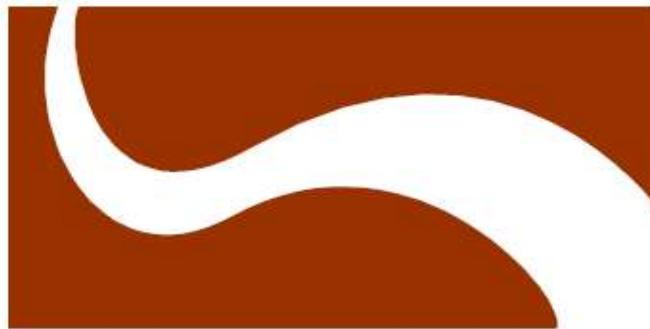


Holzernte und Bodenschutz -

Welches Potenzial steckt in der Wiederverwendung von alten Fahrspuren?



Kolloquium

19. Oktober 2006

20. Oktober 2006

Freiburg

FVA Baden-Württemberg



**ALBERT-LUDWIGS-
UNIVERSITÄT FREIBURG**

Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Abt. Boden und Umwelt

HAWK
HAWK HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFT UND KUNST
Fakultät
Ressourcenmanagement

Inhaltsverzeichnis:

AMANN, S., v. WILPERT, K.: Heterogenität von Bodenbelüftung und Bodenstruktur in Fichtenbeständen Oberschwabens.....	15
BACHER-WINTERHALTER, M.: Integrationsmöglichkeiten von historischen Fahrspuren in zukunftsgerechte Erschließungskonzepte	5
CLEMENS, D., SCHACK-KIRCHNER, H. & HILDEBRAND, E. E.: Feldmethoden zur Bestimmung von Verformungsschäden in Waldböden.....	13
GAERTIG, T.: Identifikation alter Befahrungslinien anhand der Bodenvegetation	19
HORN, R.: Interaktion zwischen mechanischer Bodendeformation und hydraulischer (Re)strukturierung – Möglichkeiten und Grenzen.....	11
NICK, L.: Maschinentechnik und Bodenschutz - Überblick über den technischen Standard von Forstmaschinen zur Verbesserung der Bodenpfleglichkeit	7
SCHÄFFER, J.: Regeneration der Wurzelraumfunktion unter länger zurückliegend befahrenen Rückegassen.....	21
SCHMIDT, J.: Bodenschutz im praktischen Forstbetrieb – Umsetzung der Zertifizierungsstandards	3
STUHMANN, C.: Klassifikation der Waldstandorte in West- und Mitteleuropa hinsichtlich Befahrbarkeit und Ableitung von Empfehlungen.....	17
WEHNER, T.: Maschinenbau zwischen Bodenschutz und Performances – Das Sitzen zwischen den Stühlen.....	9

Bodenschutz im praktischen Forstbetrieb - Umsetzung der Zertifizierungsstandards

Forstdirektor Jürgen Schmidt, Landkreis Emmendingen

j.schmidt@landkreis-emmendingen.de

Der Schutz des Waldbodens ist eine Maßnahme der Umweltvorsorge. Auf dem weit überwiegenden Teil der in Baden-Württemberg vorkommenden Waldböden wird bei Befahrung durch die heute üblichen schweren Maschinen eine irreversible Schädigung, zumindest Störung der Bodeneigenschaften hervorgerufen.

Im praktischen Forstbetrieb, dargestellt an den Gemeindewaldungen von Teningen (PEFC – Zertifikat) und Emmendingen (FSC-Zertifikat), wird durch verschiedene Vorkehrungen dafür gesorgt, das Ausmaß der Bodenstörung möglichst gering zu halten.

Beide Forstbetriebe weisen auf über 80 % ihrer Fläche befahrungsempfindliche Substrate auf.

Grundlagen und Vorkehrungen für eine bodenschonende Waldbewirtschaftung:

1. Ausreichendes Netz an Fahrwegen und Maschinenwegen sowie ein permanentes, dauerhaft gekennzeichnetes Rückegassennetz. (vgl. Richtlinie Feinerschließung , MLR Baden-Württemberg, Juli 2003). Bei der Neuanlage von Rückegassennetzen sind alte Fahrspuren so weit als sinnvoll einzubeziehen.
2. Detaillierte Kenntnis und Beachtung der Standortseigenschaften auf Revierebene. Weitergabe der Information an Holrzücker.
3. Einbeziehung der Witterung und des aktuellen Bodenzustandes in die Hiebsplanung.
4. Wahl des geeigneten Rückemittels (Technische Eignung).
5. Einweisung /Information und vertragliche Bindung des Rücke- /Vollernterunternehmers. Kontrolle. Sanktionierung.
6. Einweisung /Information der Kleinselbstwerber. Kontrolle. Sanktionierung.
7. Unterlassung flächenhafter Kulturvorbereitungsverfahren auf Kalamitätsflächen mittels Mulchgeräten.
8. Unterlassung maschinengestützter Pflanzverfahren auf der Fläche.
9. Wiederbewaldungsflächen aus Sturm Lothar (1999), die im Frässtreifenverfahren (Pein – Plant) bearbeitete wurden, zeigen bis heute gute Anwuchsergebnisse.

Die Anforderungen der Zertifizierungssysteme Forest Stewardship Council A.C. (FSC) und Pan –European Forest Certification (PEFC) hinsichtlich des Bodenschutzes sind in ihren Grundzügen ähnlich. In beiden vorgestellten Betrieben werden die Anforderungen beider Zertifikate eingehalten.

