natürliche Strukturstörungen fälschlicherweise als Folge befahrungsbedingter Verdichtung zu interpretieren.
2. Werden tiefere Bodenschichten in die Beprobung miteinbezogen, sollte ein „Sicherheitsabstand“ von 1,5 m zum nächsten Baum bzw. alten Wurzelstock eingehalten werden. Dies gilt vor allem auf labilen, mit Fichten bestockten Standorten.

Bei Beachtung dieser Hinweise ist mit hoher Sicherheit gewährleistet, dass die erfassten Strukturstörungen Folge befahrungsbedingter und nicht natürlicher Einflussgrößen sind.



**Abb. 3: Mithilfe der Spline-Modellierung berechnete CO<sub>2</sub>-Produktion an fünf Beprobungsterminen, aufgeteilt nach den Situationen „Fichte“, „Wurzelstock“ und „Zwischenstammereich“ und den Horizonten. Linke Seite: Gesamtprofil. Rechte Seite: Al- und AlSw-Horizont**

#### Literaturhinweis:

[1] SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND, E. E. (1998): Prozessmonitoring mit Gaskonzentrationsmessungen in Waldböden. In: Hildebrand, E. E. (Hrsg.): Der Gashaushalt von Waldböden: Messung, Modellierung und ökologische Bedeutung. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen 37. S. 5-149.

# Die Waldbodenvegetation als Weiser für Bodenstrukturstörungen

Von Thorsten Gaertig und Katharina Green, Göttingen

Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen stellt sich in Wäldern eine Bodenvegetation ein, die an Wasser-, Nährstoff- und Lufthaushalt des Standorts angepasst ist und daher als „standortstypisch“ bezeichnet werden kann [4]. Durch das Befahren von Waldböden ändern sich wichtige Standortfaktoren, sodass eine befahrungsbedingte Veränderung der Artenzusammensetzung der Waldbodenvegetation beobachtet werden kann [3]. Die Kenntnis über die typische Vegetationszusammensetzung strukturgestörter Böden würde die Identifikation alter Befahrungslinien im Gelände deutlich erleichtern und damit ihre Einbindung in neu anzulegende Feinerschließungssysteme vereinfachen.

## Arbeitshypothese

Mit der Befahrung von Waldböden ändern sich wichtige Standortseigenschaften. Insbesondere die Verringerung des Gasaustauschs zwischen Bodenluft und Atmosphäre aufgrund verringerten Luftporenvolumens und verringerter Porenkontinuität führt zu drastischen Veränderungen in der Bodenluftzusammensetzung: Der Sauerstoffgehalt der Bodenluft nimmt ab, Kohlendioxid reichert sich an [7, 9, 4].

In der vorliegenden Arbeit soll geprüft werden, ob auf Befahrungslinien Pflanzenarten dominieren, die gegenüber Bodenstrukturen und Sauerstoffmangel toleranter sind. Es ist anzunehmen, dass dies vor allem Feuchte- und Nässezeiger sind, die an Engpässe in der Sauerstoffversorgung aufgrund hoher Bodenwasserhalte angepasst sind.

## Ergebnisse und Diskussion

Auf allen Flächen konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Befahrungssituation, dem angesprochenen Verformungsschaden und der Feinwurzelintensität festgestellt werden. Abb. 1 zeigt dies

### Material und Methoden

Zur Überprüfung der Arbeitshypothese wurden sieben Versuchsflächen in Südniedersachsen sowie eine in Sachsen-Anhalt angelegt (Tab. 1), auf denen in einem Stichprobenraster die Durchwurzelung, der Verformungsschaden (vgl. Abb. 1, S. 294) und der Deckungsgrad der anzutreffenden Pflanzen aufgenommen wurden. Bei einem Teilkollektiv wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Bodenluft in 5 cm Tiefe bestimmt [1, 2, 5, 6].

exemplarisch für die Fläche in Ebergötzen. Die strukturgeschädigten Bereiche konzentrieren sich auf die beiden Fahrspuren, welche von Baumwurzeln nicht oder nur unzureichend erschlossen werden können.

Auf der gleichen Fläche ist in Abb. 2 am Beispiel von zwei Pflanzen dargestellt, wie sich die flächige Verbreitung von Waldbodenpflanzen mit der Bodenstruktur verändert. Während sich die Winkelsegge (*Carex remota*) auf die strukturgestörten Bereiche konzentriert (Abb. 2 linkes Bild), wird das Eichenfarnvorkommen (*Gymnocarpium dryopteris*) von der Fahrlinie geradezu zerschnitten (Abb. 2 rechtes Bild).

