

# In-situ-Prüfverfahren für verbautes Holz

Klaus Winter, Sachverständiger für Holzschutz, Merseburg;  
Heidrun Held, Dipl.-Ing. für Holz- und Faserwerkstoff, Berlin

Historische Holzkonstruktionen verlangen im Instandsetzungsfall nicht nur das Hineindenken in alte Konstruktionsprinzipien und handwerkliche Verfahren. Exakte Kenntnisse über die tatsächlichen Belastungszustände und möglichen Materialreserven der Bauteile sind notwendig, um richtige Entscheidungen zu treffen. Am Beispiel der Georgenkirche in Halle werden drei aktuelle In-situ-Verfahren zur Bestimmung der Altholzfestigkeit vorgestellt.

Die Kirche St. Georg in Halle ist in den Jahren von 1740 bis 1744 errichtet worden. Zu Beginn der 90er Jahre war das Dach der Kirche, eine zimmermannsmäßig abgebundene Hängewerkskonstruktion über dem quadratischen Kreuzgrundriß der Kirchenhalle, infolge jahrzehntelang vernachlässigter Bauwerkserhaltung in sich zusammengesunken. Die Firstlinie in Bauwerksmitte befand sich 75 cm unter ihrer ursprünglichen Höhe. Zahlreiche Sparrenfußpunkte waren zerstört, Tragwerksknoten gebrochen und nicht mehr kraftschlüssig.

1991 begannen an der Georgenkirche die dringend notwendigen Instandsetzungsarbeiten. Die denkmalpflegerische Zielstellung verlangte den weitestgehenden Erhalt der vorhandenen Konstruktionshölzer. Im Interesse einer substanzschonenden Sanierung war es notwendig, die tatsächliche Trag- und Funktionsfähigkeit der einzelnen Konstruktionsglieder zuverlässig zu ermitteln.

Durch eine umfangreiche holzschutztechnische Untersuchung wurden zunächst die konstruktiv und organisch bedingten Schadensschwerpunkte an der Dachkonstruktion aufgenommen und neben Schadensart und -ursachen erste Aussagen zu Schadensumfang und Schädigungsgrad getroffen.

Neben den äußerlich sichtbaren Schädigungen wird die Sicherheit und Zuverlässigkeit alter Konstruktionen jedoch auch von den im Bauteilinne-



St. Georg in Halle

ren vorliegenden Schäden, von der aktuellen Materialfestigkeit, der tatsächlichen Tragfähigkeit des Holzes und dem Zustand der Verbindungen beeinflusst. Deshalb wurden – ergänzend zur holzschutztechnischen Einschätzung – weitere Untersuchungen angestellt. Diese sollten die auf traditionellem Wege ermittelten Aussagen zum Zustand des verbauten Holzes vertiefen und damit eine präzisere

Grundlage für die Beurteilung der Wiederverwendbarkeit/ Instandsetzbarkeit einzelner Bauteile sowie der Trag- und Funktionssicherheit der gesamten Konstruktion liefern.

## Auswahl geeigneter Analyseverfahren

Entscheidender Aspekt bei der Diskussion um die Anwendung von „In-situ“-Verfahren zur Bestimmung von Material-

kennwerten an Holz ist, daß die erzielten Meßwerte eine höhere Korrelation zur tatsächlichen Holzfestigkeit erreichen sollten als die ausschließlich visuelle Beurteilung und Güte-Klassifizierung nach DIN 4074. Weitere Auswahlkriterien sind die zerstörungsarme Anwendbarkeit sowie die Eignung zur Feststellung aktueller mechanischer Kennwerte vor Ort in verbautelem Zustand. Nachfolgend werden ausge-

wählte Verfahren und deren Ergebnisse beschrieben und einer vergleichenden Wertung unterzogen. Die Verfahren sind: Messung des Bohrwiderstandes, die Untersuchung von Bohrkernen sowie die Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung (Längsdurchschallung).

