

Prüfung von Holzbauteilen mittels elektromagnetischer Wellen

Anna Margareta Bär, 07.2011

English translation

Mittels elektromagnetischer Wellen ist es möglich Informationen über die innere Struktur eines Körpers zu erlangen oder verborgene Bauteile zu orten. Da dabei der Prüfkörper nicht beschädigt wird spielen diese eine maßgebende Rolle in der zerstörungsfreien Prüfung. Verwendung findet v. a. die Mikrowellen-Feuchtemessung, verschiedene Röntgenverfahren und die Infrarot-Thermographie. Um möglichst sichere und übersichtliche Ergebnisse zu erlangen ist es sinnvoll die Verfahren aufeinander abgestimmt zu kombinieren. Im Holzbau ist es vor allem wichtig innere Schäden durch Risse, Insektenbefall, Feuchte oder gar Fäule zu detektieren und v. a. die Ausmaße der Beschädigung festzustellen.

- 1 [Eigenschaften elektromagnetischer Wellen](#)
- 2 [Prüfverfahren mit elektromagnetischen Wellen](#)
 - 2.1 [Radar / Mikrowelle](#)
 - 2.2 [THz](#)
 - 2.3 [Infrarot-Thermographie](#)
 - 2.4 [Radiographie / Röntgen](#)
- 3 [Zusammenfassung / Sinnvolle Kombination von ZfP-Prüftechniken](#)
- 4 [Literatur](#)
- 5 [Einzelnachweise](#)

Eigenschaften elektromagnetischer Wellen

Bei elektromagnetischen Wellen handelt es sich, wie der Name schon sagt, um Schwingungen elektrischer und magnetischer Felder die miteinander gekoppelt sind. Dabei stehen die Schwingungen des elektrischen und magnetischen Feldes senkrecht zueinander. Für die elektromagnetische Welle gilt der sogenannte Welle-Teilchen-Dualismus. Das bedeutet, dass elektromagnetische Wellen sowohl Wellen- als auch Teilcheneigenschaften aufweisen. Die Frequenz f der Welle korrespondiert dabei mit der Energie $h * f$ des Teilchens (Photons).

Eine weitere Besonderheit dieser Wellen ist, dass sie im Gegensatz zu Schallwellen kein Medium benötigen um sich auszubreiten. Für die zerstörungsfreie Prüfung jedoch sehr wichtig ist die Eigenschaft, dass elektromagnetische Wellen elektrisch nicht leitende Gegenstände durchdringen können. Die Eindringtiefe hängt dabei von der Leitfähigkeit bzw. den dielektrischen Eigenschaften des zu prüfenden Materials und der Frequenz der Welle ab. Allgemein gilt je niedriger die Frequenz desto höher die Eindringtiefe. (Eine Ausnahme bildet hochenergetische Strahlung wie z. B. die Röntgenstrahlung, wobei die Eindringtiefe durch quantenphysikalische Übergänge der Elektrohüllen bestimmt wird.) Die Ortsauflösung der Untersuchungsmethoden liegt in allen Fällen im Bereich der Wellenlänge, welche sich mit $\lambda = c/f$ umgekehrt proportional zur Frequenz verhält ^[1] Die Einteilung elektromagnetischer Wellen erfolgt über die Frequenz im Frequenzspektrum.

Prüfverfahren mit elektromagnetischen Wellen

Zur Prüfung werden Bauteile mit elektromagnetischen Wellen aktiv bestrahlt. Durch Wechselwirkungen der Welle mit dem Material können mittels bekannter Kennwerte Materialdichte, Materialfeuchte und auch Material(in)homogenitäten erkannt werden. Die auf den Körper gerichteten Wellen werden vom Material teilweise reflektiert, absorbiert und transmittiert. Die Reflektion findet an Materialgrenzen und die Absorption im Materialinneren statt. Wie stark diese Effekte sind hängt von den dielektrischen Eigenschaften der Prüfmaterialien ab.

Es können entweder die zurückgeworfenen Wellen (Reflexionsmessung) oder die transmittierten Wellen (Transmissionsmessung) detektiert werden. Der von der Rückwand oder von inneren Materialübergängen reflektierte Teil der Welle kommt später und evtl. phasenverschoben am Empfänger an. Kennt man die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Material so kann über eine Laufzeitmessung die Tiefe von Materialgrenzen (z. B. von innenliegenden Gewindestangen oder Fehlstellen) gemessen werden ^[2].