Werden flächenübergreifend die häufigsten angetroffenen Arten nach ihrem durchschnittlichen Verformungsschaden sortiert, ergibt sich eine Reihung der Pflanzen mit abnehmender Befahrungsempfindlichkeit (Abb. 3). Ein ähnliches Bild zeigt sich, wenn die gefundenen Pflanzen nach der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Konzentration in ihrem Wurzelraum sortiert werden (Abb. 4). Die CO<sub>2</sub>-Konzentration gibt als integrierende Gashaushaltsgröße

Auskunft über die Qualität der Bodenbelüftung [5, 10]. Die wichtigsten Zeigerpflanzen wurden über die Kombination der Rangfolge des zunehmenden Verformungsschadens sowie der Rangfolge der zunehmenden CO<sub>2</sub>-Konzentration in ihrem Wurzelraum hergeleitet [2].

### 1) Verdichtungszeiger:

- Flatterbinse (*Juncus effusus*),
- Großbl. Springkraut (*Impatiens noli-tangere*),
- Hain-Ampfer (*Rumex sanguineus*),
- Rasenschmiele (*Deschampsia cespitosa*),
- Waldsegge (*Carex sylvatica*),
- Winkelsegge (*Carex remota*) [2, 8].

### 2) Pflanzen, die strukturgestörte Bereiche meiden:

- Efeu (*Hedera helix*),
- Eichenfarn (*Gymnocarpium dryopteris*),
- Haselwurz (*Asarum europaeum*),
- Kleines Immergrün (*Vinca minor*).

Die **Naturverjüngung** von Buche (*Fagus sylvatica*), Esche (*Fraxinus excelsior*) und Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) konzentriert sich auf die ungestörten Bodenbereiche, während die Hainbuche (*Carpinus betulus*) auch auf strukturgestörten Böden aufläuft. Letzteres verwundert nicht, da die Hainbuche in Waldgesellschaften natürlich vorkommt, die zumindest zeitweise Sauerstoffmangel ertragen müssen.

**Literaturhinweise:**

[1] Arbeitskreis für Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (1996): Forstliche Standortaufnahme. Begriffe, Definitionen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. IHW-Verlag Eching, 5. Aufl. 352 S. [2] DÖRR, B. (2007): Der Einfluss der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Bodenluft auf die Zusammensetzung der Waldbodenvegetation im Südwesten Niedersachsens; unveröffentl. Diplomarbeit an der HAWK Göttingen, 60 S. [3] EBRECHT, L.; SCHMIDT, W. (2005): Einfluss von Rückegassen auf die Vegetation. In: Forstarchiv, Vol. 76, H. 3, S. 83-101. [4] ELLENBERG, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart., 989 S. [5] GAERTIG, T.; PULS, C.; SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND E. E. (2000): Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten. In: Allg. Forst u. J/Zeitg., Vol. 171, H. 12, S. 227-234. [6] GAERTIG, T. (2001): Bodengashaushalt, Feinwurzeln und Vitalität von Eichen. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Institut f. Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg i.Br., H. 40. [7] HILDEBRAND, E. E. (1983): Der Einfluss der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort. In: Forstwissenschaftl. Cbl., Vol. 102, S. 111-125. [8] KOCH, A. (2007): Der Zusammenhang zwischen der Bodenstruktur und der Zusammensetzung der Bodenvegetation in einem Buchenbestand auf einem Löss beeinflussten Buntsandsteinstandort im Forstamt Reinhausen. unveröffentl. Diplomarbeit an der HAWK Göttingen, 55 S. [9] SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND, E. E.; WILPERT, K. v. (1993): Bodensauerstoffhaushalt unter Fahrspuren, Einsatz eines Simulationsmodells. In: AFZ, Vol. 48, H. 3, S. 118-121. [10] SCHACK-KIRCHNER, H. (1994): Struktur und Gashaushalt von Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme: Reihe A, H. 112, 145 S. [11] TRUMPA, M.; GAERTIG, T. (2008): Erkennen alter Fahrlinien anhand vegetations- und feldbodenkundlicher Merkmale sowie ihre Einbindung in neu anzulegende Feinerschließungssysteme. AFZ-DerWald, Vol. 63, H. 6, S. 302-303.

Dr. T. Gaertig ist Professor und K. Green wissenschaftliche Angestellte an der Fakultät für Ressourcenmanagement, HAWK FH Hildesheim/Holz-minden/Göttingen.



**Thorsten Gaertig**  
gaertig@hawk-hhg.de

Tab. 1: Flächenparameter der Untersuchungsflächen						
Fläche	Wuchsbezirk	Bestand	Bodentyp + Ausgangsmaterial	Wasserhaushalt	Bodenart im Oberboden	pH-Wert
Solling	Unterer Solling	Buchen-Altbestand	Braunerde aus Löss über Buntsandstein	mäßig trocken bis mäßig frisch	Lu	4,3
Sillium	Unt. Weser-Leine-Bergland	Buchen-Eichen-Altbestand	pseudovergleyte Parabraunerde aus Jura-Ton	frisch	Ut2	4,6
Ebergötzen	Göttinger Wald	Buchen-Altbestand	Braunerde aus Löss über Buntsandstein	frisch	Uls	5,6
Bösinghausen	Göttinger Wald	mittlerer Buchen-Edellaubholz-Mischbestand	Rendzina/ Terra Fusca aus Muschelkalk	mäßig frisch bis mäßig trocken	Tu	7,2
Falkenhagen	Göttinger Wald	Buchen-Altbestand	Parabraunerde aus Löss über Buntsandstein	frisch bis nachhaltig frisch	Ut3	4,5
Nikolausberg	Göttinger Wald	Buchen-Edellaubholz-Altbestand	Parabraunerde aus Löss über Muschelkalk	frisch	Ut4	4,4
Mackenrode	Göttinger Wald	Buchen-Altbestand	Braunerde-Pelosol aus Röt-Ton	frisch	Uls	4,1
Annarode	Ostharz Abdachung	Trauben-Eichen-Altbestand	Braunerde aus Löss über Buntsandstein	frisch	Lu	

