



Berner
Fachhochschule



Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken

Workshop 6.–8. September 2021

Editorin
Bettina Franke

Partner



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU
Aktionsplan Holz



Empa

Materials Science and Technology



Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken

Tagungsband

Workshop
Berner Fachhochschule und Empa
Bundesamt für Umwelt, Lignum
6. - 8. September 2021 in Biel/Bienne

Workshop 6. – 8. September 2021
Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken

Referierende/Mitwirkende

Kurt von Felten
Bettina Franke
Steffen Franke
Sebastian Heubuch
Fritz Maeder
Andreas Müller
Benjamin Nef
Gunther Ratsch
Beat Ruch
Urs Stalder
René Steiger
Thomas Strahm
Beat Studhalter
Mareike Vogel
René Wicki
Robert Widmann

Kursleitung

Bettina Franke
Andreas Müller
Robert Widmann

ISBN 978-3-906878-09-6

Veranstalter Berner Fachhochschule, Empa, Lignum

Editorin Bettina Franke

Umschlag Gestaltung und Bilder Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau

2. Auflage

Copyright © 2021 by Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur und Autoren
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe,
der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, sind vorbehalten

Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur
Kompetenzbereich Holzbau
Solithurnstrasse 102, CH-2504 Biel
Tel / Fax +41 (0)32 344 03 41/91
www.ahb.bfh.ch

Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken

Workshop Theorie und Praxis

Holz ist in der Schweiz und international durch die Realisierung von mehrgeschossigen Wohnungs- und Verwaltungsbauten, Holzhochhäusern, Freiformschalen und Brückentragwerken ein wegweisendes Konstruktionsmaterial im 21. Jahrhundert. Es gilt aber auch, die historischen Holztragwerke in der Schweiz zu erhalten oder für neue Nutzungsanforderungen vorzubereiten. Holz ist ein natürlicher Werkstoff, der konstruktiv geschützt dauerhaft leistungsfähig ist. Die Tragfähigkeit von Holz wird durch Umwelt- und Klimaeinwirkungen in Abhängigkeit von der Nutzung beeinflusst. Die periodische Überwachung und Inspektion sind in den Nutzungsvereinbarungen zum Schutz der Gesellschaft zu regeln. Hier gilt es, stufenweise beginnend beim Facility Management bis hin zum Experten/Fachspezialisten das Holztragwerk aufmerksam zu beobachten, Störungen festzustellen und die Tragsicherheit in gesetzlich einzuhaltenden Inspektionsintervallen verantwortungsvoll zu beurteilen.

Holz ist intelligent und signalisiert durch Verfärbungen relativ schnell Störungen. Weiter weisen Querschnittsverformungen und mögliche Risse auf Schwächen infolge von klimatischen Beanspruchungen oder Ausführungsfehlern hin. Neben der visuellen handnahen Untersuchung unterstützt die Anwendung von zerstörungsfreien Messtechniken die Inspektionen. Die Ergebnisse der Inspektion führen mitunter zur Planung von Erhaltungs- und Instandsetzungsmassnahmen für das Holztragwerk. Hier sind mit Blick auf das Gesamttragwerk Konzepte zur Sicherstellung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu erarbeiten. Nutzungsänderungen können zu neuen Anforderungen an das Tragwerk führen. Die Ertüchtigung des Gesamttragwerkes oder einzelner Tragelemente kann durch den Ersatz, die Reparatur und auch die Verstärkung erfolgen.

In diesem Rahmen sind häufig Fragestellungen bezüglich der Zustandserfassung und Erhaltung von Tragwerken aus Holz von besonderer Bedeutung. Beide Themenkreise stützen sich auf spezielle Verfahren, Techniken und Erfahrungen ab die in diesem Workshop theoretisch wie auch praktisch erörtert werden. Der vorliegende Tagungsband zum Workshop wurde von den Referierenden mit besten Gewissen und Sorgfalt zusammengestellt und bieten eine gute Ausgangsbasis zur Beurteilung und Erhaltung von bestehenden Tragwerken in Holz.

Den beteiligten Firmen, Verbänden und Referierenden wird an dieser Stelle recht herzlich gedankt. Dank gilt auch der Lignum Schweiz, Holzbau Schweiz und dem Bundes Amt für Umwelt für die Unterstützung als Partner der Veranstaltung.

Kursleitung

Bettina Franke | Andreas Müller | Robert Widmann

Inhaltsverzeichnis

Lignatec «Erhaltung von Holztragwerken»	7
<i>Gunther Ratsch</i>	
Erhaltung von Tragwerken	9
<i>Dr. René Steiger</i>	
Zustandserfassung - Einführung und Methodik	19
<i>Prof. Andreas Müller</i>	
Holzschutz – Massnahmen zum Schutz gegen Pilze und Insekten	35
<i>Urs Stalder</i>	
Bewertung der Holzfeuchte und deren Auswirkungen	45
<i>Dr. Bettina Franke</i>	
Technische Methoden der Zustandserfassung	55
<i>Prof. Dr. Steffen Franke</i>	
Leistungsfähigkeit der Klebefuge in Brettschichtholz	65
<i>Sebastian Heubuch, Prof. Andreas Müller</i>	
Verstärkungstechniken – Vorgehen und Projektierung	73
<i>Beat Studhalter</i>	
Monitoring von Holztragwerken	81
<i>Dr. Bettina Franke</i>	
Überlegungen zur Ausschreibung	93
<i>Fritz Maeder</i>	
Zeughaus Solothurn: Klare Konzepte – Vorteile bei der Realisierung	101
<i>Kurt von Felten</i>	

Zustandserfassung und Sanierung von tragenden Bauteilen im Ingenieur-Holzbau	109
<i>René Wicki</i>	
Ertüchtigung von Holztragwerken mittels Vollgewindeschrauben und Gewindestangen	117
<i>Beat Ruch</i>	
Verstärkung von Holz mit CFK	125
<i>Benjamin Nef</i>	
Eingeklebte Stahlstäbe in Holz	129
<i>Thomas Strahm</i>	
Holzwerkstoffe und Holz-Lamellen	141
<i>Robert Widmann</i>	
Einsatz der Pressverklebung - Forschungsergebnisse	149
<i>Prof. Dr. Steffen Franke</i>	
Autorenverzeichnis	159

Vorstellung Lignatec «Erhaltung von Holztragwerken»

Gunter Ratsch
Lignum – Holzwirtschaft Schweiz

INFORMATION

«Das neue Lignatec «Erhaltung von Holztragwerken» bietet einen umfassenden Überblick zur Erhaltung, erläutert die Hintergründe der SIA 269/5 «Erhaltung von Tragwerken – Holzbau» und gibt konkrete Hinweise zum Vorgehen und üblichen Massnahmen», hbs holzBaumarktschweiz 02/2019.

Das Lignatec «Erhaltung von Holztragwerken» 31/2019 wird von der Lignum, Holzwirtschaft Schweiz (www.lignum.ch) herausgegeben und liegt den Teilnehmenden als Druckexemplar vor, weshalb aus diesem Grund keine weiteren Erörterungen erfolgen.

Erhaltung von Tragwerken

Dr. René Steiger
Empa, Abteilung Ingenieur-Strukturen

1 EINLEITUNG

Bauwerke werden mit den in der Planungsphase aktuellen Baunormen so geplant und bemessen, dass sie die in der Nutzungsvereinbarung zwischen Planer und Bauherr festgelegten Anforderungen bezüglich Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit über eine bestimmte Nutzungsdauer erfüllen. Während der Nutzung des Bauwerks können sich jedoch, z. B. hinsichtlich Einwirkungen, Umgebungsbedingungen oder Zustand der Baustoffe, Situationen einstellen, welche eine Neubeurteilung der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit, eine sogenannte Erhaltungsplanung verlangen.

Die Erhaltung bestehender Tragwerke sollte wirtschaftlich sein, umweltschonend sowie kultur- und sozialverträglich erfolgen und gleichzeitig auf die neuen Anforderungen und Bedürfnisse (Nutzung, aber auch Sicherheitsbedürfnisse von Einzelpersonen und der Gesellschaft) eingehen. Im Wesentlichen sind die Nutzungsanforderungen sowie die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen, die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit müssen gewährleistet sein und der Erhaltungswert eines Bauwerks sollte unter gebührender Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und von immateriellen Werten bewahrt werden. Neben der reinen Werterhaltung zwingen auch rechtliche Bestimmungen den Eigentümer eines Bauwerks, in dessen Erhaltung zu investieren (Maffioletti, Quinto 2011).

Der Wert eines Bauwerks setzt sich aus vielen verschiedenen Qualitäten zusammen (Merkblatt SIA 2017). Neben den üblichen Kriterien der Wirtschaftlichkeit sind weitere immaterielle und materielle Kriterien in die Beurteilung einzubeziehen. Immaterielle Werte sind der Situationswert, der historisch-kulturelle Wert, der gestalterische Wert, der handwerklich-technische Wert, der sozio-kulturelle Wert und der emotionale Wert. Der materielle Wert ergibt sich aus Lage (Standort), Nutzung, Zustand der Bausubstanz, Bedeutung des Bauwerks für Infrastruktur und Gesellschaft, Wirtschaftlichkeit und Einfluss des Bauwerks auf die Umwelt.

Die Beurteilung der Bausubstanz bestehender Tragwerke mit Blick auf eine verlängerte oder veränderte Nutzung unterscheidet sich deutlich von der Projektierung eines Neubaus. Während man bei der Planung eines Neubaus von diversen *Annahmen* (Einwirkungen, geometrische Abmessungen, mechanische Eigenschaften der Baustoffe, etc.) ausgeht, sind bei der Bauwerkserhaltung neben Projektierungsannahmen (Nutzung, etc.) viele *Informationen* über das bestehende Bauwerk vorhanden, welche es gezielt zu erheben und in die Erhaltungsplanung einzubinden gilt.

2 AUSLÖSER EINER ERHALTUNGSPLANUNG

Anlass für eine Erhaltungsplanung sind zumeist eine Nutzungsänderung und / oder geänderte Anforderungen anderer Art an das Tragwerk und / oder Zweifel bezüglich der Korrektheit und normkonformen Bemessung des Tragwerks. Typische Auslöser einer Erhaltungsplanung sind:

- erhöhte Belastung (z. B. grössere Nutzlast, geänderte Schneelastmodelle, etc.);
- Verlängerung der Nutzungsdauer des Bauwerks über die ursprünglich vereinbarte, der damaligen Projektierung zugrundeliegende Nutzungsdauer hinaus;
- erhöhte Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Tragwerks (z. B. wegen geänderter Bedeutung des Bauwerks für die Infrastruktur oder die Gesellschaft);
- Änderungen am Tragwerk oder Verstärkung desselben.

