



## Methoden der Zustandserfassung bei Bauwerken aus Holz

*Andreas Müller  
Professor für Holzbau,  
Leiter F+E Holz- und Verbundbau  
Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau  
Biel, Schweiz*



# Methoden der Zustandserfassung bei Bauwerken aus Holz

## Einleitung

In den vergangenen Jahren wurden durch die Experten der Berner Fachhochschule zahlreiche Expertisen zu Mängeln und Schäden an Gebäuden und Bauwerken aus Holz erstellt.

Die dabei gewonnenen Erkenntnisse bei der Überprüfung und Zustandserfassung führten zu mehreren angewandten Forschungs- und Entwicklungsprojekten, die z.Z. in der F+E Einheit Holz- und Verbundbau durchgeführt werden.

Eines davon beschäftigt sich mit den Überprüfungsmethoden von bestehenden Konstruktionen, bei dem die Entwicklung von zielführenden und systematischen Methoden für eine präzise Zustandserfassung einer der Projektschwerpunkte bildet / darstellt.

Für die Zustandserfassung von Holzkonstruktionen steht eine breite Palette an zerstörungsfreien, zerstörungsarmen und ggf. zerstörenden Untersuchungsmethoden zur Verfügung.

- Visuelle Untersuchung
- Akustische Verfahren
- Elektromagnetische Verfahren
- Thermische Verfahren
- Elektrische Verfahren
- Optische Verfahren
- Mechanische Verfahren (zerstörend)

Die verschiedenen Verfahren haben jeweils spezifische Vor- und Nachteile und sind demnach für spezielle Anwendung mehr oder weniger gut geeignet. Daher ist es wichtig, für die durchzuführende Untersuchung das am besten geeignete Verfahren anzuwenden. Oftmals können auch die verschiedenen Verfahren in Kombination angewendet werden. So können durch eine visuelle Begutachtung und der Bestimmung der Holzfeuchte Problemstellen erkannt werden, die dann im Anschluss mit aussagekräftigeren Prüfmethoden detailliert untersucht werden.

## Zweck der Überprüfung und Zustandserfassung

Erfreulicherweise sind sich nach dem schneereichen Winter 2005/2006, bei dem vor allem im angrenzenden Ausland zahlreiche Gebäude versagt haben, viele Gebäudebesitzer wieder ihrer Verantwortung hinsichtlich des notwendigen Unterhalts und der Wartung ihrer Gebäude bewusst geworden. Es hat sich auch gezeigt, dass rechtzeitig erkannte Mängel meist noch kostengünstig bzw. mit einem vergleichsweise geringen Kostenaufwand Instand gesetzt werden können und vor allem eine Gefährdung der Benutzer effektiv verhindert werden kann.

Aber auch im Hinblick auf eine präzise Einschätzung der notwendigen Massnahmen für eine vorausschauende Planung und damit auch für die notwendige Kostensicherheit bei einer anstehenden Renovation, Instandsetzung oder geplante Umnutzung eines Gebäudes ist die Zustandserfassung wichtige Grundlage und damit von Bedeutung.

Die Zustandserfassung ist bei der Überprüfung von bestehenden Bauwerken eine wesentliche Grundlage für die weitere, zielsichere und verantwortungsvolle Beurteilung der Tragsicherheit bzw. Leistungsfähigkeit und Resttragfähigkeit einer Tragstruktur.

## Zustandserfassung und Überprüfung

Vor dem eigentlichen Überprüfungstermin sollten die Örtlichkeiten eingesehen und die notwendigen Hilfsmittel mit den für das Gebäude verantwortlichen Personen durchgesprochen werden. Meist ist eine Hebebühne oder ein Fahrgerüst notwendig. Anlegeleitern sind für eine Zustandserfassung nicht geeignet, da oft in grosser Höhe gearbeitet werden muss. Ein Mindestmass an Unfallvorschriften sollte auch von den Experten eingehalten werden.

Alle zur Verfügung stehenden Bauwerksdaten (Pläne, Baubeschreibungen, Nutzungsvereinbarungen, etc.) sollten vorab eingeholt werden. Informationen über die Art der Nutzung (auch der früheren Nutzungen) sind oft hilfreich. So können z.B. die über den Jahresverlauf auftretende Klimabeanspruchungen und besondere Beanspruchungen und Einwirkungen auf das Bauwerk besser abgeschätzt werden.

Sämtliche Aussagen müssen belegbar und auch für baufachliche Laien z.B. bei einem Prozess nachvollziehbar dokumentiert und begründet sein.

Eine der wichtigsten Grundregeln ist dabei, dass sämtliche Bauteile handnah zu überprüfen sind. Ferndiagnosen werden bei einem später eintretenden Schaden von den Gerichten als grobe Fahrlässigkeit gewertet. Den überprüfenden Ingenieur oder Fachmann trifft dann die volle Haftung. Ebenfalls reicht eine stichprobenartige Untersuchung der Tragkonstruktion meist nicht aus. Nur eine flächige Überprüfung über die gesamte Tragkonstruktion lässt eine fundierte Aussage über den Zustand zu und gibt den Nutzern und Betreibern der Gebäuden die notwendige Sicherheit.

Eine systematische Durchnummerierung der Achsen und Bauteile im Vorfeld der Zustandserfassung ist notwendig. Sofern keine aussagekräftigen Planunterlagen vorliegen, anhand deren eine Orientierung vor Ort und die Dokumentation der Ergebnisse möglich ist, müssen diese erarbeitet werden. Nur so lassen sich die gewonnenen Messdaten später bei der Beurteilung und Auswertung sinnvoll nutzen.



