

Fauls Holz – zerstörungsfrei gefunden! Ingenieurtechnische Untersuchungen an Denkmälern und Brücken

Andreas HASENSTAB¹, Holger URBAN²

¹ Ingenieurbüro Dr. Hasenstab GmbH, Augsburg

² ZETCON Ingenieure GmbH, Bochum

Kontakt E-Mail: zfp@hasenstab.de

Kurzfassung. „Fauls Holz“ entsteht bei einer Holzfeuchte von über 20% in Kombination mit ubiquitären (überall vorhandenen) Sporen von holzzerstörenden Pilzen. So wird „trockenes Holz“ durch Fäulnis zu „faulem Holz“.

Beim Abklopfen der Struktur und bei Ultraschallmessungen am Holz zeigt sich der Unterschied zwischen „gesundem, klingendem, Schall leitenden“ Holz und „krankem, dämpfenden, faulem“ Holz. Dass das „gesunde“ Holz „klingt“ kennt jeder noch von den Klangstäben im Musikunterreich (nach Carl Orff) und dass „faule Holz“ „dumpf“ klingt, ist von verfaultem Holz im Wald bekannt.

Für die Untersuchung der Integrität der Holzstruktur werden derzeit mehrere Verfahren verwendet. Hierbei kann mit dem an der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) in den Jahren 2002-2005 entwickelten Ultraschallechoverfahren die innere Struktur des Holzes untersucht werden und es können nicht sichtbare innere Schäden wie Innenfäulnis oder Risse erkannt bzw. ausgeschlossen werden. Für Ultraschallechomessungen ist ein koppelmittelfreier direkter Kontakt zur Bauteiloberfläche erforderlich – „faules Holz“ dämpft die Ultraschallsignale und verrät sich durch Signalauslöschung bei sonst gleichen Randbedingungen.

Mit dem Bohrwiderstandsverfahren kann punktuell mit einer 3mm dünnen Bohrnadel die Holzstruktur untersucht werden, wobei hier bei einem gleichbleibenden Vorschub der Bohrnadel der Bohrwiderstand und der Bohrdruck aufgezeichnet wird. „Fauls Holz“ wird durch einen geringeren Bohrwiderstand erkannt.

Ergänzend sollte immer die Holzfeuchte bestimmt werden – mittels Rammelektrode (Widerstandsmessung) oder kapazitiv.

So ist es möglich mit der flächigen Ultraschallmessung, der punktuellen Bohrwiderstandsmessung und der ergänzenden Holzfeuchtemessung Bestandsholz „gesund“ zu prüfen und innere Schäden wie „faules Holz“ auszuschließen bzw. einzugrenzen.

Im Beitrag werden Untersuchungen an Bestandsbauwerken wie einer ehemaligen Kavalleriekaserne, einem Fachwerkhaus und einem Tempel in Indien vorgestellt.

Altes „gesundes“ Holz kann im trockenen Zustand für die Konstruktion für statische Nachweise komplett angesetzt werden – was bedeutet, dass mit einer genauen Untersuchung viel Bausubstanz erhalten werden und so hohe Kosten für Sanierung eingespart werden können– und der Bauablauf zudem beschleunigt wird.



Ziele der zerstörungsfreien Prüfung (zFP) als Bauwerksuntersuchungen

Seit einigen Jahren werden unterschiedliche zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Untersuchung von Bauwerken eingesetzt. Im vorliegenden Beitrag wird die Untersuchung von Holzbauwerken vorgestellt. Untersuchungen an Beton oder Mauerwerk können [1], [2] entnommen werden.

Das Ziel einer Anwendung der ZfPBau-Verfahren ist:

- zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchung
- frühes Erkennen und Eingrenzung von Schäden
- Kostenabschätzung bei Instandsetzung
- zerstörungsfreie Dokumentation und Integritätsprüfung des Bauteilzustandes
- sichere Weiternutzung des Bauwerks

Verfahrensbeschreibung

Folgend werden Verfahren beschrieben, die zur Untersuchung von Holz angewendet werden. Ein Teil der Verfahren werden in den Praxisbeispielen vorgestellt.

Abklopfen

Die gebräuchlichste Methode zum Untersuchen ist das Abklopfen – doch ist hier zu beachten, dass innere Schäden – vor allem bei Bongossiträgern nicht immer gefunden werden können.

Feuchtemessung

Das gebräuchlichste Verfahren ist die Feuchtemessung. Bei Holz werden sehr genaue Ergebnisse mit einer kalibrierten Widerstandsmessung erzielt. Kapazitive Messgeräte (Kugelsonde etc.) können bei einer feuchten Oberfläche keine innere Feuchte messen.

Feuchten über 20% stellen bei Holz eine sehr hohe Gefahr für Fäulnis dar und die Feuchteursache muss bekämpft werden.