Zweifel über die Korrektheit / Normkonformität der Bemessungen können sich ergeben, wenn:

- das Tragwerk während längerer Zeit nicht überwacht oder inspiziert wurde und Schäden am Tragwerk oder ein Zerfall der Baustoffe vorliegen könnten;
- eine periodische Inspektion auffällige oder gar alarmierende Resultate zeigt (Korrosion an Stahlteilen, Fäulnis im Holz, erhöhte Feuchtigkeit, etc.);
- Abweichungen von den ursprünglichen Ausführungsplänen, eine ungenügende Gebrauchstauglichkeit oder Konstruktions- oder Bemessungsfehler bemerkt werden;
- ähnliche Tragwerke sich nicht zufriedenstellend verhalten;
- das Tragwerk einer bei der ursprünglichen Planung berücksichtigten oder einer unplanmässigen aussergewöhnlichen Einwirkung (sehr starkes Erdbeben, sehr starker Sturm, überhöhte Nutzlast, Fahrzeuganprall, Brand, etc.) ausgesetzt war;
- neue Erkenntnisse zum Tragwerksverhalten oder neue bzw. revidierte Baunormen verfügbar sind.

3 HILFSMITTEL BEI DER ERHALTUNGSPLANUNG

In der Schweiz sind die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins massgebend für die Erhaltungsplanung von Tragwerken und zwar im Speziellen die Norm SIA 469 „Erhaltung von Bauwerken“ und die Normenreihe SIA 269 „Erhaltung von Tragwerken“. Die Normenreihe SIA 269 nimmt auf die Tragwerksnormen der 260er-Reihe für die Planung von Neubauten sowie auf die Norm SIA 469 Bezug und bildet mit diesen zusammen eine Einheit. Die Norm SIA 469 regelt die Erhaltungsplanung auf Stufe Bauwerk. Sie vereinigt die Belange der Bau- und Fachingenieure sowie der Architekten. Die Normenreihe SIA 269 konzentriert sich auf das Tragwerk. Das Tragwerk ist ein wichtiger Teil eines Bauwerks, denn die Lebensdauer eines Bauwerks hängt in wesentlichem Mass vom Zustand des Tragwerks ab. Für die Erhaltungsplanung von Holztragwerken sind neben der Norm SIA 469 die folgenden Normen und Merkblätter von Bedeutung:

- SIA 269 Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken;
- SIA 269/1 Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen;
- SIA 269/5 Erhaltung von Tragwerken – Holzbau;
- SIA 269/3 Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau;
- SIA 269/8 Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben;
- Merkblatt SIA 2017 Erhaltungswert von Bauwerken.

Als einführende Dokumente zu den Erhaltungsnormen erarbeitete der SIA die Dokumentationen D 0239 „Erhaltung von Tragwerken – Einführung“ und D 0240 „Erhaltung von Tragwerken – Vertiefung und Anwendung“. Zur Einführung der Norm SIA 269/8 hat die Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik SGEB 2019 einen Kurs durchgeführt und eine Dokumentation herausgegeben. (SGEB Dokumentation Nr. 1, 2019)

Im Rahmen der Bauwerkserhaltung sieht man sich häufig mit der Situation konfrontiert, dass bestehende Tragwerksteile zwar erhalten werden können, jedoch verstärkt werden müssen, oder das ganze Bauwerksteile umgebaut oder erweitert werden sollen. Deshalb ist auch eine Abgrenzung zwischen den zu verwendenden Normen nötig. Die Erhaltungsnormen SIA 269 und 269/1 – 269/8 geben vor, dass bestehende Tragwerksteile mit diesen Normen überprüft werden, dass neue Tragwerksteile oder Verstärkungen jedoch gemäss den Tragwerksnormen SIA 260 – 267 zu bemessen sind.

3.1 Elemente der Erhaltungsplanung

Die Elemente der Erhaltungsplanung sind in der Abb. 1 dargestellt (Norm SIA 269, Brühwiler 2011). Bevor man mit der Erhaltungsplanung beginnt, ist es essentiell, die Erhaltungsziele, die Art der weiteren Nutzung und die Anforderungen an die weitere Nutzung des Bauwerks sowie die geplante Restnutzungsdauer (welche mit einem gewissen Überwachungs- und Unterhaltsprogramm verknüpft sein sollte) mit dem Bauherrn zu vereinbaren. In der Nutzungsvereinbarung müssen geeignete Sicherheitsmassnahmen gegenüber definierten Einwirkungsszenarien, aber u. U. auch akzeptierte Risiken festgelegt werden (Norm SIA 260).

Wenn die Anforderungen an die zukünftige Nutzung eines Tragwerks spezifiziert sind, handelt es sich bei der Erhaltungsplanung de facto um einen Entscheidungsprozess, mit dem Ziel, diejenigen Massnahmen zu identifizieren, welche die Erfüllung der Anforderungen in Bezug auf die Restnutzungsdauer in möglichst wirtschaftlicher Weise gewährleisten. Es ist dabei essentiell, den Entscheidungsprozess auf aktuelle Regeln der Technik bezüglich Erhaltungsplanung abzustützen. Die in der Schweiz gültigen SIA-Normen für die Erhaltungsplanung (Reihe 269) verlangen eine Überprüfung des Bauwerks / Tragwerks, eine Tragwerksanalyse, sowie Nachweise der Tragsicherheit und der Verhältnismässigkeit der vorgeschlagenen Erhaltungsmassnahmen.

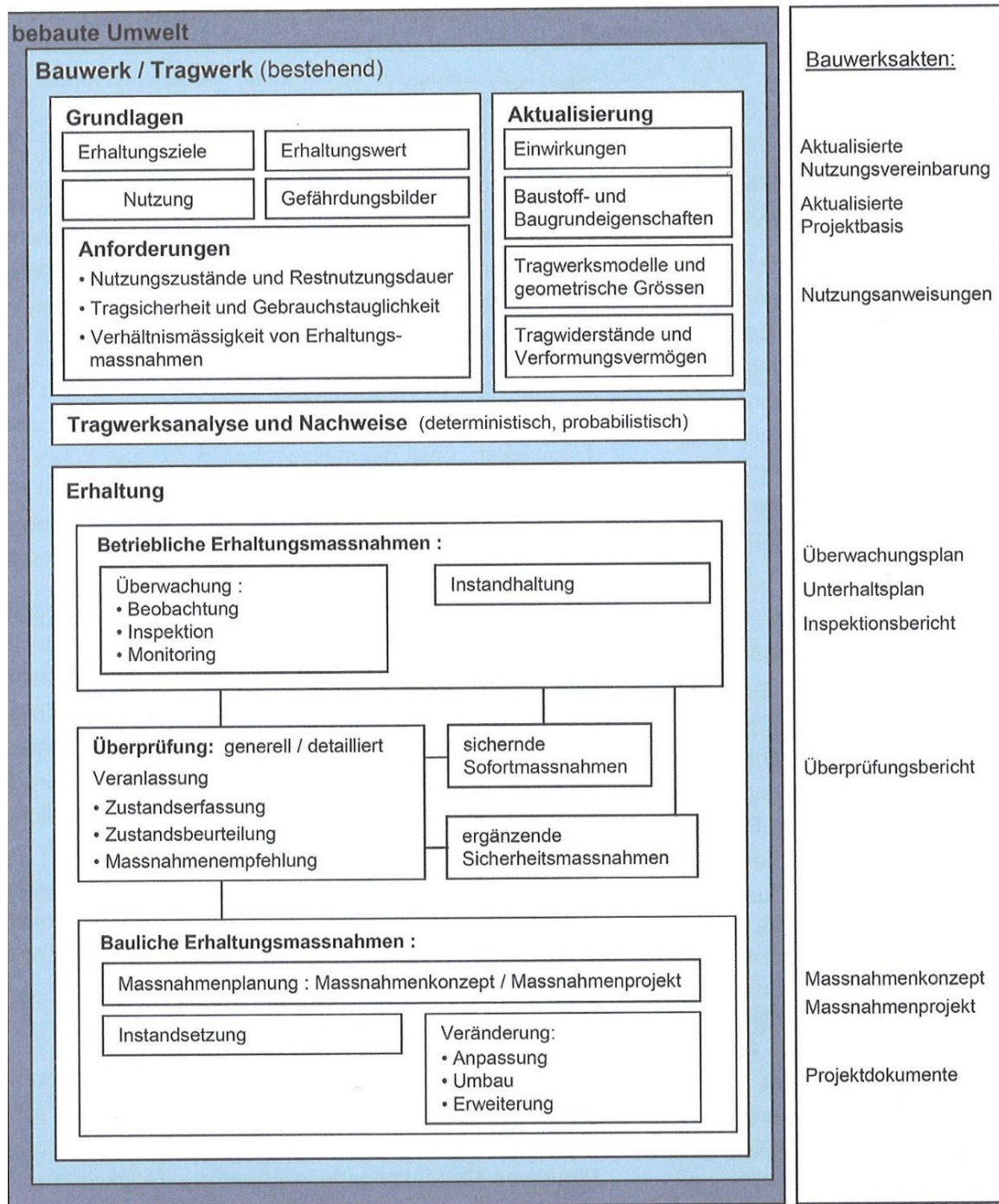


Abb. 1: Übersicht über die Tätigkeiten und Bauwerksakten bei der Erhaltungsplanung (Brühwiler 2011)

4 ÜBERPRÜFUNG

Ein wichtiges Element der Erhaltungsplanung ist die Überprüfung. Sie umfasst eine Zustandserfassung, eine Zustandsbeurteilung, und die Empfehlung von Massnahmen. Mit Vorteil (u. a. wegen der Kostenplanung) arbeitet man bei der Überprüfung schrittweise mit zunehmender Vertiefung, (Abb. 2) (Norm SIA 269, Diamantidis 2001).

Vorerst nimmt man einen Augenschein des Objekts und macht einfache visuelle Kontrollen vor Ort. Der Fokus richtet sich dabei prioritär auf den Gesamtzustand des Tragwerks und seiner Haupttragelemente. Bei Zweifeln an der Intaktheit oder am ausreichenden Tragwiderstand des Tragwerks folgen eine generelle Überprüfung und später gegebenenfalls eine oder mehrere detaillierte Überprüfungen. Dabei richtet sich der Grad der Vertiefung nach der Qualität der zur Verfügung stehenden Informationen und nach der Bedeutung des Tragwerks.

Die generelle Überprüfung umfasst das gesamte Tragwerk und auch nicht tragende Bauteile, sofern diese eine Gefährdung für Personen, wertvolle Sachgüter und die Umwelt darstellen. Begonnen wird in der Regel mit einem Studium der Bauwerksakten. Dann wird gemäss Norm SIA 260, als zentrale Grundlage für die nächsten Schritte, die Nutzungsvereinbarung erstellt bzw. aktualisiert. Nach der Abfassung / Aktualisierung der Projektbasis wird das Konzept des vorhandenen Tragwerks beurteilt.

Falls in der generellen Überprüfung der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen nicht erbracht werden kann und der erwartete Nutzen den vorgesehenen Aufwand rechtfertigt, kann (können) eine (oder mehrere) detaillierte Überprüfung(en) vorgenommen werden. Detaillierte Überprüfungen konzentrieren sich in der Regel auf ausgewählte Teile eines Tragwerks und erfolgen in mehreren Schritten mit zunehmender Vertiefung. Die detaillierte Überprüfung dient der Ursachenfindung von allfälligen Schädigungen und der vertieften Untersuchung von wichtigen Defiziten. Aus der Überprüfung muss neben einer klaren Aussage zur Tragsicherheit und zu allenfalls erforderlichen Erhaltungsmassnahmen eine Prognose der Zustandsentwicklung resultieren. Diese beinhaltet eine Abschätzung der aus technischer Sicht zulässigen Restnutzungsdauer des Tragwerks und eine Angabe des spätesten Interventionstermins (Brühwiler 2011).