Wird der gesamte Amplitudenverlauf gemessen, so kann mittels der Fourier-Transformation ein Frequenzspektrum erstellt werden. Anhand dessen kann man noch genauere Schlüsse über den inneren Aufbau der Prüfkörper ziehen.

Mittels geeigneter Programme werden die Messdaten in Bild- oder Diagrammform gebracht, so dass diese leichter interpretiert werden können.

Radar / Mikrowelle

Mikrowellen- und Radarwellen schwingen im Frequenzbereich von ca. 0,3 bis 30 GHz (= 10^9 Hz). Die Wellenlänge, und damit die Messgenauigkeit, liegt im Zentimeterbereich. Im Holzbau wird die Mikrowellenmessung neben der Analyse des strukturellen Aufbaus eines Bauwerks oder Bauteils auch zur Detektion von Feuchte verwendet.

Für die Mikrowellen-Feuchtemessung wurden bereits mobile Handgeräte entwickelt. Durch Aufsetzen eines Messkopfes oder mechanisch geführten Messapparaturen wird das zu prüfende Bauteil einseitig zeilen- oder spaltenweise abgetastet (hf sensor GmbH, 2008). Feuchteunterschiede zeigen sich durch unterschiedliche Leitfähigkeit im Holz. Es kann bis zu einer Eindringtiefe von 30 cm gemessen werden. Mit neueren Geräten kann in einem Messdurchgang eine Fläche abgetastet und dabei mehrere Tausend Messergebnisse im Gerät gespeichert werden. Die Daten werden auf einen Computer übertragen und mittels geeigneter Software ausgewertet. Ergebnisse können sogar mehrdimensional dargestellt werden (hf sensor GmbH, 2010).

Neben den mobilen Systemen gibt es auch stationäre Systeme. Diese werden in Produktionsprozessen eingesetzt, wo sie z. B. bei der Fertigung von Dämmelementen Struktur und Feuchte zu überwachen.

Auch für eine Strukturanalyse wird das Messgerät über das Bauteil gefahren. Durch die Laufzeitmessung werden Radargramme erstellt. Einbauten wie z. B. Gewindestangen zeigen sich typischerweise durch eine Hyperbel [2].

Vorteilhaft an Mikrowellen basierten Systemen ist, dass die mobilen Systeme relativ handlich sind und die Daten vor Ort zur Überprüfung auf einen Laptop übertragen werden können (falls nicht schon direkt auf dem Gerät eine Teilauswertung stattfindet). So können Mess- oder Kalibrierungsfehler frühzeitig entdeckt werden. Allerdings ist v. a. bei Radargrammen einiges an Erfahrung nötig, um diese richtig zu deuten.

THz

Der THz- Bereich findet sich derzeit noch in der Erschließungsphase. Nach dem Durchbruch der passiv arbeitenden THz-Körperscanner an Sicherheitsschleusen wird die Forschung schnell vorangetrieben. Vielleicht ist die Forschung und Technik in einigen Jahren soweit, dass die Technik in Bereichen des Holzbaus angewendet werden kann. Wegen der starken abschirmenden Wirkung von Wasser ist es allerdings fraglich ob die Systeme auch direkt am Bauwerk eingesetzt werden können [1].

Infrarot-Thermographie

Infrarotstrahlung liegt im Bereich von ca. 10^{13} bis 10^{14} Hz. Anwendung findet sie im Bauwesen in der Infrarot(IR)-Thermographie, welche v. a. in der Bauphysik zur Detektion von Wärmebrücken oder allgemein zur strukturellen Analyse von Verputzen bzw. unter dünnen Schichten verborgenen Bauteilen verwendet wird. Doch kann man auch oberflächennahe Defekte erkennen [3].

Die Infrarot-Thermographie ist prinzipiell eine kontaktlose Temperaturmessung. Sie kann im Gegensatz zu Radar- und Röntgenmessungen passiv durchgeführt werden. Dabei wird mittels einer Wärmebildkamera der Infrarotanteil der Wärmestrahlung detektiert. Durch ihre unterschiedliche Abstrahlung kann man verschiedene Materialien am Bauteil erkennen. Sind die Temperaturunterschiede zu gering wird das Prüfobjekt aktiv erwärmt und sowohl der Erwärmungs- als auch der Abkühlvorgang aufgenommen. So treten die Kontraste stärker auf und können leichter gemessen werden [4].

Der große Vorteil an IR-Thermographie ist, dass sie relativ leicht großflächig anwendbar ist. Durch die geringe Eindringtiefe von ca. 10 cm ist sie zur Fehlersuche an dicken Bauteilen nur dann sinnvoll, wenn sichergestellt ist, dass der Schaden nahe der Oberfläche liegt. Allerdings kann durch die geringe Wellenlänge eine hohe Auflösung erreicht werden.

Radiographie / Röntgen

Aus der Medizin jedem bekannt sind die Röntgenstrahlen, die im Bereich von ca. 10^{16} bis 10^{19} Hz liegen. Ihre Wellenlänge liegt im Nanometerbereich und ist damit so kurz, dass sie durch die Molekülstruktur gelangen und somit relativ hohe Eindringtiefen von 50 cm erreichen kann [5]. Im Holzbau kann sie zur Dichtmessung oder zur Detektion von Fremdkörpern, Ästen oder Fehlstellen verwendet werden. Hierzu ist allerdings eine beidseitige Zugänglichkeit an das Bauteil notwendig, da die Prüfung nur im Durchstrahlungsverfahren möglich ist.

Problematisch bei Röntgenstrahlung ist ihre ionisierende Wirkung. So können Röntgenstrahlen wegen ihrer hohen Energie Molekülstrukturen verändern und sind deshalb gesundheitsschädlich. Dies wirkt sich bei Messungen an Bauteilen umso mehr aus, da um größere Tiefen zu erlangen hochenergetischere Strahlung notwendig ist. Im Umgang mit Röntgenröhren muss deshalb die Strahlenschutzverordnung eingehalten werden.

Größere stationäre Geräte werden im Herstellungsprozess beim Holzbau verwendet. Beispielsweise durchstrahlen Sägewerke vor dem Sägen das Holz auf Fremdmaterialien um teure Maschinen vor Beschädigungen durch harte Einschlüsse wie Steinen oder Metallteilen wie z. B. Nägeln zu schützen [3]. Hier lassen sich die Geräte leicht in einem eigens abgeschirmten Raum installieren, so dass Mitarbeiter vor der Strahlung geschützt sind. Es kann aber auch die mittlere Dichte über den Querschnitt und die Astigkeit bestimmt werden und damit die Radiographie in der Holzindustrie auch zur maschinellen Sortierung und zur Qualitätssicherung angewandt werden.

Für die Anwendung am Bestandsbau werden handliche mobile Röntgenblitzröhren verwendet [6]. Die Röntgenblitzröhre misst, anders als kontinuierlich strahlende Röhren, kontinuierlich mit Strahlungsimpulsen. Sie hat eine geringere Leistung und das Energiespektrum weist geringere Energien auf als mit Gleichstrom betriebene Anlagen. Dies reicht nicht für die Belichtung gängiger Bleifolien aus, so benutzt man empfindlichere Detektorfolien z. B. auf TFT-Basis [7]. Dadurch kann man direkt vor Ort ein Bauteil auf Fäulnis, Insektenbefall und Fehlstellen überprüfen.

Im Zuge von Laborversuchen wird inzwischen an einer Reflexionsmessung mit schnellen Neutronen geforscht. Mittels dieser können hochaufgelöste Aufnahmen gemacht werden und selbst die Verteilung von Klebstoff und Harzeinschlüsse gut erkannt werden. Diese Messungen werden aber vorerst Vergleichsmessungen bleiben, da Neutronen derzeit nur mit einem Kernreaktor erzeugt werden können.

Radiographie ist also wie Radar und IR-Thermographie ein wichtiges Mittel der zerstörungsfreien Prüfung. Wegen der gesundheitsschädlichen Strahlenbelastung und der damit verbundenen Vorschriften und der Notwendigkeit eines beidseitigen Zugangs wird mittlerweile vorrangig auf die anderen Methoden zurückgegriffen [5].

Zusammenfassung / Sinnvolle Kombination von ZfP-Prüftechniken

In den meisten Fällen ist es sinnvoll verschiedene Prüftechniken zu kombinieren. So können Ergebnisse überprüft und in problematischen Fällen leichter interpretiert werden. Doch auch wenn die Auswertungssoftware und die Prüfgeräte besser werden gibt es immer noch viele Einflussfaktoren auf die Messung, die oft nur mit viel Erfahrung gedeutet werden können. Gerade im Holz mit seiner inhomogenen Struktur ist eine eindeutige Interpretation der Messbilder schwierig. Sie braucht viel Übung und Hintergrundwissen.

Literatur

- Bär, A. M. (2011): Körperscanner – Eignung der Technologie für den Einsatz bei der Untersuchung von Bauteilen aus Holz. Bachelor's Thesis, Technische Universität München
- Boutet, E. (2007): Onde electromagnetique. http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Onde_electromagnetique.svg&filetimestamp=20070515064022 (Abruf vom 30.06.2011)
- Frank, H. et al. (2008): Electromagnetic spectrum. http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Electromagnetic_spectrum_c.svg&filetimestamp=20090611090004 (Abruf vom 30.06.2011)
- Felbinger, G.; Kraut, L. (2001): Gebäudethermographie als zweidimensionale, abbildende und berührungslose Temperaturmessmethode in der Gebäuediagnostik. <http://www.oekonomie.de/thermografie/thermografie.htm> (Abruf vom 20.01.2011)
- Hasenstab, A. (2006) : Integritätsprüfung von Holz mit dem zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahren. Dissertation, Technische Universität Berlin.

- Hasenstab, A (2011): Zerstörungsfreie Prüfung in der Baudenkmalpflege. http://www.zfp-hasenstab.de/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=41 (Abruf vom 02.07.2011)
- Hasenstab, A. et al. (2005): Luftultraschall und Ultraschall-Echo-Technik an Holz. In DGZfP-Berichtsband 94; DGZfP-Jahrestagung 2005, Rostock
- Hasenstab, A., Homburg, S. et al. (2007): Holzkonstruktionen mit Radar und Thermographie zerstörungsfrei untersuchen. In: Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 14.- 16.05.2007, Fürth, Poster 14, Nürnberg(2007)
- Hasenstab, A., Osterloh, K. et al. (2004): Mobile Röntgenblitzröhren zum Auffinden von Holzschäden. In: Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 17.-19.05.2004, Salzburg, DGZfP Berichtsband 89, Plakat 15, Berlin (2004)
- hf sensor GmbH (2008): Übersicht Mikrowellenscanner. <http://www.hf-sensor.de/deutsch/mikrowellenscanner.htm> (Abruf vom 16.7.2011)
- hf sensor GmbH (2009): MOIST 300. <http://www.hf-sensor.de/deutsch/moist300b.html> (Abruf vom 16.7.2011)
- hf sensor GmbH (2010): 30.06.2010. <http://www.hf-sensor.de/deutsch/news.html> (Abruf vom 16.7.2011)
- Koch, M (2010): Terahertz. <http://www.tu-braunschweig.de/ihf/ag/terahertz> (Abruf vom 15.11.2010)
- Osterloh, K., Zscherpel, U. et al.(2003): Einsatzmöglichkeiten mobiler Röntgenblitzröhren. In: Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 26.-28.05.2003, Mainz, DGZfP Berichtsband 83, Berlin (2003)
- Osterloh, K., Zscherpel, U. et al.(2007): Durchstrahlungsprüfung von Holz. In: Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 14.- 16.05.2007, Fürth, Vortrag 40, Berlin/Nürnberg/Garching (2007)
- Taffe, A., Stoppel, M. et al. (2010): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau). In: Betoninstandsetzung im Ingenieurs- und Wohnungsbau, Filderstadt (2010)
- Wikipedia (2011): Elektromagnetische Welle. http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_Welle (Abruf vom 30.06.2011)

Einzelnachweise

1. Bär, A. M. (2011): Körperscanner – Eignung der Technologie für den Einsatz bei der Untersuchung von Bauteilen aus Holz. Bachelor's Thesis, Technische Universität München
2. Hasenstab, A., Homburg, S. et al. (2007): Holzkonstruktionen mit Radar und Thermographie zerstörungsfrei untersuchen. In: Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 14.- 16.05.2007, Fürth, Poster 14, Nürnberg(2007)
3. Hasenstab, A. (2006) : Integritätsprüfung von Holz mit dem zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahren. Dissertation, Technische Universität Berlin.
4. Taffe, A., Stoppel, M. et al. (2010): Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau). In: Betoninstandsetzung im Ingenieurs- und Wohnungsbau, Filderstadt (2010)
5. Hasenstab, A (2011): Zerstörungsfreie Prüfung in der Baudenkmalpflege. http://www.zfp-hasenstab.de/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=41 (Abruf vom 02.07.2011)
6. Hasenstab, A., Osterloh, K. et al. (2004): Mobile Röntgenblitzröhren zum Auffinden von Holzschäden. In: Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 17.-19.05.2004, Salzburg, DGZfP Berichtsband 89, Plakat 15, Berlin (2004)
7. Osterloh, K., Zscherpel, U. et al.(2003): Einsatzmöglichkeiten mobiler Röntgenblitzröhren. In: Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 26.-28.05.2003, Mainz, DGZfP Berichtsband 83, Berlin (2003)