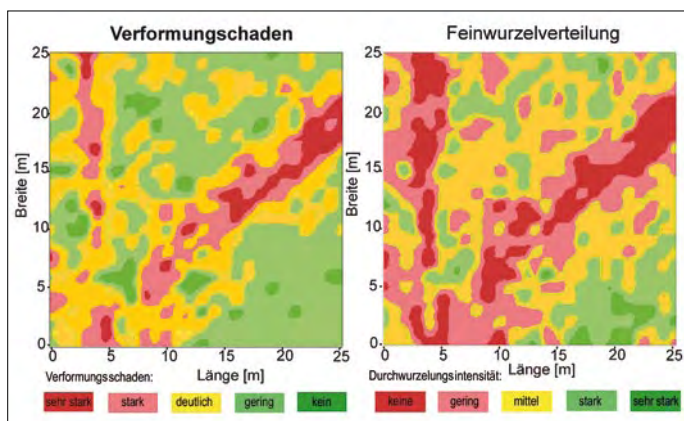


Abb. 1: Verteilungsmuster des feldbodenkundlich angesprochenen Verformungsschadens (links) und der Feinwurzelverdichte (rechts)

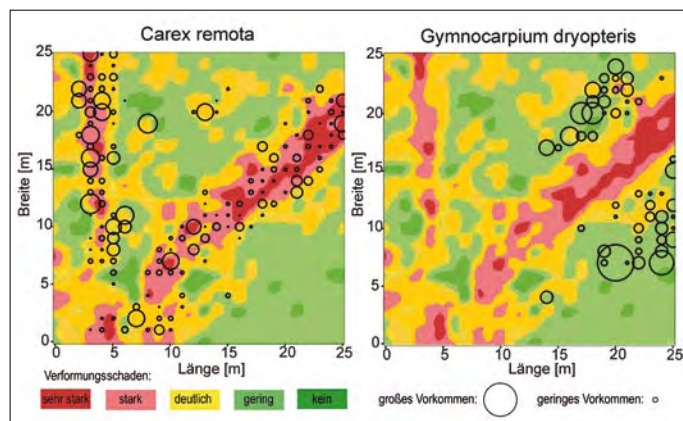


Abb. 2: Zusammenhang zwischen dem Verformungsschaden und Verbreitung von Winkelsegge (links) und Eichenfarn (rechts)

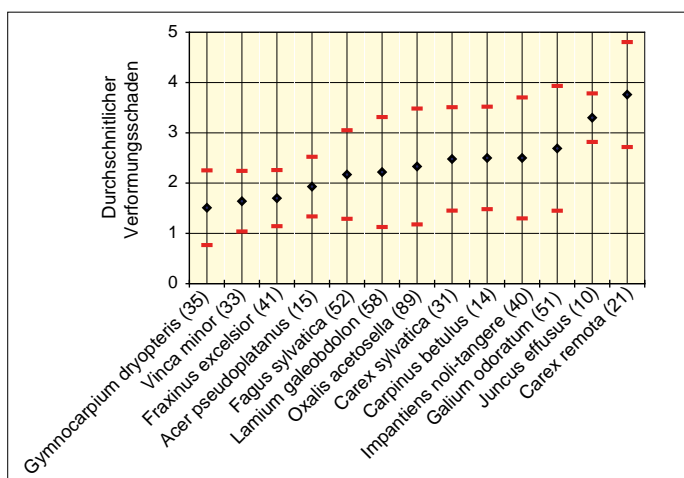


Abb. 3: Durchschnittlicher Verformungsschaden im Oberboden unter den häufigsten Pflanzen. Die schwarzen Rauten stellen den jeweiligen Mittelwert, die roten Querstriche die Standardabweichung dar. Die Anzahl der Beobachtungen steht in Klammern hinter dem jeweiligen Pflanzennamen.