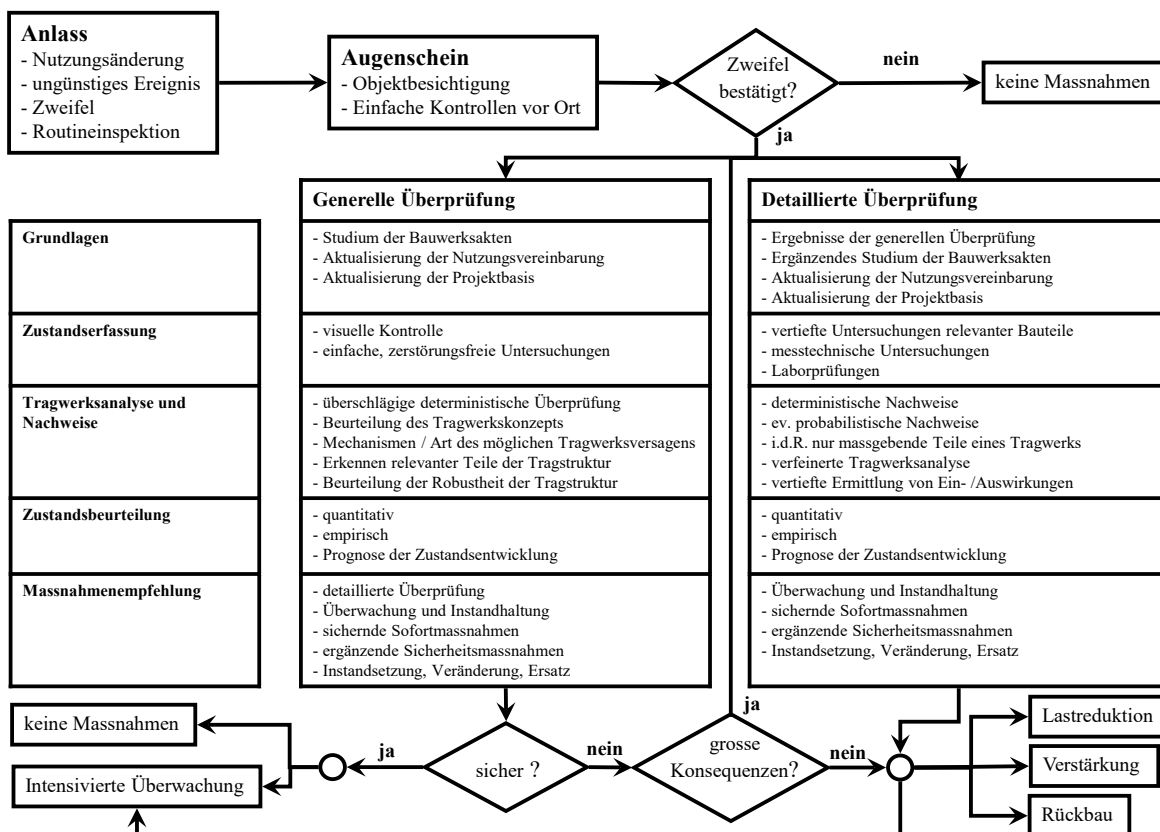


Abb. 2: Schrittweises Vorgehen in der Erhaltungsplanung bestehender Tragwerke (Norm SIA 269, Diamantidis 2001)

5 ZUSTANDSERFASSUNG

Bestandteil sowohl der generellen als auch der detaillierten Überprüfung ist die Zustandserfassung, welche von der Nutzungsvereinbarung und der Projektbasis ausgeht und die Inspektions- und Prüfungsberichte sowie die Erfahrungen der Benutzer berücksichtigt (Norm SIA 269). Die Zustandserfassung ist die Grundlage für die Zustandsbeurteilung und die Massnahmenempfehlung. Sie hat zum Ziel, Hinweise auf Gefährdungsbilder, Informationen über Einwirkungen und Angaben zur Exposition des Tragwerks zu erhalten und den Zustand sowie allfällige Schädigungen und Mängel des Tragwerks zu erkennen und für die Zustandsbeurteilung zu dokumentieren.

Im Rahmen der generellen Überprüfung besteht die Zustandserfassung aus visuellen Kontrollen und einfachen, in der Regel zerstörungsfreien Untersuchungen am Tragwerk. Dabei müssen Schädigungen, Defizite und Schädigungsmechanismen erkannt werden. Abgeschlossen wird die generelle Überprüfung mit überschlägigen Nachweisen der Tragsicherheit und allenfalls der Gebrauchstauglichkeit. Als zentrales Ergebnis gilt es, diejenigen Bereiche des Tragwerks zu erkennen, welche bei der Gegenüberstellung mit den Anforderungen massgebend sind. Bei der Zustandserfassung im Rahmen der detaillierten Überprüfung wird das Tragwerk vertiefter analysiert und die Einwirkungen und Auswirkungen sowie die Tragwiderstände und das Verformungsvermögen werden mit höherer Genauigkeit ermittelt. Dazu werden verfeinerte Modelle und spezielle Untersuchungsmethoden, wie Laborprüfungen oder messtechnische Untersuchungen, verwendet. Betreffend Tragwiderstand interessiert man sich für die möglichen Versagensarten (Sprödbbruch, duktilen Verhalten, Verfestigung bzw. Entfestigung, Gefahr progressiven Versagens) der tragenden Teile und Verbindungen sowie für deren Last- / Verformungsverhalten (bisher) und -kapazität (Zukunft).

Zu jeder Zustandserfassung gehört eine Beurteilung der Zuverlässigkeit und der Plausibilität der Ergebnisse. Der wichtigste Aspekt der Zustandserfassung ist das Beschaffen von Informationen zum Tragwerk und zum Tragverhalten, über die Gefährdungsbilder und Nutzungszustände sowie Einwirkungen und deren Auswirkungen, über den Zustand von Tragwerksteilen (insbesondere jener, die starken Umwelteinflüssen ausgesetzt sind) und über die Bauverfahren und die Baustoffe mit ihren heutigen und in Zukunft zu erwartenden Eigenschaften. Die Untersuchungen werden an jenen Bauteilen durchgeführt, welche das Tragverhalten des Tragwerks beeinflussen und umfassen in der Regel:

- das Konzept des Tragwerks;
- die massgebenden Abmessungen der Tragwerksteile, deren konstruktive Durchbildung und die Übereinstimmung mit den Bauwerksakten;
- die Baustoffe und deren Eigenschaften;
- die Ausrüstungsteile, die für das Tragverhalten von Bedeutung sind.

Bei ungenügenden Kenntnissen und Informationen über das Tragwerk und dessen Tragverhalten oder bei Aufbringung höherer Nutzlasten, sofern kein rechnerischer Nachweis möglich ist, können statische oder dynamische Belastungsversuche angezeigt sein.

5.1 Zustandsbeurteilung

Die Zustandserfassung mündet in eine Zustandsbeurteilung, bei der der Zustand des Tragwerks als Gesamtes oder von einzelnen Bauteilen bezüglich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bewertet wird und eine Abschätzung der weiteren Zustandsentwicklung gegeben wird (Norm SIA 269). Die Folgen von Schädigungen infolge von aussergewöhnlichen Einwirkungen oder Umwelteinflüssen auf die Tragfähigkeit und die Stabilität des Tragwerks müssen dabei mit Gefährdungsbildern und entsprechenden Versagensszenarien untersucht werden. Nicht einsehbare und nicht direkt prüfbare Tragwerke oder Tragwerksteile müssen anhand indirekter Hinweise beurteilt werden. Falls eine Zustandsbeurteilung nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit möglich ist, kann die Massnahmenplanung unter sinngemässer Anwendung der Beobachtungsmethode gemäss den Normen SIA 260 und SIA 267 erfolgen.

Die Zustandsbeurteilung beruht wenn möglich auf einer quantitativen, andernfalls auf einer empirischen Analyse. Bei der quantitativen Beurteilung der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit wird geprüft, ob die entsprechenden Nachweise erfüllt sind. Die Bedeutung der massgebenden Überprüfungswerte und der Modell-Unschärfen kann man mittels einer Sensitivitätsanalyse untersuchen. Ist keine genügende Tragsicherheit nachweisbar, so muss man die Wahl des Tragwerkmodells und den Einfluss der massgebenden Parameter auf das Ergebnis des Nachweises der Tragsicherheit neu beurteilen. Gerade beim in gewissen Fällen bei Überbeanspruchung schlagartig und spröde versagenden Baustoff Holz ist es angezeigt, festzustellen, ob sich der massgebende Versagensmechanismus vor Erreichen des Tragwiderstands ankündigt. Allenfalls kann eine zusätzliche, detaillierte Überprüfung neue Erkenntnisse liefern. Betreffend empirische Analyse wird auf die Norm SIA 269 verwiesen.

5.2 Prognose der Zustandsentwicklung

Die Prognose der Zustandsentwicklung umfasst Angaben zur voraussichtlichen Entwicklung des Zustands des Tragwerks sowie der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit (Norm SIA 269). Dabei werden die voraussehbaren Veränderungen der Einwirkungen, der Tragwiderstände und des Tragverhaltens unter Einbezug möglicher Schädigungsmechanismen berücksichtigt. Beruhend auf der Zustandserfassung sowie auf Erfahrungen mit vergleichbaren Tragwerken, können qualitative Aussagen zur Zustandsentwicklung gemacht werden. Eine Modellbildung von zeitabhängigen Einwirkungen, Schädigungsmechanismen und anderen zeitabhängigen Vorgängen ermöglicht quantitative Aussagen zur Zustandsentwicklung. Die Prognose der Zustandsentwicklung muss mit der geplanten Restnutzungsdauer verglichen werden.

5.3 Massnahmenempfehlung

Die Massnahmenempfehlung ist die Grundlage für den Grundsatzentscheid des Werkeigentümers zum weiteren Vorgehen. Sie kann folgende Optionen beinhalten (Norm SIA 269):

- Akzeptieren des bestehenden Zustands;
- sofortige Korrektur des bestehenden Zustands mit sichernden Sofortmassnahmen;
- ergänzende Sicherheitsmassnahmen;
- Durchführen einer (weiteren) detaillierten Überprüfung;
- Änderungen in der Überwachung und Instandhaltung;
- Instandsetzungs-, Erneuerungs- und / oder Veränderungsmaßnahmen;
- Ersatz des gesamten Tragwerks oder einzelner Teile davon;
- Ausserbetriebnahme;
- Rückbau.

5.4 Aktualisierung

Der Umgang mit Informationen ist bei der Erhaltungsplanung bestehender Bauwerke von entscheidender Bedeutung. Der Hauptunterschied zwischen bestehenden Bauwerken und als Neubau zu planenden Bauwerken liegt in der Menge und in der Qualität der vorhandenen Information. Bei der Planung von Neubauten sind diese Informationen allgemeiner und unpräziser Art und umfassen beispielsweise die Geometrie und normgemässe Baugrund- und Baustoffeigenschaften sowie Einwirkungen. Letztere basieren auf Annahmen bezüglich Bauwerkstandort, Form und Nutzungsart eines Bauwerks.