Unterschiede bestehen v.a. in der Durchführung der Audits. Die Kontrollen hinsichtlich des Bodenschutzes sind bei dem nach FSC zertifizierten Betrieb durch die jährlichen Prüferintervalle und die gezielte Prüfung während des Haupteinschlagszeitraumes intensiver.

Über den Autor:

FDir Jürgen Schmidt ist der Leiter des Forstamtes im Landkreis Emmendingen.

Integrationsmöglichkeiten von historischen Fahrspuren in zukunftsgerichtete Erschließungskonzepte

Manuela Bacher-Winterhalter, Universität Freiburg

manuela.bacher@fobawi.uni-freiburg.de

Systematisch angelegte Feinerschließungsnetze sind eine wesentliche Voraussetzung für eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Holznutzung. An Rückegassen werden vielseitige Anforderungen gestellt. Sie dienen als Arbeitsort für die Holzerntemaschinen und zur Umsetzung moderner Waldbaukonzepte. Unregelmäßige Rückegassenabstände führen zu höheren Holzerntekosten und zu mehr Schäden am verbleibenden Bestand.

Die einmalige Befahrung einer modernen Holzerntemaschine, insbesondere mit Beladung, verursacht bereits eine erhebliche Bodenbeeinträchtigung. Richtlinien von Landesforstverwaltungen und Leitlinien zur Zertifizierung fordern eine geordnete Befahrung, eingeschränkt auf permanent und systematisch angelegte Rückegassen mit Mindestabständen von 20 m. Die Befahrungslinien sollen langfristig markiert sein.

In der Vergangenheit sind vielerorts Waldareale ungeplant sowie zum Teil mehrfach befahren worden und zeigen entsprechende Auswirkungen in ihrer Bodenstruktur. Aus Sicht der Bodenpfleglichkeit ist daher zu fordern, alte Befahrungslinien soweit als möglich und ökonomisch sinnvoll in die zukünftige Holzernte zu integrieren, um das Risiko weiterer Schäden zu minimieren.

Im Rahmen des vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) geförderten Verbundprojektes ‚TESTKIT‘ sollen im Teilprojekt ‚Einbindungsmöglichkeiten alter Befahrungslinien in neue Erschließungskonzepte unter standörtlichen und ökonomischen Gesichtspunkten‘ folgende Ziele erfüllt werden:

- Auf ausgewählten Standorten sollen alte Befahrungslinien mit unterschiedlichen Methoden erfasst werden. Dazu sollen unter anderem auch moderne Technologien wie z.B. Laserscanning, sowie Luftbilder, okulare Aufnahme, Expertengespräche und Analyse von Kartenmaterial zur Anwendung kommen. Ziel ist es, eine rationelle und hinreichend zuverlässige Erhebungsmethode zu entwickeln. Diese Vorablokalisierung von ‚wahrscheinlichen‘ Befahrungslinien dient dazu, das ‚TESTKIT‘ rationell und effizient einzusetzen. Das ‚TESTKIT‘ soll letztlich darüber Aufschluss geben, ob das erhobene Befahrungsmuster tatsächlich Veränderungen im Oberboden aufweist.
- In einem weiteren Schritt sollen die alten verifizierten Befahrungslinien für zukünftige Holzerntemaßnahmen in permanent angelegte Feinerschließungsnetze unter standörtlichen und ökonomischen Gesichtspunkten integriert werden. Dazu sollen auch Kosten-Nutzen-Analysen für verschiedene Szenarien mit unterschiedlich intensiver Einbindung in neue Feinerschließungskonzepte an vorhandene Strukturen durchgeführt werden.

Über die Autorin:

Dr. Manuela Bacher-Winterhalter ist seit 2004 am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft beschäftigt. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die Holzernte in Hanglagen und Technikfolgenabschätzung. Aktuell betreut sie das Teilprojekt „Einbindungsmöglichkeiten alter Befahrungslinien in neue Erschließungskonzepte unter standörtlichen und ökonomischen Gesichtspunkten“ im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes "Entwicklung und Praxiserprobung eines Testkits zur Lokalisierung bodenmechanisch vorbelasteter Bodenareale von Forststandorten und die Einbeziehung dieser Fahrlinien in zukünftige Konzepte der Waldpflege und Holzernte". Desweiteren ist sie in der Lehre (Forsttechnik, Holzernte, Arbeitslehre) tätig.

Maschinentechnik und Bodenschutz - Überblick über den technischen Standard von Forstmaschinen zur Verbesserung der Bodenpfleglichkeit

Lars Nick, Kuratorium für Wald- und Forsttechnik e. V.

lars.nick@kwf-online.de

Die Bodenpfleglichkeit von Forstmaschinen ist von mehreren Eingangsgrößen abhängig: z.B. Zahl der Räder und Radlast, Eigenmasse, Fahrwerkskonstruktion, Antriebsart.

Von zentraler Bedeutung ist dabei der auf den Boden einwirkende Druck, der primär aus der Radlast resultiert. Das Gewicht der Maschinen kann grundsätzlich nur schwer verringert werden, da äußere Anforderungen dem entgegenstehen, z.B. Gewährleistung von Standsicherheit und Verwindungsstabilität bei Einsatz von 10m-Kränen oder die Forderung nach großen Hubkräften für die Ernte stärkerer Bäume. Dennoch lässt sich speziell bei Tragschleppern beobachten, dass sich die Maschinen in ihrer jeweiligen Relation von Nutzlast zu Eigenmasse unterscheiden. Für eine bessere Verteilung der Gewichtskraft kann ferner die Zahl der Räder erhöht werden.

In einem zweiten Schritt werden die Auswirkungen der Radlast auf den Boden durch technische Anpassungen, etwa der Reifenbreite, des Reifenfülldrucks, der Auswahl anforderungsgerechter Bänder oder die Konstruktion balancierter Bogies minimiert.

Neben den technischen Methoden den Druck der Räder auf den Boden zu verringern, finden auch alternative Fahrwerke Verwendung. Das bekannteste Beispiel sind Gleiskettenfahrwerke unterschiedlicher Ausprägung, aber auch „schreitende“ Fahrwerke, die den Druck punktförmig statt linienhaft emittieren oder Fahr-/Schiebeantriebe und seilunterstützte Antriebe wurden entwickelt. Im Vordergrund der Entwicklung dieser Systeme stand zunächst weniger der Aspekt der Bodendruckreduktion als vielmehr der Versuch einer schlupfarmen und sicheren Fortbewegung vor allem in geneigtem Gelände.

Seit nunmehr vier Jahren betrachtet das KWF den Neumaschinenmarkt analytisch durch eine Forstmaschinenstatistik, in der technische Parameter neu verkaufter Forstmaschinen (Tragschlepper und Kranvollernter) beobachtet werden. Es lassen sich daraus die aus Sicht des Bodenschutzes nachteiligen Entwicklungen ablesen, dass die Eigenmassen der neu verkauften Maschinen tendenziell zunehmen, während sich beispielsweise das Nutzlast/Eigenmasse-Verhältnis der Tragschlepper verschlechtert

Über den Autor:

Lars Nick ist beim KWF im Fachbereich „Verfahrens- und Systemuntersuchungen“ tätig. Er wirkt unter anderem an den Projekten ELDAT, Forstmaschinenstatistik, GeoDat/NavLog, automatisierte Rohholzvermessung durch Harvester, KWF-Tagung, Sachbearbeitung forstlicher Teil der KWF-Prüfungen im Großmaschinenbereich mit.

Maschinenbau zwischen Bodenschutz und Performances - Das Sitzen zwischen den Stühlen

Thomas Wehner, HSM

thomas.wehner@hsm-forstmaschinen.de

Entwicklungen moderner Forstmaschinen stehen immer im Eindruck einer Zerreißprobe zwischen Ökonomie, Ökologie und dem technisch Machbaren.

Höhere Steigfähigkeit, größere Hubkräfte, größere Reichweite, mehr Kraft und Anpassungsfähigkeit an den Arbeitsort fordern technische Lösung, welche neben höheren Leistungen der Antriebs-, Kran- und Hydraulikaggregate, zu höheren Gewichten und Hebelkräften bei Forstmaschinen führen.

Was wirtschaftlich gewollt ist, wird bodenkundlich als Katastrophe angesehen. Was kann der Maschinenbau tun, welche Optionen hat er.

Ein Wirtschaftsunternehmen wird seine Produktentwicklung stets nach dem Kunden ausrichten. Zwar ist es bestrebt, im Zuge rationellen Arbeitens möglichst Kostengünstig und somit standardisiert zu produzieren, aber es wird nur selten den Fehler begehen am Kunden vorbei zu produzieren.

Während viele Industrien sich größtenteils auf ihren Markt konzentrieren können, stehen andere wie z. B. Forstmaschinenproduzenten wesentlich stärker im Focus ökologischer und gesellschaftlicher Ansprüche.

Wie also begegnet die Forstmaschinenindustrie diesem Anspruch?

Die heute am Markt verfügbaren Forstmaschinen und die mit ihnen realisierbaren Holzernteverfahren haben bereits ein relativ hohes Maß an Bodenschonung erreicht.

Schmale Bauweisen mit breiten Reifen, pflegliche Reifenprofile oder modernste Antriebstechnik sind Beispiele hierfür.

Realisiert man allerdings, dass eine schadfreie Befahrung beim momentanen Stand der Technik nicht möglich ist, rückt die Qualität der forstlichen Arbeitsorganisation in den Mittelpunkt. Nichts ist schädlicher für den Forst als unqualifizierter Einsatz von Forstmaschinen.

Der Einsatz moderner Forsttechnik ist heute nicht mehr durch breit ausgebildetes Forstpersonal durchführbar, für diese Aufgabe braucht es heute Spezialisten, die sich sehr genau mit der verfügbaren Technik auskennen. Leistungsspektren, Einsatzbereiche oder auch Spezifikationen von Maschinen zu kennen sind wesentliches Handwerkszeug für einen schonenden Forstmaschineneinsatz.

Zwischen den Stühlen sitzen kann auch bedeuten, Brücken zu schlagen. Der forstliche Maschinenbau bietet hier einige Optionen, um das technische Know-How verfügbar zu machen. Schulungen, gemeinsame Forschung oder Veranstaltungen wie diese tragen dazu bei, die Grauzone „Forstmaschineneinsatz“ durchschaubarer zu machen. Die Forstmaschinenhersteller, je nach Flexibilität aufgrund ihrer Größe, sehen sich hier durchaus als Partner zur Förderung eines umweltschonenden Technikeinsatz. HSM steht für Entwicklungen und Wissenstransfer bereit, auch ein Beitrag zur Technikfolgenabschätzung.

Über den Autor:

Thomas Wehner war nach dem Studium der Forstwissenschaften an der FVA Baden-Württemberg im Rahmen des Projektes „Technikfolgen neuer Holzerntekonzepte - Status quo und Verbesserungspotentiale im Bereich Verfahrenskonzeption, Technikdesign, Logistik und Arbeitsorganisation“ tätig. Seit 2005 ist er bei HSM-Forstmaschinen in den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie Export und Aftersales beschäftigt.