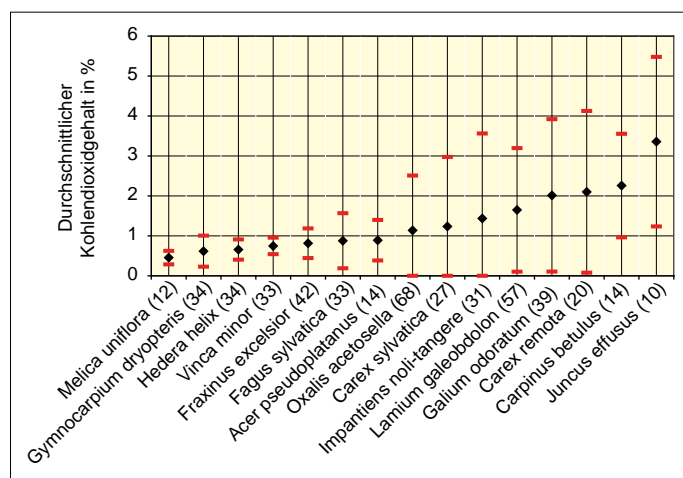


Abb. 4: Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Gehalt im Wurzelraum (5 cm Bodentiefe) der häufigsten Pflanzenarten. Die schwarzen Rauten stellen den jeweiligen Mittelwert, die roten Querstriche die Standardabweichung dar. Die Anzahl der Beobachtungen steht in Klammern hinter dem jeweiligen Pflanzennamen.

Flächenübergreifend zeigt sich, dass sich die Vegetationszusammensetzung mit der Verformung des Oberbodens ändert. So werden Pflanzen, die üblicherweise als Nässezeiger bekannt sind, auf strukturge störten Böden konkurrenzstärker. Auf den unbefahrenen Böden wurden überwiegend Pflanzenarten gefunden, die typischerweise einen mäßig frisch bis frischen Wasserhaushalt anzeigen [4]. Auf den befahrenen Bestandteilen dominieren bei

gleicher Bodenreaktion Arten, die in der Regel mäßig nasse bis nasse Standorte anzeigen. Offensichtlich werden Nässezeiger auch dann konkurrenzstärker, wenn sich die Belüftungssituation infolge von Befahrung verschlechtert.

### Folgerungen

Alte Befahrungslinien unterscheiden sich in ihrer Bodenstruktur und ihrem Boden-

gashaushalt deutlich von ungestörten Waldböden.

Diese Standortsveränderungen führen zu einer Veränderung der Vegetationszusammensetzung. Die Verdichtungszeiger (s.o.) können helfen, alte Befahrungslinien aufzuspüren, um sie in neue Erschließungssysteme zu integrieren.

Ein Beispiel, wie dies in der Praxis umgesetzt werden kann, zeigt [11].

# Einbindung alter Fahrlinien in neue Feinerschließungssysteme

Von Malte Trumpa und Thorsten Gaertig, Göttingen

In zahlreichen Waldbeständen muss eine permanente systematische Feinerschließung noch angelegt werden. Zum einen sollen die Gassenabstände den Anforderungen modernster Holzerntetechnologie gerecht werden. Zum anderen sollen alte Befahrungslinien aus Bodenschutzgründen aufgespürt und in das neue Rückegassennetz eingebunden werden. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde im Praxistest geprüft, ob alte Fahrspuren über die im Rahmen des BMBF-Projekts „Testkit“ entwickelten vegetations- und feldbodenkundlichen Geländemethoden aufgefunden und in ein neues Feinerschließungssystem eingebunden werden können [1].

## Vegetation und Verformungsschaden auf den Fahrlinien

Wie der Beitrag auf Seite 300 zeigt, eignete sich die Waldbodenvegetation sehr

Dr. T. Gaertig ist Professor an der Fakultät für Ressourcenmanagement an der HAWK FH Holzminden/ Hildesheim/Göttingen. M. Trumpa beschäftigte sich während seiner Diplomarbeit mit dem Thema Vegetation als Verdichtungszeiger und hat im Februar 2008 sein Diplom erhalten.



**Malte Trumpa**  
malte.trumpa@yahoo.de

## Material und Methoden

Die Untersuchung wurde in einem 13,1 ha großen Buchenaltbestand mit unregelmäßiger Feinerschließung im südniedersächsischen Forstamt Reinhausen durchgeführt. Der Bestand stockt 250 bis 300 m ü.NN. auf einer frischen bis nachhaltig frischen Parabraunerde aus einer Lössfließerde über mittlerem Buntsandstein.

Im Gelände wurde versucht, alle vorhandenen Befahrungslinien zu finden. Befahrene Bodenareale wurden über das Kleinrelief, die feldbodenkundliche Ansprache des Verformungsschadens [2] und die Zeigerpflanzen Winkelsegge (*Carex remota*), Waldsegge (*Carex sylvatica*), Große Brennnessel (*Urtica dioica*) und Großes Springkraut (*Impatiens noli-tangere*) identifiziert [3].

Im Abstand von 15 m wurden auf allen gefundenen Befahrungslinien Probepunkte angelegt. Die Befahrungslinien wurden skizziert, die Probepunkte mit GPS eingemessen. An jedem Probepunkt wurde eine Vegetationsaufnahme durchgeführt und der Verformungsschaden mithilfe des Dreiecksschlüssels zur Bestimmung von Verformungsschäden im Gelände ermittelt (vgl. Abb. 1, S. 294).

