

Tomografisches Abbildungssystem zur zerstörungsfreien Qualitätsbewertung von Nadel-Stammholz auf Basis von Ultraschall- und Radarverfahren (UltraLog)

Tomographic Imaging System for the Non-destructive Quality Assessment of Coniferous Trunk Wood Based on Ultrasonic and Radar Methods (UltraLog)

Projektleiter
Project Leader:
Lars Blüthgen

Projektbearbeiter
In-charge:
Jens Wiedemann,
Philipp Flade

Fördermittelgeber
Funding organisation:
BMW (IGF)

Projektpartner
Project Partner:
MFPA, Weimar,
ThüFo

ANLASS

Ziel eines gemeinsam von der Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA), dem Service- und Kompetenzzentrum des Thüringen Forsts (ThüFo) und IHD bearbeiteten Projektes war die Entwicklung eines Verfahrens zur zerstörungsfreien Qualitätsbewertung von Nadelstammholz mit Hilfe von Ultraschall- und Radarverfahren. Dies soll zur effektiven Nutzung der Ressource Holz beitragen.

Da die Fichte mit 60 % des Holzeinschlages in Deutschland eine besondere wirtschaftliche Relevanz hat, wurde der Fokus in diesem Projekt auf Untersuchungen mit dieser Baumart gerichtet.

Den Hauptschädigungsgrund sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht am Stammholz als auch für die Qualität eines Bestandes stellt die vor allem vom Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum*) verursachte und den Weißfäulen zuzuordnende Rotfäule dar, die sich von den Wurzeln oder vom Stammansatz ausgehend im Kernholz des Stammes mit einer Geschwindigkeit von bis zu 30 cm je Jahr ausbreitet.

MESSPRINZIPIEN UND MATERIALIEN

Für die Bewertung der Stämme wurde mit einem auf Transmissionsmessungen basierenden zerstörungsfreien tomografischen Abbildungssystem gearbeitet. Dazu kamen parallel das Ultraschall- (elastische Wellen) und das

OBJECTIVE

The objective of a project jointly processed by the Materials Research and Materials Testing Institute at the Bauhaus-Universität Weimar (MFPA), the Service and Competence Centre of the Thuringian Forest (ThüFo) and the IHD was to develop a method for the non-destructive quality assessment of coniferous trunk wood with the help of ultrasonic and radar methods. This is intended to contribute to the effective use of the resource of timber.

Since spruce has a particular economic relevance with 60% of timber harvested in Germany, the project activities were focused on investigations into this wood species.

Damage to both the trunk wood – from an economic perspective – and the quality of the forest stock is mainly caused by the infestation of *Heterobasidion annosum* which leads to a red heart rot (a form of white rot), that spreads out from the roots or the trunk base in the heartwood of a trunk at a speed of 30 cm per year.

MEASURING PRINCIPLES AND MATERIALS

A non-destructive tomographic imaging system based on transmission measurements was used to assess the trunks. Therefore, both ultrasonic (elastic waves) and the radar methods (electromagnetic waves) were applied. It had been known from preliminary in-

Radarverfahren (elektromagnetische Wellen) zum Einsatz. Aus Voruntersuchungen war bekannt, dass beide Verfahren für die diskutierte Aufgabenstellung geeignet sind.

Im Messaufbau werden zur tomografischen Abbildung des Stammquerschnitts die Sensoren in einem stammumschließenden Scan bewegt. Aus diesen Messungen errechnen sich Querschnittsbilder (Tomogramme), aus denen auf die Verteilung von Holzfehlern, wie z. B. die Rotfäule, gefolgert werden kann.

Zur Erreichung der Ziele wurden während des Vorhabens für beide Verfahren geeignete Sensoren (Ultraschallprüfköpfe bzw. Antennen) entwickelt und Grundlagenuntersuchungen zum Ausbreitungsverhalten der eingesetzten Ultraschall- bzw. Radarwellen durchgeführt.

Bezüglich der Mess-Hardware bestanden wegen der notwendigen Robustheit, Signalqualität und kurzen Messzeit hohe Anforderungen. Dies galt auch für die Auswahl und Implementierung von Techniken der digitalen Signalverarbeitung, eines geeigneten tomografischen Abbildungsverfahrens und der automatisierten Bildbewertung und -klassifizierung.

In Abb. 1 sind der labortechnische Messaufbau, die Strahlengänge und ein berechnetes Tomogramm dargestellt.

vestigations that both methods were appropriate for the task in question.

In the measuring setup, the sensors are moved in a trunk-embracing scan for tomographically imaging the trunk cross-section. Cross-sectional images (tomograms) are calculated from these measurements, from which the distribution of wood defects, such as red heart rot, can be inferred.

To achieve the objectives, suitable sensors (ultrasonic test heads or antennas, respectively) were developed for both methods during the project and basic investigations on the propagation behaviour of ultrasonic and radar waves were carried out.

There were high requirements regarding the measuring hardware due to the necessary robustness, signal quality and short measuring time. This also applied to the choice and implementation of techniques for digital signal processing, of an appropriate tomographic imaging method and of the automated image assessment and classification.

Fig. 1 shows the technical measuring setup in the laboratory, the paths of rays and a calculated tomogram.

Apart from the radar and ultrasonic tests, wood-biological and wood-physical investiga-

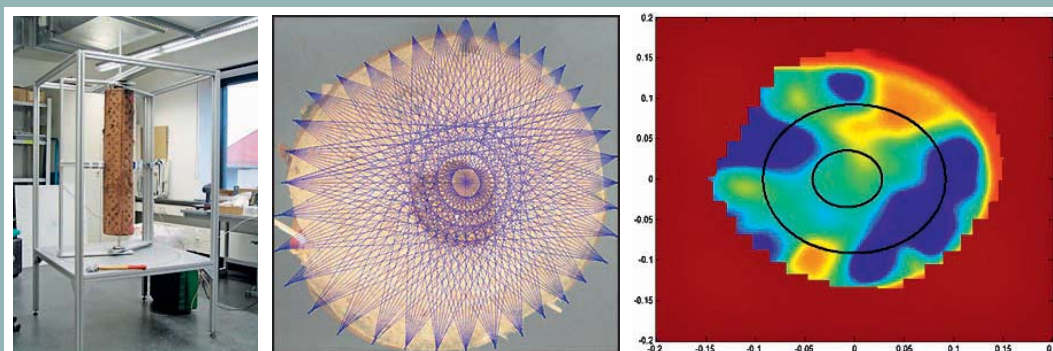


Abb. 1: Messaufbau für die Ultraschall- und Radarmessungen (links), Strahlengänge (Mitte) und berechnetes Radar-Tomogramm (rechts).

Fig. 1: Measuring setup for ultrasonic and radar measurements (left), paths of rays (centre) and a calculated radar tomogram (right).

Neben den Radar- und Ultraschallversuchen erfolgten an den Stämmen vergleichend auch holzbiologische und holzphysikalische Untersuchungen sowie röntgentomografische Messungen.

UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE

Für die Ultraschall- und Radardaten wurden getrennte Algorithmen zur automatischen Laufzeitdetektion entwickelt, implementiert und messtechnisch evaluiert. Durch die verwendete Laufzeittomografie konnten Anomalien im Stamm sichtbar gemacht werden, die aber nicht immer einer genauen Position zuzuordnen waren.

Aus den untersuchten Stammabschnitten wurden im Bereich der vereinbarten Messebenen dünne Stammscheiben entnommen, aus denen dann in einem definierten Raster quaderförmige Prüfkörper geschnitten wurden.

Nach Klimatisierung der Proben erfolgte die Ermittlung verschiedener holzphysikalischer Parameter (z. B. Druckfestigkeit, Rohdichte), von denen erwartet wurde, dass sie entweder unmittelbar mit dem vorliegenden Fäulegrad korrelieren und/oder als sensitive Größen für die zur Anwendung kommenden Ultraschall- und Radarverfahren fungieren oder relevante Parameter beeinflussen. Neben der Bestimmung von Rohdichten und Druckfestigkeiten wurden die mittleren Jahrringbreiten, die Einteilung in Splint- und Kernholz sowie der Abstand zur Markröhre der jeweiligen Probekörper bestimmt. Da bei der Holzsortierung häufig vom Begriff der Beil- und Nagelfestigkeit gesprochen wird, wurde zudem ein Versuchsaufbau konzipiert, um vor der (materialzerstörenden) Durchführung des Druckversuches die Maximalkraft bei einem Nageleindrückversuch zu bestimmen.

tions were performed and tomographic X-ray measurements taken from the trunks.

INVESTIGATIONS AND RESULTS

For the ultrasonic and radar data, separate algorithms for automatic traveltime detection were developed, implemented and evaluated by measurement. Thanks to the traveltime tomography used, anomalies in the trunk could be visualised, but not always be allocated to a precise position.

Thin trunk disks were taken from the examined trunk sections in the region of the agreed measuring planes, from which then cuboid test samples were cut in a defined pattern.

After conditioning the samples, various wood-physical parameters were determined (e.g., compression strength, density), of which was to be expected that they would either correlate immediately with the prevailing degree of rot and/or act as sensitive parameters for the ultrasonic and radar methods or influence relevant parameters. Apart from determining the raw densities and compression strengths, the average annual ring widths, the differentiation between sapwood and heartwood and the distance to the pith were determined in the respective test samples. As in wood assortments the terms cleavage strength and nail strength are in common use, another test setup was designed to determine the maximum force in nail-impression test, prior to performing the (destructive) compression test.

While the distribution of the compression strength observed via the cross-section often correlates well with the degree of rot, the interrelation with the maximum force in nail-impression tests is characterised clearly lower to not at all.

Während beispielsweise die über den Querschnitt betrachtete Verteilung der Druckfestigkeit häufig gut mit dem Fäulegrad korreliert, ist der Zusammenhang mit der Maximalkraft beim Nageleindrückversuch deutlich schwächer bis teilweise gar nicht ausgeprägt. In unmittelbarer Nachbarschaft zu den Proben für die physikalischen Untersuchungen wurden aus den Querschnittsbereichen gemäß den Vorgaben Probekörper entnommen, mit denen die Holzfeuchteverteilung über den Querschnitt ermittelt wurde. Weiterhin erfolgten mikroskopische Untersuchungen zum Nachweis von Pilzstrukturen sowie des Holzabbaus durch Rotfäuleerreger in den unterschiedlichen Querschnittsbereichen und von verschiedenen Fäulegraden (Abb. 2). Von gesundem sowie unterschiedlich stark befallenen Holz wurde das Wasseraufnahmeverhalten untersucht. Weiterhin erfolgten an ausgewählten Proben zur Pilzdiagnostik molekularbiologische Untersuchungen mittels Sequenzierung bzw. Chip-Technologie. Die untersuchten Methoden eignen sich grundsätzlich zur Charakterisierung von Vollhölzern. Im Rahmen weiterführender Arbeiten sind die entwickelten und labortechnisch angewendeten Methoden in praxisrelevante Systeme zu überführen.

To determine the distribution of wood moisture over the cross section, samples were taken in the immediate vicinity of the specimens for the physical investigations. Moreover, microscopic investigations were performed to prove fungal structures and wood degradation due to red heart rot germs in the different cross-sectional regions and various degrees of rot (Fig. 2). The water absorption behaviour was investigated in healthy and differently infested wood. Furthermore, molecular-biological investigations were carried out on selected samples for fungal diagnostics by means of sequencing or chip technology. The methods investigated are principally suitable for characterising solid timber. Within the scope of continuing works, the methods developed and applied on a laboratory scale need to be transferred into practically relevant systems.

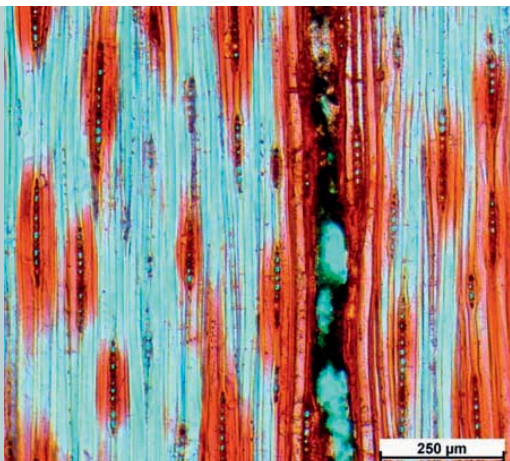


Abb. 2: Fichtenprobe mit Fäulegrad 2, Tangentialschnitt im Auflicht, Holzstrahlen und umgebende Fasern sind stark geschädigt - dort erhöhte Farbstoffaufnahme; 100fach vergrößert

Fig. 2: Spruce sample with rot degree 2, tangential section in incident light, medullary rays and ambient fibres are severely damaged – increased dye absorption there; enlarged 100-fold