Bei bestehenden Bauwerken ist bedeutend mehr Information verfügbar und diese vorhandene Kenntnis über das Bauwerk muss zwingend in die Erhaltungsplanung einfließen. Diesen Prozess nennt man Aktualisierung. Die Aktualisierung erstreckt sich auf die Einwirkungen, die Baustoff- und Baugrundeigenschaften, das Tragwerkskonzept, die geometrischen Grössen, den Tragwiderstand und auf das Verformungsvermögen sowie auf Schädigungsmechanismen. Die Informationen sind unterschiedlicher Art und Qualität, einige sind quantitativ (Rissabmessungen, Deformationen, etc.) andere nur qualitativ (kein, geringer, ernsthafter Schaden). Wie detailliert eine Aktualisierung zu machen ist, hängt von einer Gegenüberstellung des erhofften Gewinns an neuen Informationen mit dem Aufwand zur Ermittlung dieser Informationen ab. Aktualisierungen müssen daher, wie auch die restlichen Tätigkeiten im Rahmen der Erhaltung und der Erhaltungsplanung, immer auch verhältnismässig sein (Brühwiler 2011).

Im Rahmen des Workshops „Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken“ steht die Aktualisierung von Baustoffeigenschaften im Vordergrund. Ausgangspunkt dafür sind die Bauwerksakten. Im Rahmen der Zustandserfassung muss geprüft werden, ob die Angaben in den Bauwerksakten zutreffend sind. Wenn solche Angaben nicht vorliegen bzw. ermittelt werden können, müssen mittels zerstörungsfreier oder auch zerstörender Materialprüfungen experimentelle Werte für die aktuellen Baustoffeigenschaften gewonnen werden. Aus diesen Versuchswerten wiederum werden, auch wenn sie normalerweise nur in geringer Zahl und mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet vorliegen, mittels statistischer Methoden die Überprüfungswerte der Baustoffeigenschaften bestimmt. Dabei sollten bereits vorhandene, auf allgemeinen Kenntnissen über die betrachteten Baustoffe beruhende Informationen (z. B. Parameter der statistischen Verteilung der betrachteten Baustoffeigenschaft), in die Auswertung und die Schlussfolgerungen einfließen (Lang 2011).

Im Holzbau ist es wichtig, auch die klimatischen Bedingungen im Innern des Bauwerks und in der näheren Umgebung (inkl. deren durch Umnutzungen und bauliche Anpassungen bedingten Änderungen) zu untersuchen. Entsprechend sind die Umrechnungsfaktoren zur Erfassung des Holzfeuchte- und Lastdauereinflusses anzusetzen. Durch Umnutzungen bedingte Änderungen an der Gebäudehülle oder an technischen Installationen (z. B. Stilllegung von Ventilatoren) können markante Änderungen im Innenklima (Luftfeuchtigkeit, Raumtemperatur) bewirken, was zu Schäden im Tragwerk führen kann. Auch Veränderungen in der Umgebung des Bauwerks (z. B. zunehmende Beschattung durch wachsende Bäume) muss Beachtung geschenkt werden.

6 TRAGWERKSANALYSE UND NACHWEIS DER TRAGSICHERHEIT

Die Tragwerksanalyse und der Nachweis der Tragsicherheit basieren auf der Voraussetzung, dass das Tragwerk überwacht und instandgehalten wird, denn es gibt keine „Sicherheitsmargen“ in den Bemessungsnormen, welche eine fehlende oder ungenügende Überwachung und Instandhaltung sowie das Übersehen von Schäden oder Mängeln abdecken (Brühwiler 2011)!

6.1 Tragwerksanalyse

Im Rahmen der Tragwerksanalyse wird das Verhalten eines Tragwerks im Hinblick auf die zu betrachtenden Bemessungssituationen unter Einbezug der massgebenden Einflussgrößen untersucht. Es gilt, nicht nur lokal einzelne Tragelemente oder Verbindungen zu untersuchen. Man muss sich vielmehr ein Bild vom gesamten Tragverhalten des Tragwerks machen und damit zusammenhängend auch das (bisherige) Verformungsverhalten und das (zukünftige) Verformungsvermögen sowie die mögliche Versagensart (spröde, duktil, progressiv, etc.) beurteilen. Dabei muss man beachten, dass sich die Einwirkungen und das Verformungsvermögen des Tragwerks gegenseitig beeinflussen können. Auch hier muss man die Einflüsse von Schädigungen und Defiziten auf den Tragwiderstand und das Verformungsvermögen quantifizieren und in die Aktualisierung der geometrischen Größen oder der Baustoffeigenschaften einfließen lassen. Das Tragwerk sollte auch bezüglich seiner Robustheit beurteilt werden. Die Normen SIA 260 und SIA 265 geben Hinweise dazu.

Es empfiehlt sich, das bei der Planung von Neubauten meist last- bzw. kraftbasierte Denken durch das verformungsbasierte Denken zu ergänzen. Aspekte der Systemwirkung (serielle bzw. parallele Systeme), der plastischen Statik (Schnittkraftumlagerung und Kräftegleichgewicht in zulässigen Verformungszuständen) und die Sichtung von möglichen Reserven im Tragwerk gewinnen stark an Bedeutung. Sinnvoller Weise werden dazu die Einwirkungen gruppiert in lastgesteuerte ($F = m \cdot g$, z. B. Eigenlast, Auflast, Nutzlast), kraftgesteuerte ($F = m \cdot a$, z. B. Erdbeben) und verformungsgesteuerte Vorgänge (z.B. Setzungen, Temperaturänderungen, etc.).

Nachweis der Tragsicherheit

Der Nachweis der Tragsicherheit erfolgt in der Regel auch bei der Erhaltungsplanung nach dem deterministischen Verfahren, d. h. nach dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte. Bei bestehenden Tragwerken können bzw. müssen die Auswirkungen und Tragwiderstände anhand der effektiven Situation real ermittelt (bzw. überprüft) werden. Der verbesserte Informationsgehalt fließt ein in die aktualisierten charakteristischen Werte von Einwirkungen und Tragwiderständen sowie in aktualisierte Teilsicherheitsbeiwerte. Dieser Unterschied ist im Nachweis der Tragsicherheit dadurch erkennbar, dass man von

„Überprüfungssituation“ anstelle von „Bemessungssituation“ und von „Überprüfungswert“ anstelle von „Bemessungswert“ redet. So wird in statischen Berechnungen auch klarer ersichtlich, welche Tragwerksteile überprüft wurden und welche neu gebaut, umgebaut oder verstärkt wurden.

Während bei der Bemessung von Neubauten im Rahmen des Tragsicherheitsnachweises lediglich gezeigt wird, dass die vorhandenen Bemessungswerte der Auswirkungen E_d geringer sind als die Bemessungswerte des Tragwiderstands R_d (Gl. 1), interessiert man sich bei der Überprüfung nicht nur dafür ob der Nachweis erfüllt ist, sondern auch, wie gross die Reserven bzw. die Defizite sind. Dies klärt man am einfachsten, indem man den Überprüfungswert des Tragwiderstands $R_{d,act}$ mit demjenigen der Auswirkungen $E_{d,act}$ in ein Verhältnis (Gl. 2) setzt und so einen Erfüllungsgrad n errechnet:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

$$n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}} \quad (2)$$

Mit dem Index "act" wird angezeigt, dass es sich bei den Überprüfungswerten um Grössen handelt, denen eine Aktualisierung zu Grunde liegt. Letztlich muss auch für bestehende Tragwerke ein den Neubauten entsprechendes Sicherheitsniveau nachgewiesen werden und die häufig herrschende Meinung, die Sicherheitsanforderungen an bestehende Tragwerke seien geringer, ist falsch (Brühwiler 2011). Je grösser n ist, desto grösser sind die Tragreserven. Der Erfüllungsgrad beinhaltet also auch wertvolle Informationen zum Potential des Tragwerks hinsichtlich zukünftiger Nutzungszustände. Bei einem Erfüllungsgrad zwischen 0,4 und 0,6 müssten am Tragwerk deutliche Zeichen einer Überbeanspruchung erkennbar sein, oder aber der rechnerische Nachweis ist zu konservativ. Ist der Erfüllungsgrad geringer als 0,5, so sind sichernde Sofortmassnahmen angezeigt oder umgehend umzusetzen (Brühwiler 2011). In Situationen, wo der Erfüllungsgrad n geringer ist als 1,0, muss ein Tragwerk verstärkt oder die Nutzung eingeschränkt werden. Wenn der Nachweis nur knapp nicht erbracht werden kann und / oder wenn die zu ergreifenden Verstärkungsmassnahmen sehr aufwendig und kostenintensiv sind, lohnt es sich unter Umständen, den Nachweis der Tragsicherheit verfeinert zu führen. Darunter versteht man die Verfeinerung von Modellen und die weitere Verbesserung der Kenntnis über die massgebenden Bemessungsgrössen.

Bei der Erarbeitung der Norm SIA 269 (2011) wurden einheitliche Regelungen für alle Überprüfungssituationen intensiv diskutiert. Es hat sich jedoch gezeigt, dass für aussergewöhnliche Überprüfungssituationen, wie z. B. Erdbeben oder Anprall, nicht die gleiche Betrachtungsweise angewandt werden kann wie für andauernde oder vorübergehende Überprüfungssituationen (Wenk 2019). Die Norm SIA 269/8 definiert den Erfüllungsfaktor α_{eff} bei der Überprüfung von bestehenden Tragwerken für die Einwirkung Erdbeben als Quotienten aus der Erdbebeneinwirkung A_R , die zum nominellen Versagen eines Bauteils führt, d. h. dass der Überprüfungswert des Tragwiderstands gerade erreicht wird, bezogen auf den Überprüfungswert der Erdbebeneinwirkung $A_{d,eff}$ (Wenk 2019):

$$\alpha_{eff} = \frac{A_R}{A_{d,eff}} \quad (3)$$

Die Forderung, dass immer ein Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} \geq 1,0$ erreicht werden muss, kann für aussergewöhnliche Überprüfungssituationen wie Erdbeben zu unverhältnismässigen Sicherheitsmassnahmen führen (Kölz 2019). Demgegenüber kann man für andauernde oder vorübergehende Überprüfungssituationen, wie z. B. Eigen- und Auflasten, einen Mindesterfüllungsgrad von beispielsweise $n = 0,25$ sicherlich nicht akzeptiert werden. Daher braucht es eine unterschiedliche Betrachtung von aussergewöhnlichen Überprüfungssituationen und von andauernden oder vorübergehenden Überprüfungssituationen (Wenk 2019). Die unterschiedlichen Bezeichnungen n bzw. α_{eff} in den Normen SIA 269 bzw. SIA 269/8 machen auf die wichtigen Unterschiede bezüglich Definitionen sowie Konsequenzen bei der Massnahmenempfehlung, falls der Wert 1,0 nicht erreicht wird, aufmerksam.

7 ERHALTUNGSMASSNAHMEN

Die Erhaltungsmassnahmen können betrieblicher oder baulicher Art sein. Zu den betrieblichen Erhaltungsmassnahmen gehören die Überwachung und die Instandhaltung gemäss dem Überwachungsplan und dem Unterhaltsplan. Bei den baulichen Erhaltungsmassnahmen unterscheidet man zwischen Instandsetzung und Veränderung (Anpassung, Umbau, Erweiterung). Zu den Erhaltungsmassnahmen, welche sich aus einer Überprüfung oder aus der laufenden Überwachungstätigkeit ergeben können, gehören aber auch die ergänzenden Sicherheitsmassnahmen und die sichernden Sofortmassnahmen (siehe Ziffern 7.4 und 7.5 in der Norm SIA 269).