Mit der GIS Software ArcView wurden die befahrenen Bodenareale in eine digitalisierte Betriebskarte des Forstamtes eingearbeitet (Abb. 3 und 4) und die Feinerschließungskonzepte (Abb. 5 und 6) erstellt. Abschließend wurden die Erschließungslinien im Bestand angelegt und zusätzlich dauerhaft markiert.

gut, um befahrene Bestandteile und alte Fahrlinien aufzufinden. Die im Untersuchungsgebiet (siehe Kasten) über die verwendeten Zeigerpflanzen als befahren angesprochenen Bodenareale waren durchweg stark verformt. Bei 75 % der Probekreise auf den kartierten Fahrlinien wurden starke bis extreme Verformungsschäden im Oberboden diagnostiziert, d.h. dort waren deutliche Redoximorphie-Merkmale sichtbar (Abb. 1).

Der Zusammenhang zwischen dem Verformungsschaden und der Häufigkeit des Auftretens der Zeigerpflanzen ist in Abb. 2 dargestellt. Die Abundanz der vier verwendeten Zeigerpflanzen (Brennnes-

sel, Großes Springkraut, Wald- und Winkelsegge) nimmt mit dem Verformungsschaden zu. Insbesondere die Winkelsegge, die auf unverformten Bereichen kaum zu finden ist, ist auf über zwei Drittel der stark und extrem stark verformten Probepunkte anzutreffen.

## Erstellung des Feinerschließungssystems

Die Betriebskarte des Forstamtes weist im Untersuchungsbestand eine Rückegassenlänge von insgesamt 1 763 m aus (Abb. 3). In der Karte mit den tatsächlichen Befahrungen summieren sich die Befahrungslinien auf 4 049 m auf (Abb. 4). Die bislang nicht kartografisch erfassten, d.h. die neu identifizierten Befahrungen haben eine Gesamtlänge von 2 286 m bzw. einen Anteil von 56 % an der befahrenen Fläche.

In Absprache mit dem Forstbetrieb wurden folgenden Ziele für das zu planende „optimierte“ Feinerschließungssystem definiert:

- Im aktuellen Bestand ist ein Rückegassenabstand von 40 m anzustreben (40-m-Variante).

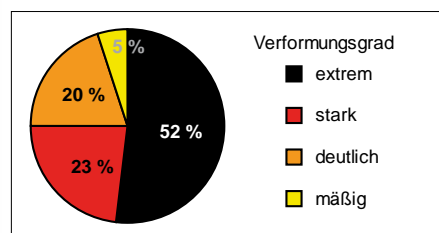
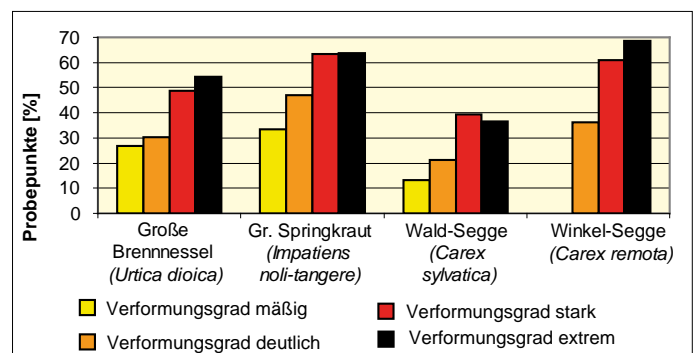


Abb. 1: Verformungsschaden im Oberboden der alten Befahrungslinien (324 Probepunkte)

Abb. 2: Häufigkeit des Vorkommens von den 4 verwendeten Zeigerpflanzen für Bodenverformung auf unterschiedlich verformten Oberböden