### Bohrkernuntersuchung nach Rug/Seemann

Die Anwendungsbereiche von Bohrkernen sind vielfältig. Neben einer Beurteilung ihrer Oberfläche auf sichtbare Schäden dienen die Bohrkern selbst oder daraus gewonnene Prüfkörper der Ermittlung von Festigkeitskennwerten wie der Druckfestigkeit analog DIN 52185, der statischen Biegefestigkeit und der Schlagbiegefestigkeit analog DIN 53435 (Dynstatverfahren), der Rohdichte nach DIN 52182, aber auch der Holzfeuchtebestimmung nach DIN 52183 oder chemischen Analysen von holzschützenden Vorbehandlungen oder umweltbedingten Belastungen.

Beim Bohrkernverfahren nach Rug/Seemann werden mit Hilfe eines Hohlbohrers zylindrische Proben mit einem Durchmesser von 15 mm entnommen und daran die Druckfestigkeit parallel zur Faser ( $\sigma_{D11}$ ) und die Rohdichte ( $\rho$ ) ermittelt.

Die Druckfestigkeit der Bohrkern parallel zur Faser wurde in Anlehnung an die DIN 52185 bestimmt. In dieser Norm werden quaderförmige Prüfkörper (Kantenlänge 20 mm) vorgeschrieben, die jedoch nicht ohne partielle Zerstörung und somit Tragfähigkeitsminderung aus dem verbaute Holz entnommen werden können. Da im allgemeinen die weitere Nutzung der Konstruktion angestrebt wird, sind solche querschnittsmindernden Probeentnahmen nur unter Beachtung statischer Anforderungen durchführbar. Substanzschonender und damit im Altbaubereich günstiger realisierbar als die Normprobenherstellung ist die Entnahme von Bohrkernen. Untersuchungen von Rug/See-



Bohrwiderstandsmeßgerät Densitomat 400

mann belegen, daß zwischen der Druckfestigkeit an Bohrkernen in Gegenüberstellung zur Druckfestigkeit an Quadern ein Korrelationsfaktor 1,0 besteht. Damit ist ein direkter Vergleich der an Bohrkernen ermittelten Werte mit in der Literatur angegebenen Werten für fehlerfreie Normproben möglich.

Die Bestimmung der Rohdichte im darrtrockenen Zustand erfolgte nach DIN 52182.

Diese Norm empfiehlt würfel- oder quaderförmige Proben, schließt jedoch andere Prüfkörper wie Bohrkern nicht aus. Über den Rohdichtewert läßt sich indirekt eine Aussage über die aktuellen Festigkeitskennwerte ableiten. Je höher die Rohdichte eines Holzes, um so höher ist i. d. R. auch die Festigkeit bzw. Tragfähigkeit des Holzes.

Die Korrelation zwischen der vorhandenen Holzfestigkeit

# WERBUNG

## Beratung-Gestaltung-Druck\*



\* individuell nach Ihren Wünschen. Fordern Sie unseren kostenlosen Serviceprospekt an. Einfach (030)42 15 13 18 oder Fax: (030)42 15 12 94!

huss GmbH  
Grafik- und Layout-Studio  
Frank Siebert

**Am Friedrichshain 22**  
10407 Berlin

Name .....

Firma .....

Tel./Fax .....

Straße .....

PLZ/Ort .....



Ultraschallmessung

und den Beurteilungskriterien Rohdichte und Ästigkeit (eines der visuellen Kriterien der DIN 4074) ist mit 0,7...0,8 weitaus höher als bei der bisher üblichen ausschließlich visuellen Sortierung (Korrelationsfaktor ~ 0,5).

### Bohrwiderstandsmessung

Das Bohrwiderstandsmeßverfahren wurde bereits 1963 von H. Künzel, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, für die Härteprüfung von Außenputzen vorgestellt. Die Anwendung der Bohrwiderstandsmessung an Hölzern setzt ältere Überlegungen zur Festigkeitsprüfung fort: Um 1950 griff Mayer-Wegelin ein von Büsgen vorgeschlagenes Verfahren auf, das als ältestes Härteprüfverfahren für Holz gilt und die Strukturunterschiede auf dem Stammquerschnitt erfaßt. Beim Härtetester wird eine Stahlnadel mit einer bestimmten Kraft in das Hirnholz eingestochen, die Tiefe des Eindringens gilt als Härtewert. Das Ende der 80er Jahre für die Beurteilung des inneren Zustandes von Holzbauteilen entwickelte Bohrwiderstandsmeßgerät „Xylo-Density-Graph“ (XDG) zeichnet den einer eindringenden Bohrnadel entgegengesetzten Widerstand als Maß für die Holzdicke und deren Verteilung über den Querschnitt auf. Der Bohrnadeldurchmesser – 1,5 mm mit einer Bohrer Spitze von 3 mm – gewährleistet eine annähernd zerstörungsfreie Anwendung. Die speziell angeschliffene oder mit gehärteter Spitze ver-

sehene Nadel wird mit hoher Umdrehungszahl und konstanter Vorschubgeschwindigkeit in das Holz gebohrt. Infolge dieses Vortriebes haben unterschiedlich dichte und damit unterschiedlich feste Querschnittsbereiche eine differenzierte Leistungsabgabe des Motors zur Folge, die in einem Diagramm aufgezeichnet wird. Die Auswertung der Diagramme erfolgt visuell. Vor Ort, bereits während der Aufzeichnung, lassen sich aus dem Dichteverlauf Strukturstörungen erkennen, innere Schädigungen lokalisieren, detaillierte Angaben zur Schadensausbreitung, aber auch zur Lage und Dimension von Holzverbindungen und Bauteilquerschnitten ablesen. Eine direkte Ableitung von Holzfestigkeitswerten ausschließlich aus dem Bohrwiderstand ist bisher nicht möglich, da die Vielzahl der den Bohrwiderstand beeinflussenden Größen noch nicht ausreichend mathematisch erfaßt worden ist. Als Grundlage für eine orientierende Bewertung des Dichteniveaus greifen die

Autoren daher auf empirisch ermittelte Zusammenhänge aus eigenen Versuchsreihen zurück, bei denen – analog der Vorgehensweise an der Georgenkirche – Bohrwiderstände aufgezeichnet und gleichzeitig Rohdichte und Druckfestigkeit ermittelt wurden.

### Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung

Die Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung dient als Bestandteil von Bauzustandsuntersuchungen der zerstörungsfreien Ermittlung mechanischer Eigenschaften und der Festigkeitsklassen-Zuordnung von Holz im verbauten wie auch im ausgebauten Zustand.

Die Ultraschallsonden werden durch Einbringen in die Hirnholzflächen rechtwinklig oder unter einem Winkel von 45° an beliebiger Stelle der Oberfläche an das zu beurteilende Bauteil angeordnet. Die Durchführung verschiedener Kern-, Rand- und Diagonalmessungen zwischen den Hirnholzenden unter entsprechender Berücksichtigung der Veränderung des Durchschalungsweges erhöht die Aussagesicherheit.

Unter gleichzeitiger Ermittlung von Holzfeuchte, Holztemperatur und Holzart wird mit dem Gerät Sylvatest über den Biege-E-Modul eine Klassifizierung der untersuchten Proben vorgenommen. Für hinreichend sicher klassifizierbare Hölzer wird neben der Laufzeit eine Schätzung des mittleren Biegeelastizitätsmoduls EB sowie eine bewertete zulässige Biegespannung  $\sigma_{D,zul}$  angegeben.

Um die Aussagesicherheit zu erhöhen, ist generell neben der Laufzeitmessung wie bei allen

anderen Verfahren immer eine visuelle Untersuchung der Bauteile notwendig. Eine Lokalisierung vorliegender Schädigungen ist mittels Ultraschall nicht möglich.

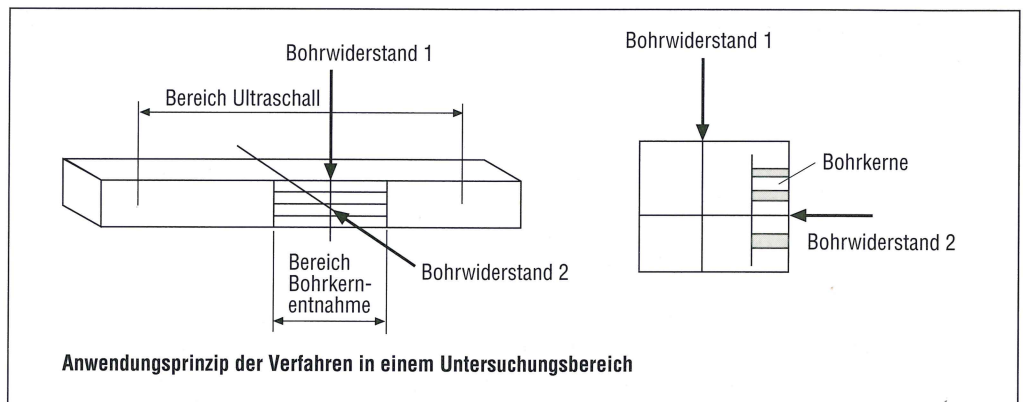
### Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse

Die oben beschriebenen Materialprüfverfahren kamen an ausgewählten Bauteilen, deren zuverlässige Beurteilung besonders wichtig für die Standicherheit der Konstruktion war und deren holzschutztechnischer Befund nicht bereits eindeutig gegen eine weitere Verwendbarkeit sprach, zur Anwendung.

Die Ableitung einer Gesamtbeurteilung erfolgte aus den Einzelergebnissen der „in-situ“-Verfahren und der holzschutztechnischen Begutachtung. Die verwendete Festigkeitsklassifizierung orientiert sich an der DIN 4074, welche die Sortierklassen S7 „Schnittholz mit geringer Tragfähigkeit“, S10 „Schnittholz mit üblicher Tragfähigkeit“ und S13 „Schnittholz mit überdurchschnittlicher Tragfähigkeit“ unterscheidet.

Die Gegenüberstellung der Einzelergebnisse am Beispiel des untersuchten Kaiserstieles, einem der Haupttragglieder der Dachkonstruktion, zeigt:

1. Die Bohrkernanalyse lieferte sowohl bei der Klassifizierung nach der Druckfestigkeit als auch nach der Rohdichte weitgehend übereinstimmende Aussagen.
2. Die Bohrwiderstandsmessung erfaßt die Dichteverteilung sowohl im oberflächennahen Bereich als auch im Bauteilinneren und ergänzt damit die auf eine Randzone beschränkte Aussage der



Bohrkerne hinsichtlich der Übertragbarkeit der Bohrkern-Meßwerte auf den gesamten Querschnitt.

3. Die Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung ergab in 3 von 4 Fällen eine schlechtere Einstufung der Bauteile als die Klassifizierung auf Grundlage der Bohrkernanalyse.

Eine Rolle spielt hierbei, daß das Ultraschall-Verfahren einen breiteren Bereich über die Bauteillänge als bei der auf punktuelle Entnahmestellen konzentrierten Bohrkernentnahme sowie einen größeren Teil des Bauteilquerschnittes erfaßt. Im Inneren vorliegende Schädigungen konnten parallel zur Ultraschalluntersuchung mittels Bohrwiderstandsmessung nachgewiesen und ergänzend lokalisiert werden.

### Praktische Anwendbarkeit und Aussagefähigkeit der Ergebnisse

Die wichtigsten Einsatzkriterien für den Gutachter vor Ort sind:

- die Handlichkeit des Meßgerätes, das heißt auch Anwendbarkeit an schwer zugänglichen Stellen der Konstruktion und Bedienbarkeit von möglichst nur einer Person,
  - ein geringer Grad der Bauteilbeeinträchtigung,
  - eine schnell verwertbare Aussage über die geprüfte Materialeigenschaft, wobei eine Weiterverarbeitung der Daten möglich sein muß,
  - die Nachvollziehbarkeit und erforderlichenfalls Reproduzierbarkeit der Messung.
- Nicht unwesentlich ist auch das Verhältnis zwischen Informationsgehalt/Zuverlässigkeit und Kostenaufwand der Aussage.

Die vorgestellten in-situ-Verfahren gestatten auch in eingebautem Zustand eine zerstörungsarme bzw. zerstörungsfreie Beurteilung aktueller mechanischer Kennwerte des Altholzes. Aufgrund des Spektrums der mit den einzelnen Verfahren erzielbaren Aussagen, sowohl qualitativer als auch quantitativer Art, ergab der Vergleich für jedes dieser Verfahren eine Anwendungsberechtigung – stets ab-



Kaiserstiel im Einbauzustand

hängig von der erwarteten Aussage.

Den Verfahren ist gemeinsam, daß der Zustand eines zu begutachtenden Bauteils innerhalb einzelner Untersuchungsbereiche nur lokal und stichprobenartig erfaßt werden kann. Keine Methode liefert – allein angewendet – dem Gutachter ausreichende Beurteilungsgrundlagen. Die Auswahl der Materialuntersuchungsverfahren ist deshalb der jeweiligen spezifischen Notwendigkeit des Untersuchungsobjektes gerecht vorzunehmen.

Neben den erfaßten Materialkennwerten ist für die Bewertung der Instandsetzungswürdigkeit eines Bauteils immer die holzschutztechnische Einschätzung des Bauzustandes (Art und Ausmaß der Schädigung durch holzerstörende Pilze und Insekten, sichtbare konstruktive Schäden – Risse, Brüche) einschließlich der in DIN 68800 vorgesehenen Sanierungsmöglichkeiten und die Beurteilung der Verbindungspunkte heranzuziehen. Die gegenwärtig verfügbaren

Geräte und technischen Hilfsmittel genügen jedoch noch nicht allen praktischen Anforderungen bei der Bewertung verbauten Holzes. Schwachpunkte sind die Stromabhängigkeit bzw. die geringe Probenkapazität im Akkubetrieb, die Handhabbarkeit der Geräte bzw. die schlechte Einsetzbarkeit an schwer zugänglichen Bauteilen und die Störanfälligkeit der Verfahren bzw. die Beeinflussbarkeit der Meßwerte.

Unter dem Aspekt der praktischen Anwendbarkeit wäre die Bereitstellung eines netzunabhängigen Gerätes von geringer Größe mit guter Handlichkeit wünschenswert, mit dem sämtliche kritischen Stellen einer Konstruktion erreicht und Sofortaussagen über die aktuellen Festigkeitswerte gewonnen werden könnten.

### Literatur

/1/ Georgenkirche Halle – Gutachten zur Beurteilung und Klassifizierung von altem Konstruktionsholz durch Feststellung von

aktuellen mechanischen Kennwerten mittels zerstörungsarmer und zerstörungsfreier „In-situ“-Verfahren, Recontie – Ingenieurbüro Holz-GmbH, Berlin; Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau, Heusenstamm; Mai 1993 (unveröffentlicht).

/2/ Winter, K.: Gutachterliche Begleitung Georgenkirche Halle 1991-1993 (unveröffentlicht).

/3/ Rug, W.; Seemann, A.: Festigkeit von Altholz, in: bauen mit Holz, (1989) Heft 10, S. 696-699.

/4/ Rug, W.; Seemann, A. u. a.: Schadensdiagnostik und Verfahren zur Ermittlung der Resttragfähigkeit hölzerner Baukonstruktionen, vor allem von Hallenbauten. Studie im Auftrag der Deutschen Reichsbahn, Berlin, Sept. 1990 (unveröffentlicht).

/5/ Göhre, K.: Werkstoff Holz, Verlag Technik, Berlin 1954.

/6/ Künzel, H.: Eine Methode zur Prüfung der Härte von Außenputzen auf Wandoberflächen, in: Das Stuckgewerbe, (1963) Heft 12, S. 434 – 435.

/7/ Mayer-Wegelin: Der Härtetester, ein neues Gerät zur Untersuchung von Jahrringen und Holzgefügen, in: Allgem. Forst- und Jagdzeitung, Band 122 (1950).

/8/ Badstube, M.: Berechnung nach Grenzzuständen im Holzbau – Teil A: Grundlagen, Berechnung und Konstruktion von Holzkonstruktionen, Forschungsbericht, Bauakademie der DDR, Institut für Industriebau, Berlin, Sept. 1988 (unveröffentlicht).

/9/ Rug, W.: Untersuchungen an Neu- und Altholz unter Anwendung der Bohrwiderstandsmethode und des Bohrkernverfahrens. Recontie – Institut of Timber Engineering, Report 1/93, Berlin, März 1993 (unveröffentlicht).

/10/ Rug, W., Held, H.: Bohrwiderstandsmessung – zerstörungsarme In-situ-Untersuchung an alten Holzkonstruktionen, in: bauzeitung, Berlin (1995) Hefte 1 und 2.