D 20867 E

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

ISSN 0002-5852

INHALTSVERZEICHNIS

AUFSÄTZE

A. Treu und F. Hapla — Untersuchung der Qualität von Fichten- und Tannenklangholz 215
(Investigation on quality of spruce (*Picea abies* (L.) KARST.) and fir (*Abies alba* MILL.) resonance wood)

F. Gruber — Vergleichende Messergebnisse zur Identifizierung von Schadstellen im Fichtenholz (*Picea abies* L. KARST.) mit den Bohrmessgeräten Teredo, Resistograph 1410 und Impulshammer-Schallmesssystem.
I. Schallmessungen und Bohrdiagramme an intaktem Holz 223
(Comparing results to identify defects in wood of Norway spruce (*Picea abies* L. KARST.) using the drill devices Resistograph 1410, Teredo and Impulshammer-sound system IML.
I. Sound measurements and drill diagrams on wood without defects)

T. Gaertig, Ch. Puls, H. Schack-Kirchner und E. E. Hildebrand — Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten 227
(Assessment of soil deformation at forest soils – Relevance of field soil science deformation parameters to the actual soil aeration)

171. JAHRGANG 2000 HEFT 12 DEZEMBER

J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG · FRANKFURT AM MAIN

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

Unter Mitwirkung der
Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten
von Freiburg i. Br. und Göttingen

herausgegeben von

Dr. K.-R. Volz
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Freiburg i. Br.

Dr. Dr. h.c. H. Kramer
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Göttingen

ISSN 0002-5852

Erscheinungsweise: Jährlich 12 Hefte, bei Bedarf Doppelhefte (zweimonatlich).

Bezugspreis: Jährlich DM 258,– zuzüglich Zustellgebühr; Studenten und in Ausbildung befindliche Forstreferendare DM 198,40 (empf. Richtpreis). Preis der Einzelhefte je nach Umfang verschieden.

Bezug: Durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag. Das Abonnement gilt jeweils für einen Jahrgang. Es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlussheftes eines Jahrgangs eine Abbestellung erfolgt.

Manuskripte (es werden nur Erstarbeiten veröffentlicht) sind nach vorheriger Anfrage an die Herausgeber einzusenden. Für unverlangt eingegangene Manuskripte wird keine Gewähr übernommen. Rücksendung erfolgt nur, wenn Rückporto beiliegt.

Entsprechend dem international weit verbreiteten Review-Verfahren wird jeder Beitrag von zwei Fachgutachtern (vor allem Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten der Universitäten in Freiburg i. Br. und Göttingen) hinsichtlich Inhalt und Form geprüft.

Die Manuskripte sind möglichst auf Diskette und in dreifacher Ausfertigung einzureichen. Sie sollten 3 bis 4 (maximal 6 Druckseiten) umfassen. Hierbei entspricht eine Druckseite ungefähr 4 Schreibmaschinenseiten mit 30 Zeilen und 65 Anschlägen je Zeile. Neben einem möglichst kurz gehaltenen Titel der Arbeit sind bis zu maximal 10 Schlagwörter und key words anzugeben. Manuskripte mit Tabellen und Abbildungen werden nur angenommen, wenn die Tabellen-Überschriften und die Abbildungsunterschriften in deutscher und englischer Sprache abgefasst sind. Der Beitrag soll neben einer deutschen Zusammenfassung eine Zusammenfassung in englischer Sprache (Summary mit Title of the paper) enthalten. Die Übersetzung ins Französische (Résumé) erfolgt i. Allg. durch den Verlag.

Um unnötige Korrespondenz zu vermeiden, werden die Autoren gebeten, bei Abfassung ihres Manuskriptes eine neuere Ausgabe der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung sowie die beim Verlag und bei den Herausgebern erhältlichen „Hinweise für die Autoren" zu beachten.

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck – auch von Abbildungen –, Vervielfältigung auf photomechanischem oder ähnlichem Wege oder im Magnettonverfahren, Vortrag, Funk- und Fernsehsendung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – bleiben vorbehalten. Werden von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen einzelne Vervielfältigungsstücke im Rahmen des § 54 UrhG hergestellt und dienen diese gewerblichen Zwecken, ist dafür eine Vergütung gem. den gleichlautenden Gesamtverträgen zwischen der Verwertungsgesellschaft Wissenschaft GmbH, 60311 Frankfurt/Main, Großer Hirschgraben 17-21, und dem Bundesverband der Deutschen Industrie e. V., dem Gesamtverband der Versicherungswirtschaft e. V., dem Bundesverband deutscher Banken e. V., dem Deutschen Sparkassen- und Giroverband und dem Verband der Privaten Bausparkassen e. V., in die VG Wissenschaft zu entrichten. Die Vervielfältigungen sind mit einem Vermerk über die Quelle und den Vervielfältiger zu versehen. Erfolgt die Entrichtung der Gebühren durch Wertmarken der VG Wissenschaft, so ist für jedes vervielfältigte Blatt eine Marke im Wert von DM 0,40 zu verwenden.

Anzeigenannahme: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, D-60322 Frankfurt am Main.

Anzeigenpreis: Die 43 mm breite mm-Zeile DM 0,87. Für Geschäftsanzeigen gilt die Preisliste Nr. 8. Anfragen an Verlag erbeten.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, D-60322 Frankfurt am Main, Fernruf (069) 55 52 17, Telefax (069) 5 96 43 44. eMail: J.D.Sauerlaenders.Verlag@t-online.de

Bankkonten: Commerzbank, Frankfurt a. M. 5 408 075; Frankfurter Sparkasse (Girokonto 96 958); Postgirokonto: Frankfurt a. M. Nr. 896-607.

This journal is covered by ELFIS, EURECO, CAB Forestry Abstracts, Chemical Abstracts, by Current Contents Series Agriculture, Biology and Environmental Sciences (CC/AB) and by the Science Citation Index® (SCI®) of Institute for Scientific Information.

Die Anschriften der Herausgeber:

Prof. Dr. K.-R. Volz, Institut für Forstpolitik der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-79085 Freiburg

Prof. Dr. Dr. h. c. H. Kramer, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen, Büsgenweg 5, D-37077 Göttingen

Die Anschriften der Mitarbeiter von Heft 12 des 171. Jahrgangs sind:

Assessor des Forstdienstes Th. Gaertig, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-79098 Freiburg

Prof. Dr. F. Gruber, Forstbotanisches Institut der Universität Göttingen, Abteilung für Forstbotanik und Baumphysiologie, AG Dendrologie und Baumpflege, Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen

PD Dr. F. Hapla, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie der Universität Göttingen, Büsgenweg 4, D-37077 Göttingen

Prof. Dr. E. E. Hildebrand, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-79098 Freiburg

Forstreferendar Ch. Puls, Dorfstraße 36, D-17192 Alt Schönau

Akad. Rat Dr. H. Schack-Kirchner, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-79098 Freiburg

Dipl.-Forstwirt A. Treu, Institut für Holzbiologie und Holztechnologie der Universität Göttingen, Büsgenweg 4, D-37077 Göttingen

Übersetzung der Résumés,
soweit sie nicht von den Autoren zur Verfügung gestellt werden:

J. Maheut, 25 Av. du Gal Leclerc, F-54600 Villers-les-Nancy

Aufsätze der Allgem. Forst- und Jagdzeitung seit 1949 in einem exklusiven Recherche-Modul auf dieser CD von *EURECO:* 26.279 Publikationen, 930.000 Keywords, zweisprachige Recherche **Deutsch-Englisch, virtuelle Bibliothek, Ausdrucke und Datenport in Profiversion; ab 69,– DM. aid,** Konstantinstraße 124, Stichwort 'ÖKOWALD', D-53179 Bonn
http//:www.fh-rottenburgde/greenlink/oekowald/index.html

Untersuchung der Qualität von Fichten- und Tannenklangholz

Aus dem Institut für Holzbiologie und Holztechnologie der Universität Göttingen

(Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen)

Von A. TREU und F. HAPLA

(Angenommen August 2000)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Klangholz; Fichte; Tanne; Rohdichte; dynamischer Elastizitätsmodul.

Resonance wood; Picea abies; Abies alba; wood density; dyn. MOE.

1. EINLEITUNG

Das Klangholz, das auch als Tonholz oder Resonanzholz bezeichnet wird, findet seine Verwendung als Rohstoff für Musikinstrumente. Neben der Verwendung des Holzes für Blas- und Schlaginstrumente wird Klangholz auch als Rohstoff für Saiteninstrumente, wie z.B. Gitarren und Violinen sowie für Klavierresonanzböden benutzt. Dabei werden unterschiedliche Baumarten eingesetzt. Beim Bau von Saiteninstrumenten wird vor allem Holz der Baumarten Fichte (*Picea abies*), Weißtanne (*Abies alba*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) verarbeitet.

Das wertvolle Klangholz steht nur in geringen Mengen zur Verfügung. Die verlangten Wuchsmerkmale des Klangholzes, vor allem der gleichmäßige Jahrringaufbau und der geringe Spätholzanteil bei Fichte und Tanne, sowie das gesunde Holz mit ausgezeichneten Arteigenschaften[1]) weisen Fichten und Tannen vor allem aus Gebirgslagen auf. Die in der Literatur beschriebenen typischen Wuchsgebiete potentiell klangholzliefernder Baumindividuen sind in Deutschland fast ausschließlich die Höhenlagen der Alpen, des Bayerischen Waldes, des Fichtelgebirges, des Erzgebirges, des Thüringer Waldes, des Harzes und des Schwarzwaldes. Es gibt nur sehr wenig wissenschaftliche Untersuchungen zu diesem Thema. Die spärliche Literatur über Klangholz ist daher häufig geprägt von subjektiven Erfahrungen, traditionsgeformten Ansichten und Mythen.

In Deutschland, aber auch in ganz Europa, hebt sich die Fichte als Rohstoff zur Herstellung von Streich- und Zupfinstrumenten besonders hervor. Von langer Tradition begleitet fällt den Instrumentenherstellern auch heute noch die Substitution der Fichte durch andere Baumarten oder Werkstoffe schwer. Die Forstwirtschaft ist der Produzent der wertvollen Klangholzsortimente. Das seltene Fichtenklangholz macht aber nur einen sehr geringen Anteil des jährlichen Fichtenstammholzeinschlages aus.

In den kleinen Betrieben der Musikinstrumentenhersteller erfolgt die Bewertung der Qualität von Klangholz immer noch anhand von subjektiver Erfahrung mittels visueller Ansprache. Das Ziel dieser Untersuchung bestand darin, die Qualität von Fichten- und Tannenklangholz an ausgewählten Holzproben mit modernen zerstörungsfreien Methoden objektiv zu bewerten. Die dabei angewandten Messmethoden werden kritisch beurteilt. Weiterhin sollte das Klangholzvorkommen in Deutschland mittels einer Umfrage bei den Landesforstverwaltungen aufgezeigt werden.

[1]) Nach der Handelsklassensortierung (HKS) für die Güteklasse A beschrieben.

2. KLANGHOLZVORKOMMEN IN DEUTSCHLAND

Zur Erfassung von Daten über die Klangholzvorkommen in Deutschland diente eine Umfrage vom Dezember 1999 in Form eines Fragebogens, der an die zuständigen Ministerien der Bundesländer gesandt wurde (vgl. Tab. 1). Dabei sind Bundesländer, die keine Klangholzvorkommen erwarten lassen, wie z.B. Länder mit ausgeprägtem Flachland, in denen keine Mittelgebirgslagen vorkommen, nicht berücksichtigt worden. Befragt wurden die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen und Thüringen. Erfragt wurden Angaben über Klangholz der Baumarten Ahorn, Fichte, Tanne und deren Mengen in m^3/Jahr, sofern sie zahlenmäßig vorlagen.

Die Voraussetzung der datenmäßigen Erfassung von Klanghölzern in den zuständigen Ministerien war nur bei wenigen Bundesländern gegeben. Daher liegt die Menge der vorkommenden und potentiell verwendbaren Hölzer sicherlich höher. Dies erscheint plausibel, wenn man bedenkt, dass einige Klangholzvorkommen in den Nationalparks Deutschlands zu erwarten sind, wie z.B. im Nationalpark Hochharz, in denen keine Bewirtschaftung erlaubt ist und wenn man desweiteren berücksichtigt, dass Klangholz als solches teilweise nicht erfaßt wird, sondern mit unbekannter Verwendung als Wertholz verkauft wird.

Insgesamt kann man jedoch von einer geringen Menge des Klangholzes und somit von einer geringen wirtschaftlichen Bedeutung des Klangholzmarktes ausgehen (vgl. Tab. 1). Nur die Landesforstverwaltungen der Länder Bayern und Sachsen konnten genaue Angaben dazu machen. So wurde eine jährliche Menge an insgesamt veräußertem Klangholz in Deutschland für Fichte mit ca. 100 m^3 und für Bergahorn mit ca. 30 m^3 genannt. Entgegen diesen geringen Zahlen gibt es für das Jahr 1975 Mengenangaben von Klangholzhändlern, die allein für das Gebiet des Bayerischen Waldes von einem Mengenanfall an Klangholz von 500 m^3/Jahr bis 1500 m^3/Jahr berichten (DORSCH, 1975). Genauere Angaben über die Klangholzvorkommen in Deutschland wären sicherlich über die Holzverwendung der Instrumentenbauer zu ermitteln.

Bei den Landesforstverwaltungen der Länder Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Saarland sind Klangholzvorkommen nicht bekannt.

3. METHODEN

Zur Bestimmung physikalischer und akustischer Holzeigenschaften sind Methoden erforderlich, die es ermöglichen, durch einfache und genaue, aber vor allem durch zerstörungsfreie Messungen Aussagen über Klangholzqualitäten zu treffen. Es werden hier vor allem Methoden zur Messung der Schallgeschwindigkeit im Holz, des dynamischen Elastizitätsmoduls und der Schwingungseigenschaften der zu untersuchenden Holzproben beschrieben.

3.1. Visuelle Einschätzung der Qualität von Klangholz

Bei der Auswahl des Klangholzes stellt man hohe, zum Teil sehr hohe Ansprüche an die Qualität des Holzes. Das Klangholz zeichnet sich durch einen relativ kleinen Toleranzbereich der akzeptierbaren Wuchsmerkmale aus. Die hohen Ansprüche an die Qualität

Tab. 1

Ergebnisse der Umfrage über Klangholzvorkommen in Deutschland (Dezember 1999)

Results of an inquiry of resonance wood resources in Germany (december 1999)

Landesforstverwaltungen	Klangholzvorkommen	Bemerkungen
Baden-Württemberg Ministerium Ländlicher Raum	werden nicht erfasst	Vorkommen sind für den Schwarzwald bekannt*)
Bayern Bayerisches Staatministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	Forstdirektion Oberfranken: Fichte 5 m^3/Jahr bis 10 m^3/Jahr Forstdirektion Oberbayern: Fichte ~ 20 m^3/Jahr Bergahorn ~ 20 m^3/Jahr	dokumentiert für die Fichtelgebirgsforstämter Selb und Weißenstadt
Niedersachsen Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	werden nicht erfasst	Vorkommen für den Harz bekannt**)
Sachsen Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft	Fichte 60 m^3/Jahr bis 80 m^3/Jahr Bergahorn ~ 10 m^3/Jahr	dokumentiert für die Forstämter Klingenthal und Schönheide
Thüringen Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt	werden nicht erfasst	Vorkommen für den Thüringer Wald bekannt***)

*) Nachfrage bei einigen Forstämtern des Hochschwarzwaldes
**) Nachfrage bei einigen Forstämtern des Harzes
***) Nachfrage bei der Landesforstdirektion in Oberhof

des Holzes erfüllen nur wenige, meist vereinzelt vorkommende Baumindividuen. Zur Beurteilung des Holzes wird dabei auf die Jahrringstruktur und die Wuchsmerkmale, die mit den physikalischen und akustischen Eigenschaften des Materials korrelieren, ebenso geachtet wie auf ästhetische Aspekte, wie z.B. auf Holzart, Farbe des Holzes, Jahrringaufbau und Holzstruktur. So beschreibt ILLE (1975) als Kriterium für die Klangholztauglichkeit von Fichtenholz die Jahrringstruktur als feinringig mit regelmäßigem Wuchs und geringem Spätholzanteil. Desweiteren soll das Holz ast- und fehlerfrei und von geringem spezifischen Gewicht sein. ZIEGER (1960) erwähnt darüber hinaus die Exzentrizität des Stammes als Ausschlussmerkmal, da Markverlagerung fast immer mit Druckholzbildung einhergeht und Druckholz in stärkerem Ausmaß für eine Verwendung als Klangholz nicht akzeptiert werden kann. Außerdem ist bei der Ansprache der Farbe des Holzes weißes oder gelbliches Holz dem rötlichen Holz vorzuziehen, da letzteres auf schweres Holz schließen läßt. THREN (1996) fasst bei der visuellen Klassifizierung Äste, Harzgallen, Druckholzzonen und Risse als Ausschlusskriterien zusammen.

Nach PASCOVICI (1938) erkennt ein Fachmann resonanzholzliefernde Fichten schon am Habitus. Dazu zählen ein dicker, zylindrischer, gerader und auf wenigstens 5 m bis 6 m astfreier Stamm, sowie eine schüttere, symmetrische Krone. Der Baum sollte senkrecht stehen, im Stammquerschnitt nicht elliptisch sein und keinen oder nur geringen Drehwuchs aufweisen. Zur Qualitätsansprache aufgrund des Gesamthabitus gehört nach ZIEGER (1960) auch die Beschreibung der Stellung der Äste 1. Ordnung. Diese zeigen bei klangholztauglichen Fichten einen Verlauf zum Stamm „schräg nach unten" und weisen auf eine geringere Druckfestigkeit und somit auf eine geringere Rohdichte des Holzes hin. Nach RAJCAN (1998) sollte die Rinde der Fichte kleinschuppig abblättern und von grauer Farbe sein. HOLZ (1984) weist darauf hin, dass mit zunehmendem Harzgehalt auch der dynamische Elastizitätsmodul geringfügig abnimmt. Eine noch stärkere Abnahme des dyn. E-Moduls bewirken schon geringe Astanteile im Holz. So senkt ein Astanteil von 5% den dyn. E-Modul um fast die Hälfte und verursacht Schalldispersionen.

In der Praxis geschieht die Auswahl und Bewertung des Klangholzes meist subjektiv durch eine rein visuelle Sortierung. In manchen Fällen wird zusätzlich eine ebenfalls subjektive Ansprache des Holzklangs durch Anklopfen des Stammes (Sappeltonprobe) oder des schon zugeschnittenen Brettes durchgeführt. Schon im 17. Jhdt. wurde Klangholz nach dem Prinzip der Sappeltonprobe ausgewählt. Italienische Geigenbauer, wie z.B. der berühmte Tiroler Geigenbauer JACOB STEINER (1621 bis 1683), der Schüler von AMATI in Cremona war, machten die Qualität des Holzes an dem Klang fest, den die Stämme beim Abgleiten in der Riese[2]) ergaben. Man bezeichnete die klingenden Stämme als cantori (= Sänger).