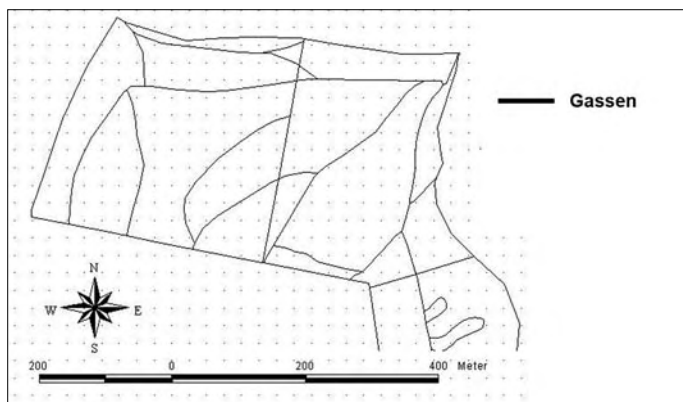


Abb. 3: Betriebskarte mit den ursprünglich eingezeichneten Gassen

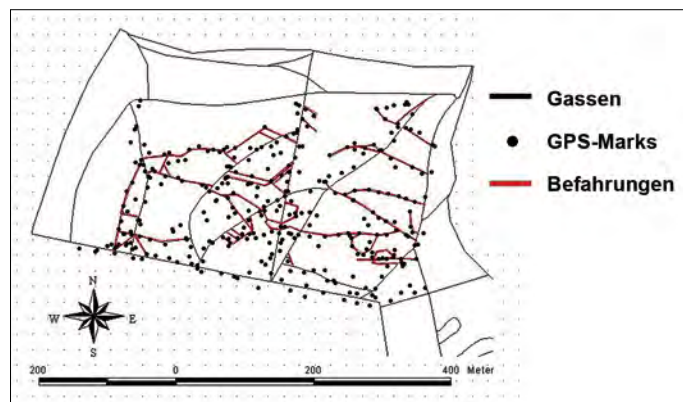


Abb. 4: Betriebskarte mit ursprünglich eingezeichneten Gassen (schwarz), GPS Marks und den im Gelände identifizierten Befahrungen (rot)

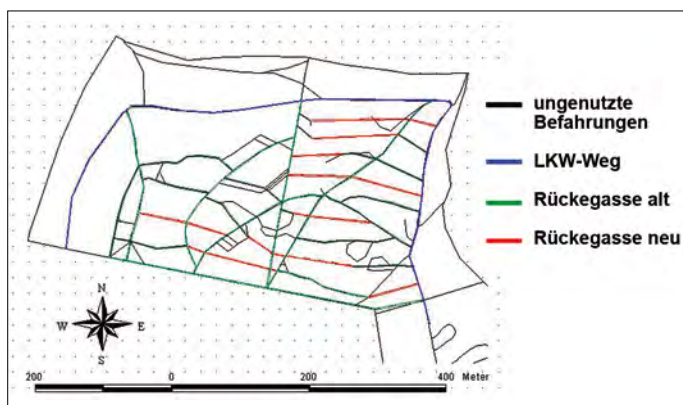


Abb. 5: Optimiertes Feinerschließungssystem („40-m-Variante“)

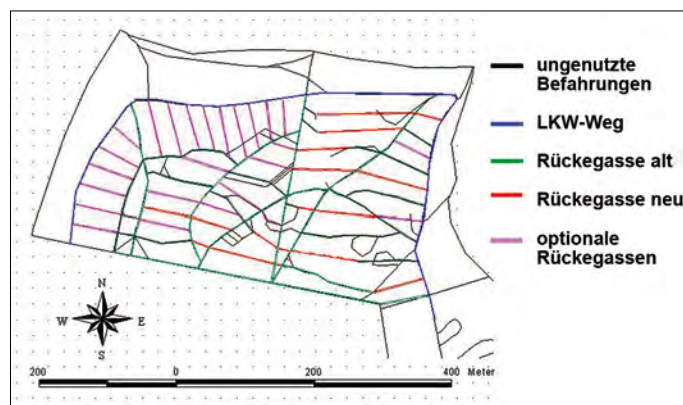


Abb. 6: Feinerschließung für eine vollmechanisierte Holzernte in der nächsten Waldgeneration („20-m-Variante“)

- Die Rückegassenabstände sollen in der nächsten Waldgeneration auf 20 m verdichtet werden können, um eine vollmechanisierte Holzernte durchführen zu können (20-m-Variante).
- Bodenschutzziele haben Vorrang vor optimaler Erschließung.

Das geplante „optimierte“ Feinerschließungssystem mit dem 40-m-Ziel-Rückegassenabstand (Abb. 5) hat eine Gesamtlänge von 4 343 m. Die geringere Erschließungsdichte im nordwestlichen Teil der Fläche ist durch die Geländemorphologie begründet. Bei einer durchschnittlichen Rückegassenbreite von 4 m würde ein Anteil von 13,3 % des Bestandes die Funktion von Rückegassen übernehmen. Das so geplante Feinerschließungssystem liegt zu 72 % auf bereits befahrenen Bodenarealen, 28 % des Systems besteht aus bislang unbefahrenen Bodenbereichen. Knapp ein Viertel der vorhandenen und kartierten Fahrlinien konnte nicht in das neue Rückegassennetz eingebaut werden. Von den weiter verwendeten, bereits befahrenen Rückegassen waren 45 % in der Forstbetriebskarte eingezeichnet, während 55 % über Zeigerpflanzen und die Ansprache des Verformungsschadens identifiziert wurden.

Die Umsetzung des für die vollmechanisierte Holzernte optimierten Erschließungs-

systems (Abb. 6) erfordert weitere 1 653 lfm Rückegasse. Bei einer angenommenen Breite von 4 m erhöht sich der Rückegassenanteil des Bestandes auf 18,3 %. Auch in dieser Variante besteht immerhin die Hälfte der Rückegassen aus alten Fahrlinien.