Abbildung 1: Beispiel für die Bezeichnung der Achsen und Bauteile (hier Hauptachse 10, Nebenachse 1)

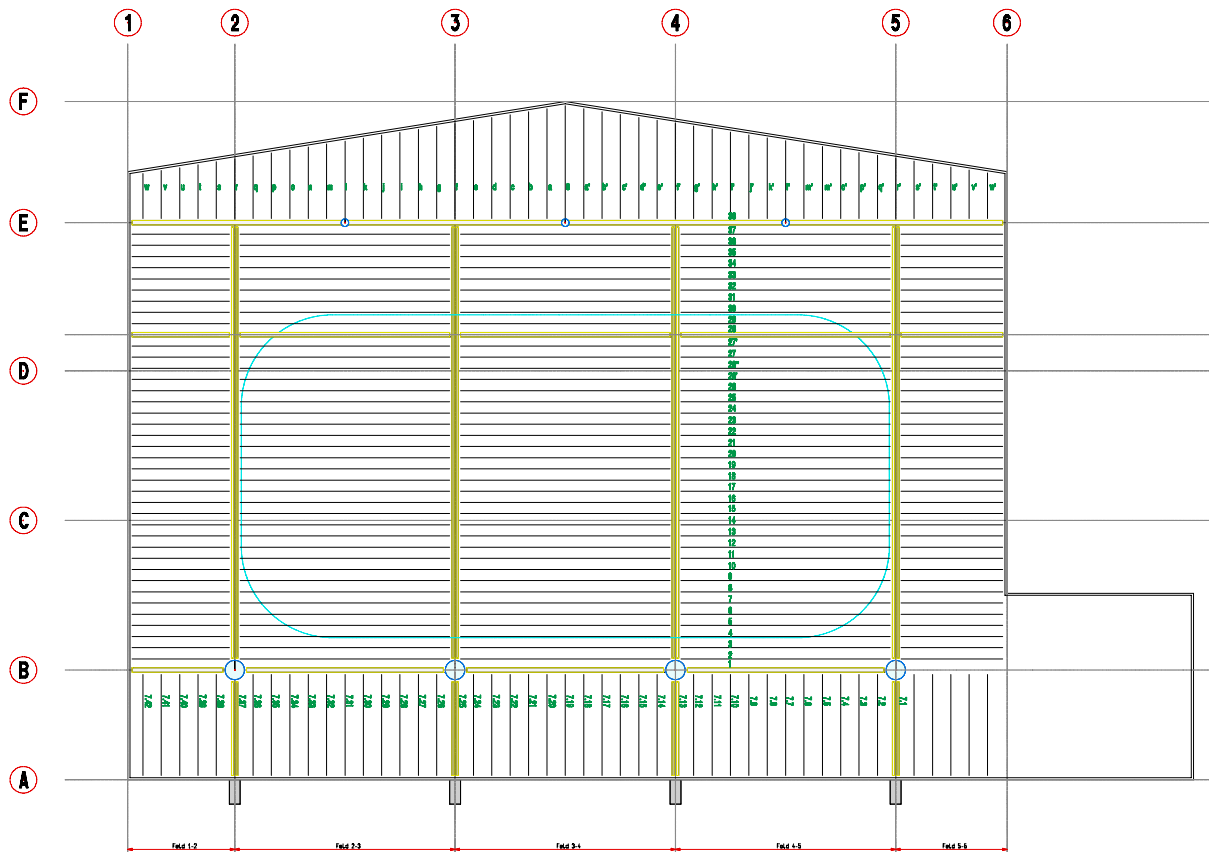


Abbildung 2: Grundriss, Beispiel der Durchnummerierung

Für die Auswertung und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse haben sich auch vorab vorbereitete selbstklebende Nummern bewährt, mit denen die Untersuchungspunkte und Bauteile gekennzeichnet werden können. Die Nummerierung erleichtert auch bei grösseren bzw. komplexen Tragkonstruktionen die Orientierung vor Ort und ist für die Protokollierung der Messergebnisse, Fotos und Dokumentation der Beobachtungen sehr hilfreich. Vorbereitete massstäbliche Ansichten von den wichtigsten Bauteilen z.B. den zu überprüfenden Hauptträgern erleichtern die Dokumentation auf der Hebebühne bzw. Leiter.

Protokolle für die Holzfeuchtemessungen, Rissaufnahmen und Fotodokumentation sind vorzubereiten.

No	Feld 3 - 4 Beschreibung	Holzfeuchte in [%]			Durchschnitt
		Untergurt / unten			
		5 [mm]	25 [mm]	45 [mm]	
1	Träger 3 . Knoten 1 / hinten	25.3	24.8	25.0	25.0
2	Träger 6 . Knoten 3 / hinten	27.5	26.1	25.0	26.2
3	Träger 7 . Knoten 3 / vome	24.5	23.4	24.2	24.0
4	Träger 7 . Knoten 3 / vome	26.4	24.7	26.7	25.9
5	Träger 12 . Knoten 3 / hinten	27.0	25.9	23.5	25.5
6	Träger 12 . Knoten 5 / hinten	27.6	26.1	22.0	25.2
7	Träger 12 . Knoten 9	27.9	25.3	21.6	24.9

Tabelle 1: Feuchteprotokoll anhand eines Beispielles

## Was schädigt ein Gebäude und wo liegen die Problemfelder (Hotspots) einer Tragkonstruktion?

Gebäude und Bauwerke aus Holz weisen meist zwei und damit immer zu überprüfende Problemfelder auf. Zum Einen sind dies ggf. zu hohe Holzfeuchten und damit die Gefahr der Schädigung der Holzbauteile durch holzerstörende Pilze oder zum Anderen Risse, die je nach Ausmass und Ursache auch Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Konstruktion haben können. Eine Schädigung durch holzerstörende Insekten tritt heute im mitteleuropäischen Raum eher selten auf. Neuere Untersuchungen z.B. Aicher, Radovic [1] zeigen, dass bei der Verwendung von technisch getrockneten Hölzern – dies betrifft alle konstruktiven Vollholzprodukte – durch eine Veränderung der Holzinhaltstoffe (Eiweisstruktur) die Gefahr durch einen Befall mit holzerstörenden Insekten faktisch ausgeschlossen ist. Dennoch sollten bei der visuellen Überprüfung die Bauteile auch auf Ausflugslöcher bzw. auf einen aktiven Befall (Sägemehlreste) hin untersucht werden.

