

# Mobiles Röntgen zur Qualitätskontrolle von Holzkonstruktionen

## Einleitung

Die Begriffe Qualitätsmanagement und Qualitätskontrolle spielen auch in der Bauwirtschaft eine grosse Rolle. Im Rahmen der industriellen Vorfertigung gibt es mittlerweile viele bewährte Systeme zur Qualitätsüberwachung. Vor Ort am Bauwerk ist eine Kontrolle allerdings bislang nur im Rahmen der Erstellung möglich. Eine externe, regelmässige Überwachung der Montage sowie eine zerstörungsfreie Überprüfung des Bauwerks sind momentan nur schwer möglich. Die Beurteilung bestehender Holztragwerke ist in den meisten Fällen nur mit Hilfe zerstörungsfreier Untersuchungsmethoden möglich. Hier finden sich mögliche Einsatzbereiche für die mobile Röntgenblitzröhre.

## Methoden zur zerstörungsfreien Prüfung in situ

Eine der wichtigsten Methoden bei der Bauwerksbegutachtung ist die visuelle Prüfung, bei der sämtliche Bauteile handnah zu überprüfen sind. Eine stichprobenartige Untersuchung der Tragkonstruktion genügt meist nicht. Nur eine flächige Überprüfung über das gesamte Tragwerk lässt eine fundierte Aussage über dessen Zustand zu und gibt den Nutzern und Betreibern die notwendige Sicherheit.

Beliebt bei Fachpersonen ist das Bohrwiderstandsmessgerät. Hier wird der Widerstand einer 1,5 bis 3,0 mm starken Bohrnadel massstäblich über die Bohrtiefe aufgezeichnet. Mit einem kalibrierten Gerät ist sogar die Rochdichte des Holzes ables- und dokumentierbar. Die Bohrwiderstandsmessung erlaubt die lokale Beurteilung an der Bohrstelle. Flächenmässige Untersuchungen sind zeitintensiv und aufgrund der entstehenden Bohrlöcher nicht immer erwünscht.

Die Ultraschall-Echo-Methode bietet eine zerstörungsfreie Möglichkeit zur Lokalisierung von Verbindungsmitteln und strukturellen Schäden im Holzquerschnitt.

Die Interpretation der Aufnahmen erfordert – neben genauer Kenntnis der Messtechnik – eine grosse Erfahrung in der Anwendung dieses Verfahrens.

An der Berner Fachhochschule in Biel haben die Verfasser zusammen mit Dr. Andreas Hasenstab Messungen an einem Fachwerk-Knoten mit eingeschlitzten Blechen durchgeführt. Dabei konnten Echos an der Tasche des Schlitzblechs erkannt werden. Ausserdem wiesen Bereiche ohne Reflexion auf strukturelle Schäden hin. Die Kanten der Schlitzbleche sowie das Ausmass der Schädigung durch die holzzerstörenden Pilze sind mit dieser Methode nicht erkennbar (Hasenstab 2008). Aufgrund der Dämpfungseigenschaften des Holzes ist eine Untersuchung mit dieser Methode nur bis zu einer bestimmten Bauteildicke möglich.

Messungen an der Empa (Neuenschwander, et al. 2011) zeigten unter anderem die gute Darstellbarkeit von Oberflächenrissen. Delaminierungen im Bauteilinnern waren nicht eindeutig erkennbar.

Wie das Bohrwiderstandsverfahren ist das Ultraschall-Echo-Verfahren aufgrund der

## Mobile Röntgenblitzröhre im Labor

(Bild: Mareike Vogel)



sehr lokalen Messung nur kleinflächig einsetzbar oder aufgrund mangelhafter Darstellung schwer zu interpretieren.

Die mobile Röntgentechnologie (siehe Abbildung 1) ermöglicht den Blick ins Bauteilinnere mit einer sehr guten Darstellung eines vergleichsweise grossen Messbereichs. Das Röntgenverfahren arbeitet zerstörungs- und quasi kontaktfrei. Durch den mobilen Einsatz der Röntgen- sowie Auswertetechnologie mittels eines Scanners ist eine In-situ-Anwendung, Auswertung und Bewertung an bestehenden Konstruktionen möglich.

### Röntgentechnologie

Beim Röntgen wird der Testkörper mit Röntgenstrahlen durchleuchtet. Unterschiedliche Materialien bzw. Materialdichten absorbieren die Strahlung verschieden stark. Die mobile Röntgenblitzröhre projiziert wie das herkömmliche Röntgenverfahren (Radiologie) das Volumen eines Körpers auf eine Fläche. Dabei gehen dreidimensionale Informationen weitestgehend verloren.

Die Röntgenblitzröhre arbeitet mit weniger Energie und mit einer deutlich tieferen Strahlungsbelastung als die stationären Röntgeneräte. Sie ist deshalb für den Praxiseinsatz wesentlich besser geeignet. Die

Strahlungsquelle ist nur direkt während des Auslösens aktiv. Nach diesem Vorgang – der nur wenige Sekunden dauert – ist keine Strahlenbelastung mehr vorhanden. Das Prüfobjekt speichert hierbei keine Strahlung. Die Umgebung der Röntgenblitzröhre ist im Praxiseinsatz abzusperren. Ein Abstand von 30m vor, 11m neben und 3m hinter der Blitzröhre reichen als Sicherheitsabstand aus (siehe Abbildung 2). Die Arbeiter tragen zusätzlich während der Arbeiten ein persönliches Dosimeter, welches monatlich durch eine externe Stelle ausgewertet wird.

### Laborversuche

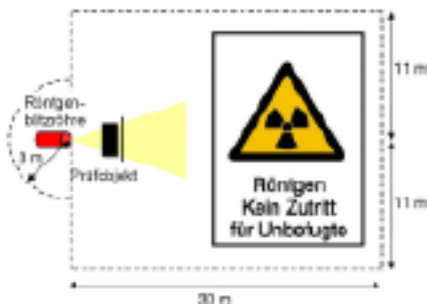
Im Rahmen von Laborversuchen wurden die Randbedingungen zum mobilen Röntgen festgelegt. Dabei handelt es sich insbesondere um die folgenden Parameter:

- Anzahl der benötigten Impulse
- Abstand zum Objekt
- Streuwinkel der Röntgenblitze
- Einfluss von Dichteunterschieden
- Auflösung der Bilder

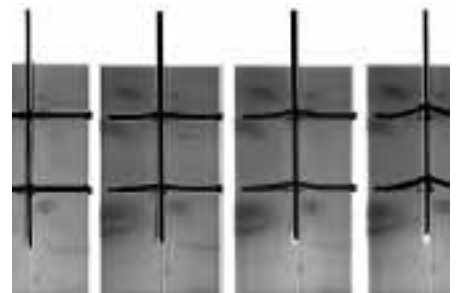
Nach der Definition der Randbedingungen wurden erste Versuche an Bauteilen durchgeführt. Die Ergebnisse bei der Untersuchung von metallischen Verbindungsmitteln und von zimmermannsmässigen Verbindungen waren sehr zufriedenstellend. Es

### Sicherheitsabstände beim mobilen Röntgen

(Bild: Mareike Vogel)



### Röntgenaufnahme einer Schlitzblechverbindung in unterschiedlichen Laststufen (Bild: Mareike Vogel)



ist möglich, diese genau zu lokalisieren und eventuelle Verformungen zu erkennen und darzustellen. Ebenfalls gute Aufnahmen wurden bei Rissen und unterschiedlichen Holz-Rohdichten erzielt.

In Abbildung 3 ist eine Schlitzblechverbindung in unterschiedlichen Laststufen dargestellt. Neben der Holzstruktur und den Ästen ist insbesondere die Ausbildung der Fließgelenke bei den Stabdübeln gut zu erkennen.

In Abbildung 4 ist die Röntgenaufnahme eines Dübelbalkens dargestellt. Die Schubverbindung ist mittels Schwalbenschwanzdübel aus Eiche ausgebildet. Die Dichteunterschiede der Holzarten Eiche und Fichte sind sehr gut zu erkennen. Ebenfalls sind die einzelnen Brettschichtholzlamellen gut sichtbar. Auch der feine Luftspalt um den Schwalbenschwanz ist gut sichtbar.

### Ausblick

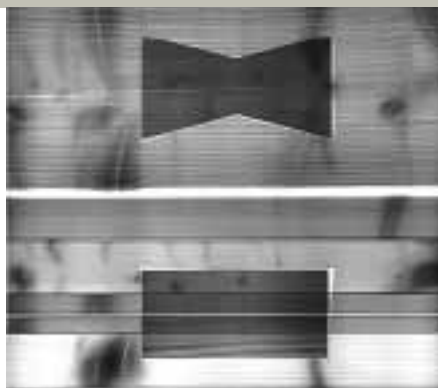
Zur Detektion von holzerstörenden Insekten und Pilzen wird noch untersucht, ab welcher Dichtedifferenz eine deutliche Darstellung möglich ist. Dieses ist insbesondere bei der Zustandserfassung von bestehenden Bauwerken ein wichtiges Kriterium.

Ebenfalls ein wichtiger Punkt ist die Detektion von Rissen und Delaminierungen. Hierdurch könnten u. a. Querzugrisse im Inneren von Brettschichtholzbauteilen aufgespürt werden.

Im Weiteren ist es geplant, die Technik gezielt zur Qualitätskontrolle während bzw. nach der Bauausführung zu verwenden. Auch eine Verwendung zur Kontrolle der Knotenpunkte nach grossen Lasteinwirkungen ist denkbar.

### Literaturverzeichnis

- Hasenstab, Andreas. «Messungen mit Ultraschallecho an Probekörpern der Hochschule Biel am 27. 4. 2008» Biel, 2008.



**Röntgenaufnahme (Draufsicht/Seitenansicht) eines Dübelbalkens mit Hartholzdübel**

(Bild: Mareike Vogel)

- Neuenschwander, Jürg, Sergio Sanabria, Pascal Keller, Tino Loop, und Roman Furrer. «Ultraschallprüfungen von historischem BSH Balken der BFH Biel», Dossier: 458481, Dübendorf, 2011.
- Mareike Vogel, Thomas Tannert, Helge Hansen, Daniel Kehl, Stephan Kraus, und Andreas Müller. «Überprüfungsmethoden geschädigter Holzkonstruktionen», Forschungsbericht, Biel: Berner Fachhochschule, 2009.

### Dipl.-Ing. Mareike Vogel



Berner Fachhochschule  
Solithurnstrasse 102, 2504 Biel  
mareike.vogel@bfh.ch

### Dipl.-Ing. (FH) Florian Scharmacher



Berner Fachhochschule  
Solithurnstrasse 102, 2504 Biel  
florian.scharmacher@bfh.ch