Bei einer idealen schematischen Feinerschließung würden bei einem Rückegassenabstand von 40 m und einer Gassenbreite von 4 m 10 % der Waldfläche befahren, bei einem Abstand von 20 m 20 % der Waldfläche. Die Rückegassenanteile der vorgestellten Konzepte (13,3 % bei der „40-m-Variante“ bzw. 18,3 % bei der „20-m-Variante“) zeigen, dass die Einbindung alter Fahrlinien mit einer gewissen Über- oder Untererschließung verbunden ist. Dafür ist die Neuverformungsrate mit 8,7 % der Gesamtfläche bei der „20-m-Variante“ ausgesprochen niedrig.

Wäre der Untersuchungsbestand mit einem konsequenten schematischen 20-m-Rückegassennetz erschlossen worden, wären insgesamt 7 203 lfm Rückegasse erforderlich gewesen. 810 lfm wären auf bereits vorhandenen Gassen verlaufen, 333 m auf Kreuzungen und Überlappungen mit alten Befahrungslinien. Die neu befahrene Fläche wäre mit 2,42 ha oder einem Flächenanteil von 18,4 % des Gesamtbestandes mehr als doppelt so

hoch gewesen wie bei der vorgestellten optimierten „20-m-Variante“.

## Folgerungen

Alte Befahrungslinien können anhand der Vegetation und des Verformungsschadens gut aufgefunden werden. Schwierig ist derzeit noch die exakte Kartierung der Fahrspuren. Aufgrund der Ungenauigkeit des GPS (GPS-Empfänger, Abschattung, Empfang) konnte mit alleiniger Nutzung der GPS-Daten keine ausreichend genaue Karte der vorhandenen Befahrungslinien erstellt werden. Zusätzliche, von Hand erstellte Skizzen der Befahrungen waren erforderlich. Diese erhöhen den Kartieraufwand erheblich. Ist die Karte mit den vorhandenen Befahrungen jedoch erstellt, lässt sich die Einbindung von alten Gassen in ein neues Feinerschließungssystem gut realisieren und damit die Befahrung unverbformter Bodenareale minimieren.

### Literaturhinweise:

- [1] GAERTIG, T.; GREEN, K., 2008: Die Waldbodenvegetation als Weiser für Bodenstrukturstörungen. AFZ-DerWald Vol. 63, H. 6, S. 300. [2] GAERTIG, T.; PULS, C.; SCHACK-KIRCHNER, H.; HILDEBRAND E. E. (2000): Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldebodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten. In: Allg. Forst u. J./Zeitg., Vol. 171, H. 12, S. 227-234. [3] TRUMPA, M., 2007: Möglichkeiten der Einbindung befahrener Bodenareale in neu anzulegende Feinerschließungssysteme. unveröffentl. Diplomarbeit an der Fakultät Ressourcenmanagement, HAWK Hildesheim Holzminden Göttingen. 49 S.



## Ergebnisse der Untersuchungen der TLWJF:

# Schadursachen infolge von „Kyrill“

Am 13. Februar 2008 hat der Minister für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Dr. VOLKER SKLENAR, in Gotha die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Schadursachen des Sturmtiefs „Kyrill“ vorgestellt.

Das Sturmereignis „Kyrill“ im Januar 2007 hat starke Schäden an den Wäldern auch in Thüringen verursacht. Auffallend war der unverhältnismäßig hohe Anteil von Fichtenbeständen, die durch den Sturm in Mitleidenschaft gezogen wurden. Im Rahmen eines Projektes an der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF) wurden die geschädigten Waldflächen mit dem Ziel untersucht, die genauen Ursachen für die Schäden zu analysieren und daraus Schlüsse auch auf die zukünftige waldbauliche Behandlung der Waldbestände zu ziehen. Die Ergebnisse stellte der Leiter der TLWJF, JÖRG VOSSHAGE, am 13. Februar in Gotha vor.

Im Frühjahr/Sommer 2007 wurde durch die Thüringer Landesforstverwaltung eine Kartierung der entstandenen Schadflächen im Gesamtwald Thüringens durchgeführt, um einen Überblick über das Schadausmaß der „Kyrill“-Schäden zu erhalten und um eine Datenbasis für die Wiederaufforstungskonzeption zu schaffen. Gleichzeitig war diese Erhebung Grundlage der Ursachenanalyse der Sturmschäden durch die TLWJF.

Kartiert wurden durch „Kyrill“ sehr stark geschädigte Waldbestände. Hierunter zählen Kahlfelder und nur noch sehr spärlich bestockte Schadflächen, die eine Mindestflächenausdehnung von mehr als einem halben Hektar hatten. Fast 90 % der kartierten Schadflächen entfielen auf Fichtenbestände, obwohl diese in Thüringen nur auf etwa 46 % der Waldfläche vorkommen (s.a. Abb. 1). Statistische Ana-

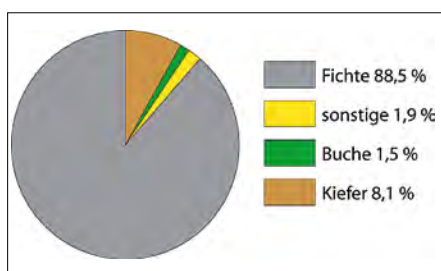


Abb. 1: Verteilung der kartierten „Kyrill“-Schadflächen nach Baumartengruppen

lysen der meteorologischen Bedingungen in Thüringen vor und während des Sturmes haben ergeben, dass regionale Klumpungen des Schadgeschehens im Wald nicht auf regional intensivere Sturmwirkungen zurückzuführen waren. Dem Sturm vorausgegangene starke Niederschläge (in der Spitze mehr als 160 mm in 19 Tagen) führten insbesondere in den Gebirgslagen zu Durchfeuchtungen des Waldbodens bei Plusgraden. Sehr feuchte Böden schränken das Haltevermögen der Bäume durch das Wurzelwerk ein und können zu Sturmwürfen – nicht jedoch zu Sturmbrüchen – führen. Für die besonders häufig geworfenen Fichtenbestände zeigt sich ein straffer Zusammenhang zwischen Regenmenge vor und während des Sturmes und der Schadenshöhe. Der Vergleich der geschädigten Bestände anhand der prinzipiellen Feuchte ihrer Standorte bestätigte dieses Ergebnis. Auf Feucht- und Nassstandorten waren häufiger Schäden nachweisbar.

Die Windrichtung des Sturmes drehte vom 18. auf den 19. Januar 2007 von Südwest auf West. Insgesamt wurden jedoch alle Windrichtungen in der Spanne Süd bis Nord registriert, wodurch sich für die Thüringer Wälder sehr unterschiedliche Belastungssituationen ergaben. Im Vergleich der Fichtenbestände ähnlicher Bodenfeuchtesituationen am Hang ergaben sich entsprechende Unterschiede hinsichtlich der Hangausrichtung. Deutlich höhere Schadprozente fanden sich in Waldbeständen, die windzugewandt stockten. Fichtenreinbestände waren stärker als Fichtenmischbestände vom Schadereignis betroffen. Ab einem Mischbaumartenanteil von über 20 % traten deutlich geringere Sturmschäden auf.

Mit zunehmendem Alter der Waldbäume steigen die Sturmschäden an. Insbesondere über 80-jährige Fichtenbestände waren überproportional stark vom Schadgeschehen betroffen. Dies ist v.a. auf die altersabhängige Entwicklung der Baumhöhen, aber auch auf die der Baumdurchmesser und Kronendimensionen zurückzuführen. Geringer bestockte Fichtenbestän-

de konnten „Kyrill“ weniger Widerstand bieten und fielen ihm verstärkt zum Opfer. Hierbei handelt es sich oft um Bestände, die durch andere Faktoren, wie z.B. Borkenkäfer, Trockenstress u.ä. vorgeschädigt bzw. aufgelichtet waren.

### Durchforstungszeitpunkt wichtig

Auch der Zeitpunkt des letzten Pflegeeingriffs (z.B. eine Durchforstung) ist ein Risikofaktor hinsichtlich der Sturmschadensdisposition. Die unmittelbar vor „Kyrill“ gepflegten Wälder wiesen häufiger Schäden auf als Bestände, in denen die Eingriffe bereits mehrere Jahre zurücklagen. Es ist zu erkennen, dass sich die untersuchten Waldbestände 5 Jahre nach dem Pflegeeingriff hinsichtlich der Sturmschadensgefährdung wieder stabilisiert hatten.

Die unglückliche Kombination eines Sturmes mit einer vorhergehenden intensiven Niederschlagsphase ist tragisch. Fehlende Fröste und damit verbundene höhere Wasseraufnahmen des Waldbodens sind unter dem Aspekt des Klimawandels ernstzunehmende Kausalketten. Die Anfälligkeit von Fichtenbeständen auf vernässenden und wechselfeuchten Standorten, ihre Labilität aufgrund fehlender Mischbaumartenanteile und fehlender Einzelbaumstabilität sowie die temporär destabilisierende Wirkung forstlicher Pflegeeingriffe sind seit längerem bekannte Dispositionsfaktoren für Sturmschäden. Dies konnte durch die „Kyrill“-Analyse bestätigt werden. Es hat sich gezeigt, dass es keine Alternative zur gegenwärtigen, von der Thüringer Landesforstverwaltung praktizierten Waldbewirtschaftung in Form des naturnahen Waldbaus gibt. Insbesondere die standortgerechte Baumartenwahl bei der Waldverjüngung, die Umwandlung labiler Fichtenreinbestände in stabile artenreiche und naturnahe Mischwälder sowie die rechtzeitig einsetzende Bestandespflege und deren konsequente Fortführung sind zielführende Maßnahmen, um Schäden im und am Wald durch extreme Witterungsereignisse, wie z. B. „Kyrill“, abzuf puffern. TLWJF

 [http://www.xn--thringen-75a.de/imperia/md/content/folder/aktuelles/2008\\_02\\_13tlwjf\\_vosshage\\_kyrill.pdf](http://www.xn--thringen-75a.de/imperia/md/content/folder/aktuelles/2008_02_13tlwjf_vosshage_kyrill.pdf)