Interaktion zwischen mechanischer Bodendeformation und hydraulischer Restrukturierung – Möglichkeiten und Grenzen

Rainer Horn, Universität Kiel

rhorn@soils.uni-kiel.de

Die Befahrung von Waldböden im Zusammenhang mit der Holzernte durch immer schwerere Maschinen lässt die Gefahr der irreversiblen Bodendeformation nun auch in der Forstwirtschaft steigen.

Mechanische Belastungen führen zu einer Bodendeformation, die sich nicht nur in einer Abnahme der Grobporensysteme und damit auch vor allem der Gas- und Wasserleitfähigkeit niederschlägt, sondern hiermit einher geht auch eine steigende Anisotropie der Fließvorgänge, die wiederum in einer Zunahme der Bodenerosionsgefährdung derartig kompakter Böden führt. Mit steigenden Auflasten nehmen gleichzeitig die Tiefenwirkung dieser Bodendeformationen zu, sodass sich nunmehr auch gleichzeitig die Frage stellt, inwiefern eine Regeneration durch natürliche Be- und Entwässerungsvorgänge sowie die Verbesserung der Bodenfunktionen nachweisbar wird.

Im Rahmen des Vortrags werden die grundlegenden bodenmechanischen Prozesse und das Regenerationsvermögen der Standorte über die Zeit anhand von bodenphysikalisch-mechanischen Kenngrößen anhand von Fallbeispielen aus dem südlichen Schwarzwald beleuchtet. Außerdem werden die chemikalisch-hydraulischen Hintergründe besprochen.

Über den Autor:

Prof. Dr. Rainer Horn hat den Lehrstuhl für Bodenkunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel inne. Weitere Tätigkeiten (u. a.): Vorsitzender der Kom I Bodenphysik der DBG 1990-1996, Vorsitzender der Com I Soil Physics der International Soil Science Society 1994-1998, Präsident der ISTRO 2003-2006. Wichtigste Veröffentlichungen (3 von > 200): R. HORN, J.J.H. VAN DEN AKKER, J. ARVIDSSON (2000) (eds): Subsoil Compaction - Distribution, Processes and Consequences. *Advances in Geocology* 32, 462 pgs. R. HORN, T. BAUMGARTL (1999): Dynamic properties in structured soils. A19 - A46. In: Sumner, M. et al. (eds): *Handbook of Soil Science*. 2000 pgs. CRC Press, Boca Raton. K. H. HARTGE UND R. HORN (1999): Einführung in die Bodenphysik. 3rd. Ed. Enke Verlag Stuttgart, 313 pgs.

Feldmethoden zur Bestimmung von Verformungsschäden in Waldböden

Dorit Clemens, Helmer Schack-Kirchner, Ernst E. Hildebrand, Universität Freiburg

dorit.clemens@bodenkunde.uni-freiburg.de

Bodenverformungen durch Befahrung während Holzerntemaßnahmen zeigen sich vor allem in Veränderungen des Gashaushaltes und des Porenvolumens sowie in der Gefügestruktur.

Im laufenden BMBF-Teilprojekt „Entwicklung und Erprobung von chemischen und physikalischen Schnellindikatoren zur Erfassung und Bewertung von befahrungsbedingten Bodenverformungen in Wäldern“ sollen Methoden erprobt und angewandt werden, die eine schnelle und einfache Ergebnisfindung vor Ort ermöglichen. Hierzu zählen der Nachweis von zweiwertigem Eisen und die Bestimmung einer Verformungsklasse anhand des Gefüges und redoximorpher Merkmale (Rostflecken und Bleichzonen).

Zweiwertiges Eisen (Fe^{2+}) kann als Indikator in verformten Böden genutzt werden, da aufgrund des verminderten Gasaustausches kaum mehr Sauerstoff zur Atmung der Mikroorganismen zur Verfügung steht und somit als Alternative dreiwertiges zu zweiwertigem Eisen veratmet wird. Mit Hilfe einer 2,2'-Bipyridin-Lösung kann Fe^{2+} nachgewiesen werden. Die Anwesenheit zeigt sich in einem roten Farbumschlag.

Der Verformungsschlüssel nach Gaertig ermöglicht die Zuordnung einer Bodenprobe zu einer Verformungsklasse. Verformte Bodenbereiche sind an einer kohärenten, plattigen Gefügestruktur zu erkennen, die sich deutlich von der krümeligen Struktur nicht verdichteter Bereiche abgrenzt. Des Weiteren bilden sich in verformten Bodenbereichen im Oberboden Rostflecken und Bleichzonen, ähnlich der Entwicklung bei Pseudogleyen. Der Verformungsschlüssel ist in drei Teilschritte untergliedert, mit deren Hilfe die genannten Merkmale analysiert werden. Zunächst wird das Gefüge anhand des Krümelanteils eingestuft und anschließend die Ausprägung der Rostflecken und Bleichzonen bestimmt. Die Abschätzung dieser Merkmale ermöglicht im letzten Schritt die Zuordnung zu einer von sechs Verformungsstufen.

Die bisher zur Identifikation von verformten Bereichen genutzten Methoden, wie die Bestimmung der CO_2 -Konzentration mittels mobilem Gaschromatographen und die Ermittlung des relativen scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten im Labor, sind einerseits erprobt und bewährt andererseits aber auch zeitaufwändig und kostenintensiv. Aufgrund ihrer zuverlässigen Ergebnisse und trotz des Zeitaufwandes werden diese Methoden im Projekt als Referenz genutzt.

Eine weitere Methode, die in nächster Zukunft erprobt werden soll, ist die IRIS-Methode (Indicator of Reduction In Soils). Das Prinzip dieser Methode basiert auf der Reduktion von Ferrihydrit unter anaeroben Bedingungen im Boden. Um die Reduktion des farbigen Minerals nachzuweisen, wird Ferrihydrit auf einem PVC-Stab aufgebracht und anschließend im Boden für eine bestimmte Zeitdauer versenkt. Zeigen sich bei der Entnahme der PVC-Stäbe Farbveränderungen, d.h., wurde Ferrihydrit vom Stab gelöst, kann auf reduzierende Bedingungen im Boden geschlossen werden.

Über die Autorin:

Dorit Clemens, Diplom-Geoökologin, ist seit Juni 2005 verantwortlich für die Koordination des BMBF-Verbundprojektes "Entwicklung und Praxiserprobung eines Testkits zur Lokalisierung bodenmechanisch vorbelasteter Bodenareale von Forststandorten und die Einbeziehung dieser Fahrpläne in zukünftige Konzepte der Waldpflege und Holzernte" und wissenschaftliche Bearbeitung des Teilprojektes „Entwicklung und Erprobung von chemischen und physikalischen Schnellindikatoren zur Erfassung und Bewertung von befahrungsbedingten

Bodenverformungen in Wäldern“ am Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg.

Heterogenität von Bodenbelüftung und Bodenstruktur in Fichtenbeständen Oberschwabens

Sonja Amann, Klaus v. Wilpert, FVA Baden-Württemberg

Sonja.Amann@forst.bwl.de

In Waldböden ist auch ohne Befahrungseinfluss eine räumliche Differenzierung unterschiedlicher Aggregierungs- und Belüftungszustände zu erwarten. So wirken beispielsweise Waldbäume über das Wurzelwachstum auf die Strukturbildung. Eine weitere bedeutende Rolle im Wechselspiel zwischen Baum und Bodengefüge kommt der windinduzierten Bewegung der Bäume zu. Dabei werden Windbelastungen im Kronenraum auf das Stütz- und Haltesystem übertragen und können dadurch besonders bei der Ausbildung flacher Wurzelsysteme zu Strukturstörungen im Umfeld der Stützwurzeln bzw. des gesamten Wurzeltellers beitragen. Dieses quasi natürliche Mosaik wird durch linienhafte Muster der Befahrung überlagert.

Ziel des Teilprojekts „Variabilität von Bodenbelüftung und Lagerungszustand“ ist es, mit Hilfe von Struktur- und Belüftungsuntersuchungen in räumlichem Bezug zu vorherrschenden Waldbäumen den Effekt von Grobwurzeln auf Lagerungszustand und Belüftung darzustellen und anhand einer flächigen Erhebung von Belüftungs- und bodenphysikalischen Strukturparametern die räumliche Ausdehnung der Strukturbeeinträchtigung abzuschätzen. Die Ergebnisse sollen im Gesamtprojekt dazu beitragen, genauer zwischen quasi natürlicher Strukturstörung und befahrungsbedingter Verdichtung differenzieren zu können.

Als Versuchsflächen wurden zwei ca. 80-jährige Fichtenbestände in Oberschwaben auf Moränenlehm, für den eine standortsspezifische Strukturlabilität beschrieben ist, ausgewählt. Durch die erreichte Oberhöhe kann bei diesem Bestandesalter davon ausgegangen werden, dass Windbelastung im Kronenraum zur Kraftübertragung auf das Wurzelsystem führt.

In einem flächig angelegten Ansatz wird im 50x50 cm Raster mit Hilfe von Einstichsonden die CO₂-Konzentration in der Bodenluft gemessen. Es werden die Bodentiefen von 10 und 20 cm beprobt. Die räumliche Verteilung der CO₂-Konzentration in der Bodenluft wird dabei als Zielgröße für strukturbedingte Belüftungsstörung interpretiert. Als Referenz wird zusätzlich eine auf Grund der Standortbedingungen stabiler eingeschätzte Situation in enger räumlicher Nachbarschaft zu den Intensivmessflächen in die Beprobung einbezogen.

Die Reichweite der über das Wurzelsystem vermittelten Einflüsse auf die Bodenstruktur soll in einzelbaumbezogenen Untersuchungen bestimmt werden. Dazu werden auf den Versuchsflächen vorherrschende Bäume ohne Befahrung im Bereich der Kronenprojektionsfläche ausgewählt. An jeweils einer Hauptwurzel in, bzw. entgegen der Hauptwindrichtung werden entlang von drei Messtransekten innerhalb des Kronenraumes (50, 100, 150 cm Baumabstand) quer zur Wurzel in hoher räumlicher Auflösung Belüftungsmessungen durchgeführt. Anschließend wird an den Messpunkten mittels Kleinstechzylinder die Lagerungsdichte bestimmt.

Zusätzlich wird das Tiefenprofil der CO₂-Konzentration in der Bodenluft für die Situationen „Fichte“, „alter Wurzelstock“ und „Zwischenbereich“ bis in 90 cm Tiefe und über den Zeitraum mindestens einer Vegetationsperiode hinweg unter Verwendung eines diffusiven Sammel-systems beobachtet. Diese Tiefenprofile sollen Anhaltspunkte liefern, inwieweit erhöhte CO₂-Konzentrationen in der Bodenluft auf Verdichtung oder aber erhöhte Produktion zurückzuführen sind.

Exemplarisch wird an einer vorherrschenden Fichte die horizontale und vertikale Wurzelbewegung an je einer Hauptwurzel in, bzw. entgegen der Hauptwindrichtung gemessen.

Erste Ergebnisse der flächigen Untersuchungen zeigen eine erhöhte CO₂-Konzentration in der Bodenluft in einem Umkreis von bis zu 1,5 m um die Fichten, besonders ausgeprägt in der 20 cm - Tiefenstufe. Auch bei den einzelbaumbezogenen Untersuchungen gibt es Hinweise auf Strukturstörungen in Folge von Wurzelbewegungen: So ist auf der windabgewandten Seite der Bäume direkt unter den Wurzeln die CO₂-Konzentration deutlich, die Werte der

mittels Kleinstechzylinder gemessenen Lagerungsdichte leicht erhöht im Vergleich zu den Randbereichen. Ein vergleichbarer Effekt konnte auf der windzugewandten Seite nicht festgestellt werden.

Über die Autorin:

Sonja Amann ist seit 2005 an der FVA, Abt. Boden und Umwelt beschäftigt. Sie bearbeitet das Teilprojekt „Variabilität von Bodenbelüftung und Lagerungszustand“ im Rahmen eines Projektverbundes mit der Universität Freiburg und der HAWK Göttingen zur Entwicklung und Praxiserprobung eines Testkits zur Lokalisierung bodenmechanisch vorbelasteter Bodenareale.

Charakterisierung der Waldstandorte in West- und Zentraleuropa hinsichtlich der Befahrbarkeit und der Anwendung von Holzerntetechnik

Christian Stuhlmann, TU Dresden

christian.stuhlmann@forst.tu-dresden.de

Hinsichtlich der dominierenden Waldgesellschaften sowie der Standorts- und Klimabedingungen zeigen sich die Waldregionen in West- und Mitteleuropa sehr „farbenfroh“. Der naturräumliche Rahmen hebt sich von den borealen Bedingungen im Norden und Osten und den mediterranen vom Südwesten bis zum Südosten Europas ab. Die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen der Nationalstaaten gestalten sich in Bezug auf gesetzliche Regelungen, die den vorbeugenden Bodenschutz bei der Holzernte oder die Befahrung von Waldböden regeln, ebenfalls differenziert.

Die Anwendung von Holzerntemaschinen ist von der Bestockung, den Standortsbedingungen und den sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen abhängig. Auf europäischer Ebene existiert im Moment weder eine national vergleichbare Zusammenstellung dieser Einflussfaktoren noch ein System zur Entscheidungsunterstützung für strategische Fragestellungen im Sektor der Holzernte.

Innerhalb des EU-Projektes ForstINNO „Development of ecologically compatible, highly productive methods of timber harvesting for Central European forestry“ (COOP-CT-2005-512681), wird diese Thematik von 2005 bis 2007 an der TU Dresden bearbeitet. Ziel ist es, für die Wälder in West- und Zentraleuropa eine Übersicht der für die Holzernte relevanten Rahmendingungen in einem Informationssystem zusammen zu stellen. Darauf basierend wird eine standortabhängige Charakterisierung der Befahrbarkeit der Waldböden integriert, um Empfehlungen für eine verträgliche Holzernte - im Sinne eines vorbeugenden Bodenschutzes zu gewährleisten.

Diverse wissenschaftliche Untersuchungen der letzten Jahre zeigen, dass ein vorbeugender Bodenschutz - bei Erhaltung der natürlichen Bodenfunktionen - im Zuge von Holzerntemaßnahmen mit schweren Maschinen auf vielen Standorten kaum möglich ist. Die Klassifikation der Standorte bezieht sich deshalb auf den Ansatz der räumlichen Trennung von biologischer Produktion und technischen Maßnahmen. Dies ist nur unter Nutzung eines permanenten Feinerschließungssystems umsetzbar und verlangt den Erhalt einer nachhaltigen technischen Befahrbarkeit der Rückegassen.

Zu den die Befahrung beeinflussenden naturräumlichen Bedingungen zählen die Parameter: Bodensubstrat, Bodentyp, Wasserregime, Bodenfeuchte und Hangneigung. Nationale Bodeninventuren oder forstliche Standortkartierungen sind für eine europäisch vergleichbare Abbildung der Parameter kaum geeignet, so dass alternativ auf bestehende europäische Datenbanken zurückgegriffen werden muss. Ein erheblicher Verlust an Informationsqualität und Flächenschärfe wird gegenüber der regionalen Vergleichbarkeit in Kauf genommen, um strategische Fragestellungen im Sektor Holzernte bearbeiten zu können.

Für die Charakterisierung europäischer Waldregionen hinsichtlich der technischen Befahrbarkeit werden die Parameter Bodensubstrat, Bodentyp und Wasserregime zu einer Potentiellen technischen Befahrbarkeit klassifiziert. Als Datengrundlage für eine vergleichende Betrachtung der regionalen Bodenbedingungen dient die European Soil Database des Joint Research Centers der EU. Unter Berücksichtigung der regionalen Klimabedingungen und einfacher Bodenfeuchtemodellierungen kann aus der potentiellen Befahrbarkeit auf ein Gefährdungspotential für den Verlust der technischen Befahrbarkeit geschlossen werden. Eine Klassifikation in Befahrbarkeitsklassen soll an Hand von etabliertem Expertenwissen im Bereich der Befahrung von Waldböden vorgenommen werden. Zusätzliche Untersuchungen auf 20 unterschiedlichen europäischen Standorten innerhalb des Forschungsprojektes sollen die Klassifikationen konkretisieren.

Aus dem digitalen Geländemodell für Europa wurde eine Hangneigungskarte generiert auf deren Grundlage ebenfalls Gefährdungsklassen abgeleitet wurden. Diesen Hangneigungsklassen können ebenfalls Einsatzgebiete der Holzerntemaschinen und Empfehlungen zu Maschinenausstattung und Feinerschließungssystemen zugewiesen werden. Die zu formulierenden Maßnahmen zur Sicherung der technischen Befahrbarkeit beziehen sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Gefährdungsklasse auf die Steuerung und zeitliche Koordination von Holzerntemaßnahmen sowie auf Empfehlungen zu den Holzernteverfahren, den eingesetzten Maschinen und deren technischer Ausstattung.

Durch die Integration der Parameter in ein GIS-gestütztes Datenbanksystem können die Ergebnisse einem breiten Nutzerspektrum als Entscheidungsunterstützung für strategische Fragestellungen im Sektor Holzernte zugänglich gemacht werden. Ein Beispiel wäre die regionale Empfehlung und Darstellung von Anwendungsgebieten der Holzernteverfahren und –maschinen unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit der Standorte einer europäischen Waldregion. Ein anderes Beispiel ist die Ableitung von sinnvollen Investitionsentscheidungen oder Absatzmärkten für Forsttechnik auf Grundlage der standörtlichen Rahmenbedingungen. Als Nutzergruppen sind strategische Entscheidungsträger wie die europäischen Forstverwaltungen und -dienstleister, die Europäische Kommission oder forstliche Zertifizierungsorganisationen vorstellbar sowie die Forstmaschinenindustrie als Anbieter von Holzerntetechnik.

Über den Autor:

Christian Stuhlmann (Master of Science in Forestry) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Forsttechnik in Tharandt, TU Dresden im Rahmen des EU-Projektes ForstIN-NO „Development of ecologically compatible, highly productive methods of timber harvesting for Central European forestry“ (COOP-CT-2005-512681) und bearbeitet das Promotionsthema „Entwicklung eines Forsttechnischen Informationssystems für die Holzernte in West- und Zentraleuropa.“

Identifikation alter Befahrungslinien anhand der Bodenvegetation

Thorsten Gaertig, HAWK Göttingen

gaertig@hawk-hhg.de

Die Identifikation alter Befahrungslinien könnte deutlich vereinfacht werden, wenn sich die Vegetationszusammensetzung auf Böden mit Verformungsschäden von der Vegetationszusammensetzung ungestörter Böden deutlich unterscheiden würde.

Die Konkurrenzstärke von Pflanzenarten ist abhängig von Standortfaktoren wie Wärme, Licht, Bodenacidität, Nährstoffversorgung oder Wasserversorgung. In Wäldern stellt sich daher eine Vegetation ein, die an den gegebenen Wasser-, Nährstoff- und Lufthaushalt optimal angepasst ist und daher als „standortstypisch“ bezeichnet werden kann (Ellenberg 1986). In der Forstlichen Standortkartierung werden so genannte Zeigerpflanzen seit langem genutzt, um auf Standortseigenschaften zu schließen (AK Standortkartierung 1996). Mit der Befahrung von Waldböden ändern sich wichtige Standortseigenschaften. Insbesondere die Verringerung des Gasaustauschs zwischen Bodenluft und Atmosphäre aufgrund verringerten Luftporenvolumens und die verringerte Porenkontinuität führt zu drastischen Veränderungen in der Bodenluftzusammensetzung: Der Sauerstoffgehalt der Bodenluft nimmt ab und Kohlendioxid reicher sich an (Gaertig 2001).

Mit den genannten Standortveränderungen dürfte sich die Konkurrenzsituation für die Pflanzen ändern und zu einer Verschiebung des Artenspektrums führen. Zu erwarten wäre, dass die so genannten "Nässezeiger" toleranter gegenüber Sauerstoffmangel im Boden sind und stärker auf den Befahrungslinien zu finden sind als in unbefahrenen Bereichen (Klimo 1983). Des Weiteren dürften Ruderalarten vermehrt auftreten, die nach der befahrungsbedingten Freilegung des Mineralbodens geeignete Wachstumsbedingungen finden (Ebrecht 2005).

Zur Überprüfung dieser Hypothese werden in den Bundesländern Niedersachsen und Baden-Württemberg auf verschiedenen Ausgangssubstraten die Befahrungssituation, der Verformungsschaden und die Vegetation aufgenommen, um Pflanzenarten zu identifizieren, die sich als Zeigerpflanzen für Verformungsschäden eignen.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass sich die Vegetation auf Böden aus Tongestein und Buntsandstein sowie auf Standorten mit Lössüberlagerung mit der Verformung des Oberbodens ändert. So konnten auf einem Buntsandsteinstandort im unteren Solling auf den unbefahrenen Böden überwiegend Pflanzenarten gefunden werden, die einen typischen mäßig frisch bis frischen Wasserhaushalt anzeigen (Lamiastrum- und Ajuga- Gruppe), während auf befahrenen Bestandteilen Arten der Filipendula- und Juncus Gruppe dominieren, die auf mäßig nass bis nassen Standorten charakteristisch sind und damit toleranter gegenüber Sauerstoffmangel sind. Auf Löss beeinflussten und tonigen Standorten hatten auf Rückegassen und stark verformten Böden Pflanzenarten wie etwa *Carex remota* oder *Juncus effusus* ihren Verbreitungsschwerpunkt und eignen sich auf diesen Standorten offensichtlich als Zeigerpflanzen für Verformungsschäden.

Literatur:

- Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (1996): Forstliche Standortaufnahme. IHW-Verlag Eching, 5. Aufl. 351 S.
- Ebrecht, L.; Schmidt, W. (2005): Einfluss von Rückegassen auf die Vegetation. Forstarchiv 76, 83-101.
- Ellenberg, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 989 S.
- Gaertig, T. (2001): Bodengashaushalt, Feinwurzeln und Vitalität von Eichen. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen. Heft 40, 157 S.

Klimo, E. (1983): The influence of clear cut logging on soil properties and the cycle of elements in the ecosystem of spruce forest. Lesnictvi 29, 427-512.

Über den Autor:

Dr. Thorsten Gaertig ist Professor für Angewandte Bodenkunde und Stadtökologie an der Fakultät Ressourcenmanagement der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst in Göttingen.

Regeneration der Wurzelraumfunktion unter länger zurückliegend befahrenen Rückegassen

Jürgen Schäffer, FVA Baden-Württemberg

juergen.schaeffer@forst.bwl.de

In den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden erstmals forstliche Spezialmaschinen bei der Holzbringung eingesetzt. Maschinengewichte und Leistungsfähigkeit stiegen im Laufe der vergangenen Jahrzehnte deutlich an und das Einsatzspektrum umfasst heute neben der Holzbringung auch die mechanisierte Aufarbeitung des Holzes. Die Bodenverformung lässt sich durch bodenphysikalische Zustandsgrößen wie z.B. die Lagerungsdichte oder aber die Porengrößenverteilung beschreiben, wesentlich enger mit ökologischen Prozessen wie der Wurzelraumschließung verknüpft ist der Bodenlufthaushalt. Durch den verringerten Gasaustausch wird die Entsorgung von Kohlendioxid und die Versorgung der Feinwurzeln mit Sauerstoff gehemmt. Die Erschließung des Wurzelraums durch Feinwurzeln stellt eine geeignete ökologische Monitoringgröße dar, um die Auswirkungen der befahrungsbedingten Strukturveränderungen zu charakterisieren.

In einer unechten Zeitreihe wurden Fahrspuren und Rückegassen von bis zu 37 Jahre zurückliegend befahrenen Praxisbefahrungsflächen Süddeutschlands aufgenommen. Hinsichtlich der standörtlichen Gegebenheiten wurden die Flächen auf verformungssensitiven Lehmsubstraten zumeist in Fichtenbeständen ausgewählt, um insbesondere substratspezifische Einflüsse gering zu halten. Die Informationen zur Befahrungsgeschichte wurden bei den Vorort zuständigen Forstpraktikern abgefragt. Die eingesetzten Maschinen sollten hinsichtlich ihrer Gesamtgewichte vergleichbar sein. Die Feinwurzelichten wurden durch Zählung der Feinwurzel mit $\varnothing < 2\text{mm}$ an Profilen quer zu heute noch erkennbaren Fahrspuren erhoben, wobei die Transekte über die eigentlichen Spureintiefungen hinaus in den angrenzenden Bestand aufgenommen wurden. Referenzprofile wurden in ungestörten Bestandessituationen angelegt.

Von einer Regeneration des Befahrungsschadens wird ausgegangen, wenn eine standortstypischen Wurzelraumschließung unter den Fahrtrassen erreicht ist. Dies lässt sich prüfen, indem die Tiefenprofile der Feindurchwurzelung unter den Fahrspursituationen mit dem Gradienten der unbefahrenen Referenzflächen verglichen werden. Der statistische Vergleich zwischen Fahrspursituationen und Nullsituation wird jedoch dadurch erschwert, dass die Grundvoraussetzungen der Linearen Regressionsanalyse nicht erfüllt sind (Varianzhomogenität über den Beobachtungsbereich, Normalverteilung der Grundgesamtheit und räumliche Unabhängigkeit der Beobachtungen). Erschwerend kommt hinzu, dass die Lagebeziehungen der Fahrspursituationen bei lang zurückliegenden Befahrungen nicht mehr sicher eingeschätzt werden können. Für die Auswertung der Wurzelprofile ist es daher sinnvoll flexible Modelle wie z.B. Gemischte Additive Modelle (GAMs) zu verwenden. Diese ermöglichen eine flexible Modellierung der Wurzelichten, da sie nicht streng parametrische Zusammenhänge sondern Glättungsfunktionen schätzen. Räumliche Nachbarschaftseffekte lassen sich wie auch abweichende Annahmen zur Verteilung der Stichprobe in die Modelle integrieren (z.B. Poissonverteilung für Zählvariablen).

Die bisherigen Auswertungen zeigen, dass unter den Fahrspuren in Fahrtrassen, die bis zu 15 Jahre zurückliegend befahren wurden, noch keine, in den tieferen Mineralboden hineinreichende Regeneration der Wurzelraumfunktion stattgefunden hat. Einzelne Fallbeispiele weisen auf eine Erholung der Feindurchwurzelung nach mehr als zwei Jahrzehnten hin.

Auch 35 Jahre nach Befahrung zeigt jedoch eine fichtenbestockte Versuchsfläche in Oberschwaben (Mengen), die im Zuge der Flächenräumung nach Sturm vermutlich flächig befahren wurde, noch deutlich gegenüber der Referenzsituationen reduzierte Feinwurzelichten. Eine belastbare standortsspezifische Prognose des Regenerationsvorgangs und des Zeitraums bis zur Wiederherstellung eines standortstypischen Durchwurzelungsprofils lässt sich selbst für die intensiv untersuchten Lehmlandorte mit dem gegenwärtigen Wissensstand

nicht durchführen. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die technischen Rahmenbedingungen der Holzernte und Holzbringung weiter in Richtung einer vollmechanisierten Aufarbeitung entwickeln wird und dadurch Verformungsintensitäten und Tiefenwirkungen provoziert werden, die in den bisherigen Untersuchungsflächen nicht repräsentiert waren.

Über den Autor:

Jürgen Schäffer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abt. Boden und Umwelt der FVA Baden-Württemberg.