Auch die Planung von Erhaltungsmassnahmen erfolgt zweckmässigerweise mehrstufig. Die Überprüfung sollte in eine Massnahmenempfehlung münden. Falls auf Grund dieser Empfehlung bauliche Massnahmen zu planen sind, beginnt man mit einem Massnahmenkonzept. Dieses entspricht in Inhalt und Stufe einem Vorprojekt und umfasst die Beschreibung von Erhaltungsvarianten sowie eine Beurteilung von deren Machbarkeit, einen Variantenvergleich und einen begründeten Vorschlag einer optimalen, empfohlenen Variante. Wenn in Absprache mit dem Bauherrn die auszuführende Variante festgelegt wurde, beginnt die detaillierte Planung in Form eines Massnahmenprojekts. Dieses entspricht in Umfang und Inhalt einem Bauprojekt. Bei der Erhaltung von Holztragwerken stehen die folgenden baulichen Massnahmen im Vordergrund (Fuhrmann 2011):

- Lokale Reparatur / Verstärkung einzelner Bauteilbereiche bzw. einzelner Verbindungen;
- Reparatur, Verstärkung oder Ersatz eines ganzen Bauteils;
- Ergänzung des Tragwerks mit zusätzlichen Bauteilen und Konstruktionen.

Um beurteilen zu können, ob sich Erhaltungsmassnahmen lohnen, stellt man deren Aufwand (direkte und indirekte Kosten für die Erfüllung der Anforderungen) dem Nutzen (Gewinn an Erhaltungswert und Zuverlässigkeit) gegenüber, dies bezogen auf die Restnutzungsdauer. Als Instrument verwendet die Norm SIA 269 dazu die "Verhältnismässigkeit" und verlangt die Beurteilung der sicherheitsbezogenen Erhaltungsmassnahmen aufgrund ihrer Effizienz und unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Sicherheitsanforderungen von Individuum und Gesellschaft;
- Verfügbarkeit eines Bauwerks oder einer Anlage;
- Schadensausmass für Personen, Sachgüter und Umwelt;
- Erhaltung des kulturellen Werts.

Die Aufwendungen für Erhaltungsmassnahmen werden ausgedrückt als Kosten für die Erfüllung der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks. Als Nutzen von Erhaltungsmassnahmen wird der Gewinn an materiellen und kulturellen Werten, die Reduktion der Kosten für Überwachung und Instandhaltung, sowie die Risikoreduktion durch die Wiederherstellung der geforderten Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit ausgewiesen. Ein Schlüsselparameter bei der Ermittlung der Kosten ist die Restnutzungsdauer. Auch die Rückbaukosten müssen in die Kostenbetrachtung einfließen. Diese Verhältnismässigkeitsbetrachtung in Form eines Kosten-Nutzen-Vergleichs ist allgemein auf alle Aspekte der Erhaltung bzw. Tätigkeiten in der Erhaltungsplanung anwendbar.

Bei der Erhaltungsplanung von bestehenden Tragwerken für die aussergewöhnliche Einwirkung Erdbeben muss die Beurteilung der Verhältnismässigkeit differenzierter erfolgen und zwar in Abhängigkeit der Funktion und Bedeutung des Bauwerks sowie den Ansprüchen des Eigentümers (Kölz 2019). Gemäss Norm SIA 269/8 wird die Verhältnismässigkeit einer Erdbebensicherheitsmassnahme beurteilt, indem ihr Nutzen den Kosten gegenübergestellt wird. Wenn der Nutzen einer Massnahme grösser ist als deren Kosten, wird diese Massnahme als verhältnismässig bezeichnet und sie ist in jedem Fall umzusetzen. Auf der Nutzenseite muss stets die Verbesserung der Personensicherheit berücksichtigt werden. Zusätzlich wird aber dem Eigentümer unter bestimmten Bedingungen empfohlen, auch den Nutzen aus der Verbesserung des Bauwerksschutzes, des Sachschutzes sowie der Vermeidung von Betriebsunterbrüchen zu berücksichtigen. Jeder Bauwerksklasse ist ein sogenannter Mindesterfüllungsfaktor α_{min} zugeordnet. Die Beurteilung des Handlungsbedarfs erfolgt sodann basierend auf einem Vergleich des Erfüllungsfaktors α_{eff} mit dem Mindesterfüllungsfaktor α_{min} unter Berücksichtigung der Restnutzungsdauer.

8 LITERATUR

8.1 Normen

- SIA (2013) Norm SIA 260 - Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2021) Norm SIA 265 - Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2013) Norm SIA 267 - Geotechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2011) Norm SIA 269 - Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2011) Norm SIA 269/1 - Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2011) Norm SIA 269/3 - Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2011) Norm 269/5 - Erhalten von Tragwerken – Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2017) Norm SIA 269/8 - Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (1997) Norm SIA 469 - Erhaltung von Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2000) Merkblatt SIA 2017 - Erhaltungswert von Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- DIN (2012) DIN 1052-10 - Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken – Teil 10: Ergänzende Bestimmungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN (2010) DIN EN 1995-1-1/NA - Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter –Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- CEN (2008) EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, CEN Brüssel

8.2 Andere Literatur

- Diamantidis D. (2001) Probabilistic assessment of existing structures. RILEM Publications S.A.R.L., Cachan
- Brühwiler E. (2011) Verständigung, Grundsätze und Grundlagen beim Umgang mit bestehenden Tragwerken. In: Dokumentation SIA D 0240: Erhaltung von Tragwerken - Vertiefung und Anwendung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Fuhrmann C. (2011) Norm SIA 269/5: Erhaltung von Tragwerken - Holzbau. In: Dokumentation SIA D 0240: Erhaltung von Tragwerken - Vertiefung und Anwendung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Kölz E. (2019) Verhältnismässigkeit. In: Tagungsband zum SGEB-Einführungskurs zur Norm SIA 269/8 am 13. 06. 2019 an der ETH Zürich
- Lang T. P. (2011) Spezifische Aspekte der Erhaltung. In: Dokumentation SIA D 0239: Erhaltung von Tragwerken - Einführung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Lissner K., Rug W. (2000) Holzbausanierung. Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg
- Maffioletti W., Quinto C. (2011) Wenn die Vergangenheit bis in die Gegenwart reicht: Die neuen Erhaltungsnormen des SIA - Die Sicht des Juristen. In: Dokumentation SIA D 0239: Erhaltung von Tragwerken - Einführung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik SGEB (2019): Norm SIA 269/8. Tagungsband zum SGEB-Einführungskurs am 13. 06. 2019 an der ETH Zürich
- SIA (2011) Dokumentation SIA D 0239 - Erhaltung von Tragwerken - Einführung. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA (2011) Dokumentation SIA D 0240 - Erhaltung von Tragwerken – Vertiefung und Anwendung; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Wenk T. (2019) Grundsätze der Norm SIA 269/8. In: Tagungsband zum SGEB-Einführungskurs zur Norm SIA 269/8 am 13. 06. 2019 an der ETH Zürich

Zustandserfassung – Einführung und Methodik

Andreas Müller, Bettina Franke
Bernere Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

1 EINFÜHRUNG

1.1 Allgemein

Die Zustandserfassung ist Teil der Überprüfung von bestehenden Bauwerken und dessen verantwortungsvolle Beurteilung der Tragsicherheit und Resttragfähigkeit der Tragstruktur/ und Grundlage für eine verantwortungsvolle Beurteilung deren Tragsicherheit. Die periodisch durchgeführte Überprüfung vermeidet die Gefährdung der Nutzer. Mit vergleichsweise geringem Kostenaufwand können rechtzeitig erkannte Mängel und Schäden an der Tragkonstruktion Instand gesetzt werden. Die Methoden der Zustandserfassung gestatten eine präzise Einschätzung der notwendigen Massnahmen zur Erhaltungsplanung oder für eine Nutzungsveränderung und bieten eine bedeutende Grundlage für deren Kostenkalkulation. Die Zustandserfassung basiert laut SIA 269:2011 auf der Grundlage der Nutzungsvereinbarung und der Projektbasis. Parallel hierzu werden die vorliegenden Inspektions- und Überprüfungsberichte zum Bauwerk berücksichtigt.

Die Zustandserfassung muss mit grosser Sorgfalt unter Anwendung von geeigneten Prüfmethoden und Hilfsmitteln durchgeführt werden. Sie muss stets periodisch und nach dem zeitlich aktuellen Intervall mit unterschiedlichen Fachkompetenzen und Prüftechniken erfolgen. Alle getroffenen Aussagen und Befunde müssen belegbar und überdies für den baufachlichen Laien, z. B. in einem Gerichtsprozess, nachvollziehbar dokumentiert und begründet sein. Die wichtigste Grundregel ist ausnahmslos alle Bauteile handnah zu überprüfen. Eine stichprobenartige Untersuchung der Tragkonstruktion ist nicht ausreichend. Nur die Überprüfung der gesamten Tragkonstruktion lässt eine fundierte Aussage über den Zustand zu und gibt den Eigentümern wie Nutzern des Gebäudes die notwendige Sicherheit. Ferndiagnosen werden bei einem später eintretenden Schaden von den Gerichten als grobe Fahrlässigkeit gewertet. Den überprüfenden Ingenieur oder Fachmann treffen in diesem Fall die volle Haftung.

Für die Erfassung des aktuellen Zustandes von Holzkonstruktionen steht eine breite Palette an zerstörungsfreien, zerstörungsarmen und gegebenenfalls zerstörenden Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Die Methoden unterteilen sich in akustische und elektromagnetische sowie thermische und optische wie auch mechanische, zum Teil zerstörende, Techniken. Tabelle 1 gibt eine Übersicht zu den typischen Verfahren in der Zustandserfassung von Holzkonstruktionen. Primär erfolgt die Anwendung von zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Prüfverfahren. Die verschiedenen Verfahren haben jeweils spezifische Vor- und Nachteile und sind demnach für spezielle Anwendungen mehr oder weniger gut geeignet. Es ist daher wichtig, für die durchzuführende Untersuchung, das am besten geeigneten Verfahren anzuwenden. Oftmals erhöht die Kombination verschiedener Verfahren die Aussagefähigkeit.

Die Prüfverfahren dienen als Hilfsmittel für die Beurteilung des Bauwerkes, mit welchen der Zustand der Materialien, der Bauteile und des Gesamttragwerkes quantitativ messbar ist. Das zu prüfende Objekt nimmt in der Regel durch die Zustandserfassung keine Schäden und der Verwendungszweck wird nicht beeinflusst. Die Auswertung und Interpretation der erhaltenen Messergebnisse erfordern ein ausgeprägtes Fachwissen sowie eine langjährige Routine. Vertiefende Aussagen über die Leistungsfähigkeit eines Bauteils sind oft nur durch zerstörende Sondierungen oder Probenentnahmen mit anschliessenden Laborprüfungen möglich. Es ist deshalb ratsam, vorab die Folgen des erforderlichen Eingriffs dem erzielbaren Nutzen gegenüberzustellen.

Tabelle 1: Übersicht der Methoden und geeigneten Hilfsmittel für die Zustandserfassung

Methoden	Verfahren	Zustand
Visuelle/handnahe Untersuchung	Fotoaufnahme, Lupe, Mikroskop, Anklopfen und Anschlagen, Massaufnahme, Einstechen, Anbohren, Rissaufnahme, einfache chemische Prüfungen, Holzfeuchtemessung	Querschnittsschädigung, Formschluss von Verbindungen, Holzart, Holzqualität, Pilz- und Insektenbefall, Hohlräume, Risse, Oberflächenbehandlung, Klebstoffart, chemische Einwirkungen, Deformationen
Gängige Prüfverfahren	Bohrkernentnahme, Bohrwiderstandsmessung, Pilodin, Prüfung der Klebfugenqualität, Mechanische Bestimmung der Festigkeiten	Querschnittsschädigung, Holzdichte, Holzsteifigkeit, Klebfugenqualität, mechanische Eigenschaften
Spezielle Prüftechniken	Endoskopie Ultraschall Röntgen	Verdeckte Bauteile, Hohlräume, Anschlüsse, Pilz- und Insektenbefall
Belastungsversuche	In-situ Messungen	Verformung, Steifigkeit der Gesamtstruktur

1.2 Was schädigt eine Holzstruktur?

In Gebäuden und Bauwerken mit Bauteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen sind vorrangig die Holzfeuchte und eventuell auftretende Rissbilder zu überprüfen. Die Änderung der Holzfeuchte durch wechselnde klimatische Einwirkungen führt zum Schwinden und Quellen des Bauteils und hiermit verbunden auch zu eventuellen Rissen. Ferner ändern sich durch wechselnde Holzfeuchten die mechanischen Eigenschaften von Holz und eine deutlich erhöhte Holzfeuchte führt zu einer Schädigung durch holzerstörende Pilze. Die Erfassung aufgetretener Rissbilder hat je nach Ausmass und Ursache eine entscheidende Auswirkung auf die Beurteilung der Tragfähigkeit der Konstruktion. Eine auftretende Delaminierung von geklebten Bauteilen muss gegenüber andersartig verursachten Rissen differenziert werden.

Eine Schädigung durch holzerstörende Insekten tritt heute im mitteleuropäischen Raum eher selten auf. Neuere Untersuchungen (Aicher, Radovic 2001) zeigen, dass bei der Verwendung von technisch getrockneten Hölzern - dies betrifft alle konstruktiven Vollholzprodukte - durch eine Veränderung der Holzinhaltsstoffe die Gefahr durch einen Befall mit holzerstörenden Insekten auszuschliessen ist. Dennoch sollten die Bauteile während der visuellen Überprüfung auch auf Ausflugslöcher bzw. auf einen aktiven Befall (Sägemehlreste) hin untersucht werden.

1.3 Methode/Vorgehensweise

Für den eigentlichen Überprüfungstermin sollten die Örtlichkeiten gemeinsam mit einer für das Gebäude zuständigen Person vorab eingesehen werden. Alle erhältlichen Bauwerksdaten, wie Pläne, Baubeschreibungen und Nutzungsvereinbarungen, sollten hierfür zur Verfügung stehen. Weiterführende Informationen über die Art und Weise der Nutzung seit der Errichtung sind oft hilfreich. So können z. B. die über den Jahresverlauf auftretenden Klimabeanspruchungen und spezielle Beanspruchungen und Einwirkungen auf das Bauwerk besser abgeschätzt werden.

Von grosser Bedeutung bei der Zustandserfassung und für das Nachvollziehen von Mängeln in der räumlichen Gebäudestruktur ist die Kenntnis des Tragverhaltens der Gesamtstruktur. Nur hierdurch kann die Gesamtstabilität des Gebäudes beurteilt werden. Zudem werden mehrfach bei nachträglichen Installationsarbeiten wichtigen Stabilisierungsverbände kipp- und knickgefährdeter Bauteile durchtrennt oder aus Unkenntnis gar nicht ergänzend eingebaut. Dies muss der verantwortungsbewusste Experte erkennen und entsprechende Massnahmen einfordern. Für die Beurteilung einzelner Tragglieder muss die vollständige Zugänglichkeit stets gewährleistet sein. Die gesetzlichen Unfall- und Arbeitsvorschriften sind während der Zustandserfassung einzuhalten. Durch die oftmals stete Arbeit in grosser Höhe wie bei Halltragwerken, bewährten sich hierbei Hebebühnen oder Fahrgerüste gegenüber Anlegeleitern. Für eine vollständige Inspektion von Brücken ist in der Regel ein Brückenuntersichtgerät notwendig.

Im Verlauf der Zustandserfassung sind für die spätere Beurteilung und Zuordnung der gewonnenen Messdaten die zu prüfenden Bauteile systematisch zu nummerieren bzw. zu benennen. Die Bezeichnung erfolgt entweder gemäss den Positionen oder den Achsen in den vorhandenen Planungsunterlagen oder durch vorab neu zu erstellenden Plänen bei fehlender bzw. lückenhafter Dokumentation, siehe Abb. 1 - Abb. 3. In der Praxis haben sich selbstklebende Nummern, mit denen die Untersuchungspunkte und Bauteile gekennzeichnet werden, bewährt. Dies erleichtert die Protokollierung der Messergebnisse, der Fotos und die Dokumentation der Beobachtung erheblich. Ferner wird hierdurch eine gute Orientierung bei grösseren und komplexen Tragwerken erreicht. Weiterhin empfiehlt es sich von den wichtigsten Bauteilen massstäbliche Ansichten zu nutzen und Protokolle für die Holzfeuchtemessung, die Rissaufnahme und die Fotodokumentation vorzubereiten.

In Holzkonstruktionen lassen sich die Problemfelder relativ frühzeitig durch Verfärbungen und Risse während regelmässig durchgeführten Kontrollen erkennen. Ernsthafte Schäden können so einfach vermieden werden. Aus diesem Grund steht zu Beginn der Zustandserfassung immer eine sorgfältige visuelle, handnahe Überprüfung und Kontrolle aller Bauteile im Mittelpunkt. In Kombination mit der Holzfeuchtemessung können die erkannten Problemfelder spezifiziert und gegebenenfalls mit

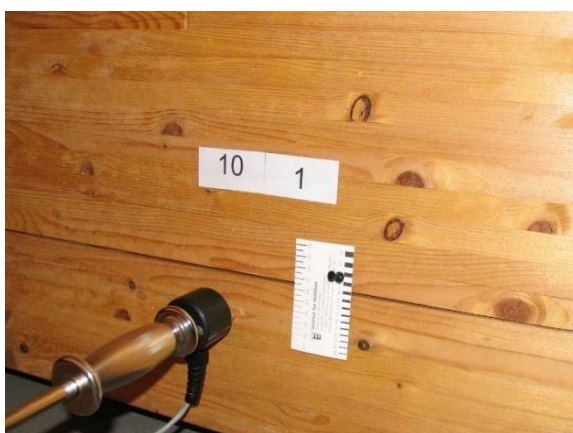


Abb. 1: Nummerierung einer Prüfstelle, hier Hauptachse Nr.10, Nebenachse Nr.1, Rissbreiten- und Holzfeuchtemessung



Abb. 2: Kennzeichnung einer Probenentnahmestelle mit Zuwachsbohrer und Rissbreitenmessung

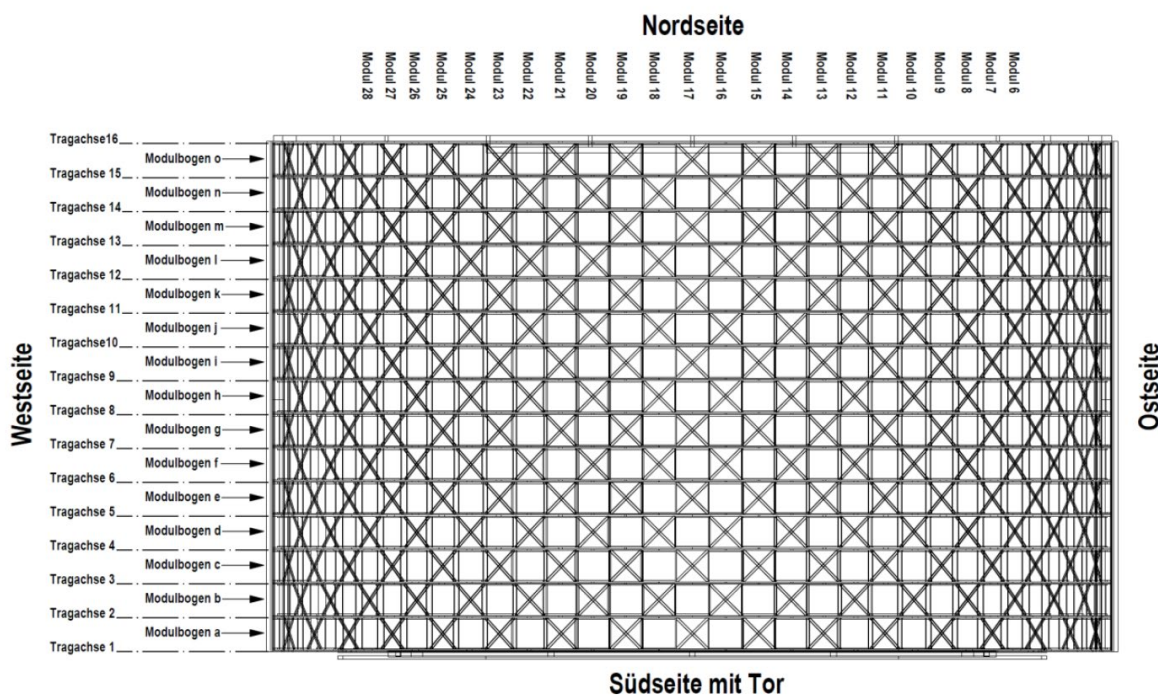


Abb. 3: Definition der Achsen für ein Hallentragwerk, Füllemann et al. (2012)

ergänzenden Prüfmethode detailliert untersucht werden. Hierbei gilt es, dass der Aufwand für den Einsatz der spezifischer Messmittel und Prüfgeräte in einem vernünftigen Verhältnis zum Nutzen stehen sollte. Ein iteratives bzw. stufenweises Vorgehen ist in der Art der Methode und hinsichtlich der Anzahl der Messstellen sinnvoll. Für eine statistisch abgesicherte Aussage sind mindestens 15 bis 20 Messergebnisse oder entnommene Proben erforderlich. Erfahrungsgemäss ist dies, mit einem vertretbaren Aufwand und aufgrund der örtlichen Einschränkungen, nicht möglich. Aus diesem Grund ist hier hinsichtlich der Anzahl der entnommenen Proben auch ein stufenweises Vorgehen zu empfehlen. Zeigt sich bei der in einem 1. Schritt entnommenen Prüfreihe von 6 - 8 Prüfkörpern eine geringe Varianz in den Ergebnissen, kann auf die Entnahme weiterer Proben vielfach verzichtet werden. Ist dies nicht der Fall muss zwingend die Anzahl in einem 2. Schritt erhöht werden.

Für die weiterführende Modellbildung bei Tragwerksanalysen können zur Abklärung des Trag- und Verformungsverhaltens zusätzliche Belastungsversuche mit Erfassung der Verformung zweckmässig sein (SIA 269/5, Anhang C). Demgegenüber ist eine Dehnungsmessung in Holzbauteilen mit den bekannten Methoden nur erschwert möglich und oft wenig aussagekräftig. In besonderen Fällen, wie z. B. bei stark unterschiedlichen Nutzungen, wie in Eissporthallen mit über den Jahresverlauf wechselnden und sehr unterschiedlichen Klimabedingungen, ist die Zustandserfassung zu einem späteren Zeitpunkt zu wiederholen. Nur so können z. B. erst Risse und Delaminierungen, die im Winterhalbjahr im gequollenen und stark auf gefeuchteten Zustand der Holzquerschnitte nicht erkennbar sind, nach einer Abtrocknungsphase im Sommer festgestellt werden.

2 HOLZFEUCHTE

Die Holzfeuchte hat einen massgebenden Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit von Holz. Holz reagiert aufgrund eines ausgeprägten hygroskopischen Materialverhaltens auf das Umgebungsklima mit einer Feuchtezu- oder -abnahme. Ein wichtiger Kenn- und Grenzwert ist der Fasersättigungsbereich. Bis zum Erreichen des Fasersättigungsbereiches wird Feuchtigkeit in die Zellwände als gebundenes Wasser eingelagert, darüber hinaus erfolgt die Einlagerung als freies Wasser in die Hohlräume des Holzes. Der Fasersättigungsbereich hängt von der Holzart ab und für übliche nordeuropäische Holzarten liegt er bei ca. 26 – 32 %. Nur bei Holzfeuchten unter dem Fasersättigungsbereich treten Schwind- und Quellvorgänge auf.

Die Holzfeuchte hat auf folgende Eigenschaften des Holzes einen Einfluss:

- Steifigkeit und Festigkeit, Abb. 4
- Gefährdung durch holzerstörende Pilze
- Formbeständigkeit und Querschnittsbeständigkeit (Risse)

Je nach umgebendem Klima stellt sich bei Holz ein Gleichgewicht zwischen Holzfeuchte und relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur ein, siehe Abb. 4. Die zu erwartende Ausgleichsfeuchte für Konstruktionshölzer sowie die hierfür anzusetzende Feuchteklasse nach SIA 265:2012 ist in Tabelle 2 dargestellt. Kurzzeitige (Stundenweise) Änderungen der Klimabedingungen beeinflussen die Holzfeuchte nur minimal und haben keine Auswirkungen auf die Gleichgewichtsfeuchte.

Die in den Bemessungsnormen angegebenen Festigkeitswerte für Holz gelten für eine Holzfeuchte von 12 M%. Insbesondere die Abnahme des Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit bei zunehmender Holzfeuchte ist im Rahmen der Tragwerksplanung mit der entsprechenden Feuchteklasse zu berücksichtigen, s. Tabelle 2.

Weitere Hinweise zum Einfluss und zur Messung der Holzfeuchte können dem Referat «Bewertung der Holzfeuchte und deren Auswirkungen» von Franke et al. entnommen werden.

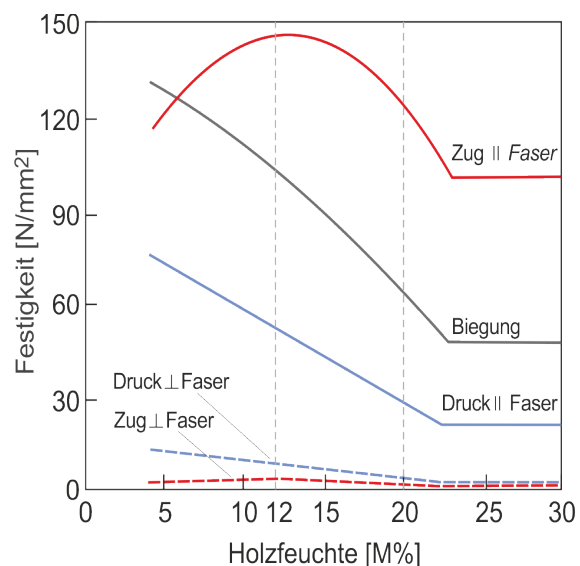


Abb. 4: Festigkeit von Holz in Abhängigkeit der Holzfeuchte, Kretschmann (2010)

Tabelle 2: Durchschnittliche Holzfeuchte in Abhängigkeit der Lage der Bauteile, Tabelle 2, SIA 265:2012

Lage der Bauteile	Durchschnittliche Holzfeuchte
Vor der Witterung geschützte Bauteile	
▪ in gut belüfteten, im Winter gut beheizten Räumen	9 % ± 3 %
▪ in gut belüfteten, im Winter schwach beheizten Räumen	12 % ± 3 %
▪ in gut belüfteten, unbeheizten Räumen	15 % ± 3 %
Vor der Witterung teilweise geschützte Bauteile	
▪ in offenen, überdachten Konstruktionen	17 % ± 5 %
▪ kleine Querschnitte (z.B. Fassadentäfer)	
- stark strahlungsabsorbierend	15 % ± 5 %
- wenig strahlungsabsorbierend	17 % ± 4 %
▪ mittlere Querschnitte (z.B. Balkenteile unter Dach)	
- stark strahlungsabsorbierend	13 % ± 4 %
- wenig strahlungsabsorbierend	16 % ± 4 %
Direkt bewitterte Bauteile mit grösserem Querschnitt	
▪ durchschnittlich, Kernbereich des Querschnittes	18 % ± 6 %
▪ äussere Zone des Querschnittes	20 % ± 8 %
Feuchte Bauteile	
▪ in feuchten, ungenügend durchlüfteten Räumen	> 24 %
▪ Bauteile unter Wasser (Süsswasser)	über Fasersättigung

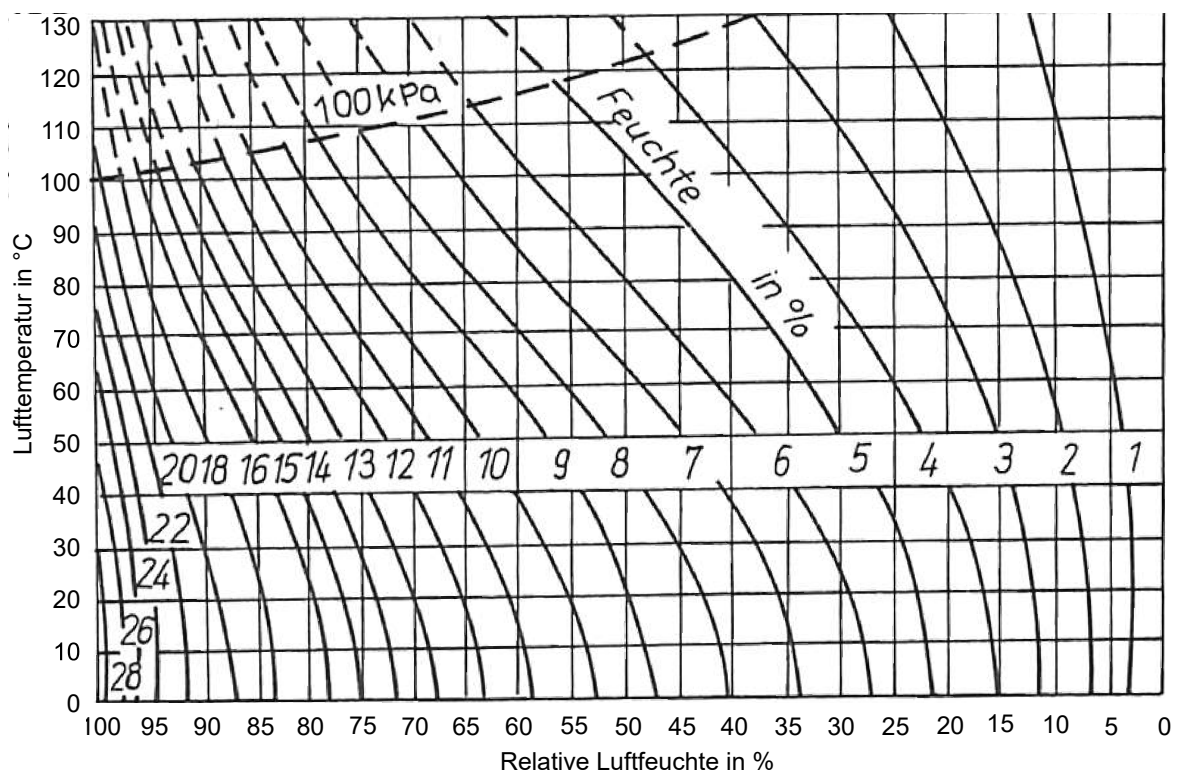


Abb. 5: Sorptionsisothermen für Fichtenholz nach Keylwerth und Noack (1964)

3 RISSE

In Holzkonstruktionen ist das Auftreten von Rissen nicht zu vermeiden. Die Abgrenzung zwischen Rissen, welche nur einen Einfluss auf die Ästhetik haben und Rissen die zur Reduzierung der Tragfähigkeit führen, ist entscheidend. Risse entstehen durch äussere Einwirkungen wie z. B. Feuchteänderungen oder Überbeanspruchungen und können hierüber klassifiziert werden. Eine Überbeanspruchung der Bauteile kann besonders bei konstruktionsbedingten Zugspannungen senkrecht zur Faser entstehen. Diese Risse sind in der Regel durch fehlerhafte Annahmen, Nutzungsänderungen oder Fehler in der statischen Berechnung bedingt. Zum Erkennen, Klassifizieren und Beurteilen dieser Rissbilder sind material- und fachspezifische Kenntnisse notwendig.

Auftretende Risse und Delaminierungen im Tragwerk können primär mit der visuellen und handnahen Untersuchung in Kombination mit der Holzfeuchtemessung und Risskartierung erfasst werden. In einem zweiten Schritt können Prüfungen der Klebfugen- und Holzqualität oder der Einsatz von weiterführenden Methoden der Zustandserfassung, wie z. B. das mobile Röntgen oder das Ultraschallechoverfahren, für die Detektion von verdeckten/innenliegenden Rissen nötig sein.

Risse sind in Abhängigkeit der Art, Grösse und der Nachweise für die Ermittlung der Tragfähigkeit gemäss SIA 269/5:2011, Abschnitt 4.2 als Reduzierung der wirksamen Fläche oder Querschnitte zu berücksichtigen. Aus diesem Grund müssen für eine genaue Analyse die Rissbreiten und -tiefen sowie deren Lage im Bauteil sorgfältig aufgenommen und kartiert werden. Dabei muss beachtet werden, dass auch innenliegende und damit nicht erkennbare Risse auftreten können.

3.1 Schwindrisse

Schwindrisse sind auf Eigenspannungen infolge der Trocknung des Holzes unterhalb des Fasersättigungsbereiches zurückzuführen, s. Abb. 8. Diese Risse sind i. d. R. nicht vermeidbar, da alle Tragkonstruktionen einem gewissen Klimawechsel ausgesetzt sind. Die aktuellen Klimabedingungen sowie die in der Vergangenheit vorliegenden sind in der Zustandserfassung zu berücksichtigen, denn infolge des Aufweichtens bzw. Abtrocknens der Querschnitte treten unterschiedliche Spannungsverläufe auf, die z. B. im Fall einer starken äusserlichen Aufweuchtung zu innenliegenden und somit verdeckten Rissen führen konnten bzw. können, s. Abb. 6. Im Gegensatz zum Aufweichten entstehen beim Abtrocknen des Holzquerschnittes infolge der resultierenden Spannung äusserlich sichtbare Risse, s. Abb. 7.