Ultraschallechomethode

Das Ultraschallechoverfahren beruht auf der Reflexion von Schallwellen an Werkstoffinhomogenitäten wie der Bauteilrückwand oder an anderen Grenzflächen.

Aufgrund vieler Untersuchungen kann z. B. bei Holz und Beton davon ausgegangen werden, dass beim Vorliegen eines Rückwandeckos die untersuchte Struktur frei von Innenfäule, ausgeprägtem Insektenbefall oder ausgeprägten Rissen bzw. Kiesnestern ist. So können Schäden eingegrenzt werden und ungeschädigte Bereiche definiert werden, was eine gezielte Sanierung oder optimale Bauwerksnutzung ermöglicht.

Bohrwiderstandsmethode

Das Verfahren dient zur punktuellen Untersuchung von Holz. So können Bauteilabmessungen (gleichmäßige Dicke, gesunder Restquerschnitt, Aussparungen, Zapfenverbindungen) sowie inneren Schäden (Hohlstellen, breiten Rissen parallel zur Oberfläche, Fäulnis, ausgeprägtem Insektenbefall) detektiert werden.

Bei Brücken- und Kirchenprüfungen erfolgt in der Praxis sehr häufig eine Kombination aus flächiger Ultraschallecho- und punktueller Bohrwiderstandsmethode. Die Untersuchung mit einer 3mm breiten Bohrnadel hinterlässt kaum wahrnehmbare Löcher.

Radar (Impulsradar, Georadar)

Das Radarverfahren ist ein elektromagnetisches Verfahren. Besonders gut können Metallbauteile im Inneren der Holzkonstruktion oder Hölzer im Inneren von Mauerwerk lokalisiert werden und die Anzahl der zerstörenden Sondagen stark reduziert werden.

Endoskopie

Um nicht direkt zugängliche Bereiche visuell untersuchen zu können wurden noch Endoskopische Untersuchungen vorgenommen. So konnten geschädigte Bereiche untersucht werden.

Radiographie

Die Radiografie stellte in der Materialuntersuchung eine der bedeutendsten Untersuchungsmethoden dar, wird aber aufgrund der komplexen Strahlenschutzbestimmungen nur selten angewendet. In speziellen Einsatzfällen wo eine Durchstrahlung des Bauteils möglich ist, werden mit dem bildgebenden Verfahren sehr gute Ergebnisse erzielt.

REI02 4A bis 4G, Sparren 19,5 cm hoch, 14 cm dick

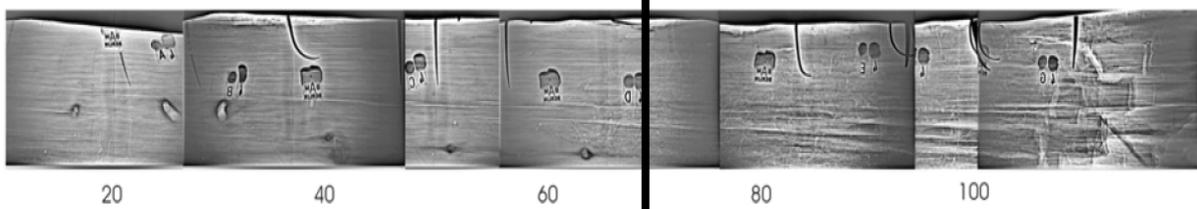


Abbildung 1: Röntgenaufnahme (Dissertation 2005) mit Hochpassfilterung Blitzröhre 150 kV; historische Nägel, Risse als helle Linien, Äste (dunkle Punkte), Würfelbruch (Fäulnis); Neuerdings praktische Röntgenuntersuchung auf der Baustelle durch *BauRay* aus Hamburg. *Praktische Anwendung der Verfahren am Bauwerk*

Denkmalgeschütztes Rathaus in Schwaben

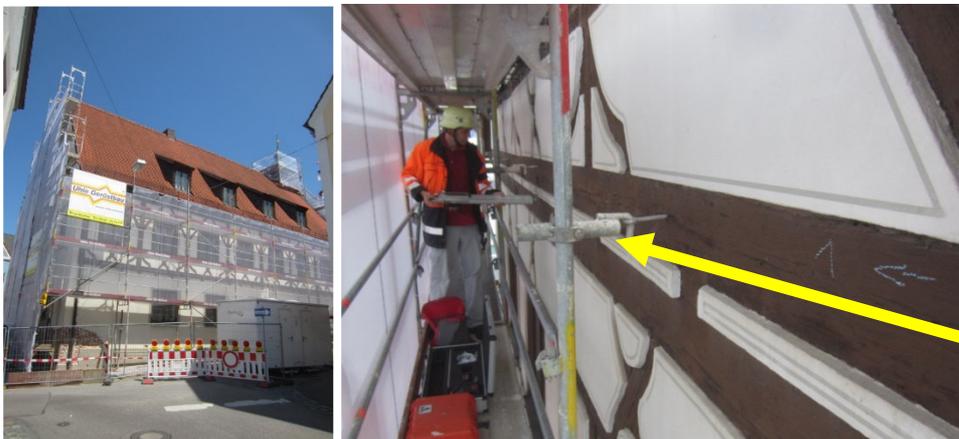


Abbildung 2: links: Ansicht des Rathauses mit viel Fachwerk; rechts: Bohrwiderstandsmessung an Holzbalken (Lage der Ultraschallechomessung mit gelbem Pfeil markiert)

