

Bohren, Proben und Impulse

Moderne Methoden zur Bestimmung der Holzfestigkeit

Von Heidrun Held und Klaus Winter

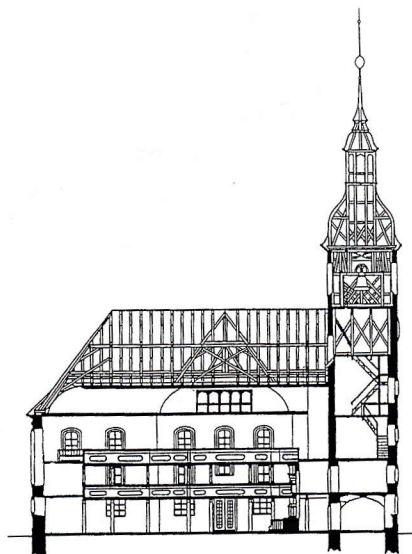
Wie bewähren sich moderne Untersuchungsverfahren in der Praxis? An einem 250 Jahre alten Dachstuhl wurden drei der gängigsten Verfahren und Geräte zur Festigkeitsbestimmung von Holz angewandt und miteinander verglichen. Die Kriterien des Vergleichs waren neben der wissenschaftlichen Aussagekraft auch ihre Handlichkeit und Wirtschaftlichkeit.

Historische Holzkonstruktionen verlangen bei ihrer Instandsetzung von den beteiligten Planern, Statikern und Ausführenden nicht nur das Verständnis der alten Konstruktionsprinzipien und handwerklichen Verfahren, sondern auch exakte Kenntnisse über die tatsächlichen Belastungszustände und möglichen Materialreserven. Erst dann können geeignete und substanzschonende Maßnahmen zu ihrer Erhaltung und Instandsetzung ergriffen werden.

Das Objekt

Die Georgenkirche in Halle/Saale wurde von 1740 bis 1744 errichtet. Ihr Dachstuhl, eine zimmermannsmäßig abgebundene Hängewerkskonstruktion über einem quadratischen Kreuzgrundriß der Kirchenhalle, begann bereits in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts in sich zusammensinken. Die Firstlinie in Bauwerksmitte befand sich 75 Zentimeter unter ihrer ursprünglichen Höhe.

Durch den jahrzehntelang vernachlässigten Unterhalt waren zahlreiche Sparrenfußpunkte zerstört und Tragwerksknoten gebrochen oder nicht mehr kraftschlüssig. 1991 begannen die dringend notwendigen Instandsetzungsarbeiten. Da die denkmalpflegerische Zielstellung den weitestgehenden Erhalt der vorhandenen Konstruk-



△ 1 St. Georg in Halle: Längsschnitt nach einer historischen Darstellung

tion forderte, mußte zunächst die Trag- und Funktionsfähigkeit der einzelnen Konstruktionsglieder zuverlässig ermittelt werden.

Durch eine umfangreiche holzschutztechnische Untersuchung wurden die konstruktiv und organisch bedingten Schadensschwerpunkte aufgenommen, Art und Ursache der Schäden ermittelt und erste Aussagen zu ihrem Umfang und Grad getroffen. Neben den äußerlich sichtbaren Schädigungen wird die Sicherheit und Zuverlässigkeit alter Konstruktionen jedoch auch von den im Bauteilinnern vorliegenden Schäden, von der aktuellen Materialfestigkeit, der tatsächlichen Tragfähigkeit des Holzes und dem Zustand der Verbindungen beeinflusst. Deshalb wurden - ergänzend zur holzschutztechnischen Beurteilung - weitere Untersuchungen ange stellt. Diese sollten die auf visuellem Wege ermittelten Aussagen vertiefen und damit eine präzisere Grundlage für die Beurteilung der Wiederverwendbarkeit beziehungsweise Instandsetzungswürdigkeit einzelner Bauteile sowie der Trag- und Funktionssicherheit der gesamten Konstruktion liefern.

Die Auswahl geeigneter Analyseverfahren

Bei der Diskussion um die Anwendung von »In-situ«-Verfahren zur Bestimmung von Materialkennwerten war ausschlaggebend, daß die erzielten Meßwerte eine höhere Korrelation zur tatsächlichen Holzfestigkeit erreichen sollten als die ausschließlich visuelle Beurteilung und Güte-Klassifizierung in Annäherung an die DIN 4074. Weitere Auswahlkriterien waren die zerstörungsarme Anwendbarkeit sowie ihre Eignung zur Feststellung aktueller mechanischer Kennwerte vor Ort und in verbautem Zustand. Nach Analyse der verfügbaren praxiserprobten Verfahren fiel die Auswahl auf die Messung des Bohrwiderstandes, die Untersuchung von Bohrkernen sowie die Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung (Längsdurchschallung) [1].

Bohrkernuntersuchung nach Rug/Seemann

Die Anwendungsbereiche von Bohrkernen aus Holz sind vielfältig. Neben einer Beurteilung ihrer Oberfläche auf sichtbare Schäden dienen die Bohrkernproben oder die daraus gewonnenen Prüfkörper zur Ermittlung von Festigkeitskennwerten wie der Druckfestigkeit analog DIN 52 185, der statischen Biege- und Schlagbiegefestigkeit analog DIN 53 435 (Dynstatverfahren), der Rohdichte nach DIN 52 182, aber auch der Holzfeuchtebestimmung nach DIN 52 183 oder chemischen Analysen. Beim Bohrkernverfahren nach Rug/Seemann [3, 4] werden mit Hilfe eines Hohlbohrers zylindrische Proben mit einem Durchmesser von 15 Millimetern entnommen und die Rohdichte sowie die Druckfestigkeit parallel zur Faser ermittelt. Letztere wurde in Anlehnung an die DIN 52 185 bestimmt. In dieser Norm werden quaderförmige Prüfkörper (Kantenlänge 20 mm) vorgeschrie-

ben, die jedoch nicht ohne partielle Zerstörung und somit Tragfähigkeitsminderung aus dem verbauten 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 in Denkmälern und Altbauten günstiger ist die Entnahme von Bohrkernen. Bisherige Untersuchungen belegen, daß zwischen der Druckfestigkeit an Bohrkernen und der Druckfestigkeit an Quadern ein Korrelationsfaktor 1,0 besteht [3]. Damit ist ein direkter Vergleich der an Bohrkernen ermittelten Werte mit den in der Literatur angegebenen Werten für fehlerfreie Normproben möglich. Die Bestimmung der Rohdichte im darrtrockenen Zustand erfolgte nach DIN 52 182. 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 des Holzes ist, um so höher ist in der Regel auch die Festigkeit beziehungsweise Tragfähigkeit des Holzes [3]. Die Korrelation zwischen der vorhandenen Holzfestigkeit 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 ca. 0,5).

Bohrwiderstandsmessung

Dieses Meßverfahren wurde bereits 1963 von H. Künzel (Fraunhofer-Institut für Bauphysik) für die Härteprüfung von Außenputzen vorgestellt. [6] Die Anwendung der Bohrwiderstandsmessung an Hölzern führt 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 am Stammquerschnitt erfaßt [5]. Bei dem in [7] vorgestellten Härtetester wurde eine Stahlnadel mit einer bestimmten Kraft in das Hirnholz eingestochen, die Tiefe ihres Eindringens galt als Härtewert. Die Ende der 80er Jahre für die Beurteilung des inneren Zustandes von Holzbau- teilen und zur Anwendung am lebenden

Baum entwickelten Bohrwiderstandsmeßgeräte zeichnen den einer eindringenden Bohrnadel entgegengesetzten Widerstand als Maß für die Holzdicke und deren Verteilung über den Querschnitt auf (siehe auch [10]). Der Bohrnadeldurchmesser von 1,5 Millimetern mit einem 3 Millimeter breiten Bohrkopf gewährleistet eine annähernd zerstörungsfreie Anwendung. Die speziell angeschliffene 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 Kurvenverlauf 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 - Bohr- widerstände aufgezeichnet und gleichzeitig Rohdichte und Druckfestigkeit ermittelt wurden.

Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung

Diese Methode dient bei Bauzustandsuntersuchungen zur zerstörungsfreien Ermittlung der mechanischen Eigenschaften und zur Festigkeitsklassen-Zuordnung von verbautem wie ausgebautem Holz [1]. Die Ultraschallsonden werden in die Hirnholzflächen rechtwinklig, oder an beliebiger Stelle der Oberfläche unter einem Winkel von 45°, eingebracht beziehungsweise angekoppelt. Verschiedene Kern-, Rand- und Diagonalmessungen zwischen den Hirnholzenden (unter entsprechender Berücksichtigung der Veränderung des Durchschallungsweges) erhöhen die Aussagesi-

cherheit. Bei 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 E_B sowie eine bewertete zulässige Biegespannung σ_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. Die Lokalisierung der vorliegenden Schädigungen ist mittels Ultraschall allerdings nicht möglich.

Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse

Die beschriebenen Materialprüfungsverfahren wurden an ausgewählten Bauteilen, deren zuverlässige Beurteilung besonders wichtig für die Standsicherheit der Konstruktion war und deren holzschutztechnischer Befund nicht bereits eindeutig gegen eine weitere Verwendbarkeit sprach, angewendet. In einer Tabelle wird am Beispiel des Kaiserstieles (einem der Haupttragglieder der Dachkonstruktion) die Ableitung einer Gesamtbeurteilung aus den Einzelergebnissen der »In-situ«-Verfahren und der holzschutztechnischen Begutachtung dargestellt. Die verwendete Festigkeitsklassifizierung orientiert sich an der DIN 4074, die die Sortierklassen S7 (Schnittholz mit geringer Tragfähigkeit), S10 (Schnittholz mit üblicher Tragfähigkeit) und S13 (Schnittholz mit überdurchschnittlicher Tragfähigkeit) unterscheidet. Die Gegenüberstellung der Einzelergebnisse zeigt:

- Die Bohrkernanalyse lieferte sowohl bei der Klassifizierung nach der Druckfestigkeit als auch nach der Rohdichte weitgehend übereinstimmende Aussagen.
- Die Bohrwiderstandsmessung erfaßt die Dichteverteilung sowohl im oberflächennahen Bereich wie auch im Bauteilinneren und ergänzt die auf eine Randzone beschränkte Aussage der Bohrkern hinsichtlich der Übertragbarkeit der Bohrkern-Meßwerte auf den gesamten Querschnitt.
- Die Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung ergab in 3 von 4 Fällen eine schlechtere Einstufung der Bauteile als die Klassifizierung auf Grundlage der Bohrkernanalyse.

Das Ultraschall-Verfahren erfaßt einen breiteren Bereich über die Bauteillänge als bei der auf punktuelle Entnahmestellen konzentrierten Bohrkernentnahme sowie einen größeren Teil des Bauteilquerschnittes.

- Im Inneren vorliegende Schädigungen konnten parallel zur Ultraschalluntersuchung mittels Bohrwiderstandsmessung nachgewiesen und ergänzend lokalisiert werden.

Der Kaiserstiel war zum Untersuchungszeitpunkt bereits aus der Konstruktion entfernt worden. Die Untersuchungen zeigten, daß die Resttragfähigkeit und somit die Funktionssicherheit des Kaiserstieles nicht ausreichte. Das ursprünglich aus denkmalpflegerischer Sicht für die Erhaltung und weitere Nutzung vorgesehene Bauteil mußte komplett erneuert werden.

Praktische Anwendbarkeit und Aussagekraft der Ergebnisse

Wichtige Einsatzkriterien für den Gutachter vor Ort sind die Handlichkeit des Meßgerätes, also auch die Anwendbarkeit an schwer zugänglichen Stellen der Konstruktion und die Bedienbarkeit durch möglichst nur eine Person, ein geringer Grad der Bauteilbeeinträchtigung, also zerstörungsarme (-freie) Anwendung, eine schnell verwertbare Aussage über die geprüfte Materialeigenschaft, wobei eine Speicherung und Weiterverarbeitung der Daten möglich sein muß, sowie die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Messung. Nicht unwesentlich ist auch das Verhältnis zwischen Informationsgehalt, Zuverlässigkeit und Kostenaufwand der Aussage. Es wurden die an der Georgenkirche zur Beurteilung der Trag- und Funktionsfähigkeit und zur Festigkeitsklassifizierung des Altholzes herangezogenen Verfahren - Bohrkernanalyse, Bohrwiderstandsmessung und Ultraschall-Impuls-Laufzeitmessung - gegenübergestellt und einer vergleichbaren Wertung unterzogen. Die vorgestellten »In-situ«-Verfahren gestatten auch in eingebautem Zustand eine zerstörungsarme beziehungsweise 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 Anwendungs-

berechtigung - stets abhängig von der erwarteten Aussage. Den Verfahren ist gemeinsam, daß der Zustand eines Bauteils innerhalb einzelner Untersuchungsbereiche jedoch nur lokal und stichprobenartig erfaßt werden kann. Keine Methode liefert - allein angewendet - dem Gutachter ausreichende Beurteilungsgrundlagen. Die Auswahl der Materialuntersuchungsverfahren ist deshalb in Abhängigkeit vom jeweiligen spezifischen Untersuchungsziel 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 holzzerstörende Pilze und Insekten, sichtbare konstruktive Schäden - Risse, Brüche) einschließlich der in DIN 68 800/4 vorgesehenen Sanierungsmöglichkeiten und die Beurteilung der Verbindungspunkte heranzuziehen. Die gegenwärtig verfügbaren Geräte und technischen Hilfsmittel genügen noch nicht allen praktischen Anforderungen bei der Bewertung verbauten Holzes. Schwachpunkte sind die Stromabhängigkeit, die bei umfangreichen Untersuchungen unzureichende Probenkapazität im Akkubetrieb, die Handhabbarkeit der Geräte und die schlechte Einsetzbarkeit an schwer zugänglichen Bauteilen sowie die Störanfälligkeit der Verfahren und 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 kritische Stellen einer Konstruktion erreicht und Sofortaussagen über die aktuellen Festigkeitswerte gewonnen werden könnten.

Literatur

[1] Rug, W.; Held, H.; Becker, K.-J.; Tichelmann, K.: 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, Seite 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.

[6] Künzel, H.: Eine Methode zur Prüfung der Härte von Außenputzen auf Wandoberflächen. In: Das Stuckgewerbe (1963), Heft 12, Seite 434 - 435.

[7] Mayer-Wegelin: Der Härtetester, ein neues Gerät zur Untersuchung von Jahresringen und Holzgefügen. In: Allg. 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 Industriebauten, 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.: Die Bohrwiderstandsmessung - zerstörungsarme Untersuchung alter Holzkonstruktionen. In: Bauzeitung, Berlin (1995), Heft 4 und 5 (Teil 2 in Vorbereitung).

Anm.: Die Ultraschall-Untersuchung an der Georgenkirche in Halle wurden durch die Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau, Herrn Dipl.-Ing. Tichelmann, Heusenstamm/Darmstadt, durchgeführt. □