### Holzfeuchten:

Für das Wachstum holzerstörender Pilze muss über einen längeren Zeitraum die Ausgleichsfeuchte im Holz über der Fasersättigung liegen. Fasersättigung wird bei Fichte/Tanne bei ca. 30% und bei Eiche bei ca. 26% erreicht. Liegt die gemessene Holzfeuchte über diesen Grenzwerten, muss immer mit einer bereits eingetretenen Schädigung durch holzerstörende Pilze gerechnet werden. Dies kann für den Betrachter zunächst nicht wahrnehmbar auch im Querschnittskern stattfinden. Sind Fruchtkörper von holzerstörenden Pilzen bereits erkennbar ist die Schädigung bereits weit fortgeschritten. Hier gilt es sorgfältig Pilzproben zu entnehmen und durch Fachspezialisten z.B. EMPA, Wood Laboratory – Microbiology Group in St. Gallen untersuchen und bestimmen zu lassen, damit das pilzartspezifische Schadensausmass und damit die notwendigen Massnahmen richtig beurteilt werden kann.



Abbildung 3: Pilzbefall aufgrund hoher Holzfeuchte



Abbildung 4: Holzfeuchtemessung an einem Fachwerkknoten

### Risse:

Risse sind besonders bei Vollholzquerschnitten meist auf Eigenspannungen durch Schwinden zurückzuführen. Sie sind nicht vermeidbar, da alle Tragkonstruktionen einem gewissen Klimawechsel ausgesetzt sind. Durch zu tiefe Risse kann die Schubfestigkeit der Holzquerschnitte reduziert sein (nach Frech [2]  $> b/6$  von beiden Seiten bzw.  $b/3$  von einer Seite). Aus diesem Grund müssen für eine genaue Analyse die Rissbreiten und -tiefen und deren Lage im Bauteil sorgfältig aufgenommen und kartiert werden (vgl. z.B. Abbildung 7).

Bei verklebten Bauteilen (Brettschichtholzkonstruktionen) können Risse auch auf Probleme in der Klebefuge (Delaminierung, Fehlverklebungen, etc.) Hinweis geben. Um dies festzustellen müssen auch hier die Rissbreiten und -tiefen aufgenommen und zusätzlich Kernproben in ausreichender Anzahl entnommen werden, damit die Qualität der Klebefuge im Labor durch eine Scherprobe nach EN 392 [3] und EN 386 [4] festgestellt und beurteilt werden kann.

In besonderen Fällen kann auch eine Überbeanspruchung der Bauteile, besonders bei auftretendem konstruktionsbedingten Querzugspannungen, die Ursache sein. Zum Erkennen und Beurteilen besonders dieser letztgenannten Ursache sind materialspezifische Kenntnisse notwendig.

Selbstverständlich kann auch eine Überbeanspruchung der Bauteile durch fehlerhafte Annahmen, Nutzungsänderungen oder Fehlern in den statischen Berechnungen Ursache sein.