Aufgabenstellung:

Es bestand ein Verdacht, dass an dem alten Bauwerk aufgrund der vielen Risse im Holz Schäden vorhanden sein könnten. Mit den Untersuchungen sollen innere Schäden im Holz ausgeschlossen werden.

Lösungsansatz:

Messtechnisch „gesundprüfen“, d.h. flächig messen und sowohl „gesunde“ Bereiche darstellen wie auch geschädigte Bereiche eingrenzen.

Mit Hilfe des Ultraschallechoverfahrens entlang von Messlinien an den Hölzern messen, um innere Schäden auszuschließen.

An Verdachtstellen mittels Bohrwiderstand punktuelle Messungen vornehmen und innere Struktur genau untersuchen bzw. Restquerschnitte bestimmen.

Zusätzlich wurden Feuchtigkeitsmessungen an den Balken durchgeführt, da die Holzfeuchte auch einen Indikator für eventuelle Schäden darstellt.

Ergebnisse

Folgend werden Messungen mit Ergebnissen gezeigt – und dann diese Ergebnisse in eine flächigen Ergebnisdarstellung überführt.

Folgend ist das Ergebnis einer Ultraschallechomessung dargestellt. Da die Fachwerkknoten Unstetigkeitsstellen im Holz darstellen sind diese mit einer Leerspur markiert, um die spätere Auswertung zu vereinfachen und ein Verwechseln von Schäden mit Fachwerkknoten zu vermeiden.

Die Besten Messergebnisse waren an den oberen horizontalen Balken zu erzielen. Etwas, durch die Fachwerkknoten eingeschränkte Ergebnisse ergaben Messungen an den Stielen. Da sehr viele Knoten an den unteren Balken einbinden waren hier keine Messungen mit deutlichen Ergebnissen möglich.

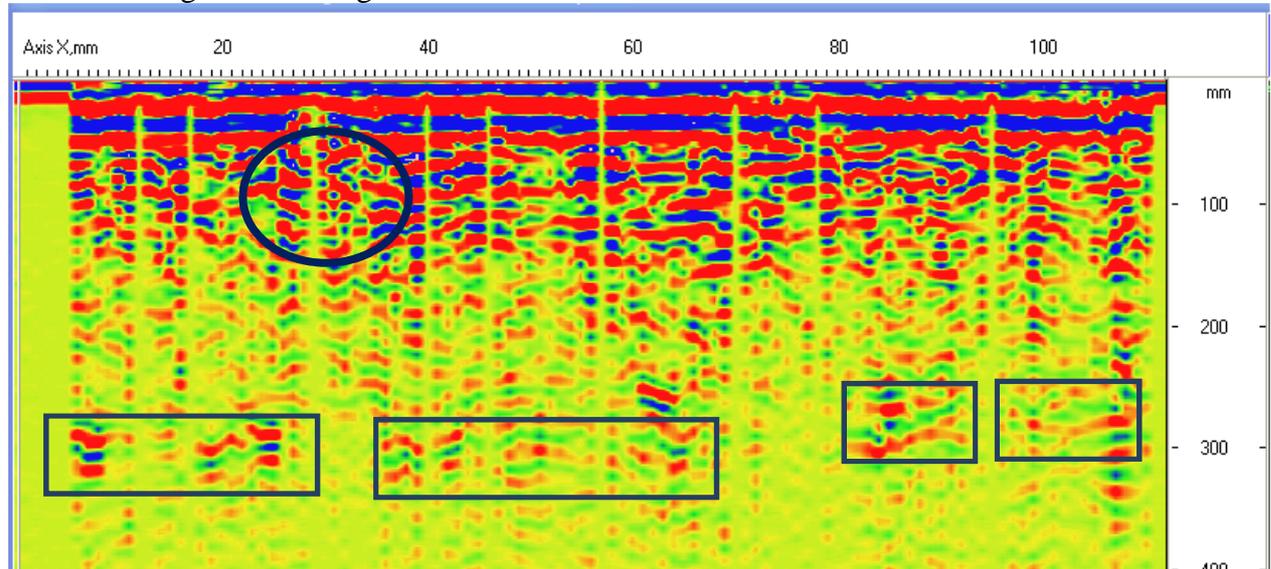


Abbildung 3: Ergebnis einer Ultraschallechomessung; Messspur 2;

In der dargestellten Messlinie sind Echos an der Bauteilrückseite zu erkennen. Diese Echos bedeuten, dass die Ultraschallsignale von der Oberfläche bis zur Bauteilrückseite und zurück zur Messoberfläche gelangen können und so Schäden wie Fäulnis, oder ausgeprägter Insektenbefall im untersuchen Holzquerschnitt ausgeschlossen werden kann. So kann relativ schnell eine großflächige Aussage über das untersuchte Holz gewonnen werden.

