

KWF-Workshop

## KWF-Workshop „Empfehlungen zum bodenverträglichen Forstmaschineneinsatz“

Andreas Forbrig und Reiner Hofmann

10 Jahre nach dem KWF-Workshop „Bodenschäden durch Forstmaschinen“ trafen sich am 25.11.1997 zu diesem Thema rund 20 Experten aus Wissenschaft und Forstpraxis in der Zentralstelle des KWF.

Ausgangspunkt für die Veranstaltung war ein Projektentwurf von Dr. Dietmar Matthies (Institut für forstliche Arbeitswissenschaft und angewandte Informatik der Universität München) für die Erarbeitung eines „Richtlinienhandbuchs für den bodenverträglichen Forstmaschineneinsatz“. Das Problem wird – nicht zuletzt vor dem Hintergrund eines neuen Bundesbodenschutzgesetzes – in der Zunahme hochmechanisierter Maschinensysteme (Stichwort Unternehmer) und in einem dadurch möglicherweise entstehenden Konflikt zwischen Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit gesehen.

Ziel des Workshops war, den Projektentwurf den Vertretern aus der Forstpraxis und anderen wissenschaftlichen Institutionen vorzustellen und sie für dessen Realisierung zu gewinnen. Für das KWF ist die Frage der Beurteilung der Bodenpfleglichkeit in Zusammenhang mit der FPA-Prüfung von Forstmaschinen von großem, aktuellem Interesse. Zunächst wurde der Stand des Wissens dargestellt und anschließend darauf aufbauend der Projektentwurf und seine praktische Umsetzung diskutiert.

Der sich nun seit Jahren hinziehende ungeklärte Methoden- und Interpretationsstreit zwischen der bodenkundlichen Freiburger und Münchener „Schule“, der jedoch keine Antworten auf drängende Fragen gibt und die Forstpraxis zum Teil spaltet bzw. zu unterschiedlichem Vorgehen in dieser Sache veranlaßt, ist aus der Literatur hinlänglich bekannt. Um die

Fronten nicht zu verhärten, sondern um vielmehr zu versuchen, das Gemeinsame beider Lager quasi als Ausgangsplattform für die weitere und dann eher praxisbezogene Diskussion herauszukristallisieren, saß neben Dr. Dietmar Matthies als Vertreter der Münchner Schule mit Dr. Klaus von Wilpert (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg) auch ein Freiburger Bodenwissenschaftler mit am Tisch.

Zur Formulierung dieser Plattform als „größter gemeinsamer Nenner“, die sich die Organisatoren und Teilnehmer der Veranstaltung berechtigterweise gewünscht haben, kam es bedauerlicherweise nicht. Verständlich ist, daß sich die Forstpraxis angesichts wachsenden gesellschaftlichen Drucks auf die Forstwirtschaft z.B. seitens der Umweltverbände und einem daraus resultierenden Handlungsbedarf über den „Luxus“ eines derartigen, jahrelang nicht von der Stelle kommenden „Prinzipienstreits“ wundert, da letztendlich – so auch ein Ergebnis der Diskussion – eine große Nachfrage der Forstpraxis nach konkreten Handlungsempfehlungen besteht. Insofern begrüßten die Teilnehmer das Vorhaben von Dr. Matthies, das zum Teil neue Ansätze beinhaltet und zum erklärten Ziel hat, praktikable Entscheidungshilfen für einen bodenverträglichen Forstmaschineneinsatz zu liefern.

Ziel des Projektes ist es keinesfalls, bestehende Verfahrensvorgaben wie beispielsweise das strikte Gebot zur Einhaltung der Rückegassen leichtfertig in Frage zu stellen. Vielmehr geht



## Forsttechnische Informationen

Fachzeitung für Waldarbeit und Forsttechnik

D 6050 E

### Inhalt

#### KWF-Workshop

KWF-Workshop „Empfehlungen zum bodenverträglichen Forstmaschineneinsatz“; A. Forbrig u. R. Hofmann

Das „Richtlinienhandbuch“ für den bodenverträglichen Maschineneinsatz im Wald; D. Matthies

Möglichkeiten und Grenzen für die Definition einer ökologisch verträglichen Befahrbarkeit; K.v. Wilpert

Der Kontaktflächendruck bei Forstmaschinen – eine wichtige ökologische Kennziffer zur Beurteilung der Bodenpfleglichkeit; G. Gerdson u.

J. Graupner

Bewertung von Landwirtschaftsreifen nach agrotechnischen, ökologischen und technisch-energetischen Kriterien; H. Döll

Zusammenfassung der Workshop-ergebnisse

#### EDV im Forst

Forstwirtschaft@ft im Internet – ein Thema der Interforst 98 in München

#### Termine

#### Personelles

<http://www.dainet.de/kwf/fti/fti.htm>

3/98

es darum, für unser weiteres, aufgrund bestehender Wissenslücken zwangsläufig auf dem Vorsorgeprinzip basierendes Vorgehen, die Strategie für die Zukunft abzustecken.

Hier stellt sich die konkrete Frage, ob man vor dem Hintergrund der vielfältigen Faktoren, welche das Auftreten von Bodenveränderungen bzw. -schäden beeinflussen, alle weiteren Bemühungen um Klärung als aussichtslos einstuft und den verfahrenstechnischen Status quo damit auf Dauer festschreibt oder ob man ver-

sucht, abgesicherte Grenzwerte zu entwickeln, die uns für die Zukunft Handlungsspielräume offenhalten.

In dieser Frage liegt wohl der Hauptunterschied zwischen den Standpunkten der Münchener und der Freiburger Schule. Die nachfolgende Übersicht versucht, die wesentlichen Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede zusammenzufassen und damit nachträglich so etwas wie die oben erwähnte „Plattform“ zum besseren Verständnis der Diskussion darzustellen.

#### **Wesentliche Gemeinsamkeiten der Münchener- und Freiburger Schule**

- Sehr große Anzahl potentieller Einflußgrößen und Faktorenkombinationen.
- Die Porenkontinuität, das Porenvolumen und die Porengrößenverteilung sind die physikalischen Einflußgrößen für den Gasaustausch zwischen Boden u. Atmosphäre.
- Strukturparameter, die bodenspezifische Transferleistungen abbilden, sind für eine Schaddiagnose unverzichtbar.
- Reisigmatten ausreichender Stärke (> 25cm in konsolidiertem Zustand) können die Bodenstruktur schützen, so daß auch die Transferleistungen erhalten bleiben.
- Beide „Lager“ bekennen sich nach dem Vorsorgeprinzip mit dem derzeitigen Wissensstand beim Einsatz schwerer Holzernte- u. Rückemaschinen zur ausschließlichen Befahrung der Rückegasse.

#### **Wesentliche Unterschiede zwischen der Freiburger- und Münchener Schule hinsichtlich der Meßmethoden:**

##### **Freiburger „Schule“**

Freiburg hebt die Bedeutung der O<sub>2</sub>- und der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Bodenluft als wesentliche Steuergröße des Wurzelwachstums hervor.

##### **Münchener „Schule“**

München zieht zur Beurteilung des Zustandes des Porensystems neben Wasser- und Gas-Diffusionskoeffizienten computertomografische Untersuchungen heran, sieht aber die Möglichkeit, künftig aufwendige Erhebungen von Strukturparametern durch bodenmechanische Kennwerte zu ersetzen.

#### **Wesentliche Unterschiede zwischen der Freiburger- und Münchener Schule hinsichtlich der Ergebnisse:**

Unterschiedliche Auffassungen bestehen bei der Einschätzung des Einflusses der Reifenspurbreite (Aufstandsfläche / Kontaktflächendruck) auf die Bodenveränderung und deren Regeneration.

##### **Freiburger „Schule“**

Freiburg sieht keinen positiven Einfluß von Breitreifen auf die Bodenbelüftung und damit auch keine Anzeichen besserer Ausgangsbedingungen für die natürliche Regeneration in den Reifenspuren.

Mit Verweis auf ein Simulationsmodell zur O<sub>2</sub>-Nachlieferung unter Fahrspuren vertreten die Freiburger die Auffassung, daß unter den großflächig verdichteten Bodenpartien einer Breitreifenspur größere Flächen mit niedriger O<sub>2</sub>-Konzentration entstehen, als unter einer Schmalreifenspur.

##### **Münchener „Schule“**

München hingegen verweist auf Untersuchungen in Zusmarshausen, die im Gegensatz dazu auch hinsichtlich der Strukturparameter signifikant positive Wirkungen von Breitreifen belegen.

## Wesentliche Unterschiede zwischen der Freiburger- und Münchener Schule hinsichtlich der Folgerungen:

### Freiburger „Schule“

Freiburg lehnt die Definition ökologisch vertretbarer Befahrungsgrenzen anhand bodenphysikalischer Kenngrößen und Maschinenparameter wegen zahlreicher wechselwirkender Einflußgrößen und wegen der Uneindeutigkeit der Verknüpfung dieser Kenngrößen mit den ökologischen Schlüsselgrößen Bodenbelüftung und Wurzelwachstum ab. Sie setzen für die Zukunft nach dem Gebot der Vorsorge ausschließlich auf die Konzentration der Befahrung auf der Rückegasse.

Die Rückegassen werden von den Freiburgern als potentielle Risikoflächen betrachtet, auf denen Bodenschäden ggf. toleriert werden. Auf den Gassen steht für sie die Frage des Erhaltes der technischen Befahrbarkeit im Vordergrund.

### Münchener „Schule“

München möchte der Praxis klar definierte Entscheidungsgrundlagen an die Hand geben und geht davon aus, mit Hilfe eines Rasters, das auf einfach erhebbaren Parametern beruht, Grenzen auf der „sicheren Seite“ festlegen zu können, die auch einer bodenkundlich exakten „Durchleuchtung“ standhalten.

Die Münchener sehen auch die Rückegassen als Teil der Produktionsfläche, auf denen die Bodenfunktionen erhalten werden sollten. Sie sprechen sich deshalb auch gegen eine dauerhafte Festlegung der Gassen aus.

Nachfolgend werden die einleitenden Vorträge der Herren Dr. Dietmar Matthies, Dr. Klaus von Wilpert, Jochen Graupner und Gerd Gerdsen aus der KWF-Zentralstelle sowie von Dr. Hartmut Döll von der Projektgruppe Radboden vom Agrarökologischen Institut der Universität Halle-Wittenberg

wiedergegeben. Dem schließt sich die Zusammenfassung der Diskussion aus der Sicht der Forstpraxis (FD Klaus-Dietrich Arnold) und der FPA-Prüfpraxis (Dipl.Ing. Jochen Graupner) an.

Andreas Forbrig und  
Reiner Hofmann, KWF

### Gesellschaftspolitischer Hintergrund

Der Bodenschutz in der BRD gewinnt durch das unmittelbar bevorstehende „Bundes-Bodenschutzgesetz“ (BBodSchG) eine neue Qualität. Nach den Umweltgütern „Wasser“ und „Luft“ wird nun der Boden als drittes Umweltgut unter gesetzlichen Schutz gestellt werden.

Im § 1 des BBodSchG wird der Zweck des Gesetzes eindeutig definiert, indem „...nachhaltig die Funktion des Bodens gesichert oder wiederhergestellt werden soll...“. Hierzu sind „schädliche Bodenveränderungen“ abzuwehren und es ist „...Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen ... zu treffen.“. In den Informationen zum Bundes-Bodenschutzgesetz (Stand 16.6.1997) führt hierzu das Bundesministerium unter Kapitel 3 aus: „Vorsorgepflichten bestehen, damit der Boden langfristig durch stoffliche und **physikalische Einwirkungen** in seiner ökologischen Lei-

stungsfähigkeit nicht überfordert wird“. Hieraus wäre z.B. ein unmittelbarer Zusammenhang zur Forstwirtschaft über deren Maschineneinsatz im Zuge von Bewirtschaftungsmaßnahmen herzustellen. Zum Glück (?) schwebt dieses Damoklesschwert noch nicht über den Köpfen der Verantwortlichen im Forstbereich, da sich der Anwendungsbereich des BBodSchG in seiner momentanen Konzeption nicht auf die Waldflächen (BBodSchG, § 3, Abs. 2, Pkt.6) erstreckt. Deren Schutz ist bereits in den landesrechtlichen Ausführungen der Waldgesetze verankert (z.B. Bay-WaldG, Absch. II, Art. 9, Abs. 1).

Ungeachtet dieser Tatsache wirkt sich das BBodSchG bereits auf die Neuregelung des Gesetzes über Naturschutz und Landschaftspflege (BNatSchG) aus. Im entsprechenden Gesetzesbeschluß (Drucksache 421/97 vom 13.6.97) wird im § 17, Abs. 2, dazu ausgeführt, daß „... die forstwirtschaftliche Bodennutzung nicht als Eingriff

### KWF-Workshop

## Das „Richtlinienhandbuch“ für den bodenverträglichen Maschineneinsatz im Wald

Dietmar Matthies

Das im Konzept vorgestellte „Richtlinienhandbuch“ möchte der Praxis einfach anzuwendende Richtwerte für die Einsatzentscheidung an die Hand geben.

angesehen wird, soweit die Ziele und Grundsätze des Naturschutzes...berücksichtigt werden.“. Die Umsetzung der Ziele und Grundsätze erfolgt im Rahmen einer „guten fachlichen Praxis“.

Die Erfahrung der letzten zwei Jahrzehnte hat hinlänglich gezeigt, daß das Umweltverständnis und das umweltbewußte Handeln in allen möglichen Bereichen des täglichen Lebens in unserer Bevölkerung Einzug gehalten hat. Das BBodSchG wird einen weiteren Sensibilisierungsschub auslösen, dem sich die Forstwirtschaft nicht entziehen kann. Gerade im Anblick großer Forstmaschinen auf unseren Waldflächen, respektive Waldböden, wird sich die eine oder andere gesellschaftliche oder politische Kraft fragen, ob dieser Vorgang im Einklang mit den gesellschaftlichen Anforderungen an Nachhaltigkeit und Bodenschutz steht. Der Schritt hin zu einer rechtlichen Abklärung des Sachverhaltes erscheint eine nur logische Konsequenz daraus zu sein. Wann dies geschehen wird, ist lediglich eine Frage der Zeit. Welche Konsequenzen daraus der Forstwirtschaft und den betroffenen Unternehmern erwachsen werden, kann momentan noch nicht abgesehen werden.

Das Menetekel strukturveränderter bis zerstörter Waldböden, verursacht durch den Forstmaschineneinsatz, wird seit den späten siebziger Jahren beständig an die Wand gemalt. Mehrere Forschergruppen haben sich seitdem diesem Thema zugewandt. Hervorzuheben wären hier die forstlich orientierten Arbeiten der achtziger Jahre von LÖFFLER, München, BENEKE, Göttingen, und HILDEBRAND, Freiburg, und in den neunziger Jahren von SCHACK-KIRCHNER und v. WILPERT, Freiburg, sowie dem Autor. Zunächst stand das Verständnis der Wirkungskette „Maschine-Boden“ im Vordergrund. Nachdem die prinzipiellen Wirkungsmechanismen und ihre Auswirkungen auf die Bodenstruktur und ihren ökologischen Funktionen weitestgehend bekannt waren, konnte man sich verstärkt den Auswirkungen auf den Bestand widmen. Somit gelang es einiges Wissen über die Gesamtwirkungskette „Maschine-Boden-Bestand“ herauszuarbeiten. Es muß jedoch angemerkt werden, daß hier ein klares Ungleichgewicht zu Ungunsten der Wirkungskette „Boden-Bestand“ vorliegt - ein Defizit, welches in den nächsten Jahren aufgeholt werden muß.

Sollten in naher Zukunft neue Anforderungen an die Forstwirtschaft bezüglich eines bodenverträglichen Maschineneinsatzes gestellt werden, so steht augenblicklich bereits ein in Teilen fundiertes Grundlagenwissen zur Verfügung, auf dem aufgebaut

werden kann. Wo der Autor jedoch nach wie vor einen starken Nachholbedarf sieht, ist die konsequente umfassende Umsetzung dieser Grundlagenkenntnisse in die praktische Arbeit vor Ort. Der physikalisch-mechanische Bodenschutz in der Forstwirtschaft stellt sicherlich noch immer eine bedeutende Herausforderung der nächsten Jahre dar.

### **Existierende Bodenschutzrichtlinien und Empfehlungen**

Der Wille, boden- und bestandesverträgliche mechanisierte Bewirtschaftungsmaßnahmen zu gewährleisten, äußert sich in einer begrenzten Anzahl von Richtlinien, Empfehlungen oder auch Merkblättern für die Forstpraxis. Hieraus soll eine Auswahl von drei Konzepten diskutiert werden, die stellvertretend für die generelle Vorgehensweise ausgewählt wurden. Im Falle der Niedersächsischen Richtlinie (Merkblatt 28) wird diese nur auszugsweise, soweit es für den vorliegenden Artikel notwendig ist, wiedergegeben. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, daß sich eine zusammenfassende Aufstellung, Bewertung und Diskussion aller im Forstbereich und der Landwirtschaft existierenden Vorschriften des deutschsprachigen Raumes in Vorbereitung befindet und noch in diesem Jahr publiziert werden wird.

### **Konzept „McNabb“**

Zunächst soll ein Konzept des amerikanischen Bodenphysikers McNabb präsentiert werden, das sich speziell an die Logger in Amerika und Kanada wendet (Tab. 1). Ausgehend von der Tatsache, daß es letztlich die vor Ort Tätigen sind, die Bodenschäden erzeugen, aber auch verhindern können, wurde eine Bewertungsrichtlinie konzipiert, die einfach und schnell eine Einschätzung des Befahrungsrisikos seitens bodenkundlich ungeschultem Personal ermöglicht. Dazu hat McNabb drei Merkmale herangezogen - Textur, Bodenfeuchte und Geländeform - die vom Logger entsprechend der Dreiteilung in Tabelle 1 zuzuordnen sind. Aus dieser Klassifizierung ergeben sich drei Faktoren, die miteinander multipliziert einen Wert zwischen 1 und 27 ergeben. Dieser fällt dann in eine von drei Bewertungsklassen, welche das Risiko extremer Gleisbildung wiedergeben.

Das Konzept besteht durch seine extreme Praxisfreundlichkeit. Der Preis für diese liegt jedoch klar auf der Hand: Es differenziert zu wenig, hat eine geringe Vorsorgewirkung und besitzt keinen Bezug zur Maschine. Nach mündlicher Auskunft verfolgt dieses Konzept den Zweck „... zukünftig hüfttiefe Gleisbildung zugunsten knietiefer Spuren zu vermeiden.“ (McNabb). Diese, im Detail

unter Umständen etwas überspitzte Aussage, kann im Kern jedoch nicht das Vorsorgeziel unserer zukünftigen Richtlinien oder Empfehlungen im Sinne der „guten fachlichen Praxis“ sein.

schaftungsmaßnahme. Anhand eines Beispiels für die Holzernte im Flachland sollen die Vorzüge, aber auch Nachteile dieses Konzeptes näher erläutert werden (Tab. 2).

Konzept „McNabb“			
	CPPA Woodlands Paper, Juni 1993, S. 33-37		
Faktor	1	2	3
Boden (Textur)	grob	fein	organisch
Bodenfeuchte	trocken	feucht	naß
Morphologie	konvex	konkav	>30 % Hangneigung
Multiplikation der Bewertungsfaktoren			
Risiko extremer Gleisbildung		Ergebnisbereich	
gering		1 - 4	
mittel		5 - 11	
hoch		12 - 27	

Tab.1: Konzept „McNabb“

### Konzept „Niedersachsen“

Die Landesforstverwaltung Niedersachsen hat in ihrem Merkblatt 28 Klassifikationsschemata für forstliche Standortseinheiten hinsichtlich ihres Befahrungsrisikos mit zugeordneten Bewirtschaftungsempfehlungen herausgegeben. Diese werden unterschieden nach Flach- oder Hügelland, sowie der durchzuführenden Bewirt-

Das Konzept führt seine Gefährdungsklassifikation der Standortstypen anhand ihres Wasserhaushaltes und des Substrats aus. Dies erschließt als primäre Informationsquelle unmittelbar die forstliche Standortskarte und ist demzufolge auch sofort umsetzbar. Entsprechend der Einstufung des Standortes in „gering“ bis „sehr hoch gefährdet“ spricht das Konzept

Konzept „Niedersachsen“ (für pleistozänes Flachland)			
	Niedersächsische Landesforsten, Merkblatt Nr. 28, 1992, S. 16-22		
Gefährdungsstufe	Risiko	Bewirtschaftungsempfehlung	
		<b>Holzernte</b>	
I	gering	Einsatz von Forstmaschinen ohne Einschränkung	
II	mäßig	Bei ungünstiger Witterung: Breitreifen, Reisigmatte	
III	hoch	ganzjährig nur auf Rückelinien: Breitreifen, Reisigmatte, keine Flächenbefahrung	
IV	sehr hoch	wie Gefährdungsstufe III, jedoch: Befahrung nur bei günstiger Witterung auf befestigten Wegen	
		weitere Empfehlungen für Waldkalkung, Bodenvorbereitung, Schlagabraumbeseitigung	
Klassifizierungsparameter			
Gefährdungsstufe	Risiko	Wasserhaushalt	Substrat
I	gering	nicht, schwach, mäßig grundwasserbeeinflusst	tragfähig, nicht zur Verdichtung neigend
II	mäßig	staufrisch	z.B. Sandlöß über anderen Substraten
III	hoch	z.B. staufeucht	z.B. Sandlöß über Geschiebelehm
IV	sehr hoch	z.B. naß, staunaß	Moore

Tab.2: Das Konzept „Niedersachsen“, hier für pleistozänes Flachland und Holzernte. Die Ausführungen sind unvollständig und nur exemplarisch wiedergegeben.

klare Bewirtschaftungsempfehlungen aus. Damit ist es für das Fachpersonal direkt umsetzbar und stellt eine pragmatische und klare Handlungsrichtlinie dar.

Die wesentlichsten Nachteile sind wiederum im fehlenden Maschinenbezug und der nur ungenügenden Berücksichtigung des aktuellen Wassergehaltes (als bedeutende Steuervariable) zu sehen. Sie äußert sich in dem u. U. mißverständlichen und subjektiv zu interpretierenden Ausdruck „ungünstige Witterung“. Der Maschinenbezug wird durch die Unterscheidung von Forstspezialmaschinen und Forstschleppern hergestellt, wobei der Bodendruck über die Verwendung des Begriffes „Breitreifen“ indirekt mit einfließt.

### Konzept „Kweton & Zucker“

Kweton und Zucker (1993) beschreiten einen anderen Weg, um zu einem Bewertungsraster für die Verdichtungsempfindlichkeit im Flachland zu gelangen. Den Autoren ging es darum, den „... Problemkreis der Verdichtungsempfindlichkeit aus Sicht der

kung der Autoren) stehen jedoch einige gravierende Probleme im Wege.

Obwohl die Bodenfeuchteklassifizierung mit sogenannten „pF“-Werten versehen ist, kann eine praktische Zuordnung nur über Feldmessungen der Saugspannung erfolgen. Diese erscheinen an betrachts der empfindlichen Meßgeräte als Standardmessung jedoch nicht praktikabel. Die Erhebung der Lagerungsdichte über den Einstichwiderstand eines Messers in einer Profilwand, wie sie von den Autoren vorgeschlagen wird, setzt große Erfahrung und einen erheblichen Arbeitsaufwand voraus. Die Klasseneinteilung der Bodenart unterstellt eine vermutete relative Verdichtungsempfindlichkeit, die zwar das plastische Verhalten aufgrund der Feinkornanteile mit in Betracht zieht, jedoch noch nicht wissenschaftlich abgesichert ist. Abschließend betrachtet, fehlt auch hier der unmittelbare Bezug zur eingesetzten Maschine.

Diese Kurzauswahl konzeptioneller Ansätze soll das prinzipielle Vorgehen ähnlich gearteter Richtlinien bzw. Empfehlungen verdeutlichen,

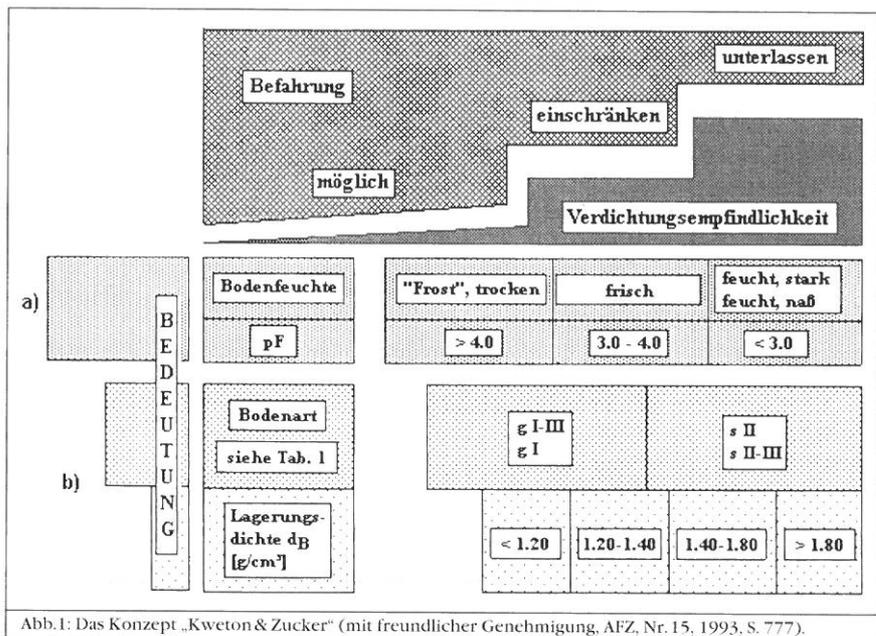


Abb.1: Das Konzept „Kweton & Zucker“ (mit freundlicher Genehmigung, AFZ, Nr. 15, 1993, S. 777).

bodenkundlichen Grundlagenforschung...“ zu erfassen. Damit unterscheidet sich dieses Konzept grundsätzlich von den zuvor geschilderten.