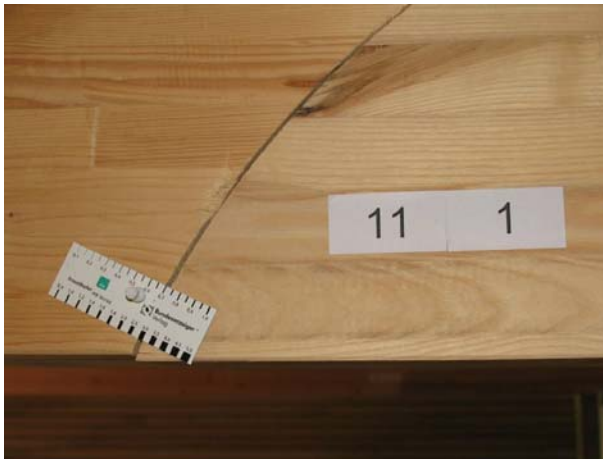


Abbildung 5: Rissbildung im Auflagerbereich



Abbildung 6: Riss in einem Brettschichtholzträger

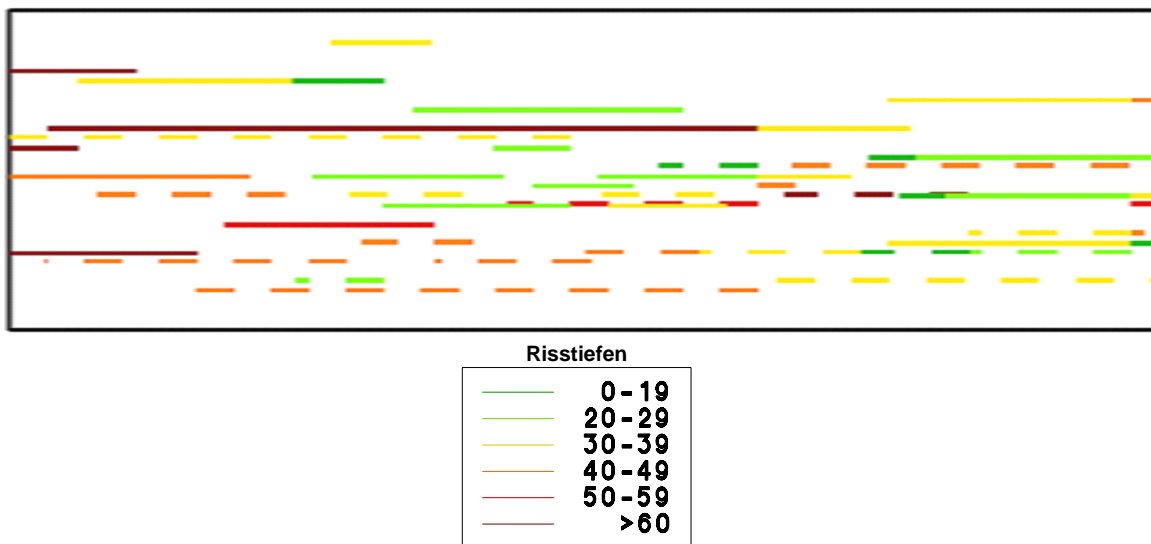


Abbildung 7: Kartierung von Rissen aufgrund einer genauen Zustandserfassung

## Methodik der Zustandserfassung

Bei der Überprüfung bestehender Tragwerke stehen zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Prüfverfahren im Vordergrund. Die Prüfungen dienen als Hilfsmittel für die Beurteilung des Bauwerkes, mit welchen der Zustand der Materialien, Bauteilen und des Gesamttragwerkes quantitativ messen kann. Das Prüfobjekt nimmt durch die Messungen keinen Schaden und der Verwendungszweck wird nicht beeinflusst.

Die Verlässlichkeit von zerstörungsfreien Prüfmethoden ist ein sehr wichtiger Gesichtspunkt. Ein wesentlicher Bestandteil bei der Entwicklung oder Modifikation von zerstörungsfreien Prüfmethoden ist die Verifizierung durch zerstörende Prüfmethoden.

### Visuelle Prüfung:

Eine sorgfältige visuelle Überprüfung und Kontrolle aller Bauteile steht immer im Mittelpunkt einer jeder Zustandserfassung. Es ist gerade der Vorteil von Holzkonstruktionen, dass die meisten Problemfelder (Hotspots) vorab durch Verfärbungen, Risse etc. sichtbar und damit erkennbar werden, bevor sie – eine regelmässige Kontrolle vorausgesetzt - zu einem Schaden führen.

Von grosser Bedeutung bei der Zustandserfassung und Voraussetzung zum Erkennen von Mängeln in der räumlichen Gebäudestruktur ist, dass der Experte versucht das Tragverhalten der Gesamtstruktur nachzuvollziehen. Oft sind bislang unerkannte Probleme bzw. Mängel in der Gesamtstabilität der Gebäude dadurch erkennbar. Mehrfach wurden nachträglich bei Installationsarbeiten die wichtigen Stabilisierungsverbände kipp- oder knickgefährdeter Bauteile durchtrennt oder wurden aus Unkenntnis gar nicht erst eingebaut. Dies muss der verantwortungsbewusste Experte erkennen und entsprechende Massnahmen einfordern.

Visuelle Untersuchungen werden mit den Sinnesorganen und unter Einsatz von einfachen Hilfsmitteln durchgeführt. Dies können zum Beispiel sein:

<b>Einfaches Hilfsmittel</b>	<b>Tätigkeit</b>	<b>Beispiel: Erkennung von:</b>
Taschenmesser, Stechbeutel, Schraubenzieher	Anreissen, Einstecken, Anbohren	<i>Holzart, Holzqualität, Pilzbefall, Insektenbefall</i>
Schlagwerkzeug	Anklopfen oder Anschlagen	<i>Hohlräumen, Pilzbefall, Insektenbefall</i>
Rissbreitenmesser, Risstiefenmesser (Ventillehre), Messstab	Beurteilung der Risstiefe und Rissbreite	<i>Risse</i>
Lupe und Taschenmikroskop		<i>Erkennen von Holz und Klebstoff</i>
Indikator- oder Nachweislösungen, pH-Papier	Einfache chemische Prüfungen	<i>Oberflächenbehandlung, Klebstoff, Holzart, externen chem. Einwirkungen</i>
Nivelliergerät, Wasserwaage		<i>Deformationen</i>
Zuwachsbohrer (d=5 mm) für die Entnahme v. Kernproben	Bohren	<i>Holzart, Holzqualität, Pilzbefall, Insektenbefall</i>
Endoskop	Erkennung von Hohlräumen, verdeckten Bauteilen	<i>Pilzbefall, Insektenbefall, Hohlräumen, verdeckten Bauteilen</i>
Fotokamera	Photodokumentation	<i>Nachvollziehbarkeit</i>

Tabelle 2: Hilfsmittel für die visuelle Zustandserfassung



## Zerstörungsarme und zerstörende Untersuchungs- und Prüfmethoden:

Vertiefte Informationen über ein Bauwerk sind oft nur durch Sondierungen, Probenentnahmen oder Laborprüfungen möglich. Diese Untersuchungsmethoden sind jedoch meist nicht ganz zerstörungsfrei. Es ist deshalb ratsam, vorab die Folgen des erforderlichen Eingriffs dem erzielbaren Nutzen gegenüberzustellen.

In diesem Zusammenhang muss ebenfalls beachtet werden, dass die Aussagekraft abhängig von der Anzahl der aus dem Bauteil entnommenen Proben ist. Für eine statistisch abgesicherte Aussage wäre jeweils die Entnahme von 15 – 20 Proben notwendig. Dies ist mit vertretbarem Aufwand meist nicht möglich.

Nachfolgende Tabelle enthält eine Übersicht über die zerstörungsarmen und zerstörenden Untersuchungsmethoden.

<i>Verfahren/Methode</i>	<i>Ausgangsbasis für Prüfkörper/Prüfungen</i>	<i>Auswertung</i>
Risse, Struktur; Holzart (visuell)	<b>Bohrkern</b>	in-situ
Holzalter	<b>Bohrkern</b>	Labor
Salzgehalt, Ausblühungen; ph-Wert (chemische Analysen)	<b>Bohrkern</b>	Labor
Feuchte; Darmmethode gravimetrisch DIN EN 13183-1	<b>Bohrkern</b>	Labor
Rohdichte nach DIN 52 182, EN 323	<b>Bohrkern</b>	Labor
Druckfestigkeit nach DIN 52 185, DIN EN 408	<b>Bohrkern</b>	Labor
Biege-Elastizitätsmodul nach DIN 52 186, EN 384	<b>Belastungsversuch</b>	in-situ
Biegefestigkeit nach DIN 52 186, EN 384	<b>Belastungsversuch</b>	Labor
Scherfestigkeit nach DIN 52 187	<b>Bohrkern</b>	Labor
Zugfestigkeit nach DIN 52 188	<b>Bohrkern</b>	Labor
Scherprüfung der Leimfugen nach EN 392	<b>Bohrkern</b>	Labor

Tabelle 3: Zusammenstellung der Verfahren für zerstörungsarme und zerstörende Prüfmethoden

## Holzfeuchtemessung:

Neben der visuellen Überprüfung ist eine Messung der Holzfeuchten aus vorgenannten Gründen von besonderer Wichtigkeit. Hierfür sind die handelsüblichen elektronischen Holzfeuchte-Messgeräte in der Regel ausreichend. Es wird empfohlen, ein Gerät zu verwenden, welches die Option der Temperatureinstellung und für verschiedene Holzarten beinhaltet.

Gemessen wird der elektrische Widerstand bzw. dessen Kehrwert, die elektrische Leitfähigkeit. Das Messprinzip basiert auf elektrischen Potentialdifferenzen (Spannungen), die durch einen in den Prüfkörper eingespeisten niederfrequenten Wechselstrom erzeugt werden. Wichtig ist dabei zu wissen, dass alle diese Geräte nur eine Abschätzung der tatsächlichen Holzfeuchte darstellen. Ferner sind alle Geräte nur für einen bestimmten Feuchtebereich genügend genau und damit aussagefähig. Über dem Fasersättigungsgrad nimmt die Genauig-

keit meist dramatisch ab. Dies ist jedoch für eine Aussage und Bewertung von untergeordneter Bedeutung, da bei einem Erreichen der Fasersättigung im Holzquerschnitt über einen längeren Zeitraum bereits die Gefahr einer Schädigung durch holzerstörende Pilze (Fäule) besteht.

Ferner ist die Verwendung von genügend (ungefähr 45 mm) langen isolierten Messsonden notwendig. Damit kann eine Aussage über die Ausgleichsfeuchte oberflächennah mit 5-10 mm Einschlagtiefe, sowie eine Feuchte zu- bzw. -abnahme in Richtung Bauteilquerschnitt (Kern) getroffen werden. Hierzu empfiehlt es sich noch jeweils in 25 und 45 mm Tiefe an jeder Messstelle eine Messung durchzuführen. Ebenfalls sollten je nach Feuchtebeanspruchung z.B. in Eissporthallen, an der Unterseite wie auch an den Seitenflächen und bei sehr hohen Trägern mehrfach über die Bauteilhöhe gemessen werden.

Die Messeinstellungen sind bei den meisten Geräten für die üblichen einheimischen Nadelholz- sowie Laubholzarten hinterlegt. Bei Holzwerkstoffen stehen bedingt durch die sehr unterschiedlichen und vielfältigen Aufbauten oft keine Einstellungen zur Verfügung. Hier sind die elektronischen Feuchtemessgeräte nicht ausreichend.

Für eine genauere und präzise Aussage über die Holzfeuchte ist immer eine Probe zu entnehmen und die Holzfeuchte durch eine Darrprobe nach DIN 52 183 zu bestimmen.

## Hilfsmittel bei der Zustandserfassung

### Endoskope für nicht zugängliche Hohlräume und Bauteile:

Sind Bauteile nicht zugänglich und somit nicht einsehbar und visuell überprüfbar, kann die Verwendung eines Endoskops notwendig werden.

Mit dem Endoskop können tiefer liegende, verdeckte Hohlräume ohne grossen Eingriff in die Bausubstanz eingesehen werden. Es können auch Art und Zustand von Materialien in Bohrlöchern und Bohrlochwandungen betrachtet werden. Eine gewisse Übung ist bei der Verwendung der Endoskope notwendig.

Damit eine sichere Beurteilung der Substanz ermöglicht wird, muss darauf geachtet werden, dass der Abstand zwischen der Objektivsonde und der Bohrlochwandung nicht zu klein wird. Die dafür notwendigen Bohrungen sind maximal 5 bis 20 mm gross, grössere Löcher vereinfachen jedoch die Arbeit. Bei einem zu geringen Abstand wird der Bildausschnitt zu klein, um eine sichere Beurteilung der Bausubstanz zu ermöglichen.



Abbildung 8: Flexible Endoskope

**Vorteile:**

- Die Untersuchung von bewohnten Gebäuden kann ohne Einschränkung der Nutzung erfolgen, z. B. Untersuchung von Holzbalkendecken,
- Die Kosten für das Öffnen und Schliessen einer Konstruktion werden gespart,
- Bei einem netzunabhängigen Gerät ist ein schneller Einsatz mit geringer Vorbereitungszeit unabhängig vom Untersuchungsobjekt möglich,
- Auswertung kann im Allgemeinen vor Ort durchgeführt werden.

**Nachteile:**

- Die Beurteilung der Bildausschnitte setzt viel Erfahrung voraus,
- Die Ergebnisse sind subjektiv.

**Bohrkernentnahme:**

Die Bohrkernentnahme wird zur Zustandsuntersuchung von verbautem Konstruktionsholz verwendet. Anhand der Bohrkerns können Schäden und Schadensumfang erkannt und tragende Restquerschnitte ermittelt werden. Bohrkerns ab 4 mm Durchmesser eignen sich für eine visuelle Untersuchung. Eine Bohrkernentnahme hat zum Vorteil, dass ohne grossen Aufwand eine Aussage über das Schadensausmass, resp. Schadenstiefe und Restquerschnitt erkennbar gemacht werden kann.



Abbildung 9: Bohrkernentnahme mittels Zuwachsbohrer an einem Untergurt



Abbildung 10: Bohrkern mit grossem Schadensumfang



Abbildung 11: Holzprobe für die Überprüfung der Scherfestigkeit der Leimfuge nach EN 396

Bei Brettschichtholz aus FI/TA werden zur Beurteilung der Leimfuge zwischen den Lamellen, Bohrkern mit einem Durchmesser von 35 mm und einer Länge von ca. 70 mm entnommen. Mittels einer Scherprüfung kann nach der Norm EN 392 im Labor die Qualität der Leimfuge des Brettschichtholzes ermittelt und nach EN 386 beurteilt werden.

Die Bohrkern können für weitere Untersuchungen wie die Ermittlung der Holzfeuchte, Rohdichte etc. verwendet werden.

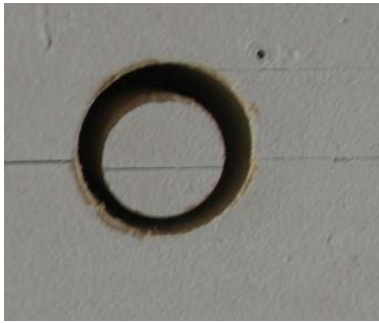


Abbildung 12: Entnahme des Probekörper für Scherprüfungen

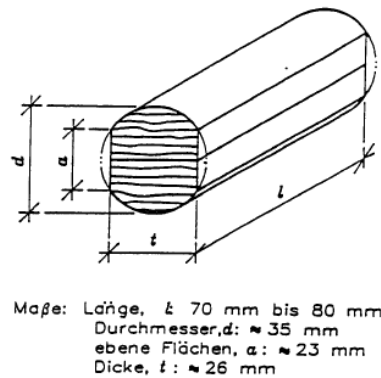


Abbildung 13: Zuschnitt der Probekörper für die Scherprüfungen nach EN 392:1995

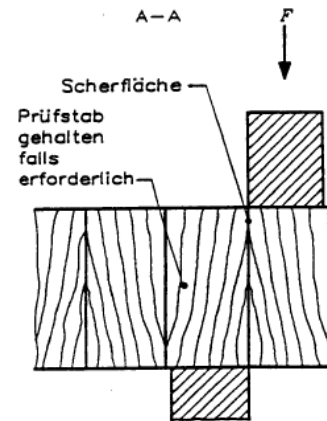


Abbildung 14: Prinzip der Prüfung

### Bohrwiderstandsmessgerät:

Die Bohrwidstandsmessung ist eine zerstörungsarme Prüfmethode, die in erster Linie für die Untersuchung von verbautem Konstruktionsholz herangezogen wird. Mit diesem Untersuchungsverfahren kann eine Aussage über den inneren Holzzustand gemacht werden.

Die Bohrnadel wird mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit und konstanter Drehzahl in den zu untersuchenden Holzquerschnitt eingebohrt. Die Leistungsaufnahme des Motors schwankt, da die Festigkeit des Holzquerschnittes variiert z. B. aufgrund von Früh- und Spätholz oder gesunden und geschädigten Holzbereichen. Diese schwankende Motorleistung wird über die Leistungsaufnahme des Motors gemessen. In einem Bohrwidstandsprofil wird die Leistungsaufnahme als Mass für den Bohrwidstand aufgezeichnet. Im Bohrwidstandsprofil wird der dimensionslose Bohrwidstand (Ordinate) über dem Bohrweg (Abszisse) in mm bzw. cm dargestellt.

Die Bohrnadel hat einen Durchmesser von 1,5 mm am Schaft und 3 mm an der Nadelspitze. Die Bohrnadellänge variiert je nach verwendetem Gerät bis zu einer Nadellänge von 100 cm. Es sind verschiedene Geräte auf dem Markt erhältlich. Die Messdaten werden entweder direkt über einen Drucker ausgegeben oder digital gespeichert was eine nachträgliche Bearbeitung am PC erlaubt.

Einsatz:

- Unterscheidung von Früh- und Spätholz
- Detektieren von Rissen, Hohlräumen, Insekten- und Pilzbefall
- Ermittlung der Geometrie von Holzbauteilen und -verbindungen

## Vorteile:

- Die Ergebnisse in Form der Bohrwiderstandsprofile liegen sofort vor Ort vor,
- Die ausgegebenen Bohrprofile sind so lang wie die tatsächliche Bohrlänge (Massstab 1:1); die Länge von Hohlräumen oder geschädigten Bereichen kann deshalb direkt vom Profil abgemessen werden,
- Erfahrene Anwender können aus dem mittleren Bohrwiderstandsniveau die Holzart des Konstruktionsholzes vermuten,
- Die Gerätefunktion ist unabhängig vom Stromnetz,
- Aufgrund der zerstörungsarmen Untersuchungsmethode wird die Untersuchung von hochbeanspruchten Bauteilen ermöglicht,
- Bei Holzverbindungen kann eine Aussage über die Querschnittsgeometrie gemacht werden und es kann festgestellt werden, ob ein Kraftschluss vorliegt,

## Nachteile:

- Der Geräteumfang und das Gewicht der Geräte (einschliesslich Zubehör) ist im Vergleich zu anderen Untersuchungsverfahren hoch; ein sicheres verwacklungsfreies Halten des Bohrgerätes ist aufgrund des Eigengewichts für längere Zeit bei bestimmten Anwendungssituationen z. B. Über-Kopf-Bohren nur schwer möglich,
- Die Akkukapazität hat Einfluss auf das ausgegebene Bohrprofil,
- Die Holzfeuchte beeinflusst das Bohrwiderstandsprofil,
- Ein konstanter Anpressdruck muss sichergestellt sein,
- Der Vergleich von Bohrprofilen mit verschiedenen Amplituden- bzw. Empfindlichkeits-Einstellungen an unterschiedlichen Bauteilen ist sehr schwierig,
- Die Auswertung ist subjektiv und von der Erfahrung und Kenntnis des Anwenders abhängig.
- Die Bohrwiderstandsmessung ist für eine flächige Untersuchung wenig geeignet.

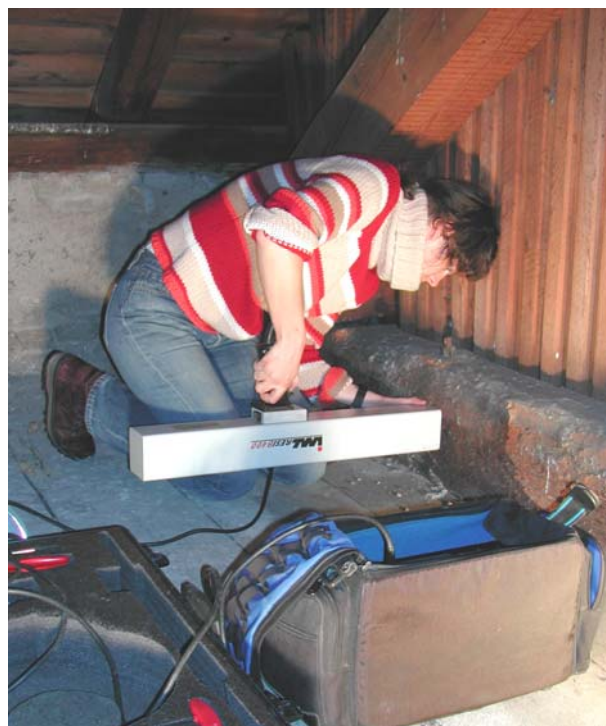


Abbildung 15: Bohrwiderstandsmessung mittels Resistograph

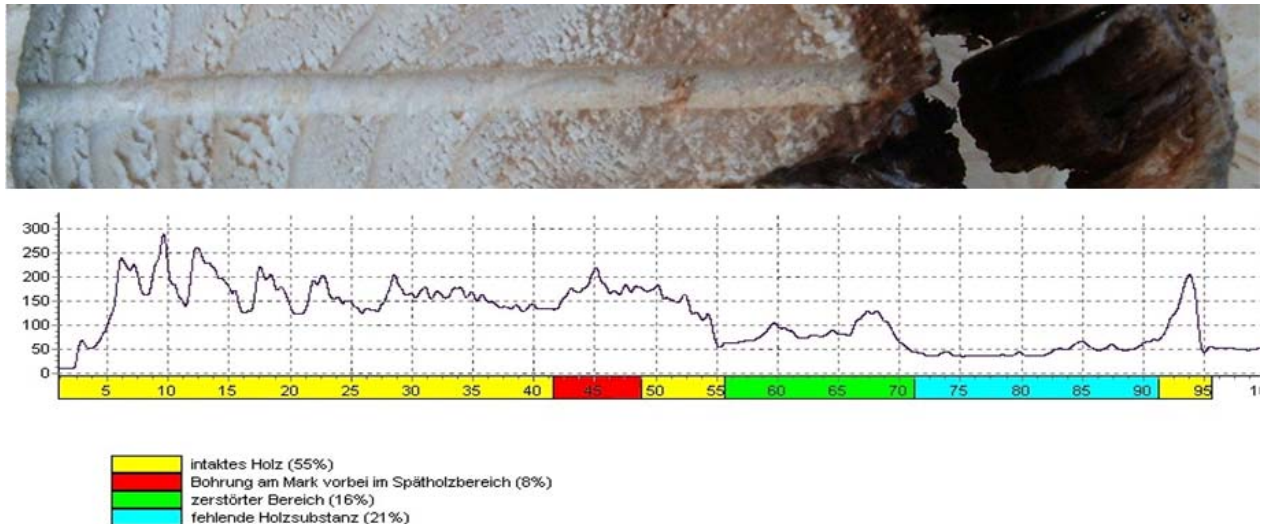


Abbildung 16: Aufgezeichnetes Bohrprofil durch ein Bohrwiderstandsmessgerät

### Ultraschallmessgerät (Sylvatest):

Das Ultraschallmessgerät Sylvatest ist dafür ausgelegt, mit Ultraschallimpulsen die Festigkeitseigenschaften und hier vor allem den E-Modul von Schnittholz parallel zum Faser- verlauf zu bestimmen. Die Messungen basieren auf der Durchschallungsmethode.

Funktionsweise:

Sylvatest besteht aus zwei piezoelektrischen Sensoren; einer erzeugt den Impuls mit einer Frequenz von 30 kHz, der Zweite ist ausgelegt, um das Signal zu empfangen. Die Sensoren werden in den Hohlkörper getrieben und die Schallgeschwindigkeit wird berechnet.

Vorteile:

Holzfeuchte und Holztemperatur werden ermittelt. Für einige Holzarten ist eine Programmierung vorgenommen worden, so dass zusätzliche Informationen über Holzfeuchte und Holztemperatur die Messgenauigkeit von Sylvatest erhöhen. Aus den Messwerten lassen sich sowohl die Biegefestigkeit wie auch die Bruchfestigkeit ableiten.

Nachteile:

Das Gerät ist ausgelegt, Schnittholz in Längsrichtung zu testen. Die Mindestlänge der Testkörper wird mit 25,4 cm angegeben. In der Praxis hat sich herausgestellt, dass die besten Ergebnisse bei relativ trockenen Schnittholz mit einer Länge zwischen 0,5 m und 5 m erzielt werden. Ultraschallmessungen an Holz haben den Nachteil, dass bei steigender Holzfeuchte die Ultraschallwellen zunehmend absorbiert werden. Fehlstellen in den Bauteilquerschnitten werden von den Schallwellen umgangen bzw. Schnitte oder Stöße einfach durchwandert und sind somit nicht identifizierbar.



Abbildung 17: Ultraschallmessgerät Sylvatest



Abbildung 18: Ultraschallmessgerät Sylvatest im Einsatz

### Eindringwiderstandsmessung (Penetrationsmessung):

Bei dieser Methode wird ein Metallstift oder Metallröhrchen (2-3 mm Durchmesser) mit konstanter Energie schlagweise in den Prüfkörper getrieben. Verglichen mit der Nagelprobe können mit der Penetrationsmessung anhand des Eindringwiderstandes genauere Aussagen über den Zustand des Prüfkörpers gemacht werden. Dieses zerstörungsarme Verfahren (Eindringtiefe bis 40 mm) ermöglicht das Erkennen von Schäden und Schadensumfang im oberflächennahen Bereich und unterstützt bei der Schätzung der Festigkeit und Rohdichte von verbaulichem Konstruktionsholz. Für die Untersuchung des Eindringwiderstandes von verbaulichem Konstruktionsholz gibt es bisher nur ein Messgerät von der Schweizer Firma Proceq (Pylodin).

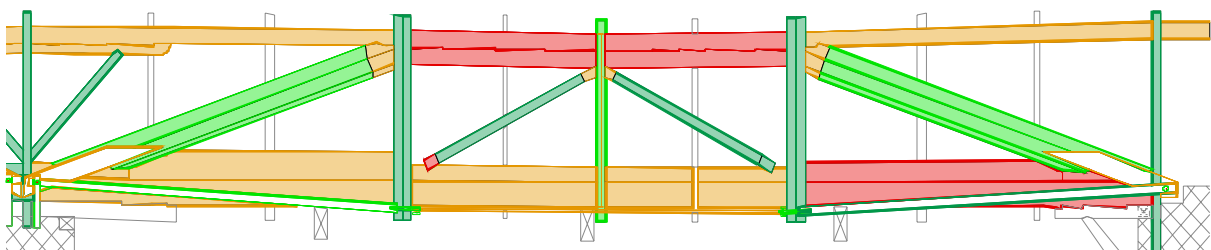


Abbildung 7: Grafische Darstellung des Zustandes eines Fachwerkträgers

## Mikroskopie:

Die Mikroskopie ist geeignet zur Untersuchung von Holz- und Schädlingsproben, z. B. Bestimmung der Holzart- und Beschaffenheit, der Pilzart, der Insektenart.

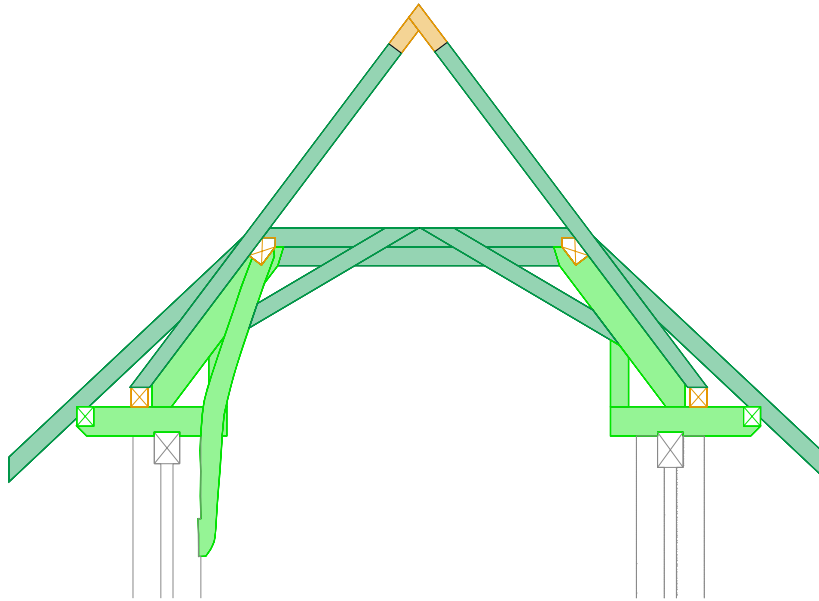


Abbildung 20: Grafische Darstellung des Zustandes eines Dachstuhl

## Zusammenfassung

Die Zustandserfassung ist bei der Überprüfung von bestehenden Bauwerken eine wesentliche Grundlage für die weitere, zielsichere und verantwortungsvolle Beurteilung der Tragsicherheit bzw. Leistungsfähigkeit einer bestehenden Tragstruktur.

Daher muss die Zustandserfassung mit grosser Sorgfalt, den geeigneten Methoden und Geräten bzw. Hilfsmitteln durchgeführt werden. Sämtliche Aussagen müssen belegbar und auch für berufliche Laien z.B. bei einem Prozess nachvollziehbar dokumentiert und begründet sein.

Eine der wichtigsten Grundregeln ist dabei, dass sämtliche Bauteile handnah zu überprüfen sind. Nur eine flächige Überprüfung über die gesamte Tragkonstruktion lässt eine fundierte Aussage über den Zustand zu und gibt den Nutzern und Betreibern der Gebäude die notwendige Sicherheit.

## Literatur:

- [1] Aicher, S.; Radovic, B.; Folland, G.; Befallswahrscheinlichkeit durch Hausbock bei Brett-schichtholz, IRB-Verlag 2001
- [2] Dipl.-Ing. P. Frech, D-Waldachtal „Beurteilungskriterien für Rissbildungen bei Bauholz im konstruktiven Bereich“, bauen mit holz 9/87
- [3] SN EN 392:1995 Brett-schichtholz – Scherprüfung der Leimfuge; Schweizerischer Inge-nieur- und Architektenverein, Zürich
- [4] SN EN 386:2001 Brett-schichtholz – Leistungs- u. Mindestanforderungen an die Herstel-lung; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich