



Überwachung von Bauwerken

*Mareike Vogel
Dipl.-Ing., wiss. Mitarbeiterin F+E
Bernser Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, Schweiz*

Überwachung von Bauwerken

1. Ausgangslage

1.1 Allgemeines

Spätestens seit den aufgetretenen Schadens- und Unglücksfällen im Winter 2002/03 im deutschen Sprachraum ist eine gesteigerte Sensibilität von Bauwerkseigentümern in Bezug auf die Sicherheit ihrer Objekte zu spüren. Anfragen zur Begutachtung von Holzbauten durch Fachingenieure häufen sich seitdem.

Die überraschend eingetretenen Schäden werfen die Frage auf, warum Hochbauten nicht, wie bei Verkehrsbauten längst üblich, regelmässig kontrolliert und mit Überwachungstechnik ausgestattet werden.

1.2 Zweck der Überwachung, Normung

Die Sicherheit des Bauwerks zu gewährleisten ist Aufgabe des Eigentümers. Durch eine gut geplante und durchgeführte Bauwerksüberwachung können Schäden rechtzeitig erkannt werden. Gegebenenfalls werden Sofortmassnahmen eingeleitet, um Menschen und Sachwerte zu schützen.

Eine Hilfestellung zur Abschätzung der Entscheidung darüber, ob eine Sanierung oder ein Ersatzbau vorgenommen werden sollte, gibt die [SIA 269, Entwurf] - momentan noch in Vernehmlassung.

Der Bereich der Tragwerksüberwachung bietet für die Holzbau-Fachleute ein neues Betätigungsfeld. Bauingenieure haben die Chance, ihr Know-how über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks einzubringen.

Grundsätzlich müssen alle Tragwerke überwacht werden.

Die SIA 269 gibt Empfehlungen für die Zustandserfassung, -analyse und -bewertung. Massnahmen zur Wiederherstellung der Bauwerksicherheit werden vorgeschlagen.

In der [SIA 469, 1997] werden Erhaltungsziele, -massnahmen und -tätigkeiten aufgezeigt. Empfehlungen für den Inhalt der Bauwerksakten werden gegeben.

2. Forschungsprojekte

2.1 Allgemein

An der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau in Biel (BFH-AHB) werden an der Einheit Holz- und Verbundbau derzeit zwei Forschungsprojekte bearbeitet. Das Projekt „Überprüfungsmethoden im Holzbau“ verfolgt das Ziel, die Methoden der Zustandserfassung von Holztragwerken weiter zu entwickeln. Im Projekt „Prävention im Holzbau“ sollen Möglichkeiten der Überwachung gefunden und ggf. weiterentwickelt werden.

2.2 Bestandsaufnahme

Um die vorhandene Situation der Bauwerksakten in der Schweiz abzuschätzen, wurden 38 Bauherrschaften von Holzbau-Objekten unterschiedlicher Nutzungen gebeten, ihre Überwachungspläne zur Verfügung zu stellen.

Weiterhin wurden Expertisen der BFH-AHB und diversen Holzingenieur-Büros dazu verwendet, aufgetretene Schäden an Tragwerken in Holz und jeweils betroffene Bauteile zu erfassen. Es wurde und wird erarbeitet, welchen Einfluss zum Beispiel die Nutzung, der Tragwerkstyp, die Ausbildung der einzelnen Bauteile auf den entstandenen Schaden haben.

Beide Projekte befinden sich derzeit noch in Bearbeitung. An dieser Stelle können erste Erkenntnisse vorgestellt werden.

Überwachungspläne

Auswahl Objekte

Eine Auswahl der Objekte erfolgte willkürlich, auch unter Zuhilfenahme diverser Veröffentlichungen wie [Holzkette, 2007], [Holzbull. IngHB, 2005], [Holzbull. B+W, 2002].

Ergebnisse Umfrage

Die Umfrage ergab, dass im Bereich der Hochbauten lediglich 12 % der Objekte über brauchbare Unterlagen zur Überwachung verfügten. Enorme 61 % der angefragten Bauherrschaften waren gar nicht in Besitz eines Überwachungsplans für ihr Bauwerk.

Bei den Verkehrsbau-Objekte (hier nur Brücken) konnten erfreuliche 60 % einen Überwachungsplan vorlegen. Die Gründe dafür können in der höheren Beanspruchung der Verkehrsbauten liegen, sowohl bei der Einwirkung als auch der Bewitterung.

Auswertung vorhandener Überwachungspläne

In den vorliegenden Überwachungsplänen sind jeweils zwei Arten von visuellen und manuellen Kontrollen am Bau- und Tragwerk vorgesehen. Eine Übersicht der Kontrollen ist in Abbildung 1 ersichtlich. Beispielsweise wird eine jährliche Kontrolle des Tragwerks auf Risse in ca. 60 % der Überwachungspläne vorgeschrieben, die 5-jährliche Überprüfung erfolgt bei ca. 90% der Objekte.

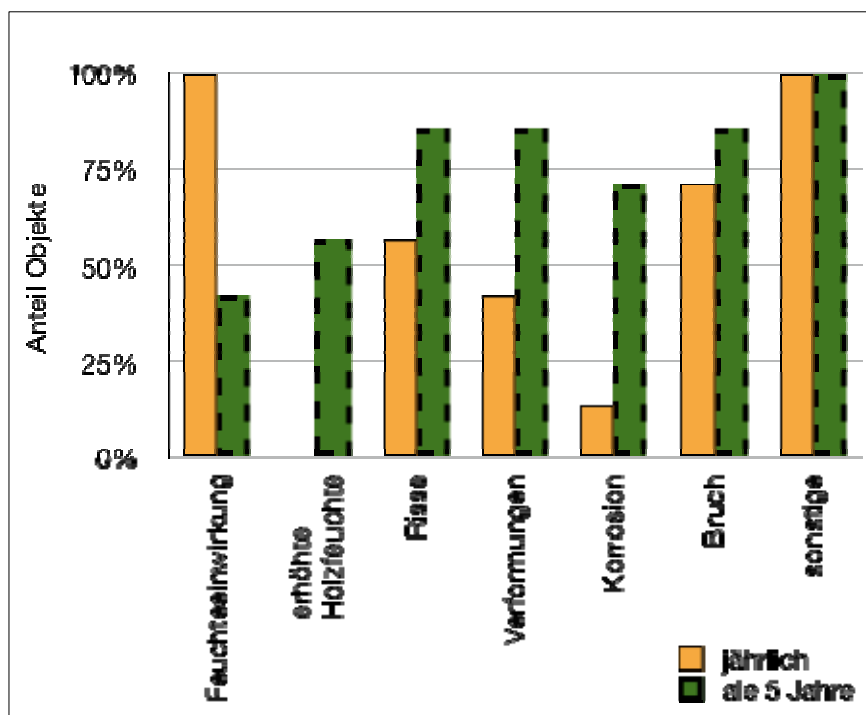


Abb. 1: zu überwachende Messgrößen gemäss Überwachungsplänen der Objekte

Die Durchführung der jährlichen Kontrollen ist durch technisches Personal vorgesehen. Die Hauptkontrollen, welche in der Regel alle 5 Jahre vorgesehen sind, werden durch den entsprechenden Fachingenieur durchgeführt.

Expertisen

Objekte

Es wurden Expertisen der BFH-AHB und Holzingenieur-Büros ausgewertet; 12 Hochbauten und 7 Verkehrsbauten (Brücken).

Schadensarten der Tragwerke

Die Schädigung der Tragwerke durch Risse macht mit fast 75% der betroffenen Objekte den größten Anteil der Schäden aus. Weiterhin wurde an 35 % der Tragwerke eine erhöhte Holzfeuchte festgestellt. Unzulässige Verformungen wiesen nur ca. 12% der Tragwerke auf.

Gegenüberstellung Überwachungspläne – Expertisen

Ein Vergleich der in den Überwachungsplänen vorgesehenen Kontrollen mit tatsächlich vorliegenden Schäden zeigt, dass die jährlichen Kontrollen ausgereicht hätten, um die meisten Schäden rechtzeitig aufzuzeigen. Um die Messgröße „Risse“ an allen betroffenen Tragwerken rechtzeitig zu erfassen, muss deren jährliche Kontrolle in Überwachungsplänen von mehr Objekten vorgesehen werden.

Mithilfe der 5-jährliche Kontrolle der Tragwerke können alle auftretenden Schäden erkannt werden. Es ist allerdings fraglich, ob der Kontrollzyklus für diese Schäden klein genug ist.

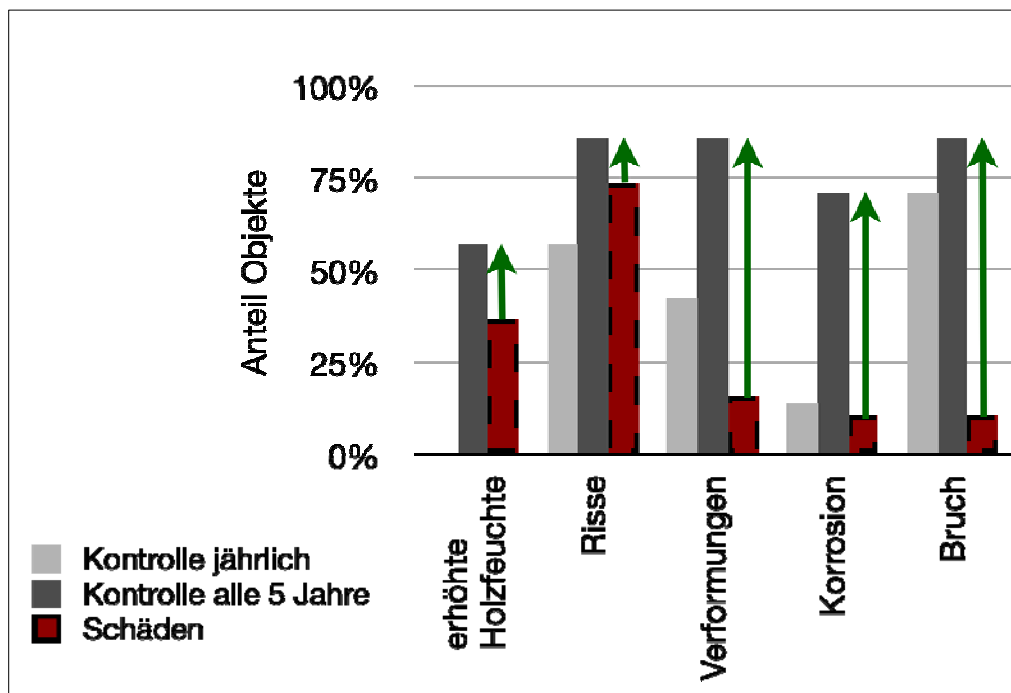


Abb. 2: Vergleich von den in Überwachungsplänen vorgesehenen Kontrollen mit effektiv vorliegenden Schäden. Lange Pfeile bedeuten große „Überwachungssicherheit“.

Die relativ kleine „Überwachungssicherheit“ bei den Messgrößen „erhöhte Holzfeuchte“ und „Risse“ zeigt, dass die Überwachungspläne diesbezüglich angepasst werden sollten.

2.3 Analyse von Schadenspotentialen

Auswahl von Problemfeldern

Die Auswertung der zur Verfügung stehenden Expertisen und Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, dass oftmals extreme klimatische Verhältnisse Ursache für Schäden an Holzkonstruktionen sind.

So kann zum Beispiel das kühle und feuchte Klima in einer Eissporthalle zu einer enormen Erhöhung der Holzfeuchte führen. Durch die Abstrahlung der Eisfläche kühlen sich die Bauteile ab und bieten damit einen tieferen Taupunkt, was zu Kondenswasserbildung führen kann.

In beheizten Turnhallen ist die Luftfeuchtigkeit in den meisten Fällen eher gering. Dies kann zu einer schnellen Abnahme der Holzfeuchte in den äußeren Querschnittsbereichen führen, was wiederum Eigenspannungen hervorruft und zu Rissen führen kann.

Ein Beispiel für Tragwerke mit Schadenspotential sind Flachdächer. Hier können einerseits Wasseransammlungen oder eine defekte Entwässerung zu Feuchteschäden führen. Andererseits ist das Flachdach ein bauphysikalisch anspruchsvolles Bauteil, dessen Planung Fachkenntnisse erfordert.

		Schadensursache	Folge aus Ursache	evtl. Schadensart
Nutzung	Eishalle	Schwankungen der Luft- /Holzfeuchtigkeit	vermehrte Schwind- und Quellverformungen	Verdrehungen im Knotenbereich / Wirksamkeit Verbindungsmittel
		hohe Luftfeuchtigkeit, geringe Oberflächentemperatur	erhöhte Holzfeuchte, Taupunkt herabgesetzt	Verminderung der Tragfähigkeit/ Gebrauchstauglichkeit Entstehung holzzerstörender Pilze Delaminierung Klebefugen
	Turnhallen	geringe Luftfeuchtigkeit	Abnahme Holzfeuchte --> Zunahme der Eigenspannungen	Schwindrisse
Tragwerk	Flachdach	Wasseransammlung / Dachentwässerung evtl. bauphysikalische Fehlplanung	Feuchteschäden	erhöhte Holzfeuchte / holzzerstörende Pilze
	Sheddach	Wasseransammlung / Dachentwässerung		
	Bogen- / Satteldachbinder	Krümmung Firstbereich	Querzug Firstbereich	Querzugriss
	Nagelplattenbinder	sehr schlanke Konstruktion	hohe Beanspruchung Stabilität	Stabilitätsversagen
Umgebung	Feuchtigkeit (Luftfeuchte, Kondens-, Meteorwasser)	BSH, HWS	Feuchtebeanspruchung Klebefugen	Delaminierung Klebefugen, wenn nicht feuchteresistent
	starke direkte Sonneneinstrahlung (Oblichter, Sheddächer)	BSH	Erhitzung Klebstoff	Delaminierung Klebefugen

Abb. 3: Auswahl von Schadenspotentialen

Projektziel – Erfassung Schadensfälle

Ziel des Projektes „Prävention im Holzbau“ ist es, Gründe zu finden, warum es in den jeweiligen Fällen zu Schäden kam. Treten bei manchen Nutzungen vermehrt Schäden auf? Welche sind dies? Sind manche Tragsysteme anfälliger für Schäden als andere? Welcher Schaden trat bisher bei welchem Tragwerk auf? Welchen Einfluss hat die Querschnittsausbildung der Bauteile auf deren Anfälligkeit für Schäden?

Im Zuge des weiteren Projektverlaufs werden zu diesem Zweck ca. 40 weitere Expertisen von Tragwerksschäden an Schweizer Holztragwerken gesichtet. Detaillierte Informationen sowohl zum Bauwerk, dessen Nutzung und Tragstruktur, als auch zu den geschädigten Bauteilen, werden erfasst und ausgewertet.

Ziel dieser Auswertung soll es sein, robustere Konstruktionen planen zu können. Empfehlungen für die Erstellung von Unterhaltsplänen sollen gegeben werden. Es soll möglich sein, entsprechende Überwachungssysteme zu erarbeiten oder weiter zu entwickeln, um den speziellen Anforderungen eines Bauwerks gerecht zu werden.

Gliederung zur Erfassung der Gesamttragstruktur

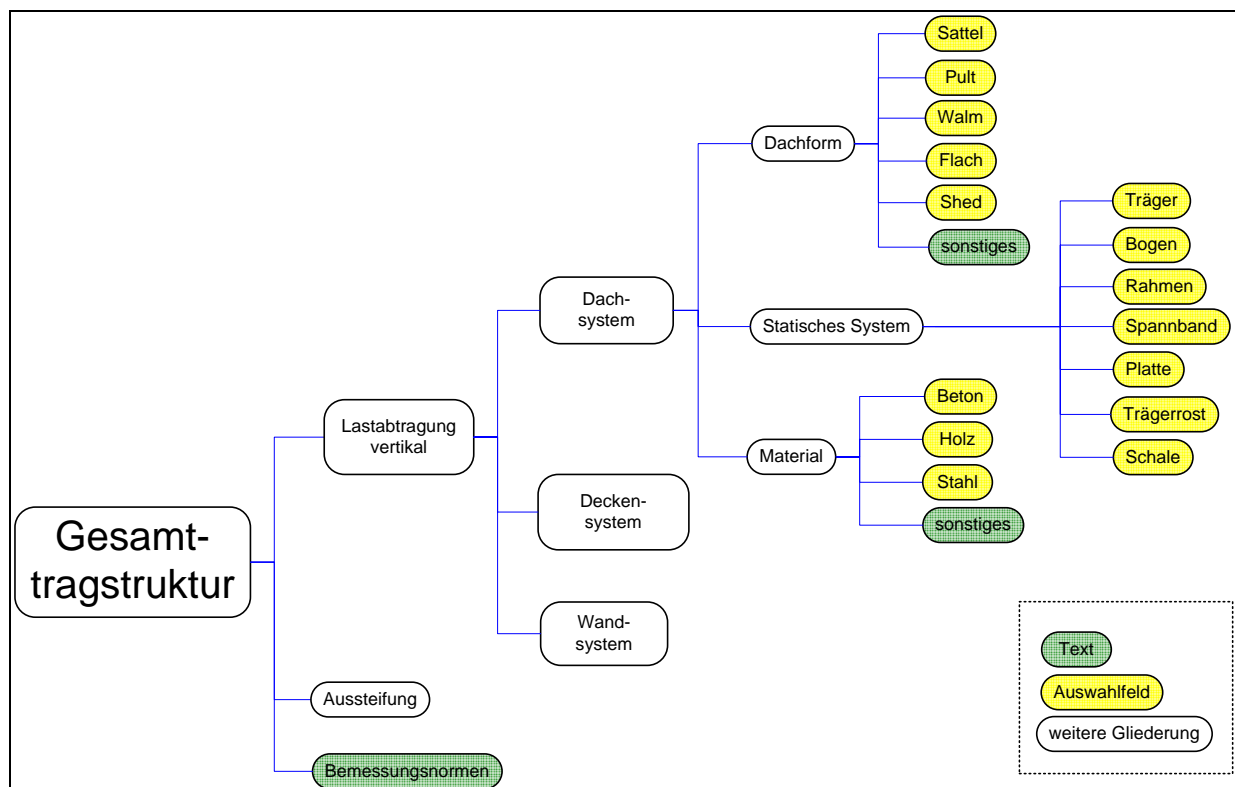


Abb. 4: Gliederung zur Erfassung der Gesamtstruktur des Tragwerks

Gliederung zu Erfassung des geschädigten Bauteils

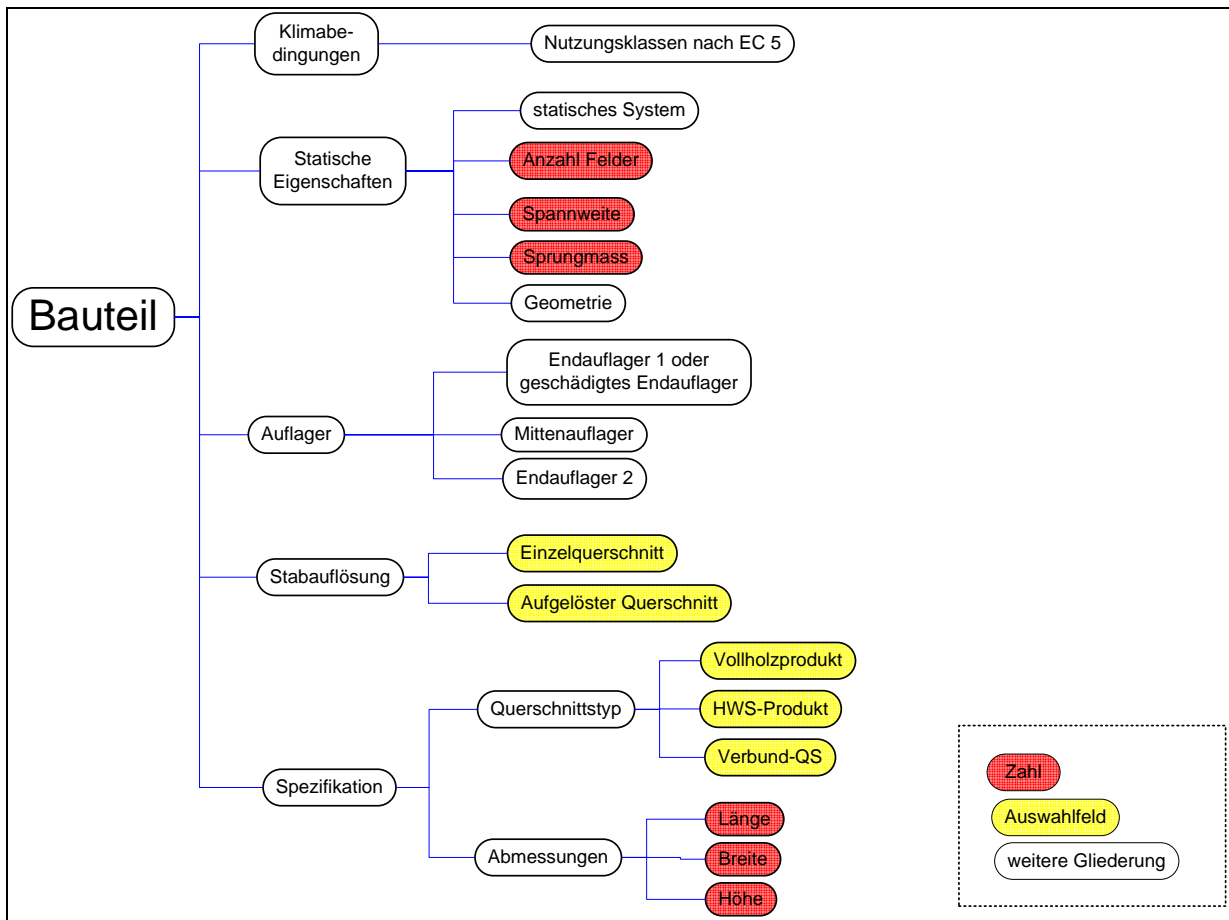


Abb. 5: Gliederung zur Erfassung der Eigenschaften des geschädigten Bauteils

Erfassung Schadensart

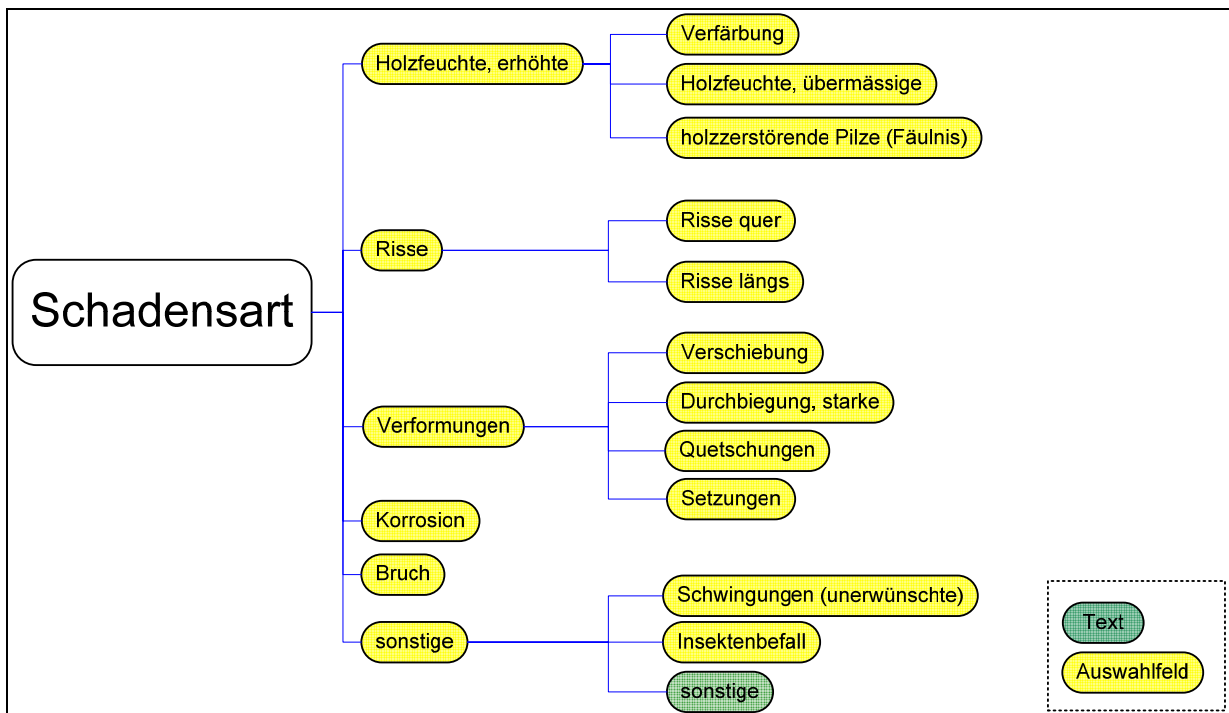


Abb. 6: Gliederung zur Erfassung der Schadensarten des geschädigten Bauteils

2.4 Empfehlungen für Überwachungspläne

Überwachungspläne sollten folgende Punkte regeln:

- 1) **Wann** soll überwacht werden?
Man kann die Überwachung des Bau- und Tragwerks in drei Stufen realisieren:
 - a) das ständige Beobachten,
 - b) die Kontrollen/ Inspektionen welche mindestens jährlich, spätestens aber auch nach einem besonderen Ereignis (z.B. Sturm) stattfinden
 - c) eine Hauptüberprüfung sollte alle 5 Jahre oder nach einem vorher vereinbarten Zeitraster erfolgen
- 2) **Was** wird unternommen/ in welcher Art wird überwacht?
Es wird unterschieden zwischen dem quasi ständigen Beobachten, den jährlichen Kontrollen und den 5-jährlichen Überprüfungen.
- 3) **Wie** wird überwacht?
Die ständige Beobachtung erfolgt visuell. Für die jährliche Kontrolle können zusätzlich zur visuellen Prüfung einfache Geräte herangezogen werden. Die Bedien- und Auswertbarkeit dieser Geräte ist dabei auf die Qualifikation des Kontrolleurs abzustimmen. Die Hauptüberprüfung kann unter Zuhilfenahme spezifischer Prüftechnik erfolgen. Das entsprechende Know-how beim Prüfer wird vorausgesetzt.
- 4) **Wer** überwacht/ welche Qualifikation benötigt der Überwacher?
Die ständige Beobachtung kann durch einen Vertreter des Nutzers/ des Bauherrn erfolgen, z.B. den Abwart. Für jährliche Kontrollen sollte speziell angewiesenes, technisch versiertes Personal vorgesehen werden. Die Hauptüberprüfung hat durch einen Ingenieur mit entsprechenden materialspezifischen Fachkenntnissen zu erfolgen.

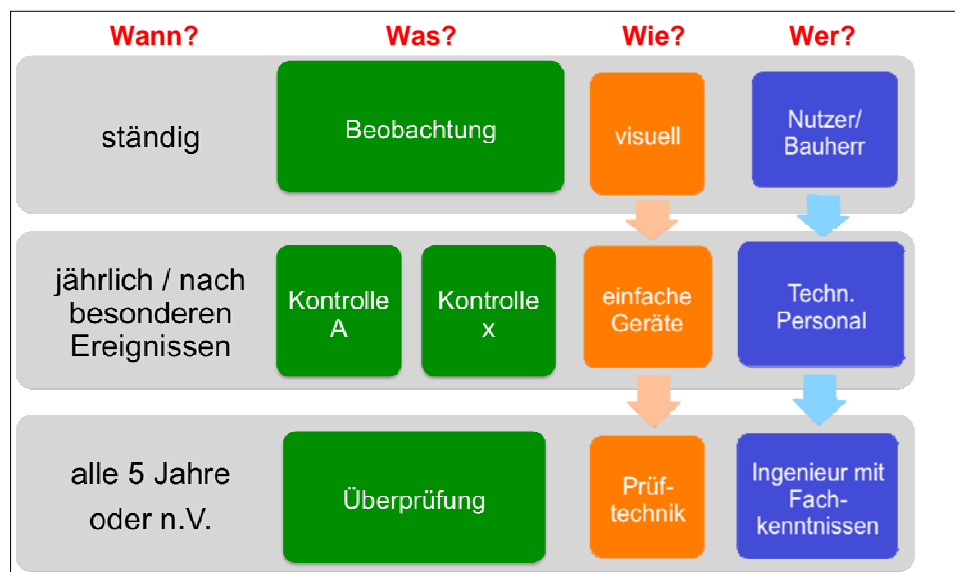


Abb. 7: Angaben im Überwachungsplan

Folgende Spezifikationen sind für alle Überwachungsstufen objektspezifisch zu definieren:

- Einwirkungen:** Mit welchen Einwirkungen ist zu rechnen?
Nach welchen Einwirkungen sind Kontrollen notwendig?
- Konstruktion:** Was genau muss beobachtet/ kontrolliert/ überprüft werden?
Wie können Veränderungen erkannt werden?
- Zeitraster:** Wann muss was kontrolliert/ überprüft werden?
- Messgrößen:** Auf welche Veränderung muss geachtet werden?
Wie können Veränderungen erkannt werden?
Was sind die Soll-/ Melde- / Alarmwerte?

2.5 Methoden der Überwachung

Eine Auswahl möglicher Überwachungsmethoden ist in Abbildung 8 ersichtlich.

	Wann?		ständig	jährlich	alle 5 Jahre oder n.V.	Langzeit
Wo?	Was?	Wer?	Nutzer/ Bauherr	technisches Personal	Ingenieur mit Fachkenntnissen	
Dach allg.	Dachabdichtung					Feuchte- sensoren
	Entwässerung					-
	...					
Tragkonstruktion	Zusatzlasten/ Nutzungsänderungen		Beobachten	visuelle Kontrolle	visuelle Kontrolle	-
	Wasserflecken					-
	Risse					Geräte in Entwicklung
	Verformungen					techn. Hilfsmittel
	Holzfeuchte		-	Feuchtemesser	- Feuchtemesser - Thermografie	Feuchtelogger
	Korrosion		Beobachten	visuelle Kontrolle	visuelle Kontrolle	-
	Reparaturen		-			-
	...					
Innen raum	Abweichung norm. Klima		Klimamesser			Klimalogger
	...					

Abb. 8: Methoden der Überwachung (Auswahl)

Automatische Überwachung

Klima

Zur Aufzeichnung und Speicherung von Lufttemperatur und –feuchtigkeit dienen Klimalogger.



Abb. 9: Geräte zur automatischen Klimamessung (Beispiele) [div. Hersteller]

Holzfeuchte

Zur Aufzeichnung und Speicherung der Holzfeuchte dienen Holzfeuchtelogger.



Abb. 10: Geräte zur automatischen Holzfeuchtemessung (Beispiele) [Scantronik]

Verformungen/ Bewegungen

Verformungen resp. Bewegungen von Tragwerken können mithilfe von Lasertechnik (Lichtschranke, 3d-Scanning), Theodolithen-Systemen, optischen Systemen oder ähnlichem überwacht werden.



Abb. 11: Geräte zur automatischen Verformungsmessung (Beispiele, teils mit Erfahrungen an Holztragwerken) [Hersteller, LGA]

Risse

Risse an Holzkonstruktionen können mit induktiven Wegmessern überwacht werden.



Abb. 12: Geräte zur automatischen Rissbreitenüberwachung (Beispiele; mit wenigen Erfahrungen an Holztragwerken) [HBM, LGA]

Manuelle Überwachung

Materialtemperatur/ -feuchte

Zur regelmäßigen manuellen Überprüfung der Holzfeuchte eignen sich elektronische Widerstandsmessgeräte. Die Oberflächentemperatur von Materialien kann z.B. mithilfe einer Thermografieaufnahme abgeschätzt werden.

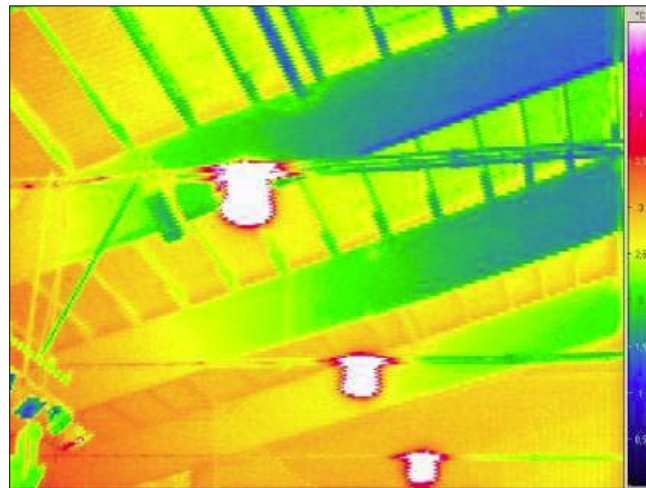


Abb. 13: Thermografie zur Abschätzung der Oberflächentemperatur [Rosenheim, 2007]

Schäden im Bauteil

Querschnittsinhomogenitäten oder holzerstörende Pilze im Innern eines Balkens können bis jetzt mit dem zerstörungswarmen Bohrwidstandsmessgerät erkannt werden. Diese Methode ist punktuell; eine großflächige Untersuchung ist daher nicht möglich.

Zur schnellen Ortung von Veränderungen der Holzstruktur soll daher das zerstörungs- und koppelmittelfreie Ultraschallechoverfahren eingesetzt werden. Das Verfahren arbeitet mit dem Prinzip der Schallausbreitung; werden die induzierten Schallwellen an der Rückwand nicht reflektiert, so kann man dort auf eine Fehlstelle schließen. Umfangreiche Untersuchungen sind in diesem Bereich an der Bundesanstalt für Materialforschung in Berlin gemacht worden [Hasenstab, 2005]. Um die Ausdehnung der Schädigung zu erfassen, ist der zusätzliche Einsatz eines Bohrwidstandsmessgerätes notwendig.

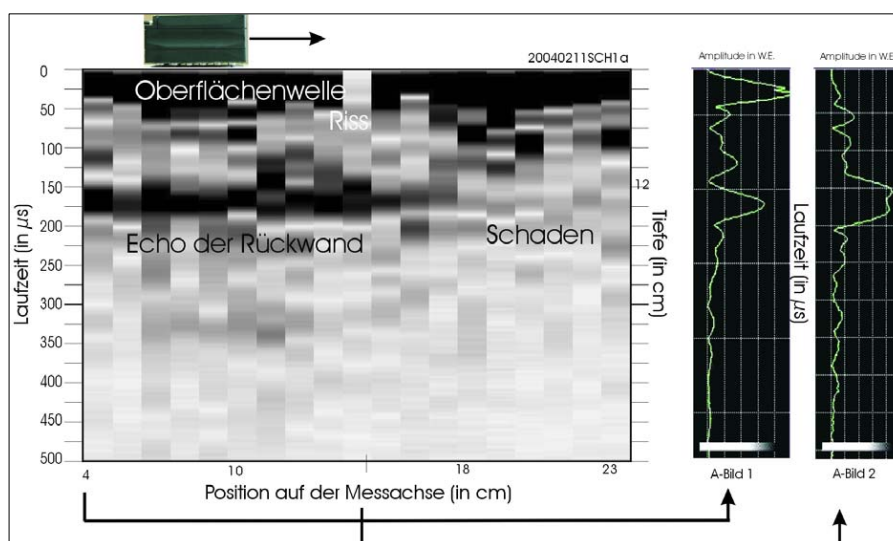


Abb. 14: Ultraschallechoverfahren zur Ortung von Schäden im Bauteil [Hasenstab, 2005]

Zur visuellen Begutachtung des Bauteilinnern eignet sich z.B. ein 5 mm - Zuwachsbohrer.

Ausblick

Mit Hilfe des noch (weiter-) zu entwickelnden Linien-Scanners soll es möglich sein, Oberflächenrisse mit deren Breite und Tiefe zu erfassen. Dies dient als Grundlage für ein dreidimensionales Bild des Bauteils, mit dem eine statische Bestimmung der Resttragfähigkeit vorgenommen werden kann.

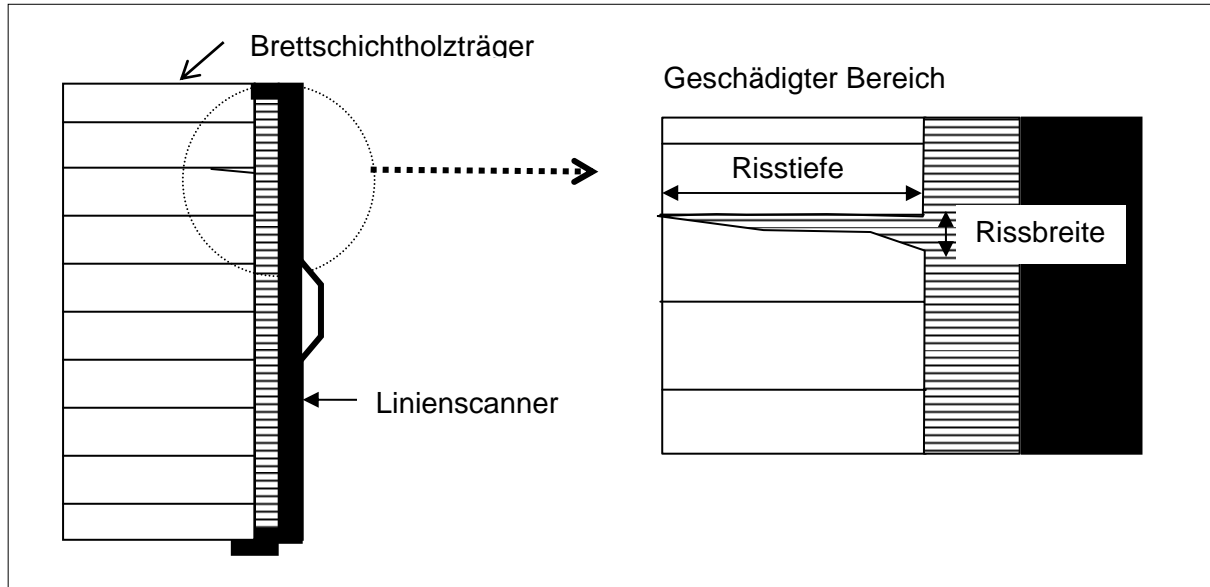


Abb. 15: Laser-Linienscanner zur Messung von Rissbreite und -tiefe (Schema)

3. Zusammenfassung

Ein Grossteil der Schweizer Hochbauten mit einem Tragwerk in Holzbauweise verfügen über ungenügende Unterlagen zur Bauwerksüberwachung. Vorhandene Überwachungspläne sind allerdings weitestgehend genau und umfangreich.

Im Zuge laufender Forschung an der BFH-AHB werden Schadenfälle an Schweizer Holzbauten umfassend untersucht und ausgewertet. Diese Arbeit soll dazu beitragen, in Zukunft robuster zu bauen und Überwachungspläne objektspezifischer zu erstellen.

Für die manuelle und automatische Überwachung von Holztragwerken stehen bisher nur wenige Systeme zum Messen/ Erfassen und Auslesen zur Verfügung. Sie beschränken sich zurzeit auf die folgenden Überwachungsgrössen:

- Das Umgebungsklima und die Holzfeuchte kann mittels Datenloggern dauerhaft gemessen werden.
- Verformungsmessungen sind mithilfe von Laser- oder Theodoliten-Systemen möglich. Die Applikation von optischen Messmitteln an Holz wurde noch nicht durchgeführt. Die Anwendung von Dehnungsmessstreifen wurde bisher noch nicht an gebauten Objekten geprüft.
- Die Überwachung von Rissbreiten kann mithilfe von induktiven Wegmessern erfolgen.

Bestehende Messsysteme zur Überwachung von Tragwerken werden bewertet und ggf. weiterentwickelt. Es sollen ebenfalls neue Möglichkeiten gefunden werden, mithilfe technischer Möglichkeiten Überwachung von Holzbauwerken zu vereinfachen.

4. Literatur

- [Hasenstab, 2005] Hasenstab, Andreas Dr.-Ing., „Integritätsprüfung an Holz mit dem zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahren“, Dissertation, 2005
- [Holzbull. B+W, 2002] Holzbulletin „Brücken und Wege“, Hrsg.: Lignum, 2002
- [Holzbull. IngHB, 2005] Holzbulletin „Ingenieurholzbauten“, Hrsg.: Lignum, 2005
- [Holzkette, 2006] „Fachordner Hochbauten mit Holz“, Arbeitshilfen und Impulse zur Projektabwicklung. Hrsg.: Holzkette St.Gallen, 2006
- [LGA] Landesgewerbeanstalt, Hauptstelle Nürnberg, Tillystraße 2, 90431 Nürnberg
- [Rosenheim, 2007] Hochschule Rosenheim: Bericht zum Projekt „Felduntersuchung zu den klimatischen Besonderheiten in Eissporthallen und zur Wirksamkeit von Maßnahmen zur Vermeidung von Tauwasserschäden.“
Kurzbezeichnung: Tauwasser in Eissporthallen, Zeitr. Dez.06–Mrz.07
- [SIA 269, Entwurf] „Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken“, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Zürich
- [SIA 469, 1997] „Erhaltung von Bauwerken“, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: 1997 Zürich