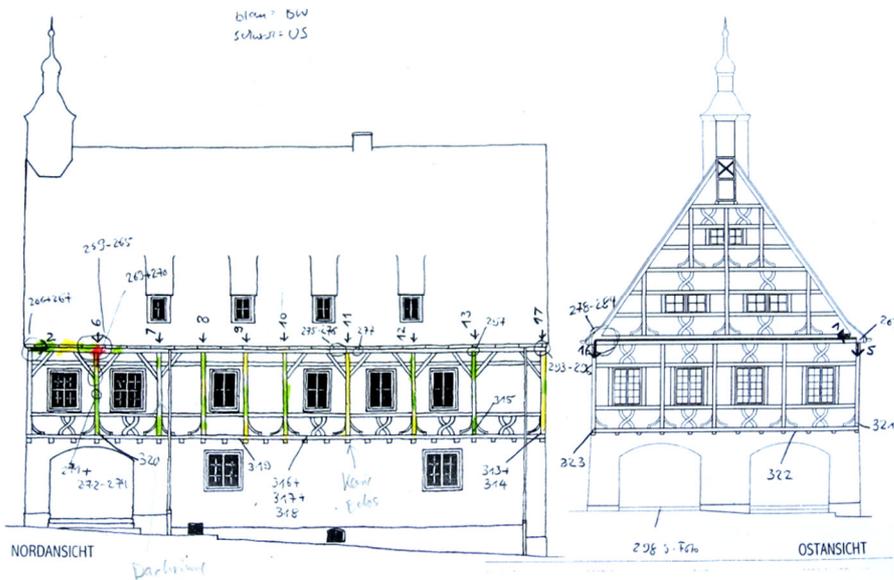
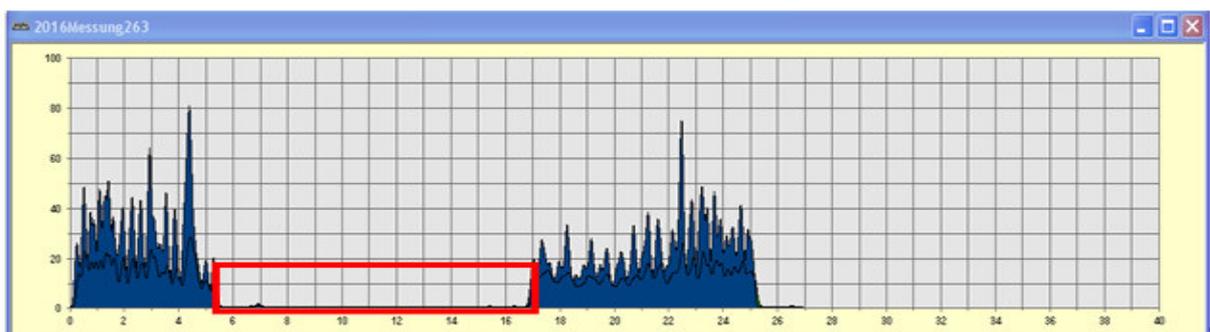


Abbildung 4: Nordansicht; Ergebnisse der Ultraschallechomessungen

Bei den Bohrwiderstandsmessungen ist es für die weiteren statischen Berechnungen erforderlich sowohl den Restquerschnitt am geschädigten Messpunkt wie auch die Ausdehnung des Schadens darzustellen. Folgend Messungen an dem mittels Ultraschallechomessungen als „auffälliger Bereich“ markiertem Bereich:



Abbildung 5: Lage der Bohrwiderstandsmessungen



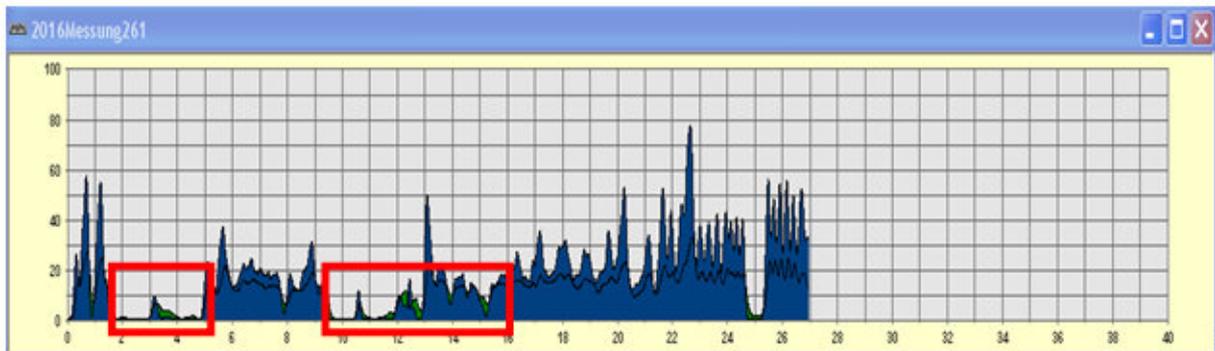


Abbildung 6: Ergebnis einer Bohrwiderstandsmessung mit ausgeprägtem inneren Hohlraum, welcher auf einen Schaden hindeutet; Bezeichnung siehe Kopfzeile. Die Bohrwiderstandsmessungen ergaben, dass an einigen Stellen ausgeprägte Schäden vorhanden sind. Weiter ist zu erkennen, dass trotz direkter Bewitterung die Struktur der Balken in einem guten Zustand ist. Weiter wurden auch Altschäden detektiert, woran zu erkennen ist, dass bereits vor vielen Jahren Schäden auftraten, welche dann behoben wurden.

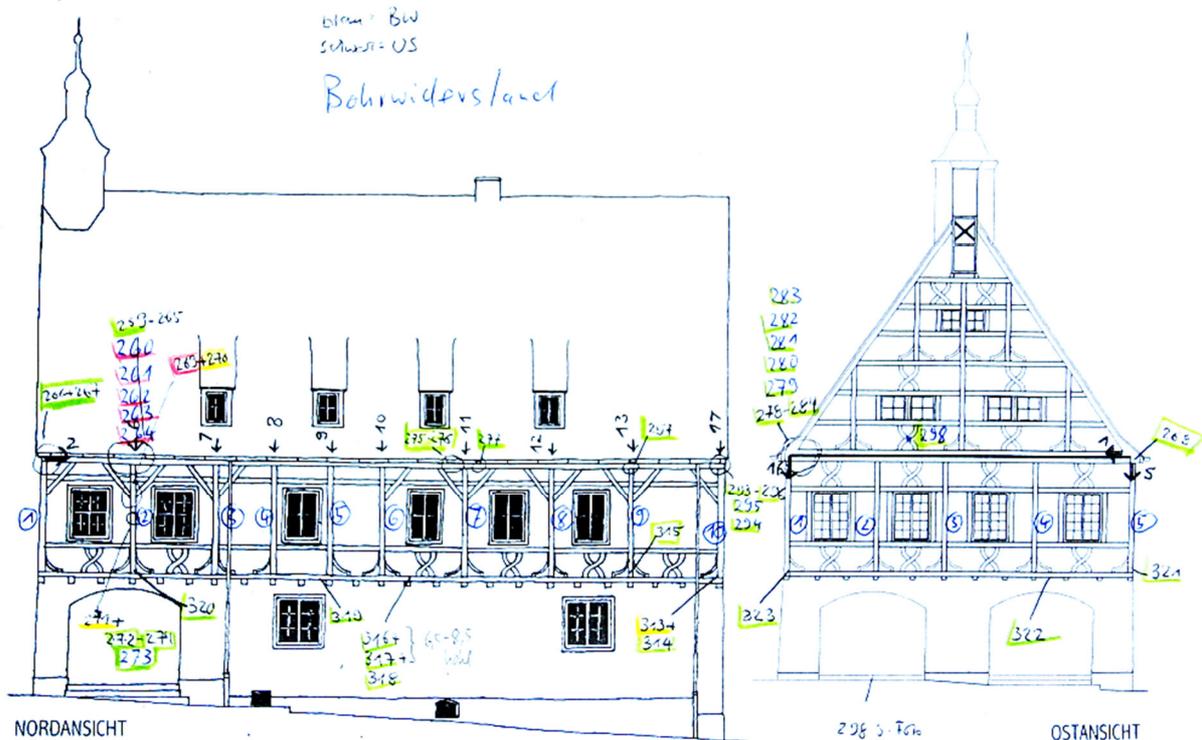


Abbildung 7: Nordansicht; Ergebnisse der Bohrwiderstandsmessungen

Feuchtemessungen

Mit Feuchtemessungen konnte gezeigt werden, dass bis auf wenige Bereiche – die auf Schäden in der Dachhaut zurückzuführen waren – keine zu hohe Feuchten gemessen wurden.

Endoskopieuntersuchung

Mit den Endoskopieuntersuchungen konnte gezeigt werden, dass sich in den Hohlräumen ehemalige Wespennester, aber keine Fruchtkörper von Pilzen befinden.

Zusammenfassung und Nutzen für den Bauwerkseigner

Aufgrund des dicken Anstrichs und der Verfüllung vieler Fugen und Risse konnte die Struktur schlecht visuell beurteilt werden.

Die sehr umfangreichen und flächigen Untersuchungen ergaben, dass eine eindeutige Dokumentation der hauptsächlich ungeschädigten Struktur möglich ist.

Weiter zeigte sich, dass es sich bei den Schäden meist um lokale Altschäden handelte, welche als „Teil des Denkmals“ belassen wurden, da offensichtlich keine Verformungen oder Bauteilversagen zu befürchten waren.

Brückenuntersuchungen an drei Bongossibrücken

Folgend Untersuchungen an drei Bongossibrücken, die „auf den ersten Blick“ einen „guten Eindruck“ machen.

Bei den Untersuchungen wurde die Brückenprüfung von ZETCON Ingenieure GmbH durchgeführt, wobei es ein großer Vorteil war, dass der Ingenieur von Hause aus gelernter Zimmerergeselle ist und so ergänzend zur ingenieurtechnischen Sicht auf das Bauwerk die wichtigen für Holz typischen baustoff- und herstellungsspezifischen Zusammenhänge und Schwachstellen aus Sicht des Handwerkers mit in die Beurteilung eingeflossen sind.

Die flächigen Ultraschallmessungen wurden vom Ingenieurbüro Dr. Hasenstab durchgeführt. Aufgrund der Vielzahl der erforderlichen Bohrungen wurden die Bohrwiderstandsmessungen von beiden Büros vorgenommen.



Abbildung 8: Brücke über einen Fluss



Abbildung 9: noch zwei Brücken

Der "gute Eindruck" musste während der Untersuchungen durch Feststellung einer Sammlung erheblicher Schäden, die unabhängig voneinander zeitnah zu einem Bauwerksversagen hätten führen können, revidiert werden.

Für die Bauwerksprüfung erschwerend kam hinzu, dass ausgeprägte und sicher bekannte Schäden dem Messteam nicht mitgeteilt wurden und vor Ort Schäden z.B. mit Blechen verdeckt waren.

Bei den erkannten Schäden ging es im ersten Schritt wieder um ein „gesundprüfen“ der Konstruktion, d.h. ungeschädigte Bereiche im Bereich der Schäden zu markieren und dokumentieren, um die weitere Nutzung des Bauwerks zu ermöglichen.

Feuchtemessungen

Es wurden an vielen Stellen der erdberührten Stützen, d.h. die Hölzer steckten direkt im bindigen Boden, und an Trägern ohne konstruktiven Holzschutz mit Stahldurchdringungen Feuchtemessungen in die Tiefe vorgenommen.

Bei den meisten Messungen kam es zu einer Feuchtezunahme im Inneren des Bauteils, was eine mögliche Kernfäulnis bedeutet – die wiederum mittels punktueller Bohrung mittels Bohrwiderstand oft nachgewiesen wurde.

Messpunkt	0cm	2cm	5cm	8cm
F7	19,4	21,7	21,7	20,1

Abbildung 10: Ergebnis der Feuchtemessung über die Tiefe, ab 20% Feuchte „rot“ markiert

Ultraschallechomessungen

Es wurden flächige **Ultraschallechomessungen** entlang Messlinien vorgenommen, um so schnell große Bereiche zu untersuchen zu können.



Abbildung 11: Ultraschallechomessung am Bauwerk am Bongossiträger

Allgemein wurden bei den Ultraschallechomessungen sehr wenige Bereiche mit deutlichem Rückwandecho erfasst. Dies verwunderte zu Beginn – und es wurden sehr viele Bohrwiderstandsmessungen vorgenommen.

Die Bohrungen ergaben sehr ausgeprägte Schäden. Dies bedeutet, dass der Ansatz – flächig auffällige Bereiche lokalisieren – und dann punktuell Bohren – gut funktioniert hat.

Bohrwiderstandsmessungen

Der Ansatz – Schäden einzugrenzen und dann eine Sanierungsempfehlung zu erarbeiten – d.h. das Bauwerk weiter zu nutzen – erfordert eine Vielzahl von Bohrwiderstandsmessungen, da der „gesunde“ Bereich sicher definiert wurde.

Dieser Ansatz wurde bei den drei Brücken auch verfolgt – es wurde eine Vielzahl von Bohrungen vorgenommen. (109 Bohrungen an S-Brücke +154 Bohrungen Haskenau Brücke +147 Bohrungen Pylon-Brücke= 410 Bohrungen an den drei Brücken)

Die Anzahl der Bohrungen am geschädigten Träger kann nur vor Ort entschieden werden, eine Ausschreibung mit einer begrenzten Anzahl bzw. fest vorgegebenen Anzahl an Messstellen ist bei Schäden mit dem Ziel, den Schaden einzugrenzen, schwierig anwendbar. Im Laufe der Prüfung muss durch den prüfenden Ingenieur entschieden werden, an welchen Stellen wie viele Bohrungen und Ultraschallmessungen durchgeführt werden müssen. Oft ergeben sich im Laufe der Prüfung weitere relevante Punkte, welche mit geprüft werden sollten.



Abbildung 12: Bohrwiderstandsmessung an Trägern an Stützen

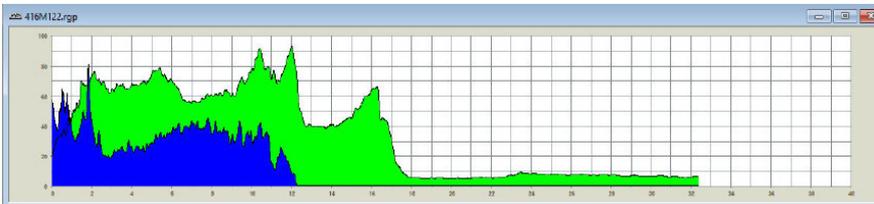


Abbildung 13: Bohrwiderstandsmessung – sehr ausgeprägte Schäden im Inneren der Konstruktion

Es wurden sehr viele Bohrwiderstandsmessungen vorgenommen – und auch sehr ausgeprägte Schäden detektiert.



Abbildung 14: Bohrwiderstandsmessung – sehr ausgeprägte Schäden im Bereich der Stabdübel (die mit Radar zerstörungsfrei lokalisiert werden können)

Besonderheiten Bongossihölzer



Abbildung 15: Problem bei Bongossi: selbst mit Abklopfen ist eine ausgeprägte innere Schädigung in der Tiefe von mehreren Zentimetern oft nicht möglich – nur mit Ultraschallechomessung und Bohrwiderstand können tiefliegende innere Schäden gefunden werden



Abbildung 16: Schaden an Träger, Belag teils erheblich geschädigt, neu ersetzte Bohlen auf offensichtlich stark geschädigten Träger befestigt



Abbildung 17: links: Schaden an Träger, Belag teils erheblich geschädigt, neu ersetzte Bohlen auf offensichtlich stark geschädigten Träger befestigt
rechts: Haupt- und Nebenträger mit Hammer entfernbar, Bohle bei der Untersuchung unter Fussgängerlast gebrochen; Schaden am Träger nicht leicht mit Klopfen sondern nur mit Ultraschall und Bohrwiderstand lokalisierbar; sowie intakte "Außenschale" des oberen Längsträgerbalkens senkrecht stehend im Bild links zu sehen



Abbildung 18: Schaden am Längsträger insbesondere um die senkrecht im Träger befindlichen Stabdübel



Abbildung 19: links: Hauptträger unter Blechabdeckung teils komplett aufgelöst; rechts: Auflager im bindigen Boden

Fazit: Durch die genaue Untersuchung der Ingenieure von ZETCON konnten „statisch besonders relevante“ Bereiche definiert werden, deren Schadensfreiheit anschließend mittels zerstörungsfreier Prüfungen nachgewiesen werden sollte. Auf diese Weise wurden hingegen erhebliche Bereiche mit „Verdacht auf Schaden“ definiert, und genauer untersucht. Es wurden sehr ausgeprägte Schäden gefunden. Alle drei Brücken mussten aufgrund der vielen Schadstellen gesperrt werden.

Im Laufe der sehr ausgiebigen Untersuchungen war es möglich, im Unternehmen ZETCON ein Messteam mit eigenem Bohrwiderstandsmessgerät und viel Erfahrung an Brücken zu etablieren.

Üblicherweise kann durch eine sehr genaue Eingrenzung der Schäden das Bauwerk recourcenschonend saniert und erhalten werden – Schäden dieses Ausmaßes bei mehreren Bauwerken des gleichen Bauamtes sind sehr ungewöhnlich.

Zusammenfassung:

Mittels zerstörungsfreier Untersuchungen kann ein Schaden einer Holzkonstruktion eingegrenzt werden bzw. der ungeschädigte Bereich eindeutig und für statische Nachrechnungen belastbar, definiert werden.

Für diese Durchführung der Untersuchungen ist ein enormes Wissen über die angewendeten zerstörungsfreien Prüfverfahren und die Möglichkeiten der Kombination derselben erforderlich. Weiter ist ein ausgeprägtes Wissen über den untersuchten Werkstoff Holz erforderlich, was bedeutet, dass Messerfahrung an Stahl oder Beton nicht direkt auf Holz übertragen werden kann.

Ein simples Übertragen der Messerfahrung vom isotropen Werkstoff Beton auf den anisotropen Werkstoff Holz mit seinen Jahrringen und Fasern ist nicht möglich.

Aufbauend auf die zerstörungsfreien Untersuchungen muss im Falle eines Schadens bei Insektenbefall oder bei Fäulnis unbedingt ein Kollege zur genauen Bestimmung des Befalls hinzugezogen werden. Nur so kann der Schaden wirkungsvoll angegangen und beseitigt werden. Bei der Vielzahl von Pilzen kann es sein, dass an Stelle eines laienhaft angenommenen Hausschwammes (was mit einem erheblichen, finanziellen und bausubstanzzerstörenden Aufwand einher geht) „nur“ eine Moderfäule vorliegt, welche mit dem Ansatz „Wasser Weg“ ohne Chemie behandelt werden kann. Weiter ist es mit viel Erfahrung möglich, bei einem historischen Bauwerk einen Altschaden von einem neuen Schaden zu unterscheiden.

Auch ist bei einem offensichtlichen Insektenbefall einiges Wissen erforderlich, um aktiven Befall von „Sägemehl“ der Dachdecker des letzten Dachumbaus zu unterscheiden.

Neben diesem erforderlichen Zusammenspiel zwischen untersuchendem Ingenieur und Holzschutzspezialisten muss auch die Statik in die Lösungsansätze mit einbezogen werden. So ist es oft für den statischen Nachweis ausreichend, die genau definierten „Restquerschnitte“ durch Untersuchungen zu erreichen. Dies bedeutet, dass trotz Schäden auf eine aufwändige Sanierung verzichtet werden kann, da das Bauwerk ja „hält“. Dieser Ansatz setzt aber eine gute Zusammenarbeit aller Beteiligten voraus und eine genaue Bestimmung des Pilzes und eine Kenntnis und Behebung der Schadensursache sind unabdingbar. So ist es möglich, wie in den Beispielen dargestellt, vorhandene „gesunde“ Restquerschnitte zu nutzen und so Umbaukosten zu sparen und historische Bausubstanz zu erhalten.

Weiter ist wichtig zu beachten, dass mit den vorgestellten Verfahren sofort auf der Baustelle eine in situ Aussage getroffen werden kann, und an Hand der erlangten Informationen Entscheidungen getroffen werden können.

Die Anwendung der hier vorgestellten Verfahren setzt eine große Übung voraus – der Ansatz nur ein Gerät zu mieten und dann schnell zu messen geht sehr oft schief – was aber an der Bedingung des Messgerätes liegt und nicht an der Messtechnik.

Literatur:

Tieferegehende Verfahrensbeschreibungen und Anwendungsmöglichkeiten: www.zfp-hasenstab.de -> Verfahren

- [1] Hasenstab, A., Baron, T.: **Kombinierte Anwendung von Ultraschallecho und Bohrwiderstand bei der Prüfung von Holzkonstruktionen.** Der Bausachverständige, Jahrgang 7, Heft 1 (Februar) 2011, S. 20-26
- [2] Hasenstab, A. et al.: **Zerstörungsfreie Prüfung in der Baudenkmalpflege. Teil 1: Theoretische Grundlagen.** Restauro 1/2011, S. 33-39

- [3] Hasenstab, A., Jost, G., Taffe, A., Wiggenhauser, H.: **Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen – angewandte Forschung und Praxis.** Tagungsband der DGzFP-Jahrestagung 2008, St. Gallen, 28.04.-30.04.2008
- [5] Walter, A. und A. Hasenstab: Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau in: Fouad N. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2012, Berlin: Ernst und Sohn (2012)
- [6] Hasenstab, A.: Ultraschall-Echo, ein ZfP-Verfahren zum Lokalisieren von Fehlstellen in Brettschichtholz (BSH) und Vollholz – Praxisbeispiele. Bauwerksdiagnose Berlin, 21.-22.02.2008, Berlin
- [7] Hasenstab, A., Osterloh, K., Robbel, J., Krause, M., Ewert, U., Hillemeier, B.: Mobile Röntgenblitzröhre zum Auffinden von Holzschäden. DGzFP-Jahrestagung 17.-19.05.2004 in Salzburg, DGzFP-Berichtsband auf CD: Plakat 15
- [8] Straußberger, D., Hartmann, I., Hasenstab, A.: Straßenuntersuchungen mit Radar, Ultraschallecho und FWD. Bauwerksdiagnose Berlin, 21.-22.02.2008, Poster 13, Berlin
- [9] Hasenstab, A., Jost, G., Taffe, A., Wiggenhauser, H.: Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen – angewandte Forschung und Praxis. Jahrestagung DGzFP DACH, St. Gallen 2008
- [10] Hasenstab, A., Homburg, S., Maierhofer, C., Arndt, R.: Holzkonstruktionen mit Radar und Thermografie zerstörungsfrei untersuchen Tagungsband der DGzFP-Jahrestagung 2007, Poster 14, 14.-16.05.2007 Fürth