In Brett-schichthölzern kann es bei extremen Klimabedingungen bzw. Wechselbeanspruchungen auch in direkter Nähe der Klebfuge zu einer Rissbildung kommen. Dieses Rissbild, mit vielen Faseranteilen auf den Rissflächen, ist deutlich von Delaminierungen der Klebfugen abzugrenzen.

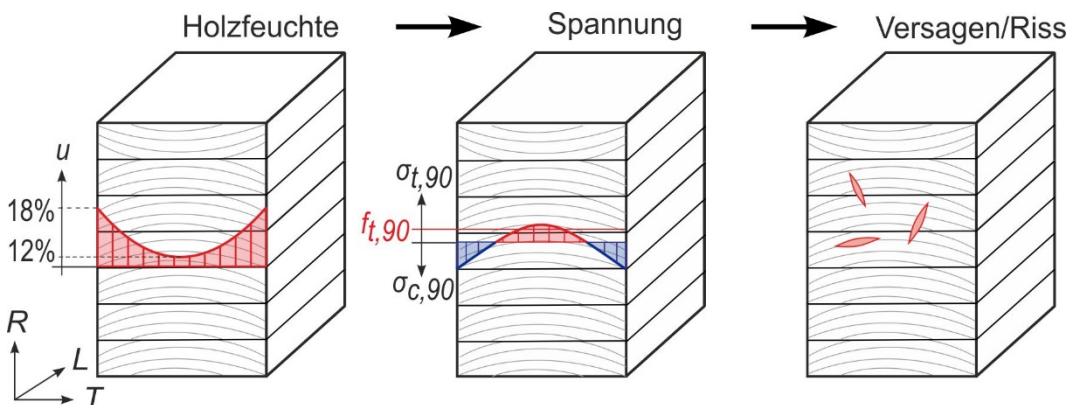


Abb. 6: Qualitative Darstellung des Aufweichtens, des resultierenden Spannungsverlaufs und des Rissbildes

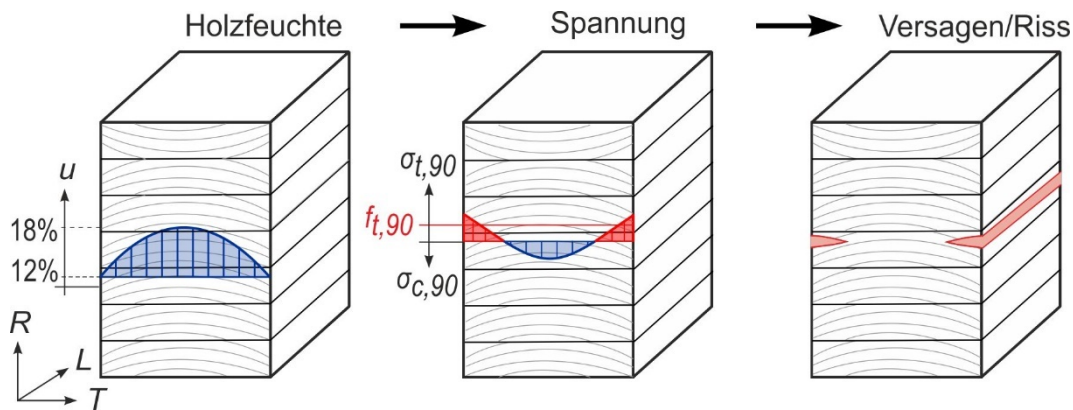


Abb. 7: Qualitative Darstellung des Abtrocknens, des resultierenden Spannungsverlaufs und des Rissbildes

3.2 Delaminierungen

In Brettschichholzträgern kommt es in seltenen Fällen zu einem Auflösen des Klebverbundes, den sogenannten Delaminierungen. Dieses «Rissbild» zeichnet sich dadurch aus, dass keine bzw. sehr wenig Fasern auf den Bruchflächen vorhanden sind, s. Abb. 9. Der Grund für die Delaminierung ist oft ein Ausführungsfehler im Rahmen der Brettschichholzproduktion (Fehlverklebungen). Liegt eine Delaminierung vor, sind zusätzlich zur Kartierung der Risse, Kernproben in ausreichender Anzahl zur Beurteilung der Klebfugengüte zu entnehmen.

3.3 Risse aufgrund von Querkzug- und Schubbeanspruchungen

Querkzugrisse können im Firstbereich von gekrümmten Trägern, an Ausklinkungen und Durchbrüchen (vgl. Abb. 10 und Abb. 11) sowie bei quer zur Faser beanspruchten Anschlüssen auftreten. Die Rissbilder können aufgrund der Anatomie vom Holz im Bauteilinneren starten und zur Bauteiloberfläche wachsen. Ebenso können vorhandene Risse durch die gegenwärtige Beanspruchungssituation wieder geschlossen sein und eine Detektion erschweren.

Risse infolge erhöhter Schubbeanspruchung treten insbesondere im Auflagerbereich von Trägern, bei formschlüssigen Anschlüssen wie Versätzen oder bei Anschlüssen mit mechanischen Verbindungsmitteln in Form von Blockschubversagen auf. Schubrisse sind zumeist anhand des gegenseitigen Verschiebens der Fasern zu erkennen. Ein ausgeprägtes Rissbild ist durch einen deutlichen Versatz an den Stirnholzflächen erkennbar.



Abb. 8: Schwindrinne in Brettschichholz



Abb. 9: Delaminierung in der Klebefuge

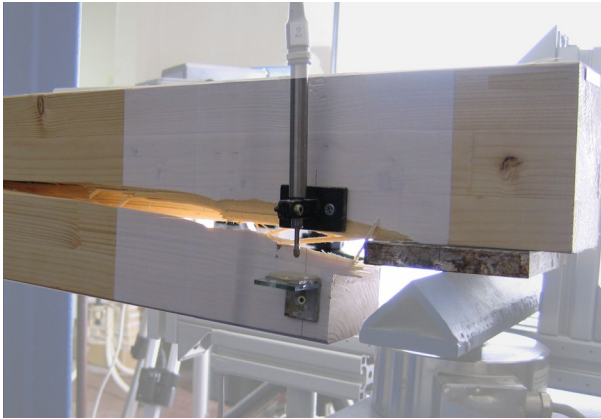


Abb. 10: Traglastversuch einer Ausklinkung mit typischen Querkzugversagen

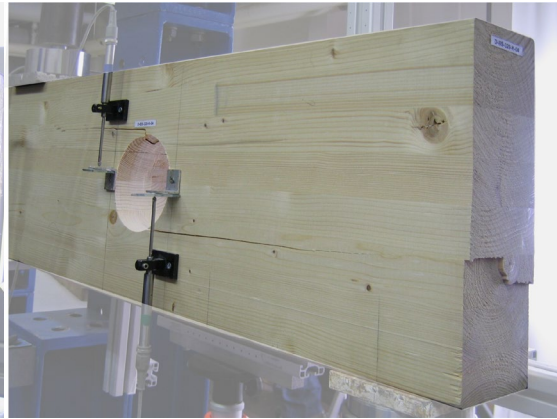


Abb. 11: Traglastversuch eines Trägerdurchbruches mit typischen Querkzug- und Schubrissversagen

4 BIOLOGISCHE SCHÄDIGUNG

4.1 Pflanzliche Holzschädlinge

Holz und Holzwerkstoffe können von Pilzen angegriffen werden. Ein Pilzbefall ist bei trockenem Holz nicht möglich und setzt erst ab einer Holzfeuchte über dem Fasersättigungspunkt von 26 % 32 % und entsprechend günstig wirkenden Umgebungsklima ein, s. Abb. 12. Es wird in holzverfärbende Pilze und holzerstörende Pilze unterschieden. Zu den holzverfärbenden Pilzen gehören die Bläue- und Schimmelpilze. Holzverfärbende Pilze führen durch die Verfärbung des Holzes oder eines oberflächigen Angriffes nur zu einer ästhetischen Beeinträchtigung. Ein Holzabbau oder ein Verfall der Holzstruktur findet nicht statt. Schimmelpilze können jedoch zu gesundheitlichen Problemen führen.

Bekannte Vertreter der im Bauwesen relevanten holzerstörenden Pilze sind der Echte Hauschwamm, der Braune Kellerschwamm, die Porenschwämme und die Blättlinge. Holzerstörende Pilze führen zu einem Abbau der Holzsubstanz bis hin zur vollständigen Zerstörung des Bauteils und dem damit verbundenen Tragverlust. Im Rahmen der Zustandserfassung ist neben dem Ausmass des Pilzbefalls auch die Pilzart zu identifizieren, da sich Ihre Bekämpfung- bzw. Sanierungsmethoden unterscheiden. Die Pilzbestimmung führt u. a. die EMPA, Gruppe Holzschutz/Biotechnologie, St. Gallen durch.

4.2 Tierische Holzschädlinge

Typische tierische Holzschädlinge sind Käfer, aber auch Ameisen und Holzwespen spielen im mitteleuropäischen Raum eine Rolle. Die Insekten verursachen i. d. R. den Schaden nicht selbst, sondern deren Larven, welche im Holz über einen längeren Zeitraum heranwachsen. In bestehenden Tragwerken kann ein lebender Befall nur von Trockenholzinsekten auftreten. Bereits bei einem Holzfeuchtegehalt von 6 – 30 % und einem Temperaturbereich von ca. 4 – 40 °C ist ein Vorkommen möglich. Die bekanntesten Vertreter dieser Gattung sind der Hausbockkäfer, s. Abb. 13 wie auch der Nagekäfer (Anobien). Für nähere Informationen wird auf das Lignatec 14/2001 „Holzerstörende Pilze und Insekten“ verwiesen.

Für Bauteile aus Brettschichtholz und Brettspertholz wie auch bei technisch getrockneten Vollhölzern ist in den Feuchteklassen 1 und 2 die Gefahr eines Befalls durch holzerstörende Insekten als sehr gering einzuschätzen, (Aicher et al. 2001). Die biologischen Schädigungen sind mit der visuellen und handnahen Untersuchung unter Einbeziehung der Holzfeuchte gut festzustellen. Zur genaueren Abklärung des Schadensumfangs können die Bohrkernentnahme oder die Bohrwiderstandsmessung dienlich sein. Zusätzlich kann es in Einzelfällen zielführend sein, Ultraschallmessmethoden oder die Röntgentechnik einzusetzen.



Abb. 12: Pilzbefall aufgrund zu hoher Holzfeuchte, Blättling Abb. 13: Schadensbild eines Hausbockkäfers

5 MECHANISCHE SCHÄDIGUNG

5.1 Tragelemente

Mechanische Schädigungen sind Zug-, Druck-, Schub- und Biegeversagen eines Bauteils infolge von lokal oder global auftretenden erhöhten Beanspruchungen, s. Abb. 14 und Abb. 15. Beispielsweise können nicht geplante aber durchgeführte Vergrößerungen eines Trägