

Zerstörungsfreie Prüfung von Holzbauteilen mit kombiniertem Mikrowellen- und Ultraschallverfahren

Non-destructive testing of wooden load-bearing components by combining microwave and ultrasonic methods – UltraTimB

Projektleiter:

Project leader:

Dr. Wolfram Scheiding
(für Teilvorhaben IHD)

Projektbearbeiter:

In-charge:

Philipp Flade,
Jens Wiedemann,
Kordula Jacobs

Projektpartner:

Project partners:

Materialforschungs-
und-prüfanstalt an der
Bauhaus-Universität
Weimar (federführende
Forschungsstelle)

Fachhochschule Erfurt,
Fachrichtung Bauinge-
nieurwesen, Fachgebiet
Ingenieurholzbau

Fördermittelgeber:

Co-funded by:

BMWK

Projektträger:

Project management:

AiF Projekt GmbH

Förderprogramm:

Funding programme:

IGF

Förderkennzeichen:

Funding code:

22298 BR

Laufzeit:

Term:

01.03.2022 – 31.12.2024

AUSGANGSSITUATION

Sicherheitsrelevante Bauwerke müssen regelmäßig auf ihren Zustand geprüft werden. Aufgrund der Alterung des Bestandes und damit der Zunahme von Schäden steigt die Bedeutung einer effizienten und sicheren Bauwerksprüfung ständig. Eine rechtzeitige Schadenserkenkung und -bewertung verringert Erhaltungs- und Sanierungskosten und minimiert das Risiko eines Versagens von tragenden Bauteilen und Konstruktionen. Für Bauwerke aus Holz ist die Zustandsprüfung oft schwierig, da die verfügbaren Untersuchungsmethoden eine Beurteilung des Bauteilinneren nur punktuell und mit begrenzter Sicherheit erlauben. Bauteile sind konstruktionsbedingt häufig verdeckt bzw. nicht direkt zugänglich, was ihre Begutachtung erschwert oder verhindert.

Verschiedene Schadensereignisse in den letzten Jahren führten zu verschärften Prüfvorschriften für Holzbauwerke, wodurch sich deren Unterhaltskosten erheblich erhöhten. Auch für Gebäude ist eine umfassende und sichere Beurteilung der Tragstrukturen eine grundlegende Voraussetzung für eine wirtschaftliche Instandsetzungsplanung.

INITIAL SITUATION

Safety-relevant structures must regularly be tested for their condition. Due to the ageing of existing structures and the resulting increase in damage, the importance of efficient and safe structural inspections is constantly increasing. Early damage detection and assessment reduces maintenance and renovation costs and minimises the risk of failure of load-bearing components and structures. Inspecting the condition of timber structures is often difficult, as the available inspection methods only allow a selective assessment of the inside of the component with limited certainty. Components are often concealed or not directly accessible due to their construction, which makes their assessment difficult or impossible.

Various damage events in recent years have led to stricter inspection regulations for timber structures, which has significantly increased their maintenance costs. For buildings, too, a comprehensive and reliable assessment of the load-bearing structures is a fundamental prerequisite for cost-effective repair planning.



Abb. 1: Referenzprüfkörper (50×50×50) mm³ mit definierter Fäuleschädigung (12 Wochen Inkubation)

Fig. 1: Reference specimen (50×50×50) mm³ of defined rot damage (after 12 weeks of incubation)



Abb. 2: mittelgroßer, zusammengesetzter Prüfkörper mit Innenfäule; fäulegeschädigter Stab (20×20×120) mm³ innen, nicht sichtbar

Fig. 2: medium-sized, composite specimen with inner rot; rot-damaged bar (20×20×120) mm³ inside, invisible



Abb. 3: Versuchsaufbau zur Ultraschallmessung elastischer Materialeigenschaften an einem Referenzkörper (Foto: MFPA/Bonitz)

Fig. 3: Test set-up for ultra-sonic measurement of elastic material properties at a reference specimen (Image: MFPA/Bonitz)



Abb. 4: Versuchsaufbau zur Mikrowellendiagnostik am Tragwerksteil einer Holzbrücke im Labor der MFPA Weimar

Fig. 4: Test set-up for micro-wave diagnostics of a load-bearing part in a wooden bridge at the laboratory of the MFPA Weimar

ZIELSTELLUNG

Ziel von UltraTimB war eine sichere Strukturanalyse und Schadensdiagnostik mit Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung für Holzbauteile. Die Bauteilprüfungen sollten sowohl direkt an der Bauteiloberfläche und erstmalig auch durch Abdeckungen bzw. Luftschichten hindurch ermöglicht werden. Dabei war vorgesehen, die Anwendbarkeit der Verfahren beispielhaft für alte Holzbalkendecken und für Holzbrücken zu testen. Ziel war es auch, dass die Messergebnisse später in digitale Bauwerksmodelle (BIM) implementierbar sind.

OBJECTIVE

The aim of UltraTimB was to reliably analyse structures and diagnose damage by applying non-destructive testing methods for wooden components. The component tests were to be carried out both directly on the component surface and, for the first time, through coverings or layers of air. The aim was to test the applicability of the methods to old wooden beam ceilings and wooden bridges. The aim was also to ensure that the measurement results could be implemented in digital building models (BIM) later on.

VORGEHENSWEISE

Zur Diagnostik an Holzbauteilen wurden erstmals mehrkanalig abbildende Mikrowellenverfahren in Transmission separat sowie kombiniert mit mehrkanalig abbildenden Ultraschallverfahren in Reflexion entwickelt und eingesetzt. Die Untersuchungen erfolgten auf vier Betrachtungsebenen:

- kleine Referenzkörper mit definierten, einzeln zu variierenden Merkmalen (Holzart, Dichte, Feuchte, Fäule, Jahrringlage, Risse, etc.),
- mittelgroße zusammengesetzte Laborprüfkörper mit komplexer Merkmalsverteilung,
- Praxisproben mit unbekannter Merkmalsverteilung und
- Bauteile verbaut im Bestand (in Nutzung).

Am IHD wurden zahlreiche Proben hergestellt und an die Partner, insbesondere MFPA, für weitere Untersuchungen übergeben. Schwerpunkt waren Proben mit definierten Fäulegraden (Braun- und Weißfäule), die holzbiologisch und holzphysikalisch charakterisiert wurden. Weiterhin wirkte das IHD an der Auswertung der Daten mit (z. B. Verknüpfen Tomogramme/Histogramme mit Festigkeitswerten).

Die Entwicklung, Erprobung und Anpassung der Mikrowellen- und Ultraschalltechnik (Antennen, Empfänger, Software usw.) oblag der MFPA. Aufgabe der FHE waren die Bereitstellung von Praxisproben, Untersuchungen an Objekten im Bestand sowie Arbeiten zur (späteren) Implementierung der Diagnose-daten in digitale Bauwerksmodelle (BIM).

APPROACH

For the first time, multi-channel imaging microwave methods in transmission were developed and used both separately and combined with multi-channel imaging ultrasound methods in reflection for the diagnosis of wooden components. The investigations were carried out on four observation levels:

- small reference bodies with defined, individually variable characteristics (wood species, density, moisture, decay, growth ring position, cracks, etc.),
- medium-sized composite laboratory test specimens with complex feature distribution,
- real-life samples of unknown distribution of characteristics,
- components built-in in existing buildings (in use).

Numerous samples were produced at the IHD and handed over to the partners, in particular to MFPA, for further analyses. The focus was on samples with defined degrees of decay (brown and white rot), which were characterised in terms of wood biology and wood physics. The IHD was also involved in analysing the data (e.g., linking tomograms/histograms with strength values).

The MFPA was responsible for developing, testing and adapting the microwave and ultrasound technology (antennas, receivers, software, etc.). The FHE was responsible for providing practical samples, analysing existing buildings and working on the (later) implementation of the diagnostic data in digital building models (BIM).

ERGEBNISSE

Praxisrelevante Merkmale von Holzbauteilen, wie Risse oder lokale Fäule, werden durch die beiden angewendeten Verfahren sehr unterschiedlich detektiert. Limitierend sind beim Ultraschallverfahren alle Grenzschichten, wie Risse oder Klebfugen; zudem ist eine hinreichende Ankopplung von Sender und Empfänger erforderlich. Diese Nachteile bestehen beim Mikrowellenverfahren nicht, das eine Diagnose auch durch zusätzliche Material- bzw. Luftschichten hindurch erlaubt, bei hohen Materialfeuchten jedoch von starker Signaldämpfung betroffen ist. Die Ergebnisausgabe erfolgt bevorzugt sowohl bildgebend mit Tomogrammen als auch mit Histogrammen. Durch Fortschritte in der Messgerätetechnik sind derzeit Messaufbauten verfügbar, die die Diagnostik an Bauteildimensionen erlauben und teilweise als Handgeräte auch vor Ort anwendbar sind. Der gerätetechnische und auch finanzielle Aufwand wird die Anwendung des Mikrowellenverfahrens mit und ohne Kombination mit Ultraschall vorerst auf spezielle Objekte beschränken. Für eine Weiterentwicklung der Messtechnik, die für die Überwachung bzw. Diagnostik von Tragkonstruktionen bzw. Brücken von Interesse ist, bilden die Projektergebnisse eine wichtige Grundlage. Einige Hersteller und Anwender von Diagnosetechnik waren durch ihre Mitwirkung im projektbegleitenden Ausschuss in das Projekt einbezogen.

Aufgrund der starken Anisotropie und Inhomogenität des Baustoffs Holz sind auf Mikroebene noch viele Zusammenhänge zu verstehen und zu erforschen, um die Daten/Signale der punktuell sehr sensitiven Messverfahren auf Bauteile übertragen und valide Aussagen treffen zu können.

RESULTS

Practically relevant features of timber components, such as cracks or localised rot, are detected very differently by the various methods used. Limiting factors in the ultrasonic method are all boundary layers, such as cracks or adhesive joints; in addition, sufficient coupling of the transmitter and receiver is required. These disadvantages do not exist with the microwave method, which also allows diagnosis through additional layers of material or air but is affected by strong signal attenuation in the case of high material moisture. The output of results is preferably affected by using tomograms and histograms. Thanks to advances in measuring equipment technology, measuring set-ups are currently available that allow diagnostics on component dimensions and can also be used on site in some cases (hand-held devices). For the time being, the technical and financial costs involved will limit the use of the microwave method with and without combination of ultrasound to special objects. The project results form an important basis for the further development of measurement technology, which is of interest for the monitoring and diagnosis of load-bearing structures and bridges. Some manufacturers and users of diagnostic technology were involved in the project through their participation in the project-accompanying committee.

Due to the strong anisotropy and inhomogeneity of wood as a building material, many correlations still need to be understood and researched at the micro level to transfer the data/signals from the locally highly sensitive measurement methods to components and make valid statements.