Bei der Qualitätsauswahl an schon zugeschnittenen Platten ist ebenfalls ein geschultes Tonempfinden wichtig. Zur Art der Durchführung des Klopftests bei der Auswahl von Fichtenplatten für die Herstellung von Violinen sagt JANSSON (1994): „Halten Sie die Violinplatte locker an einer der Schwingungsknotenlinien[3]) und klopfen Sie auf die nächste Gegenknotenlinie. Nur Daumen und Zeigefinger der einen Hand zum Festhalten und der Knöchel der anderen Hand (im Augenblick des Klopfens) dürfen die Platte berühren". Dabei sind Tradition und Erfahrung der Klangholzhändler und Instrumentenbauer wichtige Maßstäbe zur Beurteilung von Klanghölzern. Messbare, objektive physikalische und akustische Eigenschaften spielen daher in der Praxis noch keine wesentliche Rolle, was sicherlich damit zusammenhängt, dass ein großer Teil

[2]) Konstruktion, die zum Herabgleitenlassen der gefällten Baumstämme in Gebirgslagen diente.
[3]) Bereich einer schwingenden Platte, der sich durch eine geringe Schwingungsamplitude auszeichnet.

der Herstellung von Musikinstrumenten in den Bereich des künstlerischen Handwerks fällt, welches über Jahrhunderte hinweg durch Tradition und Weitergabe von Erfahrungswerten, z.B. bei der Auswahl des geeigneten Materials, bei der handwerklichen Verarbeitung bis hin zur Fertigstellung eines Musikinstrumentes, geprägt war. Im Zuge der Serienfertigung von Musikinstrumenten in Instrumentenfabriken könnten aber auch objektive Methoden wie z.B. Frequenzmessung, Holographische Interferometrie, Lucchimeter-Messung u.a. bei der Qualitätsbeurteilung interessant sein. Dabei spielen vor allem die Dehn- oder Biegewellengeschwindigkeit im Holz, der dynamische Elastizitätsmodul, die Schalldämpfung und die Rohdichte des Materials eine Rolle.

Aufgrund der Anisotropie des Holzes als Rohstoff und Hauptbestandteil der Saiteninstrumente, der verschiedenen Verarbeitungsmethoden der Instrumentenhersteller und der individuell unterschiedlichen Klangwahrnehmung des fertigen Instrumentes durch den Zuhörer lassen sich keine exakten und eindeutigen Voraussagen über die Beziehung zwischen Qualität des zu verarbeitenden Rohholzes und der Qualität des Endproduktes machen. Man kann aber dennoch für einige Eigenschaften des Klangholzes und des fertigen Produktes Wertebereiche angeben, welche die unterschiedlichen Qualitätsklassen voneinander abgrenzen.

3.2. Stammdimensionen und Sortierung des Holzes

Die knappe Verfügbarkeit von Klangholz zur Herstellung von Musikinstrumenten ist nicht nur bedingt durch den hohen Anspruch an die Qualität des Holzes, sondern auch durch die geforderten Stammdimensionen, die zur Herstellung dieser Klangholzprodukte nötig sind. Je nach Produkt (Klavierresonanzboden, Violine oder Gitarre) sind auch die benötigten Stammdurchmesser verschieden. Für den Bau einer Violine benötigt man beispielsweise zwei 12 cm breite Fichtenplatten für die Korpusdecke. Da alle Resonanzhölzer im Radialschnitt mit stehenden Jahrringen aus Viertelhölzern erzeugt werden, muss der Stammdurchmesser, bei einem angenommenen klangholzuntauglichen „Kern" von 16 cm Durchmesser, mindestens 40 cm betragen (ZIEGER, 1960). Beim Bau einer Gitarre werden zwei 25 cm breite und ca. 50 cm lange Deckenbrettchen benötigt (Stammdurchmesser 50 cm und mehr). Nach DORSCH (1975) kann man aus einem Kubikmeter Schnittware ca. 350 Gitarrendecken herstellen. Zur Herstellung von Resonanzböden für Klaviere benötigt man zwar nur 6,5 cm breite und dafür aber 300 cm und längere Bretter, die dann aneinandergeleimt werden.

Aufgrund der auf die Mittelgebirge beschränkten Vorkommen der klangholzliefernden Baumbestände und der daraus resultierenden geringen Verarbeitungsmenge von Klangholz gibt es in der Bundesrepublik Deutschland keine allgemeine Sortiervorschrift für Klanghölzer. Im Gegensatz zur Bundesrepublik Deutschland gab es in der „Deutschen Demokratischen Republik" eine Sortiervorschrift für Klangholz, Klaviaturholz, Resonanzholz und Rippenholz (TGL 42405, 1985 und TGL 15799/12, 1982). Danach wurden die Baumarten *Picea abies, Abies alba, Pseudotsuga menziesii, Acer pseudoplatanus* und *Acer platanoides* anhand der Merkmale Äste, Jahrringbau, Farbe, Druckholz, Drehwuchs, Krümmung, Kernrisse, Kernfäule, Bohrlöcher, Stammtrockenheit, äußerlich erkennbarer Fremdkörper und ihrer Abmessungen verschiedenen Güteklassen zugeordnet.

Nach DORSCH (1975) wird Fichten- und Tannenklangholz im Bayerischen Wald in die Güteklasse A aufgenommen und entsprechend der Ergänzung zur HKS als Stammwerkholz ausgehalten. Als Stammwerkholz bezeichnet man nach einer Empfehlung des Holzmarktausschusses des Deutschen Forstwirtschaftsrates zur einheitlichen Anwendung der Sortierungsbestimmungen Fichten- und Tannenstammholz, das zum Musikinstrumentenbau und zur Herstellung von verschiedenen Holzwaren geeignet ist. Die stammwerkholztauglichen Stämme können desweiteren in Qualitätsklassen von W1 bis W3 unterteilt werden. Die Stämme sollen einen Mittendurchmesser von nicht weniger als 35 cm aufweisen, was bei den geringen Zuwächsen der Baumindividuen der Gebirgsregionen und den damit einhergehenden engen Jahrringen bedeutet, dass geeignete Bestände mindestens 140 Jahre alt sein müssen.

3.3. Objektive Methoden zur Messung der Qualität von Klangholz

Die Auswahl und Sortierung von Klangholz ist nicht nur durch Erfahrungswerte und subjektive Entscheidungskriterien möglich, sondern auch durch objektive physikalische und akustische Messmethoden. Einerseits ist es nicht möglich, ästhetische Vorstellungen, wie z.B. Schönheit des Instrumentes, und klangliche Vorstellungen der Kunden genau zu messen. Andererseits basieren die teilweise unterschiedlichen, herrschenden und subjektiven Vorstellungen über Kriterien einer guten Klangholzauswahl auf holzanatomischen Voraussetzungen, die messbar sind und für die zumindest ein Wertebereich angegeben werden kann.

Nach messbaren Kriterien könnte aber beispielsweise Holz zur Herstellung von Musikinstrumenten aufgrund von guten akustischen Eigenschaften ausgewählt werden, das jedoch nach einer rein subjektiven Beurteilung eines Instrumentenbauers oder Klangholzhändlers herausfallen und keine Verwendung finden würde. Davon betroffen sind beispielsweise Hölzer, die den ästhetischen Ansprüchen nicht genügen, ansonsten aber aufgrund von Messungen der Rohdichte, des dynamischen E-Moduls, der Schallgeschwindigkeit, der Eigenfrequenz und der Schalldämpfung gutes Klangholz liefern würden. Genauso dürfte es sich mit der Substitution der traditionell verwendeten Hölzer verhalten. Diese wird sicherlich erschwert durch die relativ stark konservativen ästhetischen und klanglichen Ansprüche des Musikinstrumentenbaus. Daher hat sich beispielsweise beim Bau von Violinen die Verwendung der Holzarten Fichte für die Decke und Ahorn für den Boden des Instrumentes über Jahrhunderte bis heute behaupten können.

Die Kenntnis messbarer Größen kann dazu beitragen, die Ausbeute der bekannten Klangholzvorkommen zu maximieren und eventuell neue Rohstoffquellen zu erschließen.

3.3.1. Lucchimeter-Messung

Das Lucchimeter oder „Elasticity tester" (Mod. PC.91) von G. LUCCHI (Cremona, Italien) dient neben der Bestimmung des dyn. E-Moduls zur Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Longitudinalwellen, also von *Dehnwellenlaufzeiten* im Holz. Gemessen wird mit Hilfe von Schallimpulsen im Ultraschallbereich bei einer Frequenz von 150 kHz. Zur Messung der *Dehnwellengeschwindigkeit* werden zunächst die Daten der *Rohdichte* (in g/cm^3) des zu untersuchenden Materials und seine Länge bzw. die zu messende Strecke (in cm) am Gerät durch Tastendruck eingegeben. Die zu untersuchende Holzprobe wird zwischen Sender- und Empfängerelektrode gepresst. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der *Dehnwellen* wird am Display angezeigt und im PC gespeichert. Somit ist es leicht möglich, für jede Holzprobe mehrere Messungen durchzuführen. Für jede gemessene Holzprobe können später Maximum-, Minimum- und Mittelwert abgelesen und bis zu 200 Werte gespeichert werden. Abbildung 1 zeigt das Lucchimeter-Gerät mit einem zu messenden Fichtenholzstab und einem angeschlossenen Laptop. Sender- und Empfängerelektrode müssen von Hand an den Holzstab gepresst werden.

Wiederholungen der Messungen sind notwendig, da sich die direkt ablesbaren Werte für die *Dehnwellengeschwindigkeit* je nach ausgeübtem Druck der Elektroden auf die Holzprobe relativ stark verändern. Desweiteren kann es bei der Messung zu Fehlern durch unebene oder ungenau gearbeitete Kontaktflächen der Holzprobe

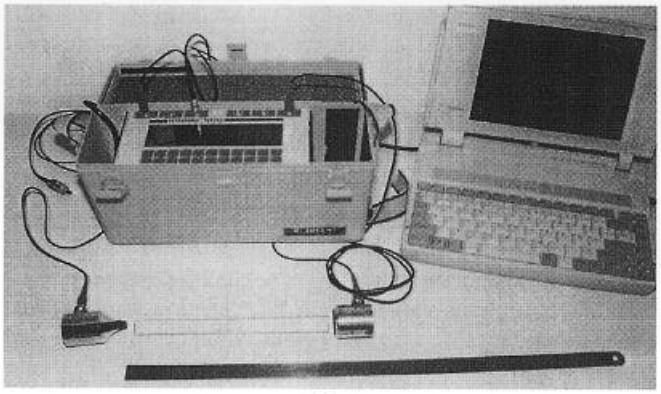


Abb. 1
Lucchimeter (Mod. PC. 91) mit Holzprüfkörper und angeschlossenem Laptop
Elasticity tester with wood sample and connected laptop

mit den Elektroden kommen. Insgesamt bekommt man durch die Messung der *Dehnwellengeschwindigkeit* mit Hilfe von Ultraschallimpulsen systematisch höhere Werte als beispielsweise durch die *Frequenzmessung* im hörbaren Frequenzbereich (BUCUR, 1995).

Mit der Lucchimeter-Messung lassen sich keine Aussagen über die zur Klangabstrahlung erforderlichen *Biegewellen* treffen, sondern lediglich Werte für die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Dehnwellen in verschiedenen Richtungen des Holzes ermitteln. Die Vorteile des Lucchimeters sind seine leichte Handhabung und Bedienung, seine Transportabilität, seine Verbindungsmöglichkeit mit einem PC oder Laptop sowie die relativ schnelle Erhebung von Daten. Die Nachteile liegen in der relativen Ungenauigkeit der erzielten Messwerte. Einerseits sind dies die systematisch höheren Werte für den dyn. E-Modul aufgrund der Ultraschallmessung, andererseits ist es die große Streuung der gemessenen Werte aufgrund der manuellen Messmethode.

3.3.2. Impulshammer-Klopfmethode

Die Impulshammer-Klopfmethode findet ihre Anwendung in der Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Rohholzplatten oder fertigen Instrumenten. Im Folgenden wird nur auf die Untersuchung des Schwingungsverhaltens von *Rohholzplatten* zur Herstellung von Gitarrendecken eingegangen. Die zu untersuchenden *Rohholzplatten* werden in Längsrichtung in einem reflexionsarmen Raum aufgehängt. Mit einem Impulshammer (PCB 086 B 01) wird die aufgehängte *Rohholzplatte* an einem festgelegten Punkt angeschlagen und somit zur Schwingung angeregt. Der Anregungspunkt befindet sich 220 mm vom unteren und 70 mm vom rechten Plattenrand entfernt. Der im Hammerkopf integrierte Kraftaufnehmer und seine Verbindung zum Rechner gewährleisten einen relativ zur Schwingung der Platte gleichen Anschlagsimpuls. Die Schwingung der angeklopften Platte bzw. ihr „Klang" wird 4,5 cm hinter der Platte in Höhe des Anschlagspunktes mit einem Mikrofon (Gefell MK 102/MV 102) aufgenommen.

Es werden 10 Anschläge am beschriebenen Punkt pro Platte durchgeführt. Das arithmetische Mittel der Anschläge ergibt das Messergebnis für jede Platte. Durch einen im Messraum befindlichen Bildschirm kann der Messende die Übertragungskurve des Klopfklanges und das Abklingverhalten der Platte sowie die Kohärenzkurve der Anschlagsstärke für jede einzelne Klopfung kontrollieren. Ermittelt wird u.a. das Klopfspektrum jeder *Rohholzplatte*, d.h. die Stärke des Schwingungsausschlages der Platte für die untersuchten Frequenzen. Man betrachtet die Übertragungsfunktion/dB Schalldruck in einem Frequenzbereich von 0 Hz bis 1000 Hz, wobei 1000 Hz (1 kHz) ungefähr dem höchsten spielbaren Ton auf einer Gitarre, dem c 3, entspricht.

Abbildung 2 zeigt ein Klopfspektrum einer Fichtenplatte (Probe-Nr. 1931) aus dem Schwarzwald, das durch die Impulshammer-Klopfmethode ermittelt wurde.

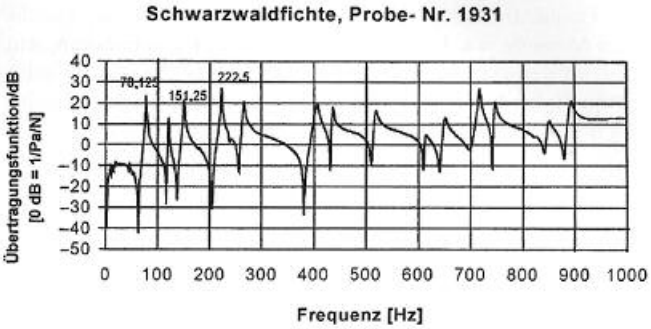


Abb. 2
Klangspektrum einer Gitarren-Rohholzplatte
Sound spectrum of a guitar-wood panel

Die Schwingung der Fichtenplatte bzw. ihr *Klopfklangspektrum* ist für den Frequenzbereich von 0 Hz bis 1000 Hz graphisch dargestellt. Die höchsten Peaks des *Klopfklangspektrums* können bestimmten *Moden*, den Eigenschwingungen der Platte, zugeordnet werden. In Abbildung 2 befindet sich der erste Eigenmode (*Mode 2.0*) der Fichtenplatte bei einer Frequenz von etwa 78 Hz.

Die Holzplatten weisen bei bestimmten Frequenzen Eigenschwingungen auf. Diese unterschiedlichen, frequenzabhängigen Eigenschwingungen einer Platte unterscheiden sich dadurch, dass sie eine schwingende Platte in verschiedene Richtungen durch eine unterschiedliche Anzahl sogenannter Knotenlinien unterteilen. Die Knotenlinien sind die bei einer Schwingung der Platte in Ruhe befindlichen Linien. Diese Linien lassen sich nachweisen, indem man feinen Sand o.ä. Materialien auf eine Platte streut und diese zum Schwingen bringt. Bei einer bestimmten Schwingung der Platte werden die Sandkörner sich auf der Platte bewegen und in den Bereichen der Platte liegen bleiben, die keine Schwingungsamplitude aufweisen. Es entstehen „Bilder", die nach CHLADNI (1756 bis 1827) als „CHLADNI-Figuren" bezeichnet werden. Abbildung 3 zeigt eine solche „CHLADNI-Figur" auf einer Violindecke, die durch einen Lautsprecher zum Schwingen angeregt wurde. Die in diesem Fall verwendeten Tee-Partikel bleiben in den schwingungsarmen Knotenlinien liegen.

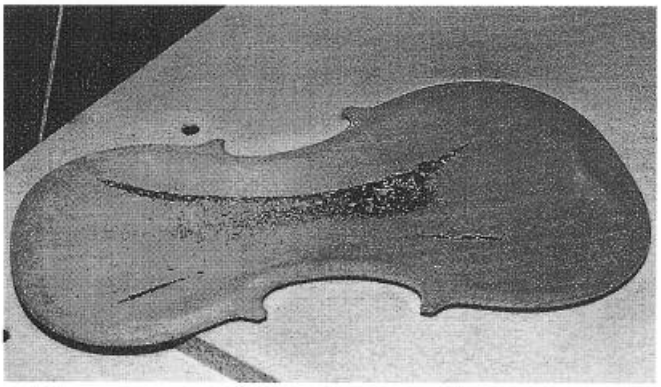


Abb. 3
„Chladni-Figur" auf einer Violindecke (Fichtenholz)
„Chladni-figure" on top-plate of a violin (spruce wood)

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE

Ziel der Messungen an Rohholzplatten der verschiedenen Baumarten aus unterschiedlichen Wuchsgebieten war es, einerseits ihre Klangholztauglichkeit sowie die Möglichkeit ihrer gegenseitigen Substitution zu untersuchen, andererseits sollten objektive Qualitätsbeurteilungen mit Hilfe der Lucchimeter-Messung und der Impulshammer-Klopfmethode mit einer subjektiven visuellen Qualitätseinschätzung der Rohholzplatten verglichen werden.

4.1. Untersuchungsmaterial

Als Untersuchungsmaterial dienten Rohholzplatten mit den Abmessungen 540 mm • 200 mm • 40 mm zur Herstellung von Gitarrendecken. Dabei wurden die im Radialschnitt aufeinanderfolgenden Holzplatten, die als Rohholzplattenpaar oder auch als „Geschwister" bezeichnet werden, für die Herstellung einer Gitarrendecke benötigt.

Die untersuchten Proben unterschieden sich hinsichtlich der *Baumart*, der *Herkunft*, der *Rohdichte* und des *Gewichts* voneinander. Die Proben wurden nach ihrer Trocknung 4 Wochen im Klimaraum auf 8% Holzfeuchtigkeit konditioniert. Es wurden insgesamt 40 *Gitarrenrohholzplatten* bzw. 20 Plattenpaare untersucht. Es standen für die Untersuchung von Fichten-Klangholz 26 *Rohholzplatten* aus zwei unterschiedlichen Wuchsgebieten (Schwarzwald und Vogtland) zur Verfügung. Für die Untersuchung von Tannen-Klangholz standen 10 *Rohholzplatten* aus dem Schwarzwald und für eine Untersuchung von *Thuja*-Klangholz (*Thuja plicata*) nur 4 *Rohholzplatten* zur Verfügung. Einige der *Rohdichtewerte* für Fichtenplatten aus dem Schwarzwald und aus dem Vogtland lagen außerhalb des von KLUCK (1999) vorgegebenen *Rohdichtebereiches* (0,38 g/cm^3 bis 0,45 g/cm^3) für Fichtenklangholz.

Die Fichten- und Tannenplatten aus dem Schwarzwald stammten aus einem Einschlag des Forstamtes Schluchsee in Baden-Württemberg (THREN, 1995). Die Fichtenplatten aus dem Vogtland (Sachsen) wurden im Forstamt Klingenthal/Mühlleithen eingeschlagen. Es konnten keine näheren Angaben über das Herkunftsgebiet der *Thuja*platten gemacht werden.

Um die *Rohdichte* des Holzes bestimmen zu können, muss sowohl das *Gewicht*, als auch das *Volumen* des geprüften Holzkörpers bei einer bestimmten *Holzfeuchtigkeit* (u) ermittelt werden. Das *Gewicht* wurde durch Wiegen (± 1 g) ermittelt und die *Volumenbestimmung* erfolgte stereometrisch bei einer *Holzfeuchte* von u = 8%. Alle untersuchten Proben wurden durch das Institut für Musikinstrumentenbau (Zwota)[4]) bereitgestellt, wo auch die folgenden Untersuchungen durchgeführt wurden.

4.2. Visuelle Qualitätseinschätzung der Rohholzplatten

Auf der Grundlage der subjektiven und objektiven Kriterien für eine Qualitätsbeurteilung von Klangholz wurden die 40 *Rohholzplatten* zunächst visuell nach ihrer Güte eingeschätzt und mit Noten bewertet. Besonders die *Wuchsmerkmale, Jahrringstruktur, Reaktionsholz, Astigkeit* und *Faserverlauf* wurden bei den schon zugeschnittenen Platten beurteilt. Keine der Platten wies Äste oder gar Astlöcher auf. Vor allem *Jahrringstruktur* und *Reaktionsholzbildung* waren die häufigsten Merkmale, die nach der Sichtklassifizierung zu einer Güteeinschätzung der *Rohholzplatten* von geringer Qualität führten.

4.3. Anwendung der Impulshammer-Klopfmethode

Die Impulshammer-Klopfmethode dient der Bestimmung der elastomechanischen Eigenschaften von Holzplatten. Für ein mechanisches System, in diesem Fall die schwingende Rechteckplatte, sind die Formen der ersten *Moden* bekannt (ZIEGENHALS, 2000). Die Frequenz der ersten drei *Moden* (2.0; 0.2; 2.1) kann mit Hilfe der Impulshammer-Klopfmethode ermittelt werden. Das für jede *Rohholzplatte* ermittelte Klopfspektrum zeigte in Abhängigkeit von der Frequenz unterschiedlich starke Ausschläge der Übertragungsfunktion/Schalldruck. Die stärksten Ausschläge, sog. Peaks, eines Klopfspektrums geben Hinweise auf die verschiedenen *Schwingungsmoden* der *Rohholzplatte*. Es ist also möglich, beispielsweise für den ersten starken Peak, den ersten *Mode* (2.0) zuzuordnen und dessen Frequenz aus dem Klopfspektrum abzulesen. Die Eindeutigkeit der Zuordnung ist allerdings nicht immer gegeben und hängt von der Stärke des Ausschlages des ersten Peaks und seinem Abstand zum nachfolgenden Peak ab. Desweiteren kann mit Hilfe dieser ermittelten Frequenz der *dyn. E-Modul* in Faserrichtung nach der Formel $E_F = 12000 \cdot m \cdot f^2$ berechnet werden. Dabei sind: E_F = dyn. E-Modul in Faserrichtung (GPa), m = Masse (g), f = Frequenz (Hz).

Tabelle 2 enthält statistische Kennwerte der *dyn. E-Moduln* der einzelnen Stichproben-Kollektive, ermittelt nach den Methoden der Impulshammer-Klopfmethode und der Lucchimeter-Messung.

4.4. Anwendung der Lucchimeter-Messung

Mit Hilfe des Lucchimeters wurde jede der 40 *Rohholzplatten* in Faserrichtung gemessen. Dabei wurden die *Schallgeschwindigkeit* und der *dyn. E-Modul* mit Hilfe von Ultraschallimpulsen bestimmt. Die zu messende Strecke bzw. die Abmessung in Längsrichtung der Platte (540 mm) und seine *Rohdichte* wurden am Gerät eingegeben. Die gemessenen Werte sind direkt am Display abzulesen. Für die *Schallgeschwindigkeit* in Faserrichtung von Fichtenplatten aus dem Schwarzwald ergab sich ein Mittelwert von $\bar{x}$ = 4947,6 m/sec und eine Standardabweichung von s = 93,3 m/sec. Der Mittelwert für die Fichtenplatten aus dem Vogtland betrug $\bar{x}$ = 5008,7 m/sec bei einer Standardabweichung von s = 100,3 m/sec. Damit lagen die Schallgeschwindigkeiten der Fichtenplatten im Minimum des für Fichtenklangholz vorgeschlagenen Bereiches von 5000 m/sec bis 6000 m/sec (KLUCK, 1998). Für die Tannenplatten wurde ein geringerer Mittelwert für die Schallgeschwindigkeit von $\bar{x}$ = 4455,3 m/sec bei einer Standardabweichung von s = 615,9 m/sec errechnet.

Der *dyn. E-Modul* der Proben lag für die Fichten- und Tannenproben im Mittel innerhalb der vorgeschlagenen Bereiche von 10 GPa bis 12 GPa für Fichte und 6 GPa bis 10 GPa für Tanne. Mit Hilfe des Lucchimeters wurden desweiteren der *dyn. E-Modul* und die *Schallgeschwindigkeit* an Holzproben quer zur Faserrichtung ermittelt. Hierzu wurden 56 Probestäbe aus Fichtenholz mit den Abmessungen 210 mm · 9 mm · 4 mm verwendet.

Aus dem *dyn. E-Modul* und der *Rohdichte* der Proben kann die *Akustische Konstante* bestimmt werden. Die *Akustische Konstante A*, die auch als *Musikalische Konstante* oder als *Resonanzmodul* bezeichnet wird, beschreibt das Verhältnis von *dyn. E-Modul* zu *Rohdichte* eines Werkstoffes. Sie ist eine geeignete Größe zur Beschreibung der Tauglichkeit von Nadelholz als Resonanzholz (HOLZ, 1970).

Die Akustische Konstante wird ausgedrückt durch $A = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}$, wobei E der *dyn. E-Modul* (GPa) und ρ die *Rohdichte* (g/cm^3) ist. Dabei wird zur Erzielung günstiger Klangeigenschaften von *Rohholzplatten* ein hoher Wert des *Resonanzquotienten* angestrebt. RAJCAN (1991) gibt für Fichtenholz der Höchstqualität für Meisterinstrumente eine *Akustische Konstante* von A = 13,2 (± 0,5) m^4/kg an.

Zur Beurteilung der Qualität der *Rohholzplatten* wurde in Anlehnung an die Benotung der Proben durch visuelle Qualitätseinschätzung eine Benotung auf der Grundlage der Werte für die *Akustische Konstante* der einzelnen Proben durchgeführt. Dies wurde für

[4]) Für die Möglichkeit, die eigenen Untersuchungen im Institut für Musikinstrumentenbau in Zwota durchzuführen, danken wir dem Leiter des Instituts Herrn Dipl.-Phys. G. ZIEGENHALS.

Fichte und Tanne getrennt durchgeführt. Man wählte die gleiche Einteilung der Benotung. Die *Akustische Konstante* der Fichtenplatten ergab einen Extremwertebereich von $A_{max} = 12{,}23$ m⁴/kg und $A_{min} = 9{,}63$ m⁴/kg. Die bei den Tannenplatten errechneten Extremwerte der Akustische Konstante lagen bei $A_{max} = 13{,}39$ m⁴/kg und $A_{min} = 9{,}45$ m⁴/kg. Die auf der Grundlage der *Akustischen Konstante* erfolgte Qualitätsbewertung wurde mit der Benotung der Platten auf der Grundlage der subjektiven Qualitätseinschätzung verglichen.

Die Umfrageergebnisse über Klangholzvorkommen in Deutschland zeigten einerseits die sehr geringen Verkaufsmengen pro Jahr, andererseits deuten sie aber auch auf vorhandene Reserven bzw. weitere potentielle Klangholzvorkommen wie beispielsweise in den Gebieten des Harzes und des Schwarzwaldes hin. Eigene Messungen an Fichten- und Tannenplatten aus dem Schwarzwald ergaben eine mittlere bis teilweise sehr gute Klangholztauglichkeit der Proben. Die Qualität der Fichtenproben aus dem Schwarzwald war somit keineswegs schlechter als die der Fichtenproben des Vogtlandes.

Aufgrund der limitiert zur Verfügung stehenden Zeit und der schwierigen Beschaffung von geeigneten Holzproben konnten die Stichprobenkollektive nicht weiter vergrößert werden. Daher beschränkte sich die Untersuchung auf eine deskriptive Betrachtung der Daten.

Fichten- und Tannenklangholz besitzen meist eine niedrigere Dichte als gewöhnliches Holz dieser Baumarten. Ihre Dichte ist abhängig von den verschiedenen *Wuchsmerkmalen*, der *Jahrringstruktur*, der *Jahrringbreite*, sowie dem *Spätholzanteil*. Für Klanghölzer gelten folgende Rohdichten (bei u = 8%)

Fichte: 0,38 g/cm³ bis 0,45 g/cm³ (Kluck, 1999)
(*Picea abies*)

Weißtanne: 0,37 g/cm³ bis 0,39 g/cm³ (eigene Messungen)
(*Abies alba*)

Western Red cedar: 0,33 g/cm³ bis 0,39 g/cm³ (eigene Messungen)
(*Thuja plicata*)

Für Bergahornholz (*Acer pseudoplatanus*), das für Böden vor allem in Violinen seine Verwendung findet, werden eine *Dichte* von ca. 0,62 g/cm³ und für geriegeltes Ahornholz eine etwas höhere *Dichte* von ca. 0,70 g/cm³ angegeben. In Bezug auf die Forderung nach der Gleichmäßigkeit der *Jahrringstruktur* des Stammquerschnitts ist für die *Rohdichte* ebenfalls ihre Verteilung innerhalb der abstrahlenden Fläche des Resonanzkörpers interessant. Dabei ist die *Dichteverteilung* vor allem in radialer Richtung des Holzes von Bedeutung, da in axialer Richtung auf die zu betrachtende Länge von 1 m bis 2 m und in tangentialer Richtung, wenige Millimeter der Rohholzplattendicke, keine starken Änderungen der *Rohdichte* angenommen werden darf (Holz, 1966). Im Allgemeinen steigt die *Rohdichte* bei Nadelhölzern im Stammquerschnitt von innen nach außen an. Für Fichtenholz aus dem Erzgebirge hat Holz (1966) sogar eine Abnahme der *Rohdichte* vom Kambium bis zum Mark von 0,10 g/cm³ festgestellt. Für die Beurteilung von Klangholz besitzt demnach die Auswahl des Holzes nach mittleren *Jahrringbreiten* eine geringere Bedeutung, als vielmehr die Festlegung eines mittleren *Rohdichtebereiches*, im Fall des Fichtenholzes, von 0,38 g/cm³ bis 0,45 g/cm³.

Die Bestimmung des *dynamischen Elastizitätsmoduls* einer Holzprobe erfolgte mit Hilfe der Berechnung des Lucchimeters aus der *Rohdichte* und der *Fortpflanzungsgeschwindigkeit* eines mechanischen Impulses durch die Holzprobe. Der *dynamische E-Modul* errechnete sich dabei aus:

$E = \frac{c^2}{10} \cdot \rho$, wobei: c = Schallgeschwindigkeit (m/sec), ρ = Rohdichte (g/cm³).

Eigene Messungen mit Hilfe des Lucchimeters am Institut für Musikinstrumentenbau (Zwota) ergaben Wertebereiche des *dyn. E-Moduls* für Fichtenrohholzplatten in Faserrichtung von 10 GPa bis 12 GPa und für Tannenrohholzplatten von 6 GPa bis 10 GPa. Senkrecht zur Faserrichtung ergaben Messungen des *dyn. E-Moduls* für Fichtenrohholzplatten Werte zwischen 0,5 GPa bis 1,0 GPa. Nach Kluck (1996) gelten laut den Anforderungen des Instituts für Musikinstrumentenbau (Zwota) an Fichtenklangholz für den dynamischen Elastizitätsmodul die folgenden Werte:

dyn. E-Modul in Faserrichtung: E = 10 GPa bis 14 GPa
dyn. E-Modul senkrecht zur Faser: E = 1 GPa bis 1,8 GPa

An 56 Probestäben aus Fichtenholz mit den Abmessungen 210 mm · 9 mm · 4 mm wurde mit Hilfe des Lucchimeters die *Schallgeschwindigkeit* in radialer Richtung gemessen. Abbildung 4 zeigt eine lineare Abhängigkeit der *Schallgeschwindigkeit* von dem *dyn. E-Modul.*

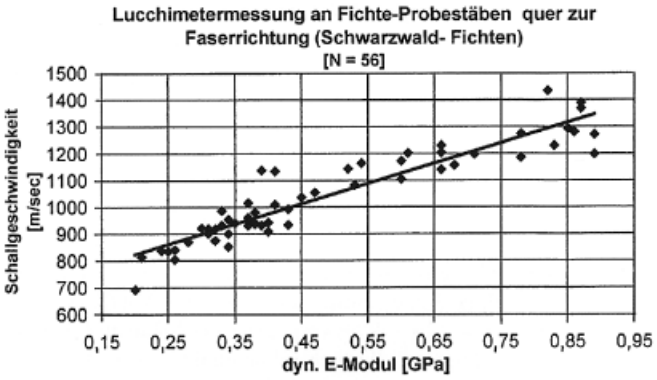


Abb. 4

Schallgeschwindigkeit quer zur Faserrichtung in Abhängigkeit vom dyn. E-Modul ($R^2 = 0{,}87$)

Linear relationship between the speed of sound perpendicular to the fibre and the dyn. MOE ($R^2 = 0.87$; spruce wood samples)

Alle untersuchten *Rohholzplatten* wurden sowohl subjektiv (visuelle Qualitätseinschätzung) als auch objektiv (Lucchimeter-Messung, Impulshammer-Klopfmethode) hinsichtlich der Klangholzqualität beurteilt. Die Beurteilung erfolgte jeweils durch die Vergabe von Noten. Bei dem Vergleich der durch visuelle Qualitätseinschätzung vergebenen Benotung mit der Benotung auf der Grundlage von Messungen, wurde für die Fichte eine systematisch schlechtere Benotung der subjektiven im Vergleich zur objektiven Beurteilung festgestellt. Mit Hilfe objektiver Messmethoden lassen sich also verkannte Qualitätsreserven erschließen, wenn man ästhetische Kriterien unbeachtet lässt. Der Vergleich der objektiven und subjektiven Bewertungsmethode bei der Tanne ergab keine eindeutige Tendenz der unterschiedlichen Beurteilungsmethoden.

Der Vergleich der *Rohholzplatten* unterschiedlicher Baumarten miteinander, zeigte für deren *Rohdichte-* und *dyn. E-Modul*-Werte große Unterschiede (vgl. Tab. 2). Tannen- und *Thuja*-Rohholzplatten wiesen in der Mehrheit der Fälle geringere Werte für die *Rohdichte* und den *dyn. E-Modul* im Vergleich zur Fichte auf. Bei einem Vergleich aus unterschiedlichen Wuchsgebieten stammender Fichtenplatten ließen sich keine eindeutigen Tendenzen erkennen. Geschieht dieser Vergleich auf der Grundlage der Werte der Akustischen Konstante, so ergeben sich für *Thuja-* und Tannenrohholzplatten keine Nachteile gegenüber den Fichtenplatten. Im Mittel lagen die Werte der *Akustischen Konstante* für die Tanne sogar höher und für die *Thuja* in gleicher Höhe wie die Werte der Fichtenplatten. Die verbreitete Meinung der Unterlegenheit der Tanne gegenüber der Fichte als Rohstoff zur Herstellung von Musik-

Tab. 2

Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (s) der gemessenen dyn. E-Moduln in Faserrichtung bestimmt nach der Impulshammer-Klopfmethode und der Lucchimeter-Messung

Means ($\bar{x}$) and standard deviations (s) of the measured dyn. MOE parallel to the fibre determined with two stress wave nondestructive evaluation techniques

Dyn. E-Modul nach Impulshammerklopf-Methode	$\bar{x}_{E\text{-}Modul}$ [GPa]	s [GPa]	Dyn. E-Modul nach Lucchimeter-Messung	$\bar{x}_{E\text{-}Modul}$ [GPa]	s [GPa]
Vogtland-Fichte (*Picea abies*)	14,29	0,92	Vogtland-Fichte (*Picea abies*)	10,84	0,58
Schwarzwald-Fichte (*Picea abies*)	14,27	1,81	Schwarzwald-Fichte (*Picea abies*)	10,93	0,70
Schwarzwald-Tanne (*Abies alba*)	10,81	2,66	Schwarzwald-Tanne (*Abies alba*)	7,69	2,01
Western Red cedar (*Thuja plicata*)	6,28	0,67	Western Red cedar (*Thuja plicata*)	5,38	0,53

instrumenten konnte zumindest aufgrund dieser Untersuchungsergebnisse nicht bestätigt werden.

5. DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG

Die angewandte Luccimeter-Messung ist eine einfache und schnelle Methode zur Ermittlung des *dynamischen Elastizitätsmoduls* und der *Schallgeschwindigkeit* im Holzkörper. Seine einfache Handhabung und die Möglichkeit des Transports bieten eine ortsunabhängige Möglichkeit der Messung (allerdings unter Berücksichtigung der jeweiligen *Holzfeuchte*). Diese Methode beinhaltet jedoch auch ein mögliches Fehlerpotential. Die Tabelle 2 zeigt die großen Unterschiede der Mittelwerte für den *dyn. E-Modul* nach den zwei verschiedenen Messmethoden. Dabei liegen, entgegen den Erwartungen, die Werte für den *dyn. E-Modul* auf der Grundlage der Lucchimeter-Messung systematisch niedriger als die *dyn. E-Modulwerte*, die aufgrund der Impulshammer-Klopfmethode ermittelt wurden. Der *dyn. E-Modul* als Eingangsgröße für die Berechnung der *Akustischen Konstante* wurde jedoch mit der Methode der Lucchimeter-Messung ermittelt, da diese Methode die praktikablere ist und auch von Laien durchgeführt werden kann.

Die Impulshammer-Klopfmethode ist im Hinblick auf die spätere Verwendung der Gitarrenrohholzplatten im Vergleich zur Lucchimeter-Messung die geeignetere Methode zur Qualitätsbeurteilung. Mit der Impulshammer-Klopfmethode lässt sich der *dyn. E-Modul* aufgrund von Schwingungen der Platte bestimmen, was der späteren Funktion der Holz-Proben als schwingende Gitarrendecke des fertigen Musikinstrumentes näher kommt als die Bestimmung des *dyn. E-Moduls* mit Hilfe der Methode der Ultraschallmessung, die dieses Schwingungsverhalten nicht berücksichtigt.

Die Befragung der Forstabteilungen der jeweiligen Landesministerien der deutschen Bundesländer zeigte ihr geringes Interesse an Klangholzsortimenten. Da es bundesweit keine für Klangholz geltende allgemeine Sortiervorschrift gibt, fehlen auf forstlicher Seite Informationen, die es ermöglichen, auf eventuelle Klangholzvorkommen zu reagieren. Eine zunehmende Ausrichtung der Forstwirtschaft auf Wertholzsortimente würde dabei auch der Produktion von Klangholz zugute kommen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit den Eigenschaften von Klangholz zur Herstellung von Musikinstrumenten und den Methoden zur Bestimmung der Qualität des Klangholzes. Dabei wurden die für Klangholz typischen Wertebereiche für den dynamischen Elastizitätsmodul, die Schallgeschwindigkeit und die Rohdichte des Holzes angegeben. Weiterhin wurden die Anforderungen an das Klangholz bezüglich ihrer Abmessung und Wuchsmerkmale erläutert. Dabei wird zunächst auf rein visuelle und subjektive Kriterien eingegangen. Existierende regionale Sortiervorschriften für Klangholz in einigen wenigen Gebieten Deutschlands zeigen, dass die Forstwirtschaft an diesem Wertholzsortiment in geringem Maße interessiert ist.

Mit den Methoden der Lucchimeter-Messung und der Impulshammer-Klopfmethode wurden Rohholzplatten aus Fichten- und Tannenholz, die zur Herstellung von Gitarren dienen, untersucht. Die angewandten Methoden sowie die Ergebnisse der Messungen der verschiedenen Baumarten werden miteinander verglichen.

Desweiteren wird nach einer Befragung staatlicher Forstbetriebe über Klangholzvorkommen in Deutschland der Mengenanfall registrierter Klangholzverkäufe aufgezeigt. Die ermittelte geringe Masse des vorkommenden Klangholzes wird auf die nicht explizit erwähnte und nicht ausreichend detailliert dargestellten Holzverkäufe zurückgeführt und insgesamt höher vermutet.

7. Summary

Title of the paper: *Investigation on quality of spruce (Picea abies (L.). Karst.) and fir (Abies alba Mill.) resonance wood.*

The present investigation deals with the properties of resonance wood destined for the production of musical instruments and with the methods for the determination of resonance wood quality. At the same time there are stated the range of values for the dynamic modulus of elasticity, for the speed of sound transmission and for the density of wood. The demands regarding dimension and growth characteristics of resonance wood are explained insisting first of all on pure subjective and visual criteria.

The grading rules existing only in a few regions in Germany show that forestry is sensitized to this high value timber assortment only to a very small extent. With the Lucchimeter measuring method (elasticity tester) and the stress wave nondestructive evaluation technique spruce (*Picea abies*) and fir (*Abies alba*) tree wood panels are investigated which are destined for the production of guitars. The methods used as well as the results of measurement are compared with one another.

Furthermore the quantity of sales of resonance wood is presented after survey at state owned forest management in Germany. The established small quantity of existing resonance wood is attributed to the sales of resonance wood not mentioned explicitly or described in detail. All in all the amount of resonance wood is supposed to be higher.

8. Résumé

Titre de l'article: *Etude de la qualité du bois de résonance de sapin et d'épicéa.*

La présente recherche concerne les caractéristiques que doivent avoir les bois de résonance pour la fabrication des instruments de musique ainsi que les méthodes permettant d'évaluer la qualité de ces bois. Pour ce faire on a indiqué entre quelles limites étaient comprises les valeurs caractéristiques des bois de résonance, à savoir: le module d'élasticité dynamique, la vitesse de propagation du son et la densité. En outre on a expliqué ce qui était exigé des bois de résonance en ce qui concerne leurs dimensions et les conditions de leur croissance. On a tout d'abord donné des indications sur des critères purement visuels et subjectifs. Les modalités de classement des bois de résonance qui existent dans quelques rares régions de l'Allemagne montrent que la gestion forestière ne s'intéresse que modérément à cette catégorie de bois de qualité.

Avec les méthodes de mesure au «Lucchimètre» et la méthode du «marteau à impulsions» on a étudié des plateaux bruts de sapin et d'épicéa qui sont utilisés pour la fabrication des guitares. Les résultats des mesures concernant ces deux essences ont été comparés ainsi que les méthodes utilisées.

En même temps, une enquête menée auprès des services forestiers étatiques sur la présence de bois de résonance a montré qu'en Allemagne une très faible quantité de bois était vendue sous la dénomination «bois de résonance». Le faible volume qui a évalué pour cette catégorie de produit semble dû à ce qu'il n'est ni explicitement mentionné, ni suffisamment détaillé; on peut présumer qu'au total ce volume est plus important. J. M.

9. Literatur

BALTRUSCH, M.: Ermittlung von Merkmalen zur Charakterisierung der Güte von Resonanzholz. Diplomarbeit, TU Dresden, 1998

BARISKA, M.: Klangholz, Holzinstrument, Musik. Inst. f. mikrotech. Holzforschung, ETH, Zürich. Naturwissenschaftliche Rundschau **31**(2): 45–52, 1978

BUCUR, V.: Anatomical structure and some acoustical properties of resonance wood. Catgut-society-newsletter, Nr. 33, S. 24–29, 1980

BUCUR, V.: About the anisotropy of resonance wood for Violins. Fortschritte der Akustik, S. 553–557, 1990

BUCUR, V.: Acoustic of wood. CRC Press, 1995

CREMER, L.: Die Geige aus der Sicht des Physikers. Nachrichten der Akademie der Wissenschaft in Göttingen, 1971

DORSCH, F.: Tonholz im Bayerischen Wald. Allg. Forstzeitung **30**(37), 752–753, 1975

HOLZ, D.: Untersuchungen an Resonanzhölzern. 1. Mitteilung: Beurteilung von Fichtenresonanzhölzern auf der Grundlage der Rohdichteverteilung und der Jahrringbreite. Archiv für Forstwesen Berlin **15**: S. 1287–1300, 1966

HOLZ, D.: Untersuchungen an Resonenzholz. Holztechnologie **8**(4), 221–224, 1967

HOLZ, D.: Zur Beurteilung von Resonanzhölzern und einigen vergleichbaren Austauschwerkstoffen durch Messungen akustisch wichtiger Eigenschaften. Dissertation, TU Dresden, 1970

HOLZ, D.: Über einige Zusammenhänge zwischen forstlich-biologischen und akustischen Eigenschaften von Klangholz (Resonanzholz). VEB Forschungszentrum, Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota, Holztechnologie **25**(1): 31–36, 1984

ILLE, R.: Eigenschaften und Verarbeitung von Fichtenresonanzholz für Meistergeigen. (Teil 1). Holztechnologie **16**, 1975

ILLE, R.: Eigenschaften und Verarbeitung von Fichtenresonanzholz für Meistergeigen. (Teil 2). Holztechnologie **17**, 1976

KLUCK, D.: 2.3 Beurteilungsverfahren für Resonanzholz, 2.3.1 Verfahren im Institut für Musikinstrumentenbau. Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota, 1998

KLUCK, D.: Anforderung an Klangholz für Resonanzböden im Musikinstrumentenbau. Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota, 1999

KOLLMANN, F.: Holz und Schall – Theorie und Nutzanwendung. Holz-Zentralblatt **109**(14): 201–203, 1983

KUCERA, L. J., NIEMZ, P. und FLIESCH, A.: Vergleichende Messungen zur Ermittlung der Eigenschaften von Fichtenholz mittels Eigenfrequenz und Schallgeschwindigkeit. ETH Zürich, Holzforschung und Holzverwertung, Nr. 5, S. 96–99, 1998

LUCCHI, G.: Elasticity tester Mod. PC-91 – operating instructions. Bedienungsanleitung zur Benutzung des Lucchimeters

NIEMZ, P.: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 1993

NIEMZ, P., KUCERA, L. J., PÖHLER, E. und BARADIT, E.: Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung des dynamischen E-Moduls mittels Schall-Laufzeit- und Resonanzfrequenzmessungen. ETH Zürich, Holzforschung und Holzverwertung, Nr. 5, S. 91–93, 1997

RAJCAN, E.: Die physikalisch-akustischen Charakteristiken von Holz als Material für die Produktion von Streichinstrumenten. Instrumentenbau Zeitschrift **11**, 1991

RAJCAN, E.: Application of acoustics to some problems of material science related to the making of musical instruments. Acustica **84**, S. 122–128, 1998

TGL 15799/12: Rohholz: Klangholz, Bootsbauholz, Zündwarenholz. Sortiervorschriften für Klangholz der Deutschen Demokratischen Republik, 1982

THREN, M.: Untersuchungen von Fichten- und Tannenklangholz aus dem Südschwarzwald für die Eignung zum Musikinstrumentenbau. 1996

ZIEGENHALS, G. und BALTRUSCH, M.: Ermittlung von Auswahlkriterien für Resonanzholz. Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota, 2000

ZIEGER, E.: Untersuchungen über äußere Merkmale, Holzeigenschaften und forstgeographische Vorkommen der Resonanzholzqualitäten bei Fichte und einigen anderen Holzarten. Mitteilung aus der Staatsforstverwaltung Bayern, 31. Heft, München, S. 285–298, 1960

Vergleichende Messergebnisse zur Identifizierung von Schadstellen im Fichtenholz (*Picea abies* L. KARST.) mit den Bohrmessgeräten Teredo, Resistograph 1410 und Impulshammer-Schallmesssystem

I. Schallmessungen und Bohrdiagramme an intaktem Holz

Aus dem Institut für Forstbotanik der Universität Göttingen, AG Dendrologie und Baumpflege

(Mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle)

Von F. GRUBER[1])

(Angenommen September 2000)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Fichte (Picea abies), Holzfäule, Bohrwiderstand, Teredo, Resistograph, Impulshammer, Schallmessung.

Norway spruce (Picea abies), red-rot, drill resistance, Teredo, Resistograph, Impulshammer, sound recording.

1. EINLEITUNG

Bisher gibt es noch keine praxisreife zerstörungsfreie Methode, mit der bereits am stehenden Baumstamm seine „innere Qualität" und Vitalität schnell und kostengünstig überprüft werden könnte. Im Bereich der praktischen Baumpflege werden eine ganze Reihe von mehr oder weniger verletzungsarmen bis -freien Messgeräten eingesetzt (s. z. B. SIEWNIAK und KUSCHE, 1994; Höster, 1993), mit denen gewisse Rückschlüsse auf vorhandene Holzeigenschaften gezogen werden können. Weite Verbreitung haben neben den sehr bedingt geeigneten akustischen Messinstrumenten die Bohrmessgeräte, welche beim Einbohren in den Holzkörper mittels einer speziellen Bohrnadel den Eindringwiderstand über den Stromverbrauch messen und somit indirekte Aussagen über die vorhanden gewesene Holzbeschaffenheit entlang des Bohrkanals liefern. Auch in der praktischen Forst- und Waldwirtschaft wäre der Einsatz derartiger Messsysteme zur Überwachung der Verkehrssicherheit von Bäumen und zur Prüfung der Holzqualität von augenscheinlich wertvollen Bäumen für eine rationelle Bewirtschaftungsweise grundsätzlich denkbar. Ziel ist es daher aufzuzeigen, wie genau mit den derzeit in der Praxis eingesetzten Schall- (IML-Impulshammer) und computergestützten Bohrmessgeräten „Resistograph 1410" (IML GmbH) und „Teredo" (Technologiepark Clausthal Management GmbH) bei der Fichte Holzzustand und Holzdefekte identifizierbar sind. Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse, insbesondere der Bohrmessgeräte wird durchgeführt.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Probescheiben und Messvorgänge

Es wurden 10 „frische", zwischen 16 cm und 40 cm dicke Stammscheiben aus Hiebsmaßnahmen eines ca. 90-jährigen Reinbestandes des Genossenschaftsforstes Nörten-Hardenberg zur Verfügung gestellt. Die Holzscheiben stammten aus unterschiedlichen Stammbereichen von verschiedenen, ca. 2 Wochen vorher eingeschlagenen Fichten mit augenscheinlich intaktem (5 Stück) und rotfaulem Holz unterschiedlicher Ausprägung (5 Stück, s. Abb. 1). Die Stammscheiben wurden im Institut für Forstbotanik sofort nach der Werbung untersucht.

Vor jeder im Labor durchgeführten Messung wurden auf der zuvor gesäuberten und frischen Stammscheibe die 2 kreuzweise angelegten und durch das Mark führenden Messrichtungen durch schwache Hilfslinien vorgezeichnet und ausgemessen. Die Hilfslinien dienten als Orientierung der Erstbohrungen, welche zuerst mit dem Teredo ausgeführt wurden. Nach der jeweils erfolgten Erstbohrung wurden Ein- und Ausbohrloch an der Stammscheibe beschriftet und auf der Oberseite durch eine aufgezeichnete Verbindungslinie dauerhaft markiert und vermessen. Etwas versetzt zu der Teredo-Erstbohrung erfolgte die Resistographbohrung, von der ebenfalls der Bohrkanal auf der Scheibe markiert wurde. Es wurde besonders darauf geachtet, dass es zu keinem Kontakt zwischen den verschiedenen Bohrkanälen kommen konnte. Zu jeder Erstbohrung erfolgte etwas versetzt eine Gegenbohrung, von der ebenfalls Ein- und Ausbohrloch durch eine Verbindungslinie markiert wurden. Entlang dieser nummerierten Messverbindungslinien, die annähernd den Verlauf des jeweiligen Bohrkanals kennzeichneten, wurden optisch die Defektbereiche sowie Scheibendurchmesser auf 0,5 cm genau abgemessen.

Die Eignung des Resistographen für die Jahresringanalyse wurde an schadfreien Holzscheiben (hier Fi10a-05 mit Sägeeinschnitt dargestellt) durchgeführt. Dazu wurden die auffälligen Maxima (vermeintliche Spätholzzonen) der Resistogramme erfasst und auf eine Grundskala übertragen, woraus Anzahl und Breite der Jahresringe abgelesen werden konnten. Im Vergleich dazu wurden die Jahres-

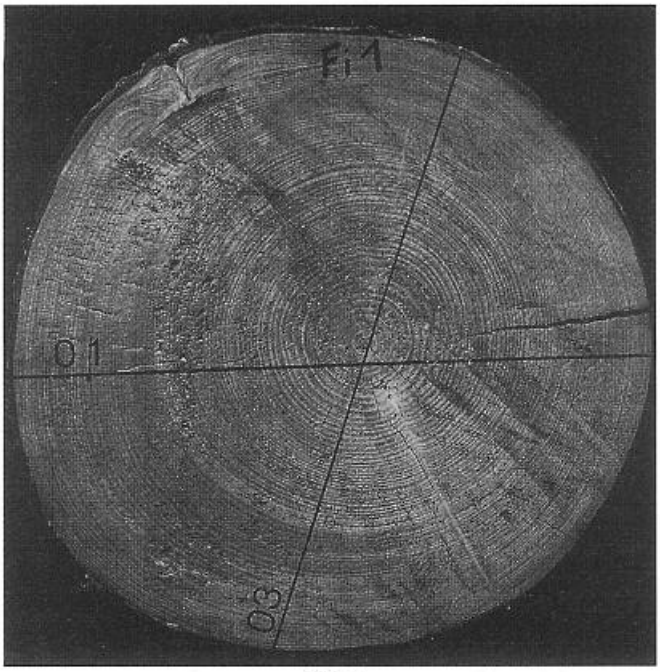


Abb. 1

Fichtenscheibe 1 (schadfreies Holz) mit den Messlinien 01 und 03

Spruce disk 1 (faulty free wood) with measuring lines 01 und 03

[1]) Prof. Dr. FRANZ GRUBER, Forstbotanisches Institut der Universität Göttingen, Abteilung für Forstbotanik und Baumphysiologie, AG Dendrologie und Baumpflege, Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen

ringe der Scheiben entlang der entsprechenden Bohrkanäle optisch auf 1/10 mm genau vermessen und in Spätholz-Früholzdiagramme überführt.

2.2. Beschreibung der Messinstrumente

Die verwendeten Messgeräte Impulshammer (IML-GmbH), IML-Resistograph 1410 und Teredo (Technologiepark Clausthal Management GmbH) sind bei Gruber (2000) ausführlich beschrieben. Die unterschiedlichen Messverfahren, insbesondere die verschiedene Geometrie der Bohrköpfe werden hier nochmals hervorgehoben (Abb. 2). Die Resistographmessungen wurden mit der Bohrstufe 3 (28 cm/min), die Teredomessungen mit der Bohrstufe 10 (ca. 50 cm/min) durchgeführt.

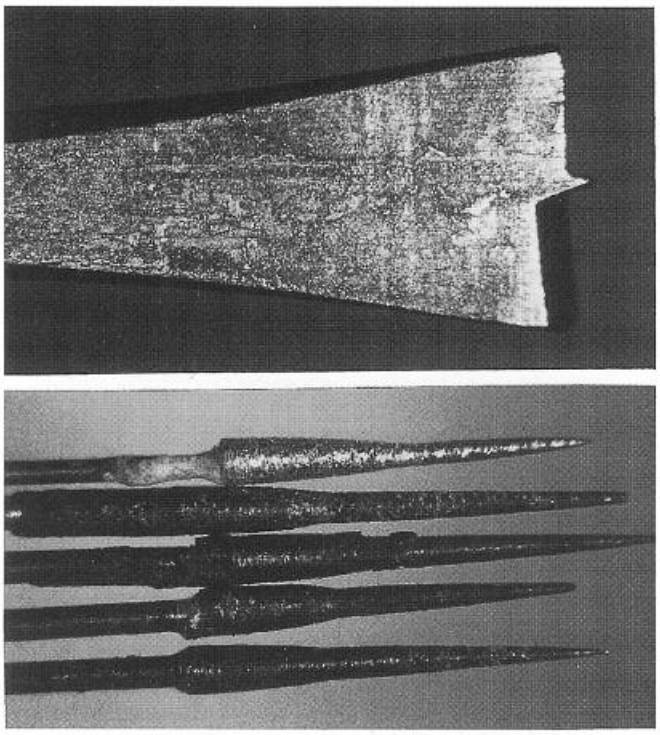


Abb. 2

Bohrköpfe von Resistograph 1410 (oben) und Teredogerät (unten: der obere Kopf ist ungebraucht, die 4 unteren Köpfe sind nach der Bohrung zum größten Teil mit verkohltem Krustenbelag versehen

Drilling heads from resistograph 1410 (above) and Teredo (below: head above is new, 4 heads below are crusted)

2.3. Auswertung der Messprofile

Mit den zu den Geräten gehörigen Auswerteprogrammen Decom (IML) und Teredo 1.5 (Technologiepark Clausthal) wurden die Messprofile erstellt, so daß für jede Messverbindungslinie ein Teredo- und Resistographmessprofil sowie die optische Auswertung vorlag. Jede Messkurve wurde sodann einzeln nach Höhe und Verlauf analysiert; insbesondere auffällige Änderungen in den Amplituden des Messstromes wurden in der Kurve markiert; denn nur derartige kurz- oder auch langstreckige Niveau- und Frequenzänderungen des Bohrwiderstandes könnten auf eine Beschaffenheitsänderung des Holzes hinweisen. In jede optisch ausgemessene Defektbereich/Messverbindungslinie müsste sich demzufolge das entsprechende Bohrmessprofil eindeutig und im Ausmaß exakt einpassen lassen.

Die Teredo- und Resistographkurvenverläufe benachbarter Bohrungen wurden außerdem jeweils miteinander und im Zusammenhang mit den optisch festgestellten Defektbereichen verglichen. Von manchen Kurvenpaaren (10b-05, Fi 2-06) wurden die Messwerte regressionsanalytisch dargestellt.

3. ERGEBNISSE

3.1. Schallmessungen

Bei den Schallmessungen konnten deutliche Unterschiede zwischen schadfreiem und rotfaulem Holz festgestellt werden. Während die Schallgeschwindigkeiten im schadfreien Holz stets oberhalb 930 m/s (960 m/s durchschnittlich) lagen, konnten beim rotfaulen Holz Schallgeschwindigkeiten stets unterhalb 878 m/s gemessen werden (Tab. 1).

Die tangentialen Schallgeschwindigkeiten waren beim schadfreien Holz mit Werten zwischen 755 m/s und 833 m/s niedriger als die radialen; beim rotfaulen Holz hingegen lagen diese meist etwas höher als die entsprechend radialen Werte. An den Messwerten allein kann jedoch nicht auf das genaue Ausmaß und die Ausformung der Schadstelle geschlossen werden, was besonders im Vergleich der Messwerte der Scheiben 10 b (Sägeschnitt) und 2, 3, 4 7, 8 (rotfaul) deutlich wird. Denn auch ein zur Messrichtung senkrecht verlaufender schmaler und nahezu durchgängiger Spannungsriss im Stamm hat die gleiche Wirkung wie eine entsprechend ausgedehnte Höhlung oder Fäule.

3.2. Vergleich von Bohrmessdiagrammen an ausgewählten Beispielen

3.2.1. Fehlerfreie Holzscheiben erntefrisch (Fi 6)

Bei der Fichtenscheibe Fi 6-22 (Erstbohrung Abb. 3a) liegen die Messwerte der *Teredo-Vorschubkurve (V)* längs der gesamten Bohrlänge zwischen 1,4 A und 2,05 A. Der äußere Holzzylinder mit einer Dicke von 3 cm bis 6 cm verzeichnet im Vergleich zum inneren Holzkörper höhere Amperewerte, so dass die Durchmesser-Bohrkurve die Form von einem weit gedehnten U aufweist. Auch im innerern Holzkörper treten wellenförmige Schwankungen der Messwerte zwischen 1,4 A und 1,8 A auf. Beim Austritt des Bohrnadelkopfes aus dem Holzkörper wird nicht das Leerlaufniveau von 0,90 A erreicht, sondern der Bohrstrom befindet sich bei 0,96 A. Nur 0,06 A werden also für die Schaft/Wandreibung der Bohrnadel im gesamten Bohrkanal aufgewendet.

Die Messwerte der etwas versetzt daneben gebohrten Resistographkurve schwanken in einem weiten Bereich zwischen 200 BWE (= Bohrwiderstandeinheiten) und 900 BWE. Auffällig ist, dass sich der äussere 8 cm bis 10 cm breite Holzmantel durch die höheren Messwerte (300 BWE bis 900 BWE) abrupt vom inneren mit deutlich niedrigeren Messwerten (120 BWE bis 400 BWE) treppenartig abgrenzt. Offensichtlich wird dadurch der Splint angedeutet. Auch hier muss mit zunehmender Bohrtiefe ein Ansteigen der Schaftreibung der Bohrnadel beachtet werden. Eine Deckungsgleichheit zwischen diesen beiden Messkurven ist erwartungsgemäß nicht gegeben.

Die Messwerte bei der Teredo-Rückzugskurve liegen zwischen 1,1 A und 1,45 A. Besonderheiten sind hier nicht auffällig, nur die niedrigen Rückzugwerte bedingen im Vergleich zur Vorschubkurve eine viel geringere Auflösung.

In der Abbildung 3b ist die Gegenbohrung zu Fi 6-22 dargestellt. Im Idealfall wäre die Spiegelkurve der jeweiligen Erstbohrung zu erwarten, was jedoch nicht der Fall ist.

Als weiteres Beispiel fehlerfreien Fichtenholzes sei auf die Abbildung 4 (Fi 5 bis Fi 19) verwiesen; hier fällt zentral ein erhöhter Bohrwiderstand in beiden Messkurven auf, welcher auf das Durchbohren eines eingewachsenen Astes hinweist.

3.2.2. Holzscheibe getrocknet (Fi 6)

Bei der lufttrockenen Scheibe Fi 6 (vergl. Abb. 3) wurde ca. 1 Jahr später in der Nähe der „saftfrischen Bohrungen" erneut die Holzwiderstände gemessen. Sowohl die Teredo- als auch die Resis-

Tab. 1

Schallgeschwindigkeiten (C) an den untersuchten Fichtenscheiben

Sound velocities (C) of the investigated spruce disks

Messung	Holzzustand	Art	Mess-str.	n	C (m/s)	Messung	Holzzustand	Art	Mess-str.	n	C (m/s)
Fi1-01	ohne Fehler	radial	33,5	6	963	Fi2-05	zentralfaul	radial	34	6	654
Fi1-03	ohne Fehler	radial	33,5	6	961	Fi2-07	zentralfaul	radial	33	4	691
Fi5-18	ohne Fehler	radial	25,5	8	930	Fi3-11	part. ringfaul	radial	39	4	848
Fi5-20	ohne Fehler	radial	29,5	6	948	Fi3-13	part. ringfaul	radial	39,5	6	878
Fi6-22	ohne Fehler	radial	30	5	994	Fi4-14	hohl	radial	37	5	762
Fi6-24	ohne Fehler	radial	30,5	4	966	Fi4-16	holh	radial	35,5	5	669
Fi10a-01	ohne Fehler	radial	17,5	7	980	Fi7-26	rotfaul	radial	40,5	4	609
Fi10a-03	ohne Fehler	radial	16	5	1013	Fi7-27	rotfaul	radial	40	6	583
Fi1-13	ohne Fehler	tang	26	6	833	Fi8-28	rotfaul	radial	40	7	741
Fi5-1820	ohne Fehler	tang	16,5	5	755	Fi8-29	rotfaul	radial	34,5	6	807
Fi6-2224	ohne Fehler	tang	20	8	831	Fi2-57	zentralfaul	tang	22	4	746
Fi10a-31	ohne Fehler	tang	9	3	722	Fi3-1113	part. ringfaul	tang	20	3	833
Fi10b-05	Sägeschnitt	radial	16	5	504	Fi4-1416	hohl	tang	28,5	7	706
						Fi7-2627	rotfaul	tang	20	6	640
						Fi8-2829	rotfaul	tang	24	4	770
						Fi8-2829	rotfaul	tang	24	4	770

tographkurven zeigen etwas abweichende Kurvenverläufe zu denen der saftfrischen.

Alle Teredo-Vorschubkurven zeigen buckelartige Verläufe und erreichen Spitzenwerte bis nahe 2,5 A (Abb. 5a, b). Auffällig sind die relativ hohen Ausbohrwerte, welche bei nahe 1,5 A liegen. Besondere Beachtung verdient die Teredo-Rückzugskurve 6-23 (Abb. 5b) im Bereich zwischen 150 mm und 50 mm Holztiefe; hierbei werden die Widerstandswerte der Vorschubkurve mehrmals mit Werten von über 2,5 A deutlich überschritten, was die Aussagekraft dieser Kurve sehr in Frage stellt. Denn der Rückzugswiderstand eines Bohrkopfes in einem vorgebohrten Kanal müsste in jedem Fall deutlich geringer sein als der Einbohrwiderstand. Außerdem sind derartig hohe Werte nicht einmal bei der Vorschubkurve registriert worden.

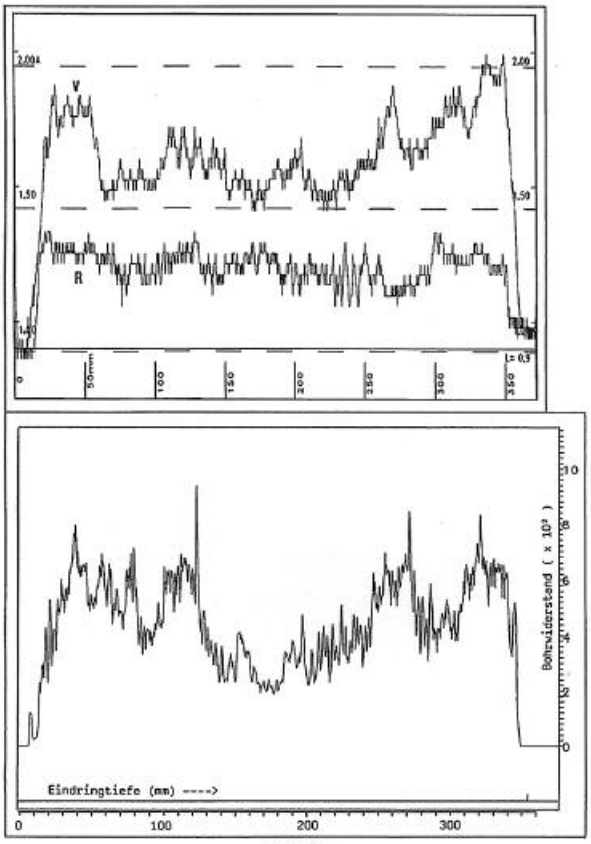


Abb. 3a

Schadfreie Holzscheibe: Fichte 6–22

Faulty free disk: spruce 6–22

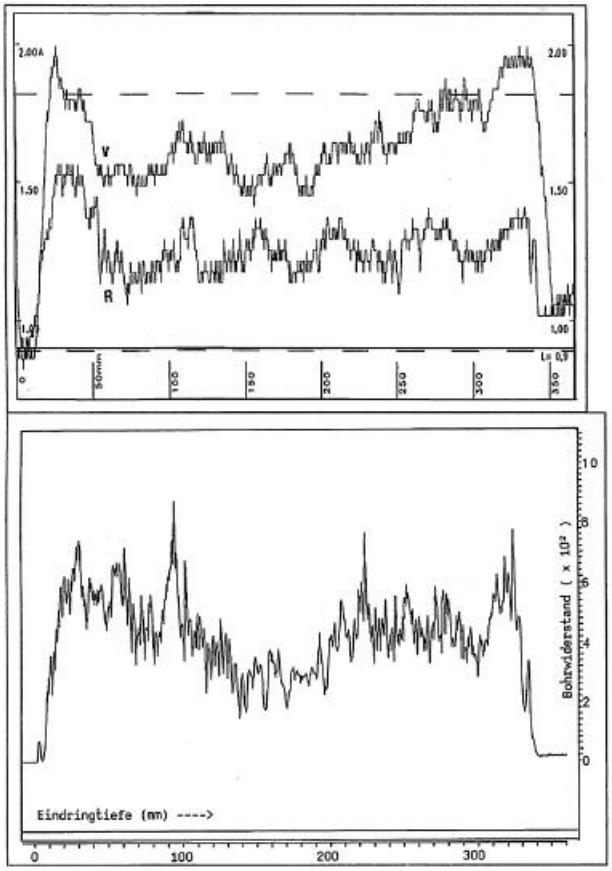


Abb. 3b

Schadfreie Holzscheibe: Fichte 6–23 (Gegenbohrung)

Faulty free disk: spruce 6–23 (opposite drilling)

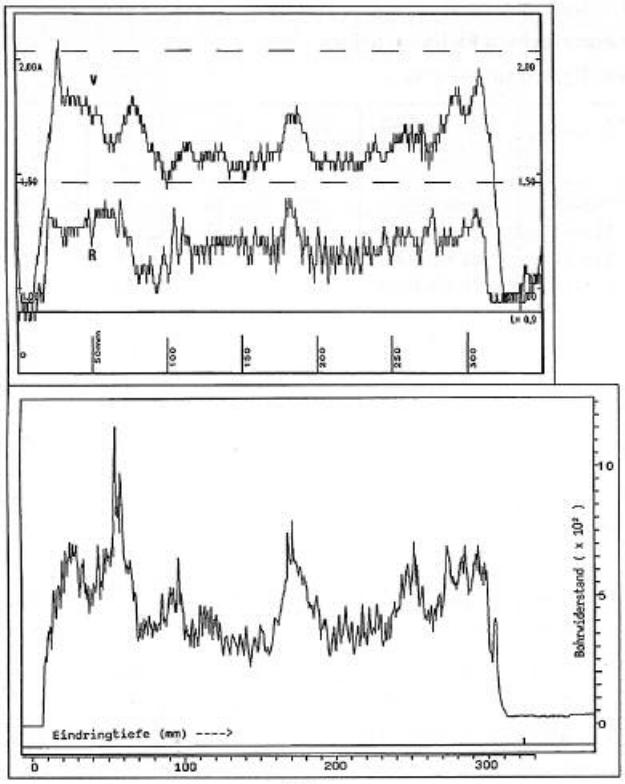


Abb. 4
Schadfreie Holzscheibe: Fichte 5–19
Faulty free disk: spruce 5–19

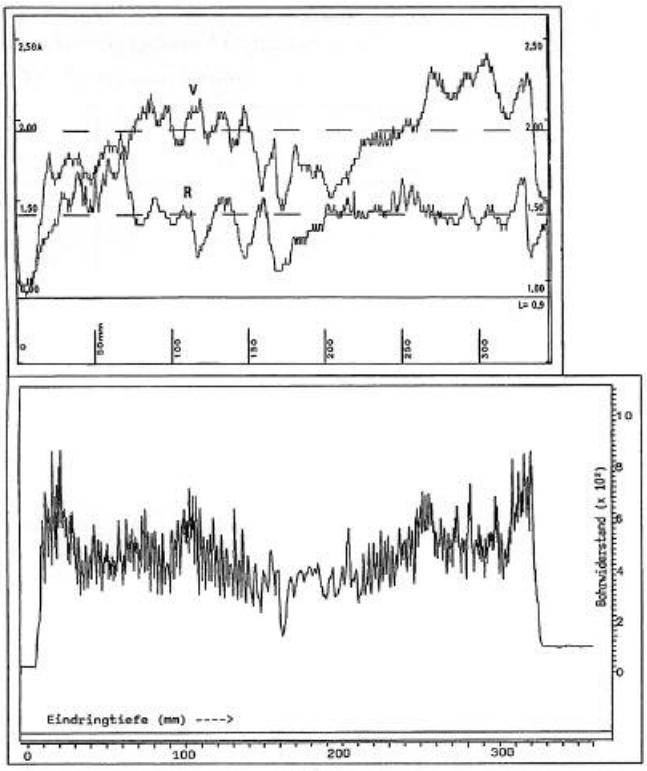
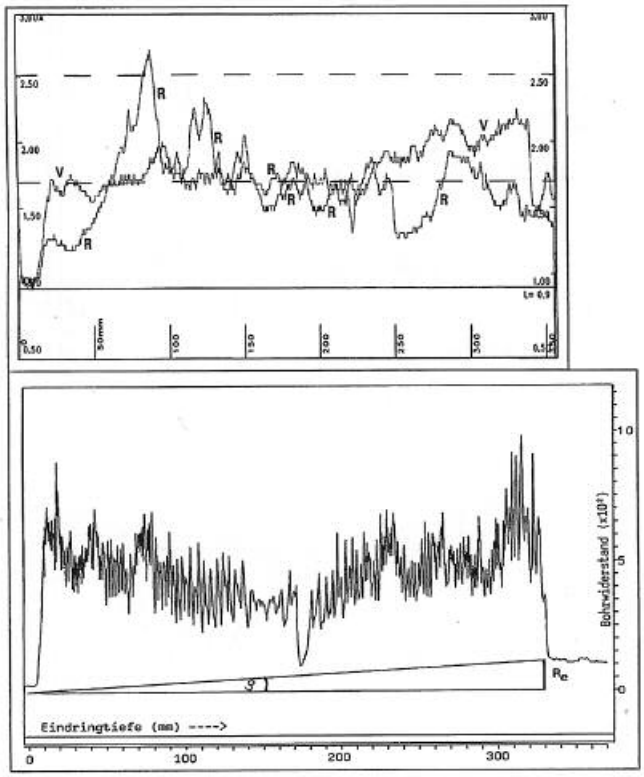


Abb. 5a
Schadfreie Holzscheibe trocken: Fichte 6–22tr
(unmittelbar neben Fi 6–22)
Faulty free disk dry: spruce 6–22tr (directly near Fi 6–22)



(R_e = Nadelschaftreibungswiderstand (ca. 32 cm) nach dem Ausbohren des Nadelkopfes aus dem Prüfkörper)

Abb. 5b
Schadfreie Holzscheibe trocken: Fichte 6–23tr
(unmittelbar neben Fi 6–23)
Faulty free disk dry: spruce 6–23tr (directly near Fi 6–23)

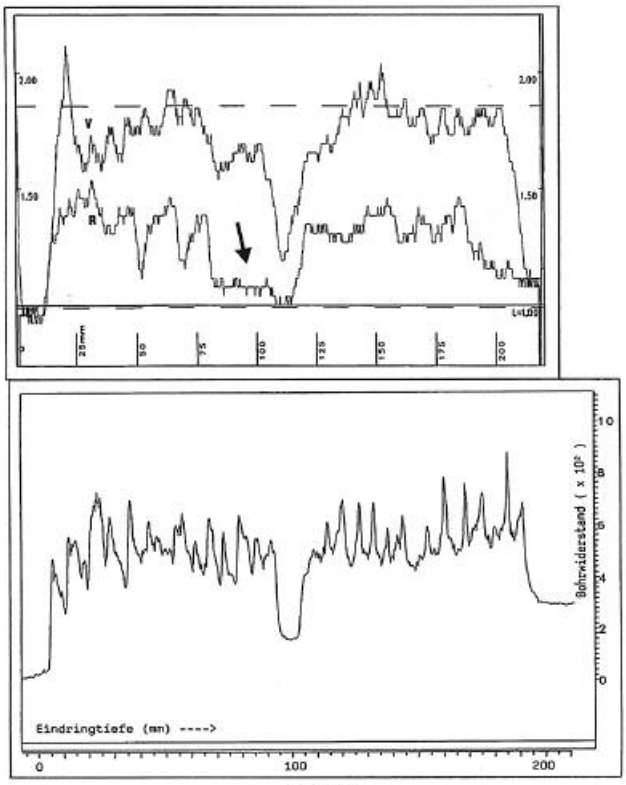


Abb. 6a
Sägeschnitt: Fichte 10b–05
Saw cut: spruce 10b–05

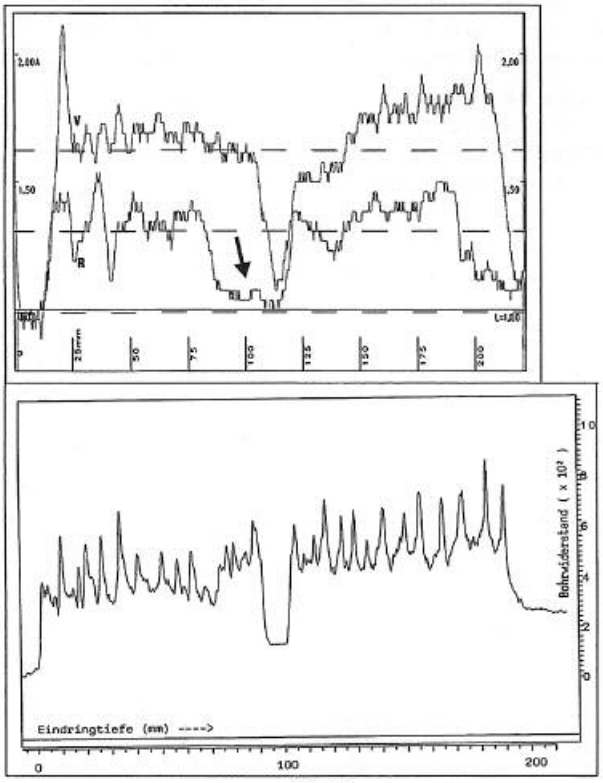


Abb. 6b

Sägeschnitt: Fichte 10b–06 (Gegenbohrung)

Saw cut: spruce 10b–06 (opposite drilling)

Bei den Resistographbohrungen an den lufttrockenen Scheiben ist das Grundniveau gegenüber den saftfrischen ganz leicht erhöht. Die saftfrischen zeigen zwar eine größere Gesamtspanne zwischen dem tiefsten und dem höchsten Wert der Kurve; die kurzphasigen Amplituden bei den trockenen Scheiben sind aber etwas größer als bei den saftfrischen (vergl. Abb. 3a, b und 5a, b). Diese Unterschiede könnten aber auch durch die Qualität des Bohrkopfes (neue Nadel, Abnutzungsgrad) erklärt werden.

3.2.3. Fehlerfreie Holzscheibe mit zentralem Sägeschnitt (Fi 10 b)

In der Abbildung 6 ist die Bohrung der weitringigen und 13 Jahresringe zählenden, fehlerfreien und nur ca. 20 cm dicken Stammscheibe Fi 10 mit zentralem Sägeschnitt dargestellt. Die Teredovorschubkurven weisen im Holz Werte zwischen 1,6 A und 2,15 A auf, wobei der Sägeschnitt mit auf 1,1 A fallenden Werten deutlich angezeigt wird. Besonders auffällig sind hier die hohen Widerstände beim Einbohren, die bei den meisten Teredokurven systematisch auftreten (Bremseffekt). Die Spätholz-/Frühholzzonen der einzelnen Jahresringe sind am Kurvenverlauf angedeutet, aber nicht klar ablesbar. Die Resistographkurven hingegen zeigen die Dichteschwankungen der Jahresringe viel deutlicher und sind bei dieser Weitringigkeit (> 5 mm) meist genau auszählbar (vergl. Abb. 13 im Folgeartikel). Auf den hohen Ausbohrwiderstand der Resistographkurven (260 BWE bis 300 BWE) sei hier verwiesen.

Problematisch erscheint wiederum die Teredo-Rückzugskurve: Die auffälligen und niedrigen Amperewerte nach dem Passieren des Bohrkopfes am Sägeschnitt zwischen 115 mm und 80 mm Holztiefe (Pfeil) deuten einen fehlenden Holzwiderstand an, welcher aber beim Einbohren (sowohl von der Teredovorschub- als auch der Resistographkurve) nicht angezeigt wird. Offensichtlich sind in diesen Tiefenbereichen entweder die Bohrkanäle frei von Bohrrückständen (das Reinigen der Bohrkanäle könnte durch den rotierenden Bohrnadelschaft beim Vorschub bewerkstelligt worden sein, nachdem der Bohrkopfkegel das erste Holzsegment durchbohrt hatte und in den Sägeschnitt eingedrungen war); oder die Bohrkopfkegelkanten und -oberflächen sind nicht durch Kohlekrusten beladen und vergrößert, so dass beim Rückdrehen dort keine nennenswerten Widerstände auftreten können.

(Fortsetzung folgt. Zusammenfassung, Summary, Résumé und Literatur erscheinen in Teil II.)

Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten

Aus dem Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freitburg, D-79085 Freiburg

(Mit 6 Abbildungen und 7 Tabellen)

Von T. Gaertig, Ch. Puls, H. Schack-Kirchner und E. E. Hildebrand[1])

(Angenommen September 2000)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Bodenverformung; Bodengefüge; Bodenverdichtung; Befahrung; Bestimmungsschlüssel; CO2 ; Feldbodenkunde.

Soil structure; soil compaction; soil deformation; vehicle movement; classification tool; soil carbon dioxide; field soil science.

[1]) Thorsten Gaertig, E-Mail: gaertig@uni-freiburg.de Tel.:0761-2039141.
Christian Puls
Helmer Schack-Kirchner, E-Mail: schackhe@uni-freiburg.de
Tel.:0761-2033612.
Ernst E. Hildebrand, E-Mail: hildern@uni-freiburg.de
Tel.:0761-2033625.
Albert-Ludwigs-Universität, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, D-79085 Freiburg, Germany.

1. EINLEITUNG

1.1 Einführung

In der Neuauflage der „Forstlichen Standortsaufnahme" (Arbeitskreis Standortskartierung, 1996) wurde ein einfacher Bestimmungsschlüssel zur Ansprache und Bewertung von anthropogenen Bodenverformungen in A-Horizonten aufgenommen (vgl. Schäffer et al., 1991). Die Intensität der Bodenverformung wird dort über feldbodenkundlich ansprechbare Merkmale hergeleitet. Bestimmungsgrößen sind zum einen der Lagerungszustand, der über Gefügeformen und Verknetungsgrad (sichtbare konservierte Merkmale einer plastischen Verformung) hergeleitet wird, zum anderen Merkmale der Redoximorphie, die auf einen veränderten Gashaushalt hinweisen.

Es ist nicht klar, ob dieser Merkmalskatalog vollständig ist, oder ob weitere Kriterien sinnvoll sind. Darüber hinaus ist zu fragen, ob mit der so ermittelten Abstufung die aktuelle Bodenbelüftung und damit ein wesentlicher Standortsfaktor des Pflanzenwachstums charakterisiert wird, oder ob lediglich phänologische Relikte einer ehemaligen Befahrung beschrieben werden.

Im Gelände sind die in der „Forstlichen Standortsaufnahme" (S. 138 Tab. 56) aufgeführte Merkmale z.T. nicht oder in anderer Kombination anzutreffen. Beispielsweise sind Merkmale plastischer Bodenverformungen (dunkle humose Schlieren oder eingepackte Streureste) Kriterium für einen schwach verformten Oberboden. Abhängig von der Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Befahrung und der organischen Auflage kann jedoch mechanisch eingearbeitetes humoses Material fehlen, auch wenn der Oberboden kohärent oder plattig ist.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu prüfen, ob die Ermittlung der Verformungsintensität mit dem erwähnten Bestimmungsschlüssel ein geeignetes Instrumentarium zur Beurteilung der aktuellen Belüftungssituation des Bodens darstellt und/oder ob durch Modifikationen eine treffendere Beurteilung der Oberbodenstruktur möglich ist. Damit sind die folgenden Fragestellungen Thema der vorliegenden Arbeit:

- Inwieweit lassen sich Zusammenhänge zwischen den Gefüge- und sekundären Redoximorphiemerkmalen und der aktuellen Bodenbelüftung aufstellen?
- Lässt sich die in der „Forstlichen Standortsaufnahme" dargestellte Abstufung der Verformungsintensität an einem größeren Datenkollektiv untermauern oder durch Ergänzungen präzisieren?
- Lassen die beobachtbaren Merkmale zur Verformungsintensität eine Beurteilung der Bodenfunktion als Wurzelraum zu?

1.2 Die CO_2-Konzentration als Kenngröße der Bodenbelüftung

Als leicht zu erhebende Kenngröße der aktuellen Belüftungssituation bietet sich die CO_2-Konzentration des Oberbodens an. Durch die Atmung von Wurzeln und Bodenorganismen ist diese gegenüber der CO_2-Konzentration der Atmosphäre deutlich erhöht. Das Ausmaß der Erhöhung hängt von der CO_2-Produktion, der Bodenstruktur und der aktuellen Bodenfeuchte ab. Bei gleicher CO_2-Produktion steigt die CO_2-Konzentration des Bodens proportional mit der Verringerung der Gasdurchlässigkeit. Theoretisch könnten hohe CO_2-Konzentrationen auch auf hohe Produktionsraten hinweisen. Allerdings mehren sich die Befunde, dass hohe Produktionsraten gerade dann anzutreffen sind, wenn die Gasdiffusionskoeffizienten hoch und CO_2-Konzentrationen im Oberboden niedrig sind (SCHACK-KIRCHNER, 1994; GAERTIG et al., 1999). QI et al. (1994) wie auch BURTON et al. (1997) konnten an Baumwurzeln zeigen, dass hohe CO_2-Konzentrationen im Boden die Wurzelrespiration hemmen.

Offensichtlich zeigen vergleichsweise hohe CO_2-Konzentrationen sowohl geringe Gasdurchlässigkeit als auch niedrigere Respirationsraten an. Damit eignet sich die CO_2-Konzentation im Oberboden als integrierende Variable für die Qualität der CO_2-Entsorgung im Boden und damit für die aktuelle Bodenbelüftung. Da die aktuelle Bodenbelüftung neben der Bodenstruktur von der aktuellen Bodenfeuchte abhängt, ist für die vergleichende Beurteilung der Belüftungssituation über die CO_2-Konzentration eine vergleichbare Bodenfeuchte erforderlich.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Untersuchungsstandort

Die Untersuchung wurde in einem 170-jährigen Eichenbestand mit Buchenunterstand im Stadtwald Müllheim (Baden) durchgeführt. Die forstliche Standortseinheit ist ein „Buchenwald auf mäßig frischem Feinlehm", der Bodentyp eine schwach pseudovergleyte Parabraunerde. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist würmeiszeitlicher Löss. Die überwiegende Humusform ist F-Mull.

In einem stark befahrenen Bestandesteil, wurden eine 2400 m^2 große Versuchsfläche mit Kantenlängen von 60 m und 40 m, sowie die permanenten Rückegassen und alle Bäume (BHD > 5 cm) mit einem elektronischen Theodolit eingemessen.

2.2 Methoden

2.2.1 Einmessung der Messpunkte

Um in kürzester Zeit eine große Anzahl von CO_2-Messungen durchführen zu können, musste die Ansprache der feldbodenkundlichen Merkmale und die Messung der CO_2-Konzentrationen zeitlich unabhängig voneinander erfolgen. Auf der Versuchsfläche wurden daher die Koordinaten von 2000 Messstellen ermittelt und markiert. Dazu wurden von eingemessenen Punkten der längeren Außengrenze der Versuchsfläche 50 Schnüre zu eingemessenen Punkten auf der gegenüberliegenden Außenlinie gespannt. Der Endpunkt eines jeden Transsekts wurde so gewählt, dass die Schnur in gerader Linie über die Versuchsfläche gespannt werden konnte. An den Schnüren waren zuvor im Abstand von einem Meter nummerierte Markierungen angebracht worden, die zur späteren Identifikation der Messpunkte dienten. Über Anfangs- und Endpunkt jedes Linien-Transsektes und der Entfernung des jeweiligen Messpunktes vom Anfangspunkt konnten die Koordinaten eines jeden Messpunktes berechnet werden.

2.2.2 Die Bestimmung der CO_2-Konzentration im Oberboden

Zur Bestimmung der CO_2-Konzentration wurden zwei mobile Gaschromatographen (CROMPACK MICRO-GC 2002 CP) eingesetzt. Die Trennung des CO_2 erfolgte auf einer Hayesep-Säule. Als Trägergas wurde Helium verwendet. An jedem Messpunkt wurde in einer Tiefe von 5 cm unter der Mineralbodenoberfläche über Bodenluftsonden 5 ml Bodenluft von der Ansaugpumpe des Gaschromatographen abgesaugt und analysiert. Bei einer Ansaugzeit von 25 Sekunden und einer CO_2-Retentionszeit von 17 Sekunden konnten die Messpunkte im Minutentakt bearbeitet werden. Die Messungen fanden an 3 aufeinanderfolgenden Tagen mit vergleichbarer Witterung und vergleichbarer Bodenfeuchte im Juli 1999 statt.

2.2.3 Die Feldansprache des Oberbodens

Nachdem im ersten Schritt die CO_2-Konzentration flächig erfasst worden war, wurde in einem zweiten Schritt jeder Punkt erneut für die Feldansprache aufgesucht. Zuerst wurde die Befahrungssituation im Umfeld des Messpunktes beurteilt (Tab. 1).

Danach wurde die Humusauflage am Messpunkt beschrieben (Tab. 2) und entfernt. Die Morphologie der freigelegten Mineralbodenoberfläche wurde in einem Bereich von ca. 50 cm^2, in dessen Mittelpunkt der Sondeneinstich lag, charakterisiert (Tab. 3).

Mit einer Kelle wurde der Bereich um den Sondeneinstich bis in eine Tiefe von 5 cm ausgestochen, so dass an jedem Messpunkt ein Bodenkörper von rund 250 cm^3 entnommen wurde. An der Probe wurde die Mächtigkeit des Ah-Horizontes (Tab. 4) sowie die Feinwurzelerschließung der Bodenprobe (Tab. 5) beurteilt.

In Anlehnung an die Tabelle auf S. 138 in der „Forstlichen Standortsaufnahme" von 1996 wurden feldbodenkundliche Merkmale definiert, anhand derer Lagerungszustand und Sekundärprozesse im Oberboden (Tab. 6 und 7) beschrieben werden können. Die Ausprägung der Merkmale wurde an jedem Bodenkörper angesprochen. Bei der Beurteilung des Lagerungszustandes wurde zunächst das Verhältnis zu von kohärenten zu krümeligen Bereichen als übergeordnetes Kriterium für Strukturverluste festgestellt. Sobald mehr als 25% der Probe kohärent waren, wurde die Festig-

keit dieser Bereiche beschrieben sowie ihre Lagerungsform, d.h. ob eine sekundäre Bildung plattiger oder schiefriger Strukturen sichtbar waren. Zusätzlich wurden sichtbare konservierte Merkmale plastischer Verformung über eingearbeitetes organisches Material (Verknetungsgrad) beschrieben.

Tab.1

Schlüssel zur Beurteilung der Befahrungssituation

Befahrungs-stufe	Befahrungssituation
BS0	Befahrung ist eindeutig auszuschließen (z.B. wegen eng stehender Bäume)
BS1	Befahrung ist unwahrscheinlich
BS2	Befahrung ist nicht sichtbar aber möglich
BS3	Befahrung ist sichtbar
BS4	Befahrung ist sichtbar; Fahrspuren sind deutlich (> 5 cm) eingetieft
BS5	Mehrfache Befahrung ist sichtbar
BS6	Rückegasse (unregelmäßige Befahrung)
BS7	Rückegasse (regelmäßige Befahrung)

Tab. 2

Humusformen und Merkmale von Streuverlagerung

Humusform		Streubilanz	
MUT	L-Mull	H1	Verhagerung
MUO	F-Mull	H2	Normal
MOM	Mullartiger Moder	H3	Streuakkumulation

Tab. 3

Morphologie der Mineralbodenoberfläche

Mineralbodenoberfläche	
M1	Glatt und unstrukturiert
M2	Einzelne Risse bis netzartige Segmentierung durch Risse
M3	Rauh, durch biogene Krümel geprägt

Tab. 4

Mächtigkeit das Ah-Horizontes

Ah-Horizont	
A0	kein Ah-Horizont vorhanden
A1	Ah bis 3 cm mächtig
A2	Ah bis 5 cm mächtig
A3	Ah mehr als 5 cm mächtig

Die Sekundärmerkmale Rostflecken und Bleichzonen entstehen in der Folge von Redoxreaktionen im Boden und sind damit Ausdruck von Störungen des Sauerstoffhaushaltes. Sie weisen immer auf einen zurückliegenden Belüftungsengpass im Boden hin. Während Redoximorphiemerkmale tieferer Bodenschichten häufig reliktisch sind, kann in den obersten 5 cm aufgrund der räumlichen Nähe zur Atmosphäre und des hohen biologischen Umsatzes ein aktueller Belüftungsengpass angenommen werden. Die Beurteilung von Rostflecken und Bleichzonen erfolgte über ihre Größe und räumliche Ausdehnung. Zusätzlich wurde „flüchtiges" oder „persistentes" Auftreten von Faulgasgeruch vermerkt.

Tab. 5

Durchwurzelungsklassen nach der „Forstlichen Standortsaufnahme" S.101

Kurzzeichen	Durchwurzelung mit Feinwurzeln < 2 mm
W6	Ausgeprägter Wurzelfilz (>50/dm^2)
W5	Hohe Feinwurzeldichte (21-50/dm^2)
W4, W3	Normale Durchwurzelung (6-20/dm^2)
W2, W1	Vermehrtes Auftreten abgestorbener Feinwurzeln (1-5/dm^2)
W0	Kaum lebende Feinwurzeln sichtbar

Tab. 6

Schlüssel zur Beurteilung des Lagerungszustandes

Gefügeform		Anteil biogener Krümel
G1	Vollständig biogene Krümel	100%
G2	Überwiegend krümelig, partienweise kohärent	75%
G3	Krümelige und kohärente Bereiche ausgeglichen	50%
G4	Überwiegend kohärent, partienweise krümelig	25%
G5	Kohärent bzw. plattig oder schiefrig, vereinzelt krümelige Strukturen	10%
G6	Keine Krümel vorhanden, d.h. vollständig kohärent plattig oder schiefrig	0%

In kohärenten Bereichen (G2 bis G5) werden zusätzlich folgende Merkmale ermittelt:

Festigkeit		Lagerungsform		Verknetungsgrad	
F1	Gering	L0	Unstrukturiert	V0	Keine Merkmale
F2	Mittel	L1	Plattig	V1	Humusschlieren sichtbar
F3	Hoch	L2	Schiefrig	V2	Eingepackte Streureste

Tab. 7

Schlüssel zur Charakterisierung von Redoximorphie

Rostflecken	Bleichzonen
R0 keine	B0 keine
R1 Vereinzelt bis stecknadelkopfgroß	B1 Bis stecknadelkopfgroß
R2 Gehäuft bis stecknadelkopfgroß	B2 Bis pfenniggroß
R3 Größere Bereiche in Makroporen oxidiert	B3 Bis 50% der Probe gebleicht
R4 Bruchstellen mit Oxidkrusten überzogen	B4 > 50% der Probe gebleicht

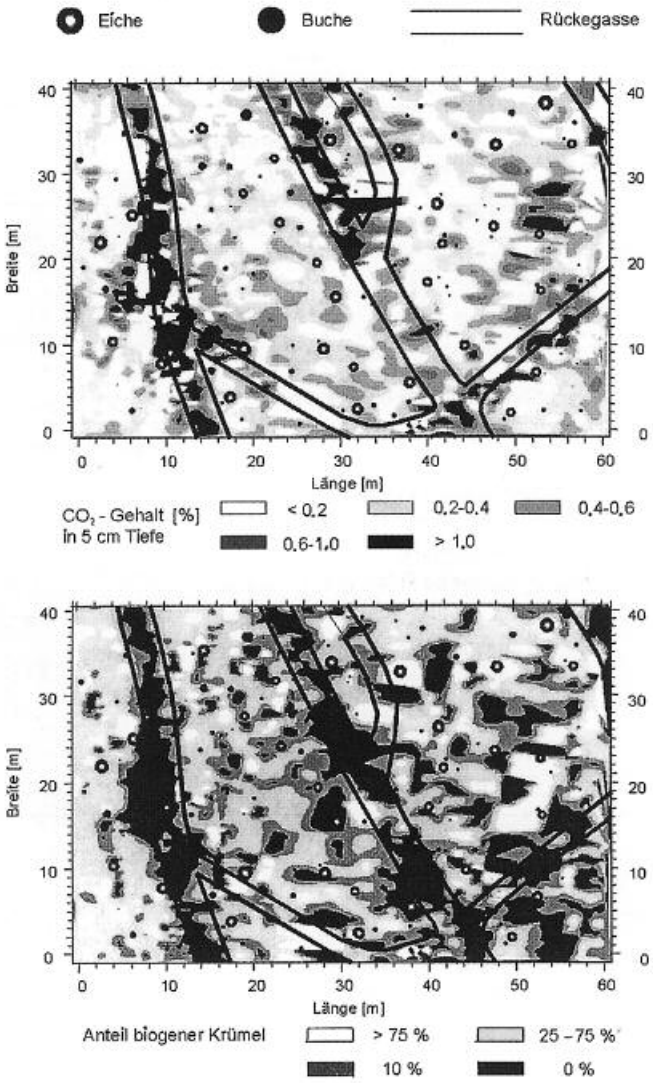


Abb. 1

Muster der CO_2-Konzentration in 5 cm Bodentiefe (oben) und des Krümelanteils (unten) auf der Messfläche sowie die Lage aller Bäume und der Rückegassen

Distribution of the CO_2-concentration at a soil depth of 5 cm (upper figure) and percentage of crumbs (lower figure) at the test area. The position of all trees and skidding trails are also shown

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

An insgesamt 1764 Messpunkten wurde die CO_2-Konzentration in 5 cm Tiefe gemessen und alle in Tabelle 1 bis 7 aufgeführten Merkmale angesprochen. Die ungünstigen Strukturen auf der Versuchsfläche lassen sich weitgehend auf unterschiedliche Befahrungsintensitäten zurückführen. 80% aller Messpunkte liegen in Bereichen sichtbarer, knapp ein Viertel in Bereichen mehrfacher Befahrung. Mit zunehmender Befahrungsintensität verändert sich die Gefügeform von lockerem, durch biogene Krümel geprägtem Gefüge hin zu vollständig kohärentem Gefüge. Im unteren Teil der Abbildung 1 ist die flächige Verteilung der Gefügeformen durch den Anteil biogener Krümel dargestellt. Zusätzlich ist die Lage der permanenten Rückegassen sowie aller Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser von über 5 cm eingezeichnet. Es zeigt sich

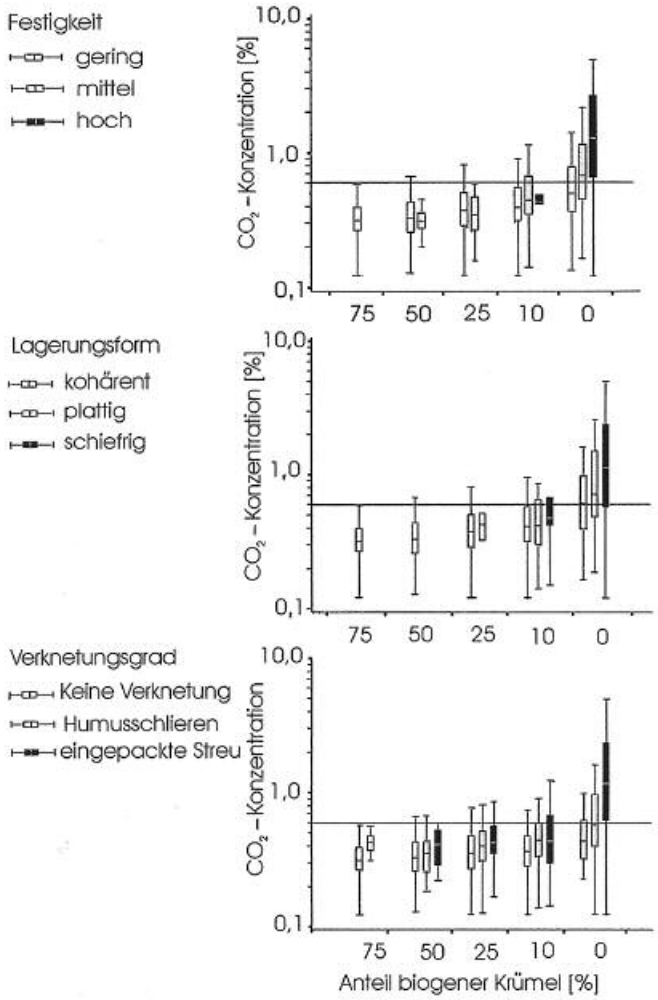


Abb. 2

CO_2-Konzentration in 5 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von dem Krümelanteil sowie den feldbodenkundlichen Merkmalen Festigkeit (oben), Lagerungsform (Mitte) und Verknetungsgrad (unten). Die Balken kennzeichnen das 25. und 75. Perzentil, die horizontale Linie im Balkeninneren den Median. Die vertikalen Verlängerungen der Boxen kennzeichnen die Beobachtungsbreite bis zu dem 1,5fachen des Interquartilbereiches

Relation between CO_2-concentration at a soil depth of 5 cm, the percentage of crumbs and the field parameters: soil firmness, structure of non crumbly soil and degree of kneading. The edges of the box are located at the 25th and 75th percentile. The horizontal line at the centre is drawn at the median. The vertical lines extend from the box as far as the data extend, namely to a maximum distance of 1.5 interquartile ranges

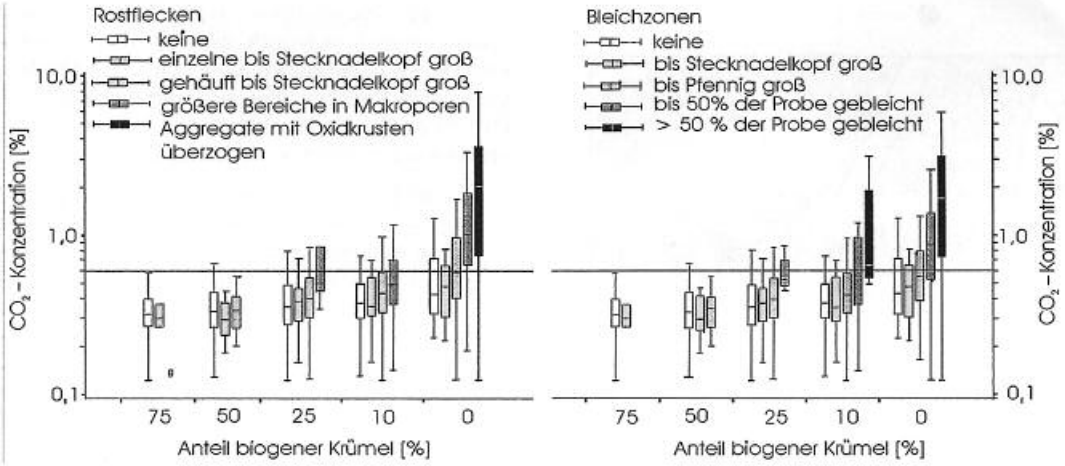


Abb. 3

CO_2-Konzentration in 5 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von dem Krümelanteil sowie den Redoximorphiemerkmalen Rostflecken (links) und Bleichzonen (rechts). Die Balken kennzeichnen das 25. und 75. Perzentil, die horizontale Linie im Balkeninneren den Median. Die vertikalen Verlängerungen der Boxen kennzeichnen die Beobachtungsbreite bis zu dem 1,5fachen des Interquartilbereiches

Relation between CO_2-concentration at a soil depth of 5 cm, the percentage of crumbs and the field parameters such as rust formation and bleached areas. The edges of the box are located at the 25th and 75th percentile. The horizontal line at the centre is drawn at the median. The vertical lines extend from the box as far as the data extend, namely to a maximum distance of 1.5 interquartile ranges

bereits ohne Differenzierung der flächigen Befahrungsintensität, dass sich die überwiegend kohärenten Bereiche (Anteil biogener Krümel < 25%) auf die Rückegassen und die Zwischenbaumbereiche, die eine Befahrung zulassen, konzentrieren. Mit gleichem Interpolationsgrad ist im oberen Teil der Abbildung 1 die flächige Verteilung der CO_2-Konzentration dargestellt. Das sichtbare Muster entspricht weitgehend dem der oberen Abbildung. Extrem hohe CO_2-Konzentrationen treten im Bereich der Rückegassen, sowie in den Bestandesteilen auf, die sich durch dichte, kohärente Oberböden auszeichnen. Niedrige CO_2-Konzentrationen sind in den Bereichen mit einem hohen Anteil biogener Krümel anzutreffen.

Die feldbodenkundlich angesprochenen Merkmale Festigkeit, Lagerungsform und Verknetungsgrad sowie die Sekundärmerkmale Rostflecken und Bleichzonen können sich nur in kohärenten Oberbodenbereichen ausbilden. Daher erfolgt die Analyse des Einflusses dieser Merkmale auf die aktuelle Bodenbelüftung in Abhängigkeit von der Gefügeform. In Abbildung 2 ist die CO_2-Konzentration in Abhängigkeit der Merkmale Festigkeit, Lagerungsform und Verknetungsgrad sowie vom Anteil biogener Krümel dargestellt. Die eingezeichnete Referenzlinie bei 0,6% stellt die Obergrenze der gemessenen CO_2-Konzentrationen in 5 cm Bodentiefe in Eichenbeständen ohne Strukturverluste dar. Die Daten stammen aus GAERTIG et al. 1999 und wurden zur gleichen Jahreszeit bei vergleichbaren Temperaturen gemessen. Auch in der vorliegenden Untersuchung wurden CO_2-Konzentrationen über 0,6% nur in Einzelfällen gemessen, solange der Oberboden überwiegend krümelig war.

Merkmalsübergreifend ist festzustellen, dass im Oberboden mit abnehmendem Krümelanteil nur eine moderate Zunahme der CO_2-Konzentration einhergeht, solange noch Reste krümeliger Strukturen vorhanden sind. Erst bei völligem Fehlen von Krümeln steigen die CO_2-Konzentrationen auf das Doppelte bis Dreifache an. Die Ausprägungsform der Merkmale Festigkeit, Lagerungsform und Verknetungsgrad hat keine signifikanten Auswirkungen auf die CO_2-Konzentration solange noch Krümel im Oberboden anzutreffen sind. Erst bei Abwesenheit von Krümeln zeigen die Merkmalsausprägungen von Festigkeit, Lagerungsform und Verknetungsgrad signifikant höhere CO_2-Konzentrationen an.

Während schwer brechbare (hohe Festigkeit) und schiefrige Gefügeausprägungen erst bei völligem Fehlen von Krümeln in nennenswertem Umfang vorkommen und dort Kennzeichen für extrem hohe CO_2-Konzentrationen sind, finden sich eingepackte Streureste bereits in Oberböden, die noch zur Hälfte aus Krümeln bestehen. Die Beurteilung der Morphologie der Bodenoberfläche, die letztlich von dem Anteil biogener Krümel abhängt, ergab, dass die CO_2-Konzentrationen mit abnehmender Oberflächenrauhigkeit signifikant stiegen. Die Mächtigkeit des A-Horizontes, die Humusform sowie Phänomene von Verhagerung und Streuakkumulation (vgl. Tab. 2 bis 4) hatten keinen nennenswerten Einfluss auf die CO_2-Konzentration der Bodenluft.

Die CO_2-Konzentration der Bodenluft reagierte auf die Ausprägung der Redoximorphiemerkmale Bleichzonen und Rostflecken (Abb. 3) sensitiver als auf die Merkmale des Lagerungszustandes (Abb. 2): Selbst wenn noch ein Viertel des Bodens krümelig ist und somit der Lagerungszustand noch günstig erscheint, sind bei größeren Rostflecken in den Makroporen und über pfenniggroßen Bleichzonen deutlich höhere CO_2-Konzentrationen festzustellen. Sobald mehr als 50% der Bodenprobe gebleicht oder Aggregate mit Oxidkrusten überzogen sind, steigen die Mediane der CO_2-Konzentration auf Werte um 2%. Andererseits liegen selbst bei völligem Fehlen von Krümeln noch ca. 70% aller Messwerte unterhalb der kritischen CO_2- Konzentration von 0,6%, wenn keine nennenswerten Redoximorphiemerkmale sichtbar sind.

Faulgasgeruch beim Zerbrechen der Bodenprobe ist stark von der aktuellen Bodenfeuchte abhängig und damit ein temporäres Merkmal. Wird Faulgasgeruch wahrgenommen, weist er auf extrem verformte Oberböden mit mittleren CO_2-Konzentrationen über 1,5% hin.

Die Zunahme von toten bzw. die Abwesenheit lebender Feinwurzeln im A-Horizont zeigt, dass der Boden seine Funktion als Lebensraum für die Wurzeln nicht mehr erfüllen kann. Die Auf-

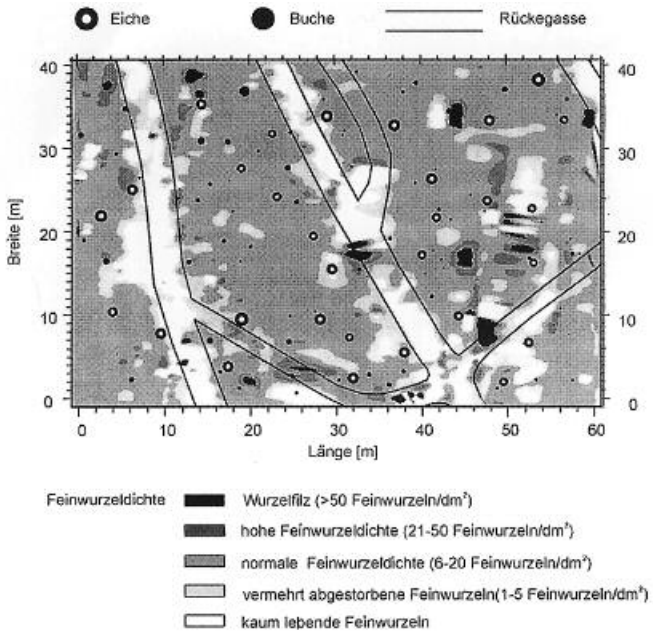


Abb. 4

Muster der Feinwurzeldichte im A-Horizont auf der Messfläche sowie die Lage aller Bäume und der Rückegassen

Fine root density levels in the upper soil layer of the test area. The position of all trees and skidding trails are also shown

nahme der Feinwurzeldichte ergab, dass abgestorbene Feinwurzeln im A-Horizont dann vermehrt sichtbar sind, wenn der Oberboden nur noch wenig Krümel (10%) enthält. In völlig kohärenten, plattigen oder schiefrigen Bereichen konnten nur wenige lebende Feinwurzeln gefunden werden. In den Böden ohne nennenswerten Anteil lebender Feinwurzeln lagen die Mediane der CO_2-Konzentration unabhängig von den Ausprägungen des Lagerungszustandes oder der Sekundärmerkmale über 1%. Bei dem Vergleich der flächigen Verteilung der Wurzelklassen im Oberboden (Abb. 4) mit der Verteilung der CO_2-Konzentration in der Bodenluft und dem Krümelanteil (Abb. 1) fällt auf, dass die Bereiche, in denen die Feinwurzeln im Oberboden völlig oder teilweise abgestorben sind, nahezu deckungsgleich sind mit Bereichen ohne Krümel und den Bereichen hoher CO_2-Konzentration.

Neben der Gefügeform erwiesen sich die Redoximorphiemerkmale Rostflecken und Bleichzonen als besonders sensitive Indikatoren einer gestörten Belüftungssituation im Oberboden, da sie auch bei Anwesenheit von Krümeln auf erhöhte CO_2-Konzentrationen hinweisen. Daher wurde versucht, aus diesen aussagekräftigsten feldbodenkundlich ansprechbaren Merkmalen einen Bestimmungsschlüssel zur Ermittlung von Verformungsschäden zu entwickeln.

Mit Hilfe des nicht parametrischen multiplen DUNN-Tests wurde untersucht, welche Kombinationen der drei Merkmale Gefügeform, Rostflecken und Bleichzonen sich hinsichtlich der CO_2-Konzentrationen im Oberboden signifikant unterscheiden. Berücksichtigt wurden alle Merkmalskombinationen, die mindestens 10 Mal beobachtet wurden. Aufgrund dieser Analyse wurden die Merkmalskombinationen in 6 Verformungsstufen eingeteilt. Die erste Stufe kennzeichnet einen Boden ohne Verformungsschaden, die Stufen 2 bis 6 indizieren zunehmende Verformungsschäden. Die Zuordnung der Merkmalskombinationen zu Schadstufen erfolgte anhand folgender Kriterien: Innerhalb einer Schadstufe finden sich nur Merkmalskombinationen, die sich hinsichtlich ihrer CO_2-Konzentration nicht signifikant unterscheiden. Zwischen den Schadstufen unterscheiden sich die CO_2-Konzentrationen einer oder mehrerer Kombinationen signifikant. In Abbildung 5 sind die CO_2-Konzentrationen aller ausgewerteten Merkmalskombinationen ($N > 9$) dargestellt. Kombinationen, die einer Schadensstufe zugeordnet wurden, sind nebeneinander dargestellt.

Aus den Ergebnissen wurde ein Bestimmungsschlüssel zur Beurteilung von Verformungsschäden entwickelt, der als Dreiecksdiagramm in Abbildung 6 dargestellt ist. Eingangsgrößen zur Beurteilung eines Verformungsschadens sind die Gefügeformen, die auf der vertikal orientierten Kathete des Dreiecksdiagramms aufgetragen sind. In einem zweiten Schritt wird die Ausprägungsform von Rostflecken, die auf der horizontalen Kathete des Dreiecks dargestellt sind, beurteilt. Über diese beiden Merkmale gelangt man innerhalb des Dreiecks zu einem Bereich, der vertikal durch die Gefügeform und horizontal durch die Ausprägung der Rostflecken definiert ist. In einem dritten Schritt wird die Größe der Bleichzonen beurteilt, die auf der Hypotenuse skaliert ist. Auf diese Weise lässt sich eine Bodenprobe einem Bereich des Dreiecks zuordnen, der durch die Gefügeform und die Redoximorphie bestimmt wird. Die Graustufe des Zielbereichs kennzeichnet das Ausmaß des Verformungsschadens. Zusätzlich ist jeder Bereich des Dreiecks mit Ziffern versehen, die Aufschluss über die Ausprägungsform der einzelnen Merkmale geben. Die erste Ziffer zeigt die Gefügeform an, die zweite Ziffer die Ausprägung der Rostflecken und die dritte Ziffer die Größe der Bleichzonen (vgl. Tab. 6 und 7).

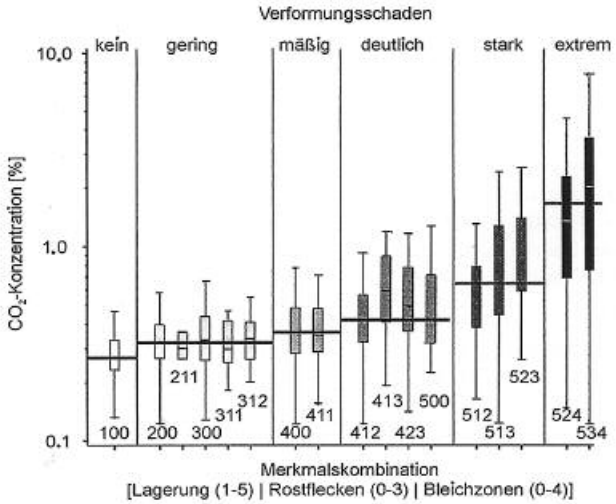


Abb. 5

CO_2-Konzentration in 5 cm Bodentiefe bei unterschiedlichen Ausprägungskombinationen der feldbodenkundlichen Merkmale Lagerungsart, Rostflecken und Bleichzonen. Die Balken kennzeichnen das 25. und 75. Perzentil, die horizontale Linie im Balkeninneren den Median. Die Zahlen geben die Ausprägung von Krümelanteil (1. Ziffer), Rostflecken (2. Ziffer) und Bleichzonen (3. Ziffer) an. Die Zuordnungen von Merkmalskombinationen in Stufen unterschiedlicher Verformungsschäden basiert auf den Ergebnissen des multiplen, nicht parametrischen DUNN-Testes

Relationship between the CO_2-concentration at a soil depth of 5 cm and different combinations of field soil parameters. The number at the bottom of the boxes explains the combinations. The 1st number represents the percentage of crumbs, the 2nd number the form of rust and the 3rd number the extent of bleached areas. The edges of the box are located at the 25th and 75th percentile. The horizontal line at the centre is drawn at the median. The result of the non parametric multiple DUNN-Test was used to assign combinations of field soil parameters to a level of deformation damage

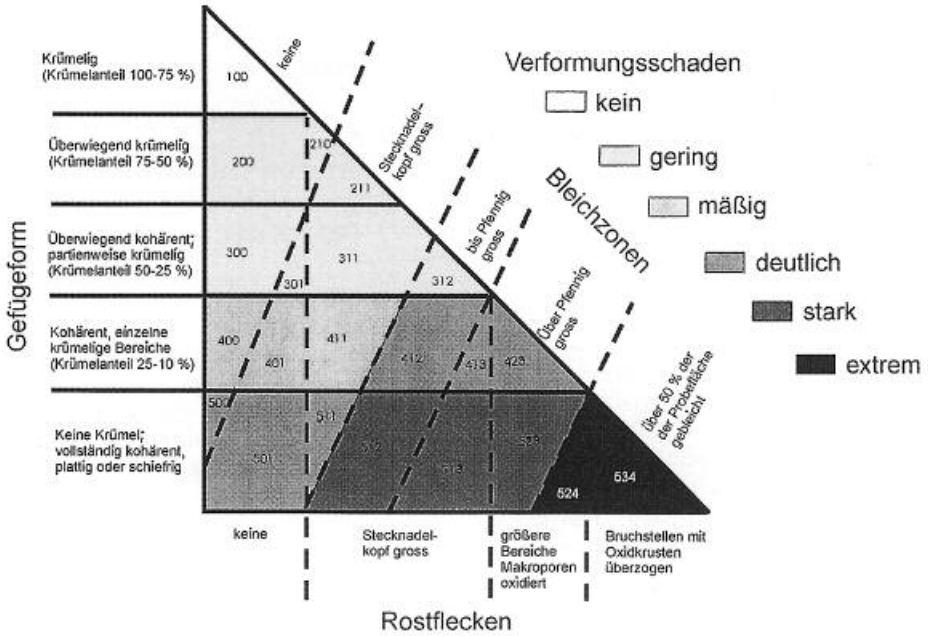


Abb. 6

Dreiecksschlüssel zur Bestimmung des Verformungsschadens im Gelände. Felder gleicher Grautönung zeigen die gleiche Intensität des Verformungsschadens an. Die in den Feldern hinterlegten Zahlen geben die Ausprägung von Lagerungsart (1. Ziffer), Rostflecken (2. Ziffer) und Bleichzonen (3. Ziffer) an

Triangle key to assess the deformation damage level of the soil surface. Equal grey scaled fields represent equal deformation damage levels. The 1st number of the three-digit number in every field explains the percentage of crumbs, the 2nd the form of rust and the 3rd the extend of bleached areas

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit zunehmender Mechanisierung der Holzernte geht eine zunehmende Befahrungsintensität der Wälder einher. Nun wird die ökosystemare Bewertung von Bodenverformungen in Waldstandorten von Praktikern und Wissenschaftlern nach wie vor kontrovers diskutiert. Das liegt u.a. daran, dass der Begriff „Schaden" sehr unterschiedlich definiert werden kann. Häufig wird die Ressourcenbildung als Gradmesser der ökosystemaren Stabilität bzw. Schadensfreiheit verwendet. D.h. wenn der Zuwachs forstlichem Erfahrungswissen entspricht, wie es z.B. in Ertragstafeln niedergelegt ist, wird Schadensfreiheit unterstellt. Einschränkungen von Bodenfunktionen, die erst bei extremen Konstellationen von Standortfaktoren wichtig sind und für die Ertragsbildung begrenzend werden (z.B. pflanzenverfügbares Wasser bei Trockenheit, ausreichende Luftkapazität bei Nässephasen, ausreichender Verankerung bei Sturm) bleiben unberücksichtigt.

Im Gegensatz zu dem Ressourcenmodell sprechen wir von einem Verformungsschaden, wenn aufgrund von Störungen der Bodenstruktur messbare Belüftungsmängel, d.h. messbarer Funktionsverlust zu beobachten sind. Da das luftgefüllte Porenvolumen als eine in den Boden reichende „Sackgasse" der Atmosphäre aufgefasst werden kann, müssen alle Flüsse der Gasversorgung und -entsorgung über die Bodenoberfläche abgewickelt werden. Wenn die „Schleuse Oberboden" verengt wird, hat dies zwangsläufig Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung und die CO_2-Entsorgung in tieferen Bodenhorizonten. Bei vergleichbarer Witterung und vergleichbarer Bodenfeuchte eignet sich somit die CO_2-Konzentration in der Bodenluft als quantitative Variable, um die Belüftungssituation im Boden zu charakterisieren.

Eine erste Möglichkeit, Verformungsschäden qualitativ im Gelände zu beurteilen, stellt die in der „Forstlichen Standortskartierung" veröffentlichte Tabelle dar (Arbeitskreis Standortskartierung 1996). Aufgrund der differenzierten feldbodenkundlichen Ansprache und der großen Anzahl von Messpunkten in der vorliegenden Untersuchung konnten wir die Aussagekraft der dort aufgeführten feldbodenkundlichen Merkmale hinsichtlich ihrer Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung überprüfen.

Eine hohe diagnostische Aussagekraft im Hinblick auf die aktuelle Belüftungssituation und das Ausmaß von Verformungsschäden haben die Gefügeform und die Redoximorphiemerkmale. Während die Gefügeform vor allem Hinweise auf das Potential zum Gasaustausch zwischen Bodenluft und Atmosphäre gibt, zeigen Rostflecken und Bleichzonen Folgen von Sauerstoffmangel im Oberboden an. Die enge Beziehung zwischen der Ausprägung von Redoximorphiemerkmalen und den CO_2-Konzentrationen in der Bodenluft zeigen, dass die Bleichzonen und Rostflecken im mineralischen Oberboden nicht als Merkmale reliktischen Sauerstoffmangels interpretiert werden dürfen, sondern auf aktuelle Belüftungsengpässe hinweisen.

Aufgrund des hohen Deckungsgrades von qualitativer Feldansprache mit quantitativen Belüftungsparametern ist es möglich, anhand einfacher feldbodenkundlicher Merkmale das Ausmaß von Bodenverformungen zu beurteilen. Der vorgestellte Schlüssel zur Beurteilung von Verformungsschäden kann unseres Erachtens auf allen Lössstandorten oder lehmigen Standorten, auf denen Rostflecken und Bleichzonen gut zu erkennen sind, angewendet werden. Inwieweit sich Verformungsschäden bei Oberböden mit starker Eigenfärbung, die zu einer Überprägung der Redoximorphiemerk-

male führt (z.B. Buntsandstein oder devonischer Schiefer), ebenfalls charakterisieren lassen, kann noch nicht beurteilt werden.

Wir möchten den vorgestellten Beurteilungsschlüssel als einfach zu handhabendes Hilfsmittel verstehen, welches in der Praxis die Beurteilung von Verformungsschäden ermöglicht. Denn erst wenn Verformungsschäden als solche erkannt werden, kann man erwarten, dass bei der Optimierung von Holzerntemaßnahmen die Zielgröße „Nachhaltiger Funktionserhalt des Bodens" ein stärkeres Gewicht erhält.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Arbeit war zu prüfen, ob feldbodenkundliche Merkmale geeignet sind, die aktuelle Belüftungssituation von Böden zu beurteilen sowie das Schadensausmaß von Bodenverformungen zu charakterisieren. Dazu wurde in einem befahrenen Eichenbestand im Forstamt Müllheim (Baden) an 1764 Messpunkten die CO_2-Konzentration der Bodenluft in 5 cm Tiefe zur Indikation von Belüftungsstörungen gemessen und feldbodenkundlich ansprechbare Oberbodenmerkmale aufgenommen. Es zeigte sich, dass Belüftungsstörungen insbesondere von dem Krümelanteil des Oberbodens sowie durch die Ausprägung der Redoximorphiemerkmale angezeigt werden. Die ökologische Relevanz der Schäden ergab sich aus dem deutlichen Zusammenhang der Feinwurzeldichte und der Verformungsintensität. Aus dem Befund, dass die CO_2-Konzentration der Bodenluft sowohl mit abnehmendem Krümelanteil als auch mit zunehmender Intensität von Rostflecken und Bleichzonen ansteigt, wurde ein feldtauglicher Bestimmungsschlüssel zur Beurteilung von Verformungsschäden abgeleitet.

6. Summary

Title of the paper: *Assessment of soil deformation at forest soils – Relevance of field soil science deformation parameters to the actual soil aeration.*

The aim of the study was to test if field soil science deformation parameters are suited for evaluation of the current aeration status of soils as well as characterisation of the extend of ecological damage caused by soil compaction. In order to quantify the degree of soil compaction, 1764 samples of CO_2 concentrations in the soil air were measured at a depth of 5 cm from a trafficked oak stand in the Müllheim (Baden) forestry district. The results were correlated with soil surface features, addressable by field soil science. Aeration interference was particularly reflected in the percentage of macroaggregates on the soil surface as well as by morphological redox characteristics. The ecological relevance of the damage was articulated by clearly negative correlation between fine root density and deformation intensity. As a result of this study, namely, that the percentage of CO_2 concentrations in soil air rose with decreasing macroaggregate percentages as well with increasing rust stains and bleached zones; a field classification tool was derived for the evaluation of deformation damage.

7. Résumé

Titre de l'article: *La détermination de la structure des sols forestiers: caractéristiques pédologiques observables sur le terrain et leur importance pour l'aération effective du sol sur des stations à loess-lehm.*

L'objectif de ce travail était de vérifier si des caractéristiques pédologiques observables sur le terrain convenaient pour estimer les conditions actuelles d'aération d'un sol et pour caractériser l'importance des dommages provoqués par des déformations de ces sols. Pour ce faire, on a mesuré la concentration en CO_2 de l'air du sol en 1764 points, et à une profondeur de 5 cm, dans un peuplement de chênes soumis à une circulation de véhicules dans le „forstamt" de Müllheim (Pays de Bade) afin d'avoir des indications sur les perturbations de l'aération de ce sol; on a également relevé les caractéristiques de la strate superficielle du sol observables sur le terrain et éventuellement liées à ces perturbations. On a constaté que les perturbations de l'aération du sol se manifestaient tout particulièrement dans la partie friable de la strate superficielle et se traduisaient par les caractéristiques liées au processus de l'oxydoréduction. L'importance écologique des dommages résulte des relations très nettes entre la densité du chevelu racinaire et l'importance des déformations du sol. Comme on a établi que la concentration en CO_2 de l'air du sol augmentait d'une part avec la diminution de la partie friable superficielle du sol et d'autre part avec l'augmentation du nombre des taches de couleur rouille et des zones de décoloration, on a pu ainsi établir une clé d'évaluation, utilisable sur le terrain, des dommages liés aux déformations du sol. J. M.

8. Literatur

Arbeitskreis Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung: Forstliche Standortsaufnahme. Begriffe, Definitionen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. IHW-Verlag, Eching. 5. Aufl. 352 S., 1996

Burton, A. J., Zogg, G. P., Pregitzer, K. S. and Zag, D. R.: Effect of measurement CO2 concentrations on sugar maple root respiration. Tree Physiologie **17**, 421–427, 1997

Gaertig, T., Wilpert, v. K. und Schack-Kirchner, H.: Bodenbelüftung als Steuergröße des Feinwurzelwachstums in Eichenbeständen. Allg. Forst u. J.-Ztg. **170**. (5–6), 81–87, 1999

Qi, J., Marshall, J. D. and Mattson, K. G.: High soil carbon dioxide concentrations inhibit root respiration of Douglas fir. New Phytol. **128**, 435–442, 1994

Schack-Kirchner, H.: Struktur und Gashaushalt von Waldböden. Berichte Forschungszentr. Waldökosysteme. Reihe A, Bd. 112, 145 S., 1994

Schäffer, J., Hildebrand, E. E. und Mahler, G.: Bodenverformungen beim Befahren. Allg. Forst Zeitschr. **46**, 550-554, 1991

Herausgeber: Prof. Dr. K.-R. Volz, Freiburg i. Br., und Prof. Dr. Dr. h. c. H. Kramer, Göttingen – Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.

Satz und Druck: Graphische Kunstanstalt W. Herr, Gießen – Printed in Germany

© J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 2000

Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen

Beiträge zur Beurteilung der Schneebruchgefährdung, zur Schadensvorbeugung und zur Behandlung schneegeschädigter Nadelholzbestände

Von Michael Rottmann

159 Seiten mit 62 Abbildungen
und 37 Tabellen
Kartoniert DM 16,80

Aus dem Inhalt:

Schneeschadensstatistiken

Ursachen von Schneebruchschäden
- Umweltbedingte Ursachen
- Bestockungsbedingte Ursachen
- Bewirtschaftungsmängel

Prophylaxe und Thearpie von Schneeschäden
- Abschätzung des Schadrisikos
- Behandlung gefährdeter Bestände
- Behandlung geschädigter Bestände

Folgeschäden

Umfassende Literaturangaben

J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG
FRANKFURT AM MAIN

JAGD & HUND

20. Internationale Ausstellung für Jagd & Angelfischerei

Das Jahr für Jäger und Naturfreunde beginnt in Dortmund !

Die JAGD & HUND 2001 – die führende Ausstellung dieser Art in ganz Europa – bietet Ihnen das umfassende Angebot von fast 600 Ausstellern. Rund um Jagd und Hund, Fisch und Fang, Wildhege und Wildpflege. Alles über Jagdgeländewagen und -häuser, Jagdtouristik, Jagdinterieur, Jagdmode, Angelreisen und Angelbedarf, Wald und Natur. Dazu Sonderschauen zu jagd- und fischereibezogenen Themen, Biotope und Lehrschauen. Und ein abwechslungsreiches Liveprogramm mit der Vorstellung von Jagdgebrauchshunden, Jagdhornkonzerten und Jagdmodenschauen. Vorträge über Jagd und Fischfang in aller Welt. Waidmanns Heil – willkommen in Dortmund!

Sonderschauen:
- Große Greifvogel-Schau
- Lebensraum Hecke
- Lernort Natur – Natur erleben
- Schießstand des LJV
- Fuchs, Dachs & Co
- Präperatoren in Aktion
- Das Jahr im Wald
- Landeshegeschau
- Anglerparadies Möhnesee
- Fische u. Fischfang vom Altertum bis heute

30. Jan.-4. Febr. 2001

10-18 Uhr • Samstag und Sonntag 9-18 Uhr

Messe Westfalenhallen Dortmund

Westfalenhallen Dortmund GmbH · Geschäftsbereich Messen · Rheinlanddamm 200 · 44139 Dortmund
Tel.: (02 31) 12 04-521 oder 525 · Fax: (02 31) 12 04-678 oder 880
http://www.westfalenhallen.de · E-Mail: info@westfalenhallen.de

Zutritt für Hunde nur mit gültigem Impfpass!

Forest Mensuration

By A. VAN LAAR and A. AKÇA

417 pages. DM 94.90 / € 48.50

The ever-increasing interest in quantitative methods for measuring trees and forests and to estimate changes requires a continous update of world literature, dealing with terristic surveys and with the application of remote sensing methods and techniques. In order to obtain sufficiently accurate information at reasonably low cost, inferential statistics plays a dominant role in extracting and processing data based on sampling procedures and in evaluating the precision of these estimates.

The introductory chapter deals with statistical principles, with strong emphasis on distributions, estimators as well as linear and nonlinear regression and simple time series models and is followed by a chapter which discusses instruments used in ground surveys. The next two chapters review the measurement of trees and stands respectively. They are followed by three chapters which deal with and summarize models for predicting stem profile, tree volume and tree biomass with 3 characteristics as predictor variables. Chapter 9 concentrates on growth and yield models and reviews models and equations to predict mortality and is followed by a chapter which summarizes sampling methods used in forest inventories. Chapter 11 deals with the potential of remote sensing in forest inventories.

This book has been written for students, planners and managers in forestry and related fields. A large number of worked examples serve to clarify the different methods.

In commission by

J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG · FRANKFURT AM MAIN