Als Klassifizierungsparameter ziehen sie die aktuelle Bodenfeuchte, die Bodenart und die Lagerungsdichte heran (Abb.1). Sie werden in der genannten Reihenfolge entsprechend ihrer Bedeutung abnehmend gewichtet. Diese Gewichtung ihrerseits stützt sich auf bodenphysikalische und bodenmechanische Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung und somit auf eine wissenschaftlich abgesicherte Datenbasis. Einer unmittelbaren Praxisumsetzung dieses Konzeptes mit „Versuchscharakter“ (Anmer-

wie sie von Seiten der Verwaltungen und der Wissenschaft existieren. Allerdings lassen sie bereits eine Analyse der prinzipiellen Probleme zu.

Es ist hinlänglich bekannt, daß der Wassergehalt zum Befahrungszeitpunkt wesentlich über die Bodenpfleglichkeit des Maschineneinsatzes entscheidet. Weiterhin ist es ein akzeptiertes Faktum, daß die Textur (Korngrößenzusammensetzung) des Bodens dessen Verdichtungsrisiko (und damit die Strukturveränderungen) mitbestimmt. Daß sich dahinter u.a. die bodenmechanischen Eigenschaften verbergen, ist wissenschaftlich abgesichert. Als dritte Einflußgröße tritt die mechanische Belastung des Bodens hinzu, die erst nach Über-

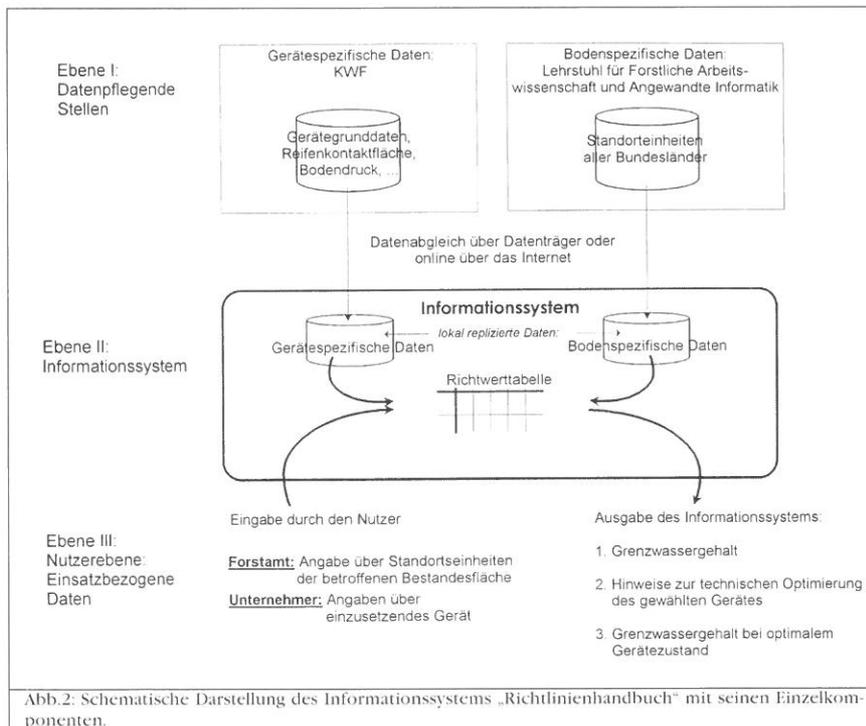
schreitung der Eigenstabilität des Bodens (Stichwort: Vorbelastung) zu irreversiblen Strukturveränderungen führt. Will man also das Gefährdungspotential einer Befahrung fassen, ist es unabdingbar, diese drei sich wechselseitig beeinflussenden Faktoren mit größtmöglicher Genauigkeit zu berücksichtigen.

Augenblicklich erfüllt kein im Forstbereich existierendes Konzept diese Anforderung. Entweder fehlt der konkrete Maschinenbezug hinsichtlich der spezifischen Bodendruckwerte und/oder die aktuelle Bodenfeuchte wird unzureichend differenziert betrachtet. Versucht das Konzept die Verdichtungsempfindlichkeit einer Bodenart auf der Basis wissenschaftlich abgesicherter Daten zu erfassen, fehlt es häufig an der flächendeckenden Information. Somit ist die Abschätzung der Befahrungsauswirkung mit einem extrem hohen Unsicherheitsmaß behaftet, das aus Gründen der Vorsorge zu einem dementsprechend unverhältnismäßig restriktiven Vorgehen zwingt. Dies hat letztlich zur Folge, daß der Forstwirtschaft Fesseln angelegt wer-

### Konzept des „Richtlinienhandbuchs“

Für die erfolgreiche Umsetzung einer Handlungsrichtlinie im Sinne der „guten fachlichen Praxis“ im Forst, muß das Konzept Anforderungen erfüllen, die schlagwortartig folgende sind: Klassifizierungsmöglichkeit der forstlichen Standortseinheiten entsprechend ihrer Empfindlichkeit gegenüber mechanischer Belastung auf der Grundlage einer objektiven Datenbasis. Zwingend erforderlich ist der konkrete Maschinenbezug in Verbindung mit der aktuellen Bodenfeuchte. Die Einsatzentscheidung muß sich an eindeutigen Richtwerten (hier die aktuelle Bodenfeuchte) orientieren, um das subjektive Element aus der Entscheidung herauszunehmen. Zuletzt muß diese Handlungsrichtlinie praxisfreundlich konzipiert sein.

Unter Beachtung dieser Vorgaben wird das „Richtlinienhandbuch“ als EDV-gestütztes, plattformunabhängiges Informationssystem erstellt werden (s. Abb. 2). Das Herzstück bildet die Grenzwassergehaltstabelle, die aus den boden- und fahrzeugspezifischen Kennwerten den höchst zuläs-



den, die im Einzelfall weit über das gebotene Maß hinausgehen. Zum Schluß sei noch auf die Entscheidungskriterien für einen Maschineneinsatz hingewiesen, die „weich“ sind und damit im allgemeinen der subjektiven Einschätzung unterliegen.

An dieser Stelle wird bewußt auf eine weitere Ausführung verzichtet, da dies den Rahmen sprengen würde und nicht Hauptgegenstand des Artikels ist. Sie soll vielmehr dazu dienen in die Problematik einzuführen. Es wird nochmals auf die in Vorbereitung befindliche Publikation hingewiesen.

sigen Wassergehalt für einen bodenverträglichen Maschineneinsatz abgeleitet (Tab. 3). Für diese Ableitung sind zwei Datenbanken – ein Bodenkataster und ein Maschinenkataster – erforderlich.

Die Tabelle dient lediglich als Beispiel einer zukünftigen Richtwerttabelle, um das Prinzip zu verdeutlichen. Sie ist **noch nicht für die unmittelbare praktische Umsetzung geeignet**, da augenblicklich nur ein Teil der darin angeführten Grenzwassergehalte experimentell abgesichert sind!

Im sogenannten Bodenkataster wird bundesländerspezifisch eine Zuordnung der forstlichen Standortseinheiten/typen zu den „Gefährdungseinheiten“ getroffen. Diese basiert im wesentlichen auf den plastischen

Bereifung. Als Ergebnis wird ein Grenzwassergehalt ausgegeben, der wichtiger Bestandteil des Vertrages zwischen Waldbesitzer und Forstunternehmer werden soll. Zudem werden technische Vorschläge für eine

Gefährdungsklasse					
Bodendruck	1	2	3	4	Kriterium
		<i>Moräne / Tertiär</i>			
< 40 kPa	50	70 / 55	73 / 33	76	wl
40-50 kPa	35	55 / 43	59 / 25	58	wp+0,50 Ip
50-60 kPa	28	48 / 37	51 / 21	50	wp+0,25 Ip
60-70 kPa	20	40 / 31	44 / 17	41	wp
> 70 kPa	13	33 / 25	37 / 13	32	wp - 0,25 Ip

wl: Fließgrenze; wp: Ausrollgrenze; Ip: Plastizitätsindex (wl - wp)

Tab. 3: Beispiel einer Richtwerttabelle mit Grenzwassergehalten in Abhängigkeit von Gefährdungs- und Bodendruckklasse. (Noch nicht für die praktische Umsetzung geeignet, da augenblicklich nur teilweise experimentell abgesichert!)

Kennwerten Ausroll- und Fließgrenze des Bodens, die ihrerseits als Materialeigenschaft hinsichtlich befahrungsbedingt hervorgerufener Bodenstrukturveränderungen angesehen werden können. Übertragen bedeutet das eine Abnahme der Bodenstrukturveränderungen je mehr sich der aktuelle Wassergehalt der Ausrollgrenze des Bodensubstrates annähert. Umgekehrt wird ein Wassergehalt, der sich der Fließgrenze annähert, zunehmend kritischere Bodenveränderungen bei Befahrung bedingen. Durch die Einteilung aller Standortseinheiten/typen in ein (momentan) vierklassiges System, werden größere Gebietseinheiten gleicher Gefährdungseinheit geschaffen, die die Bewirtschaftungsplanung von der Bodenseite her erleichtern.

Als weitere Steuerungsgröße tritt die Kraft hinzu, die eine Maschine auf den Boden ausübt. Diese wird üblicherweise in Form des statischen Bodendruckes eingeführt. Bei gegebenem Maschinengewicht bestimmt letztlich die Aufstandsfläche, die sich aus der Anzahl der Reifen, der Reifenbreite, dem Reifendurchmesser und dem Reifeninnendruck ableitet, den statischen Bodendruck. In einem Maschinenkataster werden zum einen die technischen Eigenschaften der Forstmaschinen, wie Gewicht und Achslastverteilung, abrufbar sein.

Zum anderen ergänzen Meßwerte der gewichtsabhängigen Aufstandsfläche unterschiedlicher Reifen bei variierendem Reifeninnendruck die maschinenspezifischen Kennwerte. Bei Einsatz einer bestimmten Forstmaschine kann daraus eine Klassifizierung in die Bodendruckklassen der Grenzwassergehaltstabelle erfolgen.

Die erforderlichen Eingabeparameter von Seiten des Nutzers beschränken sich auf die Angabe der Standorteinheit, der Forstmaschine und ihrer

Maschinenkonfiguration unterbreitet, die zu einem günstigeren Grenzwassergehalt führen würden.

Als Informationssystem konzipiert (daher ist der Ausdruck „Richtlinienhandbuch u.U. etwas mißverständlich) werden alle Informationseinheiten, wie das Maschinenkataster, das Bodenkataster etc., EDV-mäßig erfaßt und als geschlossenes Programmpaket zur Verfügung stehen. Um die Aktualität bezüglich der Maschinen- oder Reifenentwicklung zu gewährleisten, werden die Datenbanken via Internet abrufbar sein und einer ständigen Datenpflege durch das KWF unterliegen. Damit das Informationssystem auch off-line ständig auf dem neusten Stand gehalten werden kann, ist der Support auch via Datenträger (z.B. Diskette) vorgesehen. Fensterorientierte Bedienung und eine betriebssystemunabhängige Programmierung ermöglicht den einfachen Einsatz des Programmes auf allen gängigen EDV-Systemen, auch für ungeschulte Anwender.

Die Einführung des „Richtlinienhandbuches“ soll in Form eines Risk-Managements erfolgen. D.h. begleitend zu den Befahrungsversuchen zur experimentellen Festlegung der Grenzwassergehalte, werden Forstunternehmen ihr vor Ort tätiges Personal mit sogenannten TDR-Sonden ausrüsten, um den Wassergehalt während ihres Einsatzes auf den Rückegassen zu erheben. Die Begutachtung der Befahrungsflächen unter Kenntnis der Wassergehalte, der Maschinendaten und der Standorteinheiten, gibt einen unmittelbaren Hinweis darauf, ob die vorgeschlagenen Grenzwassergehalte den gewünschten Erfolg bezüglich der Bodenpfleglichkeit erzielen. Ein solches Vorgehen gewährleistet ein schnellstmögliches Herantasten an die optimalen Vorgaben.

Das hier im Konzept vorgestellte

„Richtlinienhandbuch“ für den bodenverträglichen Maschineneinsatz im Wald versucht den Begriff der „guten fachlichen Praxis“ für alle Beteiligten zu definieren und zukünftig für Rechtssicherheit bei der Einsatzentscheidung zu sorgen. Im Vergleich zu den momentan existierenden Bewirtschaftungsempfehlungen wird hier eine klar definierte Entscheidungsgrundlage geboten, die sich auf den momentanen Stand des Wissens bezieht. Die Erfahrung der letzten Jahre hat gezeigt, daß immer mehr Belange im Forst durch Einflußnahme fachfremder Gruppen geregelt werden. Diese Gefahr besteht auch in diesem

Fall. Im Sinne einer zukunftsorientierten Verbindung aus Ökonomie und Ökologie sollte sich hier die Forstpartie nicht die Initiative aus der Hand nehmen lassen und selbsttätig bundesweit einen Standard setzen, der ihren umweltbewußten Umgang mit dem „Schutzgut“ Boden dokumentiert.

Dietmar Matthies  
Lehrstuhl für forstliche Arbeitswissenschaft und angewandte Informatik der Universität München, Am Hochanger 13, 85354 Freising

### Einleitung

Forstmaschinen sind dafür konstruiert, Bäume, d.h. schwere Lasten im unwegsamen Gelände zu manipulieren. Dabei dient der mehr oder weniger „unbewehrte“ Waldboden als Widerlager. Der Boden muß dabei nicht nur die über den Kontaktflächen- druck charakterisierbare statische Auflast der Maschine und deren Ladung aufnehmen, sondern auch dynamische Kräfte, die bei Fahrbewegungen, Kurvenfahren, oder z.B. bei der Bewegung eines Kranauslegers entstehen. Die dynamische Belastung liegt in der Regel deutlich über der statischen Auflast. Durch diese Belastungen entstehen Bodenverformungen, die sowohl in einer Verminderung der Porenkontinuität (Unterbrechung des biogen vernetzten Porensystems) als auch in der Zerstörung von Makroporenvolumen (Verdichtung) bestehen.

### Wann entsteht ein ökologischer Schaden?

Die obersten dm im Mineralboden unserer Waldböden sind der Wurzelraum mitteleuropäischer Wälder. Die Eignung des Bodens als Wurzelraum ist entscheidend von dessen Fähigkeit abhängig, auf kleinstem Raum gleichzeitig und mit geringen zeitlichen Schwankungen Ionen und Wasser zur Verfügung zu stellen und einen möglichst ungehinderten Gasaustausch mit der Atmosphäre zu gewährleisten. Dies sind Anforderungen, die sich gegenseitig tendenziell ausschließen. In strukturierten Böden mit einem kontinuierlichen, biogen vernetzten Porensystem haben Baumwurzeln auf kleinstem Raum Kontakt zu Wasser, den Ionenvorräten der Bodenfestphase und zur Bodenluft. Sowohl die Ver- und Entsorgung von Wasser als auch

die Versorgung von Wurzeln mit Sauerstoff und die Entsorgung des bei der Wurzelatmung entstehenden CO<sub>2</sub> setzen ein leistungsfähiges Grobporensystem voraus. Störungen des Porensystems verschlechtern die Transportleistung des Bodens für Wasser und Gase und damit dessen Eignung als Wurzelraum.

Da die Verformung von Böden durch Befahrung an der Bodenoberkante ansetzt, wird in erster Linie die Belüftungsfunktion beeinträchtigt, denn der Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre erfolgt zwingend über die Bodenoberfläche. Oberflächliche Veränderungen der Bodenstruktur können tiefreichende Folgen für die Bodenbelüftung und damit für die Ausbreitungsmöglichkeiten von Wurzeln haben, da sie die „Schleusenfunktion“ des Oberbodens für den Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre betreffen. Der Gastransport im Boden erfolgt überwiegend auf diffusivem Weg. Dies bedeutet, daß weniger der Porendurchmesser, sondern neben dem Porenvolumen die Porenkontinuität und Tortuosität (Diffusionsstrecke) Strukturparameter sind, die die Effektivität des Gasaustausches zwischen Boden und Atmosphäre bestimmen.

### Gashaushalt von Böden und bodenbiologische Aktivität

Wenn der Gasaustausch durch eine befahrungsbedingte Bodenverformung im Bereich der Bodenoberfläche gestört ist, so führt dies in erster Linie zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Bodenluft. In einem mehr oder weniger schmalen „Elastizitätsbereich“ kann infolge des erhöhten Konzentrationsgefälles zur Außenluft die Entsorgung von CO<sub>2</sub>

### KWF-Workshop

## Möglichkeiten und Grenzen für die Definition einer ökologisch verträglichen Befahrbarkeit

K. v. Wilpert

Untersuchungsergebnisse der FVA Baden-Württemberg und deren Folgerungen für die Beurteilung von Grenzwerten für eine ökologisch vertretbare Befahrung.

begünstigt werden. In diesem Fall ist die biologische Aktivität des Bodens nicht signifikant beeinträchtigt. In der Regel ist die diffusive Gasdurchlässigkeit des Bodens nach Befahrung so stark vermindert, daß diese negative Rückkoppelung außer Kraft gesetzt ist und die CO<sub>2</sub>-Entsorgung und O<sub>2</sub>-Nachlieferung gestört sind. Damit sinkt die Respirationsrate des Bodens. Dies betrifft die strukturschaffende Aktivität von Bodenorganismen und vor allem den besonders energiekonsumierenden Vorgang des Wurzelwachstums. Der Zusammenhang zwischen einer signifikanten Verminderung des relativen scheinbaren Diffusionskoeffizienten (Ds/D0) nach Befahrung und einer über alle ökologisch relevanten Bodenfeuchtigkeiten deutlichen Reduktion der Bodenrespiration (gleichzusetzen mit bodenbiologischer Aktivität) wird am Beispiel des Befahrungsversuches Emmendingen exemplarisch erläutert (Abb. 1 und 2). Dieser Standort ist durch einen tiefgründigen, homogenen Schlufflehm charakterisiert. Die hier dargestellten Auswertungen wurden 9 Jahre nach der Befahrung durchgeführt.

Nach der vergleichsweise langen Zeit von knapp einem Jahrzehnt un-

gischen Aktivität interpretiert werden. Eine Abnahme der bodenbiologischen Aktivität bedeutet eine Verschiebung der durch Bioturbation aufgehöhten, makroporenreichen Bodenstruktur in Richtung eines makroporenärmeren, dichteren Lagerungszustandes durch Sackung. In dieser Hinsicht ist die Bodenstruktur ein „gefährdetes Fließgleichgewicht“ (HILDEBRAND, 1987).

Das Ergebnis des Kleinkosmenversuches belegt über den gesamten untersuchten Bodenfeuchtebereich einen signifikanten Zusammenhang zwischen Befahrung und Verminderung der Bodenatmung. Die Reduktion der Bodenrespiration erfolgte analog zu der auf den befahrenen Böden verminderten Gasdiffusivität.

Es kann zusammengefasst werden, daß nach Befahrung von Feinlehm Böden mit einer langanhaltenden Störung des Gashaushalts zu rechnen ist. Diese bewirkt ein Nachlassen der bodenbiologischen Aktivität, was eine eingeschränkte Nutzbarkeit der betroffenen Bodenpartien für die Ausbreitung des Wurzelwerks von Bäumen bedeutet. Die geringere Raumerschließung durch Buchenwurzeln in verformten Bodenproben wurde durch Kleinkosmenversuche

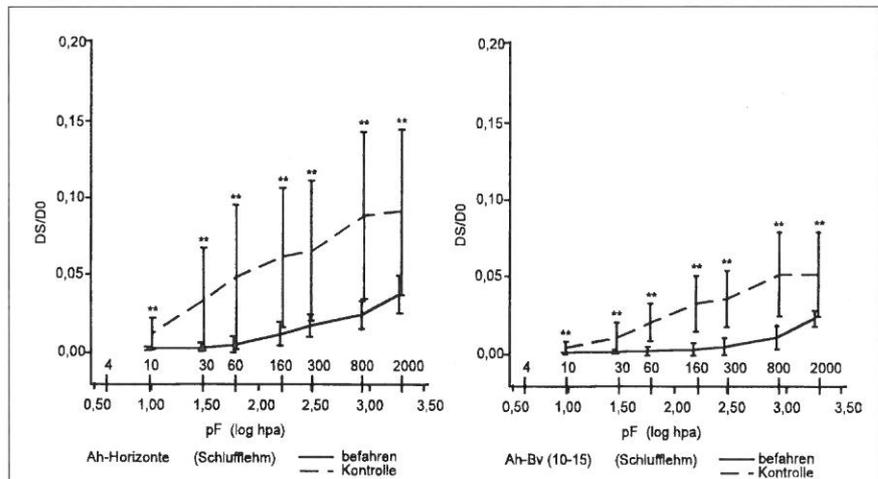


Abb. 1: Befahrungsversuch Emmendingen: Verminderung des relativen scheinbaren Diffusionskoeffizienten 9 Jahre nach der Befahrung in 0-5cm (links) und 10-15cm (rechts) Bodentiefe (aus SCHACK-KIRCHNER 1994). \*\*, bei p=5% signifikanter Unterschied zwischen Kontrolle und Befahrung.

terscheidet sich der Diffusionskoeffizient zwischen Kontrolle und Befahrung bis in 15 cm Bodentiefe um bis zu einer Größenordnung. Dieser Unterschied ist über den gesamten Bodenfeuchtebereich von naß (10hPa) bis trocken (2000 hPa) signifikant.

An Bodenproben aus dem gleichen Befahrungsversuch wurden in einer bei SCHACK-KIRCHNER (1994) beschriebenen Kleinkosmenanlage Respirationsraten bei definiertem Wasserstatus ermittelt (Abb. 2). Bei den untersuchten Bodenkörpern handelt es sich um 4 cm hohe, 100 cm<sup>3</sup> große Bodensäulen, die mit Buchenkeimlingen bepflanzt waren. Die Bodenrespiration kann als Maß der bodenbiolo-

gischen Aktivität interpretiert werden. Eine wesentliche ökosystemare Folge von durch Befahrung reduzierter bodenbiologischer Aktivität ist die verzögerte Regeneration der Bodenstruktur. An dem Schlufflehmstandort Emmendingen ist diese selbstverstärkende Blockierung natürlicher Strukturbildungsprozesse knapp ein Jahrzehnt nach der Befahrung noch in

terscheidet sich der Diffusionskoeffizient zwischen Kontrolle und Befahrung bis in 15 cm Bodentiefe um bis zu einer Größenordnung. Dieser Unterschied ist über den gesamten Bodenfeuchtebereich von naß (10hPa) bis trocken (2000 hPa) signifikant.

vollem Ausmaß wirksam. Die Dynamik von Regenerationsprozessen und deren Abhängigkeit von standörtli-

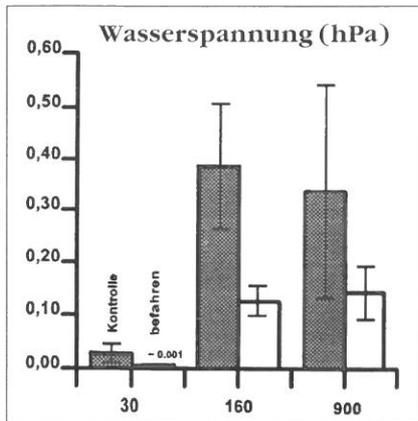


Abb. 2: Respirationsraten der 100 cm<sup>3</sup> Bodenproben aus dem Befahrungsversuch Emmendingen, untersucht in einer Kleinkosmenversuchsanlage. Die Bodenfeuchte wurde von naß (30 hPa) bis mäßig trocken (900 hPa) variiert (aus SCHACK-KIRCHNER 1994)

chen und technischen Rahmenbedingungen ist eine offene Frage und muß an gut dokumentierten, alten Befahrungsversuchen weiter untersucht werden.

### Sind Bodenschäden an einfachen bodenphysikalischen Meßgrößen erkennbar?

Wir haben gesehen, daß die Störung der Wurzelraumfunktion von Böden durch Befahrung eng mit einer Störung des Bodengashaushaltes verknüpft ist. Es besteht eine Vielzahl von Untersuchungen, die die Auswirkung von Befahrung auf einfache bodenphysikalische Strukturmaße wie Lagerungsdichte, Makroporenvolumen, Porenkontinuität oder Transfergrößen wie Wasser- und Luftleitfähigkeit belegen (z.B. HILDEBRAND u. WIEBEL, 1986, MATTHIES, 1995). Untersuchungen zum Gashaushalt von

Böden sind wegen des höheren Aufwandes selten. Vielfach wird gefordert, anhand abgeleiteter Größen sowohl das Bestehen einer Störung der Wurzelraumfunktion von Böden zu belegen, als auch anhand von bodenphysikalischen Kenngrößen und Maschinenparametern zu prognostizieren, unter welchen Randbedingungen ein solcher Schaden zu befürchten ist. So haben MATTHIES et al. (1995) eine Kombination aus einem statischen Kontaktflächendruck der Maschine von 50 kPa cm<sup>2</sup>, der Hauptbodenart und der Bodenfeuchte für eine solche Prognose vorgeschlagen. Auf dem KWF - Workshop zur „Empfehlung für den bodenverträglichen Forstmaschineneinsatz“ am 25.11.97 in Groß -Umstadt sollten solche für die betriebliche Steuerung von Befahrung taugliche Prognosekriterien erarbeitet werden.

Da die Verknüpfung zwischen bodenphysikalischen Meßgrößen und Bodenbelüftung nichtlinear ist und Rückkoppelungen sowohl zwischen Belüftungszustand und bodenbiologischer Aktivität als auch zwischen bodenbiologischer Aktivität und Strukturbildung in Böden bestehen, erscheint der Versuch einer Definition einer ökologisch verträglichen Befahrung anhand von einfachen Kenngrößen wenig aussichtsreich. Im folgenden werden zwei Beispiele für die Uneindeutigkeit zwischen verschiedenen Aspekten der Bodenbelüftung gegeben.

### Bodenfeuchte und CO<sub>2</sub> - Konzentration in der Bodenluft

In einem Befahrungsversuch der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg in Stockach, auf einem wechselfeuchten Standort, wurden mit einem Kranharvester und

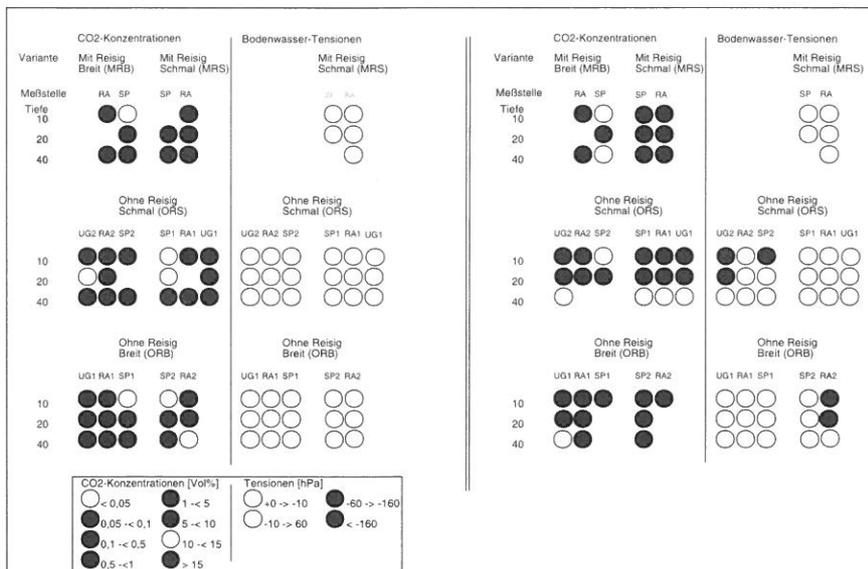


Abb. 3: CO<sub>2</sub> - Konzentrationen und Bodenfeuchte auf Fahrspuren des Befahrungsversuches „Stockach“ in den Bodentiefen 10, 20 und 40 cm. Links in einer Nässeperiode (7.6.94) und rechts in einer Abtrocknungsphase (4.7.94). Die Befahrung erfolgte in den Varianten mit und ohne Reisigmatte, sowie in schmalen (70 cm) und breiten (140 cm) Spuren. Die Signaturen bedeuten: UG = ungestört, RA = Rand der Spur, SP = Spurzentrum.

einem Forwarder befahrene Fahrtrassen untersucht. Dabei wurden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in einer nassen Periode (7.6.94) und einer Abtrocknungsphase (4.7.94) gemessen. Die Befahrung erfolgte mit und ohne Reisigmatte (>25 cm konsolidiert) sowie in schmalen (70 cm) und versetzt in breiten (140 cm) Spuren (Abb. 3). Die technischen Varianten des Versuches zeigten keinen interpretierbaren Einfluß auf die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. In der Abtrocknungsphase waren jedoch die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen nicht niedriger, wie dies aufgrund des höheren luftegefüllten Porenvolumens zu erwarten gewesen wäre, sondern sogar geringfügig höher. In den befahrenen Bodenpartien erreichten die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auch in den obersten Bodenschichten an mehreren Punkten Werte von > 10 Vol%. In diesem Bereich treten anaerobe Prozesse auf. Auf den unbefahrenen Partien wurden bis in 20 cm Bodentiefe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 5 Vol% nicht überschritten, die meisten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen lagen unter 1 Vol%.

Die Darstellung belegt, daß auf dem untersuchten, sehr sensiblen Standort, unabhängig vom Vorhandensein einer Reisigmatte im Fahrspurbereich, eine gravierende Verschlechterung der Bodenbelüftung auch bei unterschiedlicher Bodenfeuchte gegenüber den unbefahrenen Bodenpartien eingetreten ist. Die ökologische Schadensschwelle liegt hier so niedrig, daß auf anderen Standorten wirksame Schutzmechanismen (z.B. Reisigmatte > 25 cm) hier nicht zur Unterschreitung der Schadensschwelle führen.

#### Flächenaspekt bei der Entstehung von Bodenschäden

An einem Simulationsmodell zur O<sub>2</sub>-Nachlieferung unter Fahrspuren konnten SCHACK-KIRCHNER et al. (1993) die an sich selbstverständliche, aber oft übersehene Tatsache herausarbeiten, daß unter großflächig verdichteten Bodenpartien (Beispiel Breitreifenspuren 80 cm) größere Areale niedriger Sauerstoffkonzentration entstehen als unter kleinflächigen Verdichtungen (Beispiel Schmalreifenspuren 40 cm). Bei kleinflächiger Behinderung des Gasaustausches zwischen Boden und Atmosphäre ist die Verlängerung der Diffusionsstrecke durch das „Umfließen“ des Hindernisses unerheblich, während bei großflächigen Verdichtungen der Gasaustausch durch erhebliche Verlängerung der Diffusionswege behindert ist. Für die Entstehung eines ökologisch relevanten Bodenschadens, d.h. für das Eintreten einer Belüftungsstörung, ist also neben der Intensität einer Bodenverformung vor allem deren flächige Ausdehnung von Bedeutung. Dieser Aspekt wurde in

einer Pilotstudie (WALKER, 1994, SCHACK-KIRCHNER, 1997) anhand des Vergleiches zwischen der extrem kleinflächigen Bodenbeanspruchung durch Pferdehufe beim Holzrücken im Pferdezug und durch Befahrung mit Forstmaschinen (Kranharvester FMG Timberjack 1270, Reifenbreite 70 cm und Forwarder Valmet 828, Reifenbreite 60 cm) experimentell vertieft. Auf der im Pferdezug gerückten Fläche waren äußerlich zahlreiche Huftritte und Schleifspuren sichtbar (Abb. 4). In den Huftritten

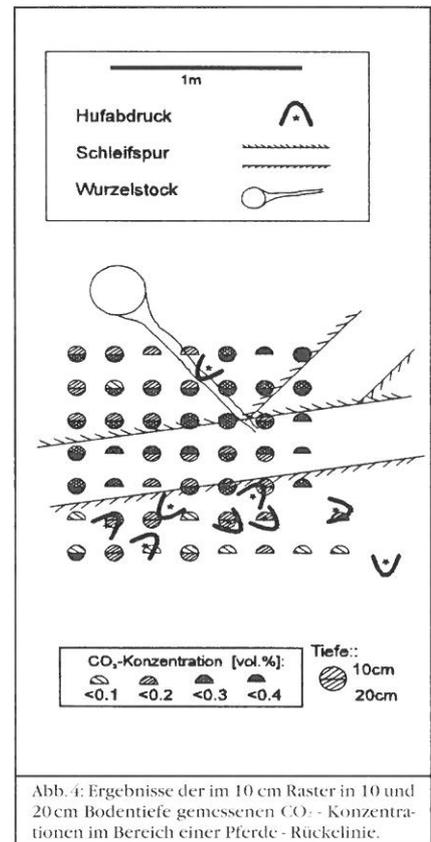


Abb. 4: Ergebnisse der im 10 cm Raster in 10 und 20 cm Bodentiefe gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Bereich einer Pferde-Rückelinie.

(Durchmesser 10-15 cm) war der Diffusionskoeffizient um bis zu 4 Größenordnungen erniedrigt (Variationsbereich 0,000 01 - 0,1), während in den Schleifspuren keine deutliche Veränderung der diffusiven Gasdurchlässigkeit sichtbar war.

Das Ergebnis der Rastermessung von CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Bereich einer Pferderückelinie zeigt keinen Einfluß der im Bereich der Huftritte sehr hohen Verdichtung und Veränderung des Gasdiffusionskoeffizienten auf den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Bodenluft. Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen liegen zwischen 0,1 und 0,4 Vol%, einem für Böden typischen Bereich.

Im Spurbereich der Rücketrasse, die mit Forstmaschinen befahren war, ist der Gasdiffusionskoeffizient um die gleiche Größenordnung erniedrigt wie unter den Pferdehuftritten (Abb. 5 rechts). Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind jedoch unter der im Spurbereich flächig verdichteten Bodenpartie bis zu zehnmals höher als normal (Abb. 5 links). Dies ist eine expe-

rimentelle Bestätigung des Modellierungsergebnisses von SCHACK-KIRCHNER et al. (1993), in dem die Bedeutung der räumlichen Ausdehnung von Bodenverformungen als wesentlicher Aspekt bei der Entstehung von befahrungsbedingten Belüftungsstörungen herausgearbeitet wurde.

cm hergeleitet, bei der schwellenartig die Bodenstruktur geschützt wird und Transfereigenschaften des Bodens weitgehend erhalten bleiben. In Abb. 6 und 7 werden aus zwei verschiedenen Befahrungsversuchen (Stockach: Ösa 250 Eva und FMG 678 Bruunett Mini, Kenzingen: FMG 470 Lillebror und FMG 678 Bruunett Mini)

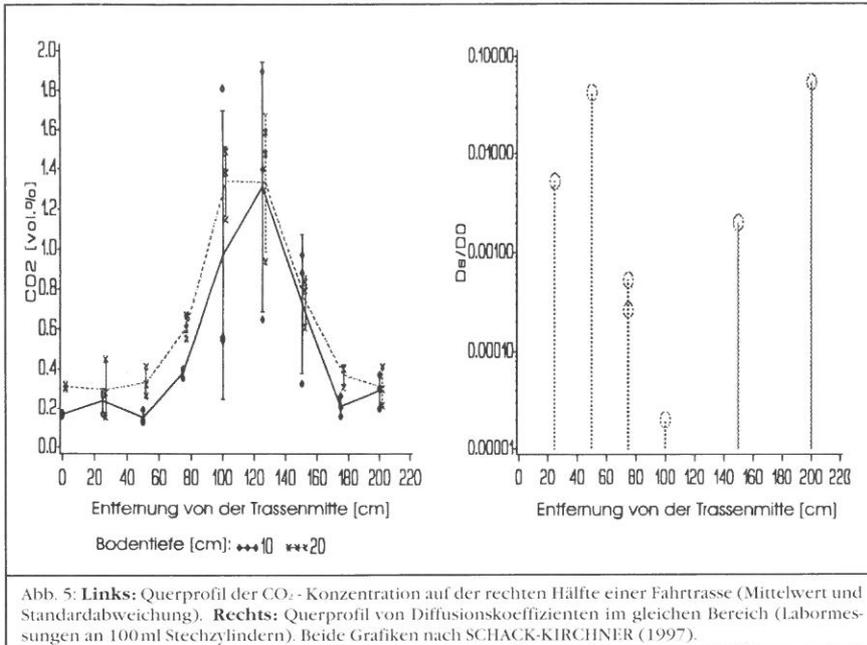


Abb. 5: Links: Querprofil der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf der rechten Hälfte einer Fahrtrasse (Mittelwert und Standardabweichung). Rechts: Querprofil von Diffusionskoeffizienten im gleichen Bereich (Labormessungen an 100 ml Stechzylindern). Beide Grafiken nach SCHACK-KIRCHNER (1997).

Wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration den Wert von 1 Vol.% deutlich übersteigt, muß mit belüftungsbedingter Begrenzung des Wurzelwachstums von Bäumen gerechnet werden.

Es ist zu erwarten, daß die kleinflächigen, punktuellen Verformungszonen unter Pferdehufen schnell durch strukturbildende Prozesse wieder aufgebrochen werden, da die Bodenbelüftung und damit die bodenbiologische Aktivität nicht wesentlich verändert sind. In flächig verformten Fahrspuren besteht eine massive Verschlechterung der Bodenbelüftung. Damit ist der Boden im Fahrspurbereich in seiner Eignung als Wurzelraum eingeschränkt und durch verminderte biologische Aktivität ist eine Verzögerung der Regeneration der Bodenstruktur zu erwarten.

### Bodenschutzpotential von Reisigatten bei Kranharvester-einsatz

Beim Einsatz von Kranharvestern wird das Kronenmaterial auf den Fahrtrassen akkumuliert, um Bodenverformungen zu minimieren und die technische Befahrbarkeit der Fahrtrasse aufrechtzuerhalten. Von SCHÄFFER et al. (1991) wurde die Verteilung der Reisigattenstärke auf Fahrspuren untersucht. Anhand von Luftleitfähigkeitsmessungen (ki) wurde für Forstmaschinen mit einem statischen Gesamtgewicht von 10-20t eine kritische Grenze der konsolidierten Reisigattenstärke von 25

die Verteilungsmuster der Reisigatten dargestellt.

Die Darstellungen zeigen, daß bei beiden Befahrungsversuchen die Reisigattenstärken sehr inhomogen auf der Fläche verteilt sind. An den Haltepunkten des Kranharvesters werden wellenartig mächtigere Reisigatten angesammelt, die kleinflächig auch die kritische Grenze von 25 cm erreichen oder überschreiten. Auf großen

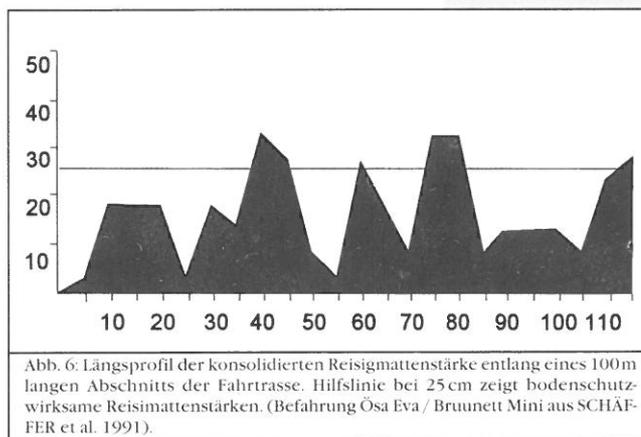


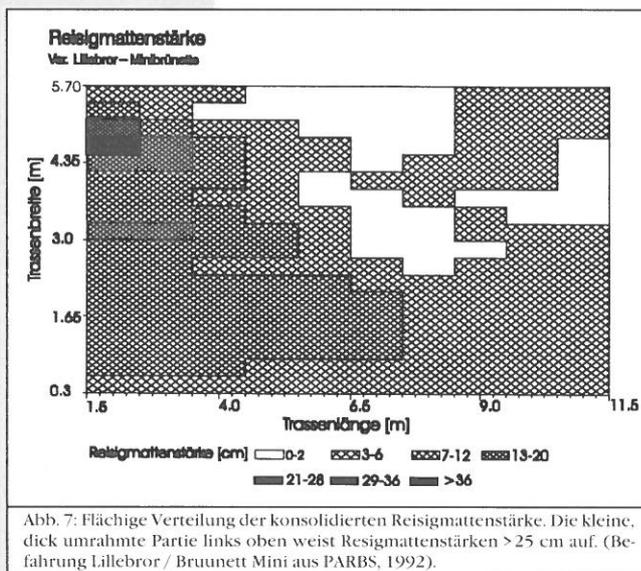
Abb. 6: Längsprofil der konsolidierten Reisigattenstärke entlang eines 100m langen Abschnitts der Fahrtrasse. Hilfslinie bei 25 cm zeigt bodenschutzwirksame Reisigattenstärken. (Befahrung Ösa Eva / Bruunett Mini aus SCHÄFFER et al. 1991).

Flächen bleibt dazwischen die Reisigatte aber sehr dünn oder fehlt völlig.

Dieser Befund ist so zu interpretieren, daß Reisigatten, die beim Einsatz von Kranharvestern angelegt werden, sicherlich die technische Befahrbarkeit von Fahrtrassen günstig beeinflussen, daß aber ein wirksamer Bodenschutz durch diese Maßnahme nicht möglich ist.

## Schlußfolgerungen für die Praxis

Eine Vielzahl von Untersuchungen belegt den Einfluß von befahrungsbedingten Bodenverformungen auf die Bodenstruktur und damit auf bo-



denspezifische Transferleistungen wie Wasserleitfähigkeit und Gasdurchlässigkeit. Für die Bodenbelüftung entscheidend ist die Gasdurchlässigkeit (Gasdiffusionskoeffizient). Es wurde am Beispiel des Befahrungsvorganges Emmendingen auf Schlufflehmen gezeigt, daß noch 9 Jahre nach der Befahrung die Fähigkeit des Bodens zu diffusivem Gasaustausch unter der Fahrtrasse signifikant vermindert ist. In einem Kleinkosmosversuch konnte gezeigt werden, daß befahrungsbedingte Bodenverformungen einen signifikanten Einfluß auf die Bodenrespiration, d.h. die bodenbiologische Aktivität, haben. Die Verminderung der Bodenatmung und Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodenluft sind ökologisch relevante Indikatoren für die Störung von Bodenfunktionen, d.h. für das Vorliegen eines Bodenschadens (HILDEBRAND, 1994). Mit diesen ökosystemaren Schlüsselgrößen sind abgeleitete physikalische Kenngrößen nur unscharf und nichtlinear verknüpft. Die Abhängigkeit einer ökologischen Schadschwelle von natürlichen und technischen Rahmenbedingungen wie z. B. einer Kombination aus Bodenart und Bodenfeuchte oder der statischen Auflast von Maschinen und Reisigmattestärken ist nicht eindeutig. Darüberhinaus ist die Zahl der möglichen relevanten Faktorenkombinationen sehr groß.

Als Faktoren zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Bodenschäden könnte man folgende Matrix mit je dreifacher Skalierung der einzelnen Faktoren zugrundelegen:

## Pedogene Faktoren

1. Bodenfeuchte (naß, frisch, trocken)
2. Primärkörnung (Ton, Lehm, Sand)
3. Skeletgehalt (steinfrei, skelettarm, skelettreich)
4. Mächtigkeit der organischen Auflage (0-5cm, 5-15cm, >15cm)
5. biogene Aggregation (niedrig, mittel, hoch)

## technische Faktoren

6. Gesamtgewicht (<5t, 5-15t, >15t)
7. Reisigmatte (<10cm, 10-25cm, >25cm)
8. Anzahl der Überfahrten (1-2, 2-5, >5)

Für die Entscheidung, ob eine Befahrung durchgeführt werden soll oder nicht, müßten in jedem individuellen Einzelfall  $8^3 = 512$  Faktorenkombinationen abgeprüft werden, dieses wohlgerne anhand einer sicherlich nicht vollständigen Liste von Einflußfaktoren und Merkmalsausprägungen.

Dies soll genügen, um zu zeigen, daß eine Definition einer ökologisch verträglichen Befahrbarkeit sowohl von den theoretischen Grundlagen als auch von der praktischen Umsetzung her nicht mit hinreichender Sicherheit und bei vertretbarem Aufwand (z.B. bei der Messung von Einflußfaktoren) möglich ist. So bleibt nur die Strategie der Vorsorge. Die Inanspruchnahme der Waldbodenfläche durch Befahrung mit Forstmaschinen muß durch Konzentration der Befahrung auf Rückegassen minimiert werden. Alle Möglichkeiten (Breitreifen, Reisigmatte etc.) zur Erhaltung der technischen Befahrbarkeit dieser Linien sind hilfreich. Nicht an Linien gebundene Befahrung der Waldfläche muß unterbunden werden, da die Regenerierung von befahrungsbedingten Bodenverformungen z.B. auf Schufflehmen viele Jahrzehnte dauern kann und sich die Befahrungsfolgen von nacheinander durchgeführten Hiebsmaßnahmen akkumulieren. Die Dichte des Rücketrassennetzes muß in erster Linie an technischen, standörtlichen und betrieblichen Möglichkeiten orientiert werden. Als „Anwalt des Bodens“ kann man dazu nur sagen, daß der Trassenabstand so weit wie möglich gewählt werden soll, um damit die Flächeninanspruchnahme so klein wie möglich zu halten.

Eine umfangreiche Literaturliste ist beim Autor erhältlich.

Autor:

K. v. Wilpert, Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Bodenkunde und Waldernährung, Wonnhaldestr. 4, 79100 Freiburg

## Physikalische Grundlagen

Zur vergleichenden Bewertung der Bodenbeeinflussung durch Reifen von selbstfahrenden Arbeitsmaschinen, bei denen Traktionskräfte von untergeordneter Bedeutung sind, ist der mittlere Kontaktflächendruck als erste, grobe Aussage geeignet.

Er wird durch die Beziehung

$$(1) \quad p_{km} = P/F$$

$p_{km}$  = mittl. Kontaktflächendruck

P = Radlast

F = Aufstandsfläche

errechnet.

Die Maßeinheit des Kontaktflächendruckes ist das  $N/m^2$  (PASCAL bzw. Kilopascal).

$1 N/m^2 = 1 Pa$

$1 kN/m^2 = 1 kPa$

$1 bar = 100 kPa$

Dieser Druck  $p_{km}$  ist im konkreten Falle abhängig von der Radlast, der Reifengröße, den Steifigkeitseigenschaften des Reifens, der Reifenprofilierung und den Bodentragwerten.

Wie kann man nun den mittleren Kontaktflächendruck im Rahmen der forstlichen Gebrauchswertprüfung ermitteln?

Die Messung der Radlast ist bei Vorhandensein geeigneter Radlastwagen relativ problemlos möglich. Die Radlast einer Maschine wird im wesentlichen von den Maschinenkennziffern Masse, Schwerpunktlage und Arbeitsposition (z.B. Auslageposition des Kranes bei Kranvollertern) bestimmt.

Problematisch ist allerdings die Ermittlung der Reifenaufstandsfläche. Sie hängt vom Reifendurchmesser, von der Reifenbreite, vom Reifennendruck, von der Reifenkonstruktion und natürlich vom Untergrund (Beton oder weicher Boden) ab. Im Interesse der Praktikabilität und Vergleichbarkeit werden Reifenaufstandsflächen im allgemeinen auf festem Untergrund gemessen.

Praktisch kann das für einen be-



Abb.1: Kontaktflächenabdrücke von Forstmaschinenreifen nach o.g. Verfahren.

stimmten Zustand an der Maschine so durchgeführt werden, daß man Einzelräder aushebt, die Laufflächen tuschiert, zwischen Aufstandsfläche und Reifen ein entsprechend großes Blatt Papier schiebt und das Rad wie-

der absenkt. Der Reifen zeichnet auf dem Papier einen Abdruck der Aufstandsfläche. Für weichen Boden ist dann die Umhüllende der abgedruckten Reifenstollen zu zeichnen. Die Fläche ist auszuplanmetrieren und kann für Berechnungen als grober Näherungswert verwendet werden.

Dieses Verfahren ist sehr aufwendig, gibt lediglich Auskunft über einen bestimmten Betriebszustand der Maschine und sprengt den im Rahmen der forstlichen Gebrauchswertprüfung zur Verfügung stehenden Zeitfond erheblich.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit einer pragmatischen Vorgehensweise mit entsprechenden Kompromissen.

## Möglichkeit einer formelmäßigen Entwicklung

Von Skogsarbeten (Skog Forsk) und anderen wurde die Formel

$$(2) \quad p_{km} = P / B \times R$$

$p_{km}$  = Bodendruck bei weichem Boden

P = Radlast

R = Rad-Radius

B = Reifenbreite

angegeben bzw. angewandt.

Diese Formel vernachlässigt die Reifenverformung und damit auch den Reifeninnendruck (sie gilt für einen definierten Boden mit einem bestimmten Reifeninnendruck sogar exakt). Sie bewertet den Einfluß von Reifenbreite und Reifendurchmesser proportional und kann grobe Vergleichszahlen in der richtigen Größenordnung liefern. Sie ermöglicht damit einen erheblich besseren Vergleich von Kontaktflächendrücken unterschiedlicher Maschinen, als das früher bei Zugrundelegung nur eines Parameters (Reifenbreite) möglich war.

Auf diese Weise werden zur Zeit Kontaktflächendrücke im Rahmen der FPA-Prüfung angegeben.

Von Rhenius u. Bolling wird für großvolumige Reifen bei niedrigem Druck die Beziehung

$$(3) \quad p_{km} = K + p_i$$

als Näherung angegeben.

Diese berücksichtigt den Reifennendruck  $p_i$  und die Reifensteifigkeit durch eine Konstante K, die für eine bestimmte Gruppe landwirtschaftlicher Reifen mit ca. 0,4 bar ermittelt wurde.

Für diese beiden Formeln gilt, daß sie Besonderheiten eines aktuellen Reifens nicht wiedergeben. Hier bleibt nur die Messung. Eine formelmäßige Ermittlung von  $p_{km}$  ist für jeweils eine Reifenklasse zu einem späteren Zeitpunkt nach experimenteller Absicherung für die Angabe in Prüfberichten denkbar.

## KWF-Workshop

### Der Kontaktflächendruck bei Forstmaschinen - eine wichtige ökologische Kennziffer zur Beurteilung der Bodenpfleglichkeit

Gerd Gerdsen u. Jochen Graupner

### Die bisher angewandten und die künftig praktizierten Methoden zur Bestimmung des Kontaktflächendruckes im Rahmen der FPA-Prüfung.

## KWF-Workshop

### Bewertung von Landwirtschaftsreifen nach agrotechnischen, ökologischen und technisch-energetischen Kriterien

Hartmut Döll

Auf experimenteller Grundlage werden die Wirkungen unterschiedlicher Reifenparameter und Einflußfaktoren auf die Bodenverdichtung, den Pflanzenstreß sowie ökologische und energetische Parameter systematisch untersucht.

### Derzeitige Praxis der FPA-Prüfung

Zur Zeit wird im Rahmen der FPA-Prüfung die Ermittlung des Kontaktflächendrucks nach Beziehung (2) vorgenommen. Dabei werden die Maschinenpositionen Geradeausfahrt (Transportstellung) und Arbeitsposition (Auslage des Kranes nach schräg vorne (45°, Maximalauslage und Auslage 4 m – als Vergleichsgröße) untersucht. Die auf diese Weise ermittelten Kontaktflächendrücke werden im Prüfbericht dargestellt und vergleichend bewertet.

Dabei gewonnene Kontaktflächendruckwerte liegen bei Tragschleppern und Kranvollertern im wesentlichen zwischen ca. 60 und 130 kPa. Diese Werte sind derzeit auch kompatibel zu den Untersuchungen von Dr. Matthies sowie den Arbeiten von Skogforsk.

### Experimentelle Ermittlung von $p_{km}$

Hier gibt es eine Reihe von Ansätzen, so auch das von mehreren Stellen favorisierte Sandbett als Bodentestsubstrat. Derartige Ansätze müssen schon aus Aufwands- und Vergleichbarkeitsgründen ausscheiden.

Stattdessen wurde sich für die Aufbringung von definierten Radlasten mit dem jeweils aktuellen Reifen bei unterschiedlichen Reifeninnendrücken auf einem Versuchsstand mit ebener, starrer Kontaktfläche entschieden.

Ein derartiger, auch zur Klärung von Festigkeitsproblemen (Seilendverbindungen, Fällheber usw.), einsetzbarer Versuchsstand wurde im

### Das Problem

Effektivität der Landbewirtschaftung und des Ackerbaus verlangt leistungsfähige Maschinen. Das ist meist mit hohen Radlasten (bis 12 t) verbunden. Durch Raddruck verursachte schädliche Bodenverdichtungen wirken negativ auf den Wasserhaushalt, Erosion und Ertrag.

Herkömmliche Methoden zur Untersuchung von fahrwerksbedingten Bodeneinflüssen sind sehr aufwendig. Die Heterogenität des Bodens und der Einfluß von Bodenart und -feuchte haben bisher nur zu begrenzten Aussagen zu geschaffenen Zuständen (Nachlaufforschung) geführt.

### Agrotechnische Reifenprüfung

Auf experimenteller Grundlage werden die Wirkung der Parameter von Reifen und anderen Fahrwerken (Reifen und Gleisbänder) sowie der Einflußfaktoren auf die Bodenverdichtung, den Pflanzenstreß und ökologische und energetische Parameter de-

Rahmen eines von der GEFFA-Stiftung geförderten Projektes gebaut und soll in Kürze erprobt werden.

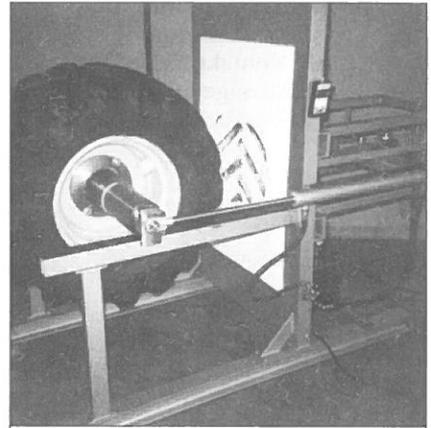


Abb. 2: Reifendruckprüfstand des KWF.

Als Ergebnisse sollen für die zu beurteilenden Reifen, der mittlere Kontaktflächendruck als Funktion der Radlast mit dem Reifeninnendruck als Parameter in einem Kennfeld zusammengestellt werden. Aus diesem können dann für beliebige Radlast-/Reifeninnendruckkombinationen der jeweilige Kontaktflächendruck abgelesen werden.

Damit entfallen auch weitere Messungen bei neu zu prüfenden Maschinen mit gleichen Reifen und auch für bereits geprüfte Maschinen kann bei bekannter Radlast der entsprechende Kontaktflächendruck nachträglich angegeben werden.

Gerd Gerdson und  
Jochen Graupner, KWF

tailliert und systematisch untersucht (bis 12 t Radlast). Alle Ergebnisse sind reproduzierbar.

Aus dem Ergebnis der Prüfung von über 80 Reifen läßt sich feststellen, daß landwirtschaftliche Trieb- und MPT-Reifen sehr unterschiedliche Eigenschaften beim Kontaktieren mit der Fahrbahn aufweisen. Neben allgemeinen Kriterien der agrotechnischen Qualität von Reifen (wie z. B. Kontaktfläche, mittlerer Kontakt- druck) werden wesentlich spezifischere Kriterien zur Beurteilung verfügbar gemacht. Als Schnittstelle für den Bezug zu Boden- und Pflanzenstreß sowie zu energetischen Aussagen dient die sensible Messung des Druckes in der Kontaktfläche.

### Druckverteilung in der Kontaktfläche

Gemessen werden die Verteilung von Druck- bzw. Last in der Kontaktfläche bis zu 12 t Radlast, Änderung der Seitenkontur und der Rollwiderstand bei

mindestens 3 bis 7 verschiedenen, dem Einsatz des Reifens entsprechenden Radlasten und bis zu 5 Varianten des Reifendruckes für Feld und Straßenfahrt.

### Pflanzenstreß

Die Druckverteilung in der Kontaktfläche ist der direkte Ausgangspunkt für die Bewertung des Pflanzenstresses sowie des Zugkraftverhaltens. Mit systematischer Untersuchung des druckbedingten Streßverhaltens von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen kann die zulässige Höhe des für die Pflanze verträglichen Druckes eindeutig bestimmt werden. Bisher konnten mit dieser Methode und der

### Deformationsverhalten des Reifens auf der Fahrbahn

Die Lastverteilung in der Kontaktfläche ist ein direkter Maßstab für das Deformationsverhalten von Reifen auf der Fahrbahn (Boden). Sichtbar gemacht wird vor allem der Einfluß des Reifeninnendruckes auf die Anpassung des Reifens an die Fahrbahn (Abb. 1). Außer der Reifenkonstruktion besitzt vor allem der Reifeninnendruck einen entscheidenden Einfluß auf die Lastverteilung im Spurquerschnitt und in der Länge der Aufstandsfläche. Eine Lastkonzentration in der Mitte des Reifens wirkt sich stark negativ aus, während eine Lastverlagerung nach außen bzw. nach

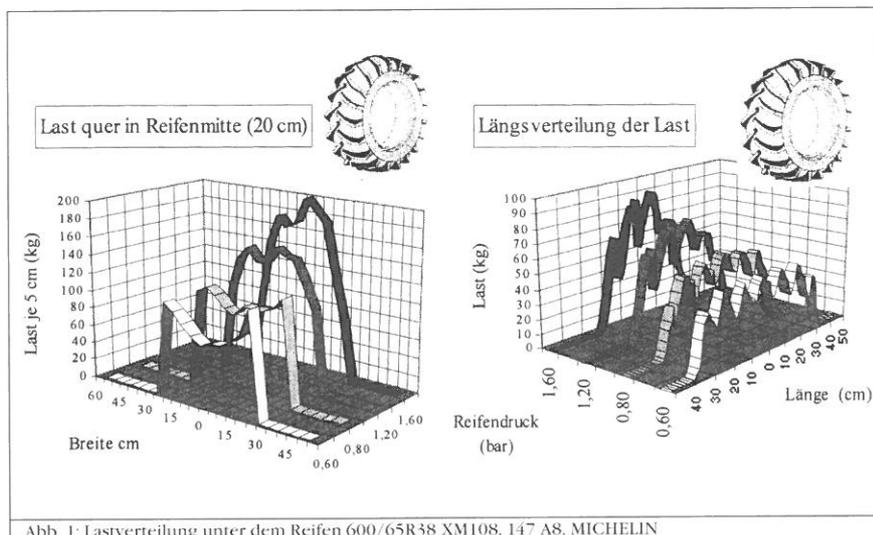


Abb. 1: Lastverteilung unter dem Reifen 600/65R38 XM108, 147 A8, MICHELIN

Praxisüberprüfung bei der Südzucker A. G. Empfehlungen für Fahrgassen und Anwendung von superbreiten Reifen im Zuckerrübenanbau erarbeitet werden.

Die forstwirtschaftliche Anwendung der Methode, z. B. zur Schädigung der Rindenschicht von Wurzeln bei Druckbelastung und zur Reifenauswahl, ist denkbar.

vorn und hinten positive Effekte auf die Bodenverdichtung zeigt.

### Druckzwiebel

Zum Bewerten der Bodenbelastung wird der Druckabbau im Boden (Druckzwiebel) unmittelbar aus der Druckverteilung in der Kontaktfläche rechnerisch ermittelt (Abb. 2). Sehr differenziert kann die Auswirkung

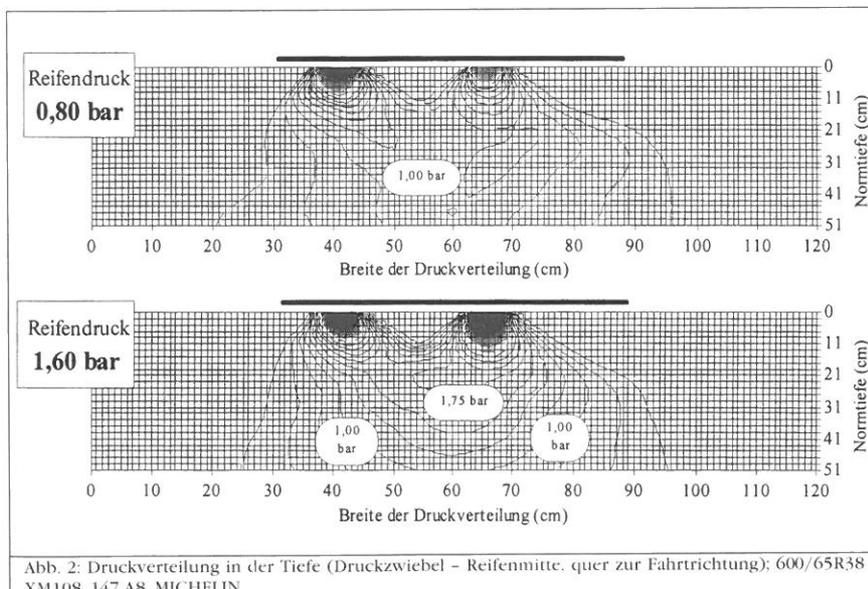
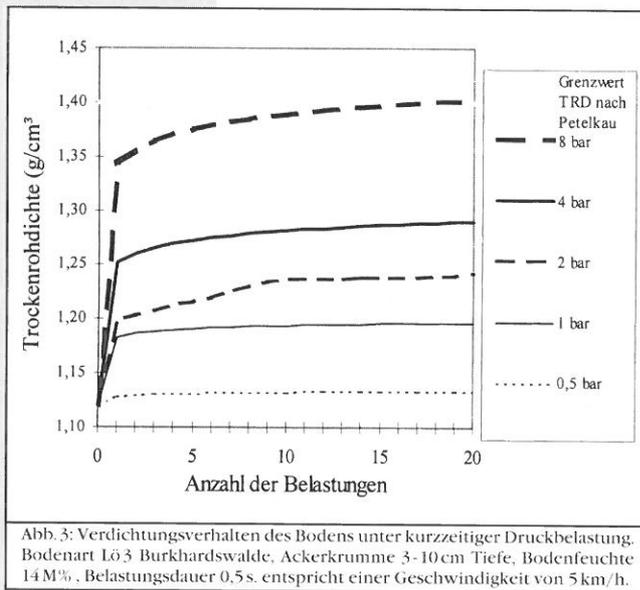


Abb. 2: Druckverteilung in der Tiefe (Druckzwiebel - Reifenmitte, quer zur Fahrtrichtung); 600/65R38 XM108, 147 A8, MICHELIN

der Änderung von Radlast und Reifeninnendruck entsprechend der unterschiedlichen Druckverteilung in der Kontaktfläche auf das druckgestreßte Bodenvolumen und die Tiefenwirkung sichtbar gemacht werden.

### Verdichtungsverhalten Boden

Für die Beurteilung des durch Druck gestreßten Bodenvolumens wird das Druckverhalten von natürlichen Ackerböden in Abhängigkeit von der Bodenart sowie dem Feuchte- und Strukturzustand untersucht. Die Zeitdauer des Druckimpulses, ein entscheidender technologischer Parameter der agrotechnischen Bewertung der Bodenverdichtung, kann gegen-



über dem langzeitlichen Setzungsverhalten von Böden aus der Baubranche auf 0,5 Sekunden minimiert werden. Das entspricht einer Feldfahrgeschwindigkeit von 5 km/h. Die Belastbarkeit von Böden bei verschiedenen Verfahren der Bodenbearbeitung kann differenziert nachgewiesen werden. Mit bekannten Zusammenhängen z. B. zwischen Bodenverdichtung und Ertrag, wird eine Trendvorhersage der positiven oder negativen Effekte des Befahrens möglich.

### Fazit

Mit der vorgestellten Methode läßt sich die fahrwerksbedingte Bodenbelastung bewerten und bietet für Landwirte die Möglichkeit, notwendige Maßnahmen zur schonenden Befahrung des Bodens einzuleiten. Mit der Kenntnis des zum Teil überragenden Einflusses hoher Bodenfeuchte auf das Verdichtungsverhalten der verschiedenen Bodenarten, kann der Land- und Forstwirt entsprechend der territorialen und der vom Wetter abhängigen Bedingungen das Risiko schädlicher Bodenverdichtungen einschätzen - oder besser - Maßnahmen

bei der Auswahl von Reifen, Maschinen und Technologien einleiten.

Für die Entwicklung von landwirtschaftlichen Reifen und Maschinen werden somit detaillierte Ergebnisse zur Produktentwicklung zur Verfügung gestellt.

Die Nutzung der Ergebnisse für die Kontrolle einer bodenschonenden Befahrung bei der Landbewirtschaftung (Landwirtschaft) wird in einem Pilotprojekt vorbereitet.

Der Bezug auf weitere bodenphysikalische Parameter und in Folge auf den agrotechnischen und ökologischen Effekt wird angestrebt.

### Leistungen der Projektgruppe Rad-Boden

#### - Atlas zum Druckverhalten von Ackerböden

Untersuchung des Verdichtungsverhalten von Ackerböden in Abhängigkeit von seinem Feuchte- und Strukturzustand, insbesondere unter dem Einfluß der kurzzeitigen Belastung, zur Einschätzung der Druckverträglichkeit des Bodens (Grundlage für die Risikoabschätzung der Bodenbelastung, für Kontroll- und förderpolitische Maßnahmen der bodenschonenden Befahrung von Ackerböden).

#### - Online-Reifenkatalog

Ergebnisse der Reifenprüfung nach vorgegebenen Radlasten und Reifendrüken des Herstellers

- herkömmliche Parameter wie Kontaktfläche, Kontaktdrücke u. a.
- Last- und Druckverteilung in der Kontaktfläche,
- Druckabbau im Boden (Druckzwiebel),
- Rollwiderstand, Zugkraft u. a. m.
- Einschätzung zum Deformationsverhalten und Anpassung an die Fahrbahn, zur Abschätzung des Risikos von Bodenverdichtungen mit agrotechnischen und ökologischen Folgewirkungen sowie der energetischen Aufwendungen

(Nutzung auch für die Kontrolle einer bodenschonenden Befahrung bei der Landbewirtschaftung).

#### - Praxisorientierte Erprobung

Konkrete Überprüfung der Einflußfaktoren der Fahrwerke von Traktoren und Landmaschinen auf den Boden- und Pflanzenstreß, auf den energetischen Aufwand (Rollwiderstand, Zugkraft/Schlupf) und die Fahrwerksmechanik (z. B. fahrwerksbezogenes Schwingungsverhalten) unter Praxisbedingungen.

Dr. agr. habil., Ing. Hartmut Döll  
Projektgruppe Rad-Boden,  
Agrarökologisches Institut e. V.  
Martin-Luther-Universität  
Halle-Wittenberg

### **Aus betriebsorganisatorischer Sicht** (Klaus Dietrich Arnold, niedersächsisches Forstamt Deister)

1. Da Bodenschäden zu Ertragseinbußen führen, ist ihre Vermeidung ein ganz wesentlicher betriebswirtschaftlicher Faktor.
2. Die Tatsache, daß durch Befahrung mit heute üblichen Forstmaschinen, sowohl auf der Gasse als auch außerhalb dieser, Bodenschäden entstehen, muß dem Praktiker auch heute noch ständig vor Augen gehalten werden, da er dies durch oberflächlichen Eindruck häufig nicht nachvollziehen kann.
3. Höherer technischer Aufwand des Unternehmers zur Vermeidung von Bodenschäden kann zu höheren Kosten führen.
4. Die forstliche Praxis kann z.Zt. bei der Vermeidung von Bodenschäden nur das einbringen, was bekannt ist, z.B. das Befahrungsgebot auf Rückegassen bei der hochmechanisierten Holzernte oder die Verwendung entsprechender Reifendrucke.
5. Durch Fortbildung können Maschineneinsatzleiter und Maschinenführer dazu gebracht werden, durch Verhaltensänderung Bodenschäden zu minimieren, z.B. durch Erteilung eines schriftlichen Arbeitsauftrages, den Tragschlepper mit angepaßter Last zu fahren oder bei entsprechender Wetterlage die Arbeiten einzustellen. Dazu gehört selbstverständlich die Tolerierung durch den Waldeigentümer.
6. Die Wissenschaft ist aufgerufen, verlässliche Daten über die Befahrungsgrenzen des Technikeinsatzes in der Forstwirtschaft zu liefern. Eine Forstwirtschaft ohne Technik erscheint aus heutiger Sicht nicht möglich. Insbesondere sollten auch Ergebnisse zur Sanierung befahrener Flächen auf natürlichem

Das Internet hat sich in kürzester Zeit im Alltag von vielen Menschen als Informationsquelle behaupten können. Mit wachsender Verbreitung und Akzeptanz werden die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten und Chancen, aber auch die möglichen Folgen und Risiken sogar für die Forstbranche zum Thema. Daher wird sich die kommende Interforst vom 8. bis 12. Juli 1998 auf dem Messegelände in München mit dem „Netz der Netze“ befassen.

Um den Fachbesuchern der INTERFORST 98 einen ebenso informativen wie unterhaltsamen Zugang zum Thema INTERNET zu ermöglichen, wird erstmals in Halle B6 im Rahmen der

Wege bzw. durch Einsatz technischer Mittel geliefert werden. Ergebnisse zur Regeneration bzw. Sanierung befahrener Flächen sollten einbezogen werden.

7. Das Ergebnis dieses Workshops könnte wie folgt aussehen:
  - a) Die in den Punkten 2. - 5. erwähnten Aspekte werden durch entsprechende Informationen durch das KWF an die Waldeigentümer weitergegeben (Presse FTI, etc.).
  - b) Die Wissenschaft wird gebeten in entsprechenden Projekten konkrete Ergebnisse, die zur späteren Ergänzung technischer Anweisungen dienen, zu erarbeiten.

### **Aus prüftechnischer Sicht**

(Jochen Graupner, KWF)

1. Der mittlere Kontaktflächendruck als zunächst wesentlichstes Kriterium der ökologischen Bewertung von Forstmaschinen ist im Rahmen der FPA-Prüfung zu ermitteln. Er ist weitestgehend kompatibel zum vorgestellten Projekt von Dr. Matthies.
  2. Der Kontaktflächendruck ist für charakteristische Betriebszustände der Maschinen darzustellen.
  3. Betriebliche und konstruktive Maßnahmen zur Kontaktflächendruckreduzierung (Maßnahmen zur Reifendruckreduzierung und dgl.) sollten kurzfristig in Prüfroutinen des KWF einbezogen werden.
- Möglichkeiten zur Verbesserung der Datenerhebung sowie Nutzung weiterer Kriterien zur Darstellung der Bodenschädigung (Untersuchung des Schlupfverhaltens, der übertragbaren Raddrehmomente, der dynamischen Radlasten und der Druckverteilung innerhalb der Kontaktfläche) sollten in Zusammenarbeit mit Dr. Döll längerfristig vorgesehen werden.

Forsttechnik-Sonderschau ein Internet-Café aufgebaut, das für alle Interessenten mehrfach täglich Schnupperkurse anbietet. Betreiber sind die Zentralstelle für Agrardokumentation (ZADI), in Bonn, das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) und die bayerische Landesforstverwaltung. In diesem INTERNET-Café können Besucher alle Fragen klären, die mit der Nutzung der Informationstechnik für die Forstwirtschaft zusammenhängen.

Genauso rasant wie die Zahl der INTERNET-Nutzer entwickelt sich die Fülle der Informationen im INTERNET. Insbesondere Universitäten, Forschungseinrichtungen und Behörden

### **KWF-Workshop**

## **Zusammenfassung der Workshopergebnisse**

### **EDV im Forst**

## **Forstwirtschaft im Internet – ein Thema der Interforst 98 in München**

**Die INTERFORST 98 bietet vom 8. bis 12. Juli im Internet-Cafe im Rahmen der Forsttechnik-Sonderschau in Halle B6 für alle Interessenten Schnupperkurse.**

nutzten bisher die Möglichkeit, auf Marktdaten, Termin- und Veranstaltungskalender per Netz zuzugreifen oder sich einfach auch nur selbst vorzustellen.

Zunehmend wird jedoch die traditionelle Nutzung im Forschungsbereich durch das Interesse kommerzieller Anbieter überlagert. Zahlreiche Forsttechnikhersteller präsentieren bereits ihre Produktpalette auf attraktiv gestalteten Web-Seiten. Eine noch größere Anzahl denkt nur noch über den passenden Einstiegstermin nach. Der Schwerpunkt all dieser Firmenseiten liegt zur Zeit noch beim Bereitstellen von Produktinformationen, d.h. in der Werbung. Die Präsenz im INTERNET bietet den Firmen - insbesondere aus dem forstlichen Versandhandel oder dem Bereich der Holzvermarktung - die Chance, einen ständig wachsenden Personenkreis zu erreichen und damit neue potentielle Kunden anzusprechen, die „online shopping“ gehen. Damit muß sich natürlich das Angebot künftig auch gegen eine wachsende Zahl von Mitbewerbern - gerade aus dem Ausland - bewähren, womit der Wettbewerb eine neue Dimension erhält.

Einem ständigen Wandel unterliegen aber nicht nur die Präsentationsformen und die Schwerpunkte des wachsenden Angebotes, sondern auch die Zusammensetzung und die Interessen der Nutzer. So entwickelt sich laut einer Umfrage von Fittkau & Maaß (Quelle: W3B Hamburg; <http://www.w3b.de>) das INTERNET mehr und mehr zu einem Medium für

Postanschrift D 6050 E Entgelt bezahlt  
Verlag:  
Fritz Nauth Erben und Philipp Nauth Erben  
Bonifaziusplatz 3, 55118 Mainz

alle. Es kommen Nutzer aus unterschiedlichsten Bevölkerungsgruppen hinzu, welche Online-Medien erst jetzt für sich entdecken. Diese Entwicklung wird sich, begünstigt durch den Preisverfall der Hardware und die Tatsache, daß insbesondere alle Kaufhäuser und selbst Discounter PCs mit serienmäßig installierter Zugangssoftware anbieten, sicher weiter verstärken.

Beide Trends, die wachsende Verbreitung in allen Bevölkerungsgruppen und die zunehmende Akzeptanz des INTERNET innerhalb des Geschäftsverkehrs, lassen die zunehmende Bedeutung des INTERNET auch in der Forstbranche als sicher annehmen; schon jetzt sind jedenfalls aktuelle Marktspiegel über Forstmaschinen, aktuelle Prüfergebnisse, das Forst-Softwareverzeichnis oder das für Anträge wichtige Merkblatt-Verzeichnis per Tastendruck über das INTERNET verfügbar. Die INTERFORST 98 wird vom 8. bis 12. Juli auf dem neuen Messegelände in München zeigen, wie groß der Nutzen des INTERNET für die Branchen der Forst- und Rundholztechnik bereits ist.

#### Termine

### SILVA REGINA

Internationale Forstfachmesse  
vom 5. - 9. April 98 in Brünn (CZ)

Vom 5.-9. April öffnet die SILVA REGINA auf dem Messegelände in Brünn ihre Pforten. Zeitgleich findet die Landtechnikmesse TECHAGRO und die Tierzuchtmesse ANIMAL VE-

TEX statt, so daß das Angebot der Gesamtveranstaltung den gesamten Agrarbereich abdeckt. Info:

Telefon: ++42 (0) 5 / 41 15 28 16  
Telefax: ++42 (0) 5 / 41 15 30 79

#### Personelles

### Wir gratulieren

Herrn Forstdirektor Gerhard Ruge, ehemaliger Leiter des Forstamtes Schleiden/Eifel der Arenberg-Schlei-

den GmbH und langjähriges KWF-Mitglied, zur Vollendung seines 70. Lebensjahres am 3. April 1998.

Mitteilungsblatt des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) e.V. (Herausgeber), Spremberger Straße 1, 64823 Groß-Umstadt · Schriftleitung: Dr. Reiner Hofmann, Telefon 060 78/785-31, KWF-Telefax 060 78/785-50 · e-mail: [kwf.info@t-online.de](mailto:kwf.info@t-online.de) · Redaktion: Dr. Klaus Dummel, Andreas Forbrig, Gerd Gerdson, Jochen Graupner, Jörg Hartfied, Joachim Morat, Dietmar Ruppert · „Forsttechnische Informationen“ Verlag: Fritz Nauth Erben und Philipp Nauth Erben, Bonifaziusplatz 3, 55118 Mainz, Telefon (061 31) 67 2006 + 61 16 59

Druck: Gebr. Nauth, 55118 Mainz, Telefax 061 31/67 04 20 · Erscheinungsweise monatlich · Bezugspreis jährlich im Inland incl. 7% MwSt. 43,- DM im voraus auf das Konto Nr. 20032 Sparkasse Mainz · Kündigungen bis 1. 10. jeden Jahres · Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlegers · Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Mainz · Einzel-Nr. DM 4,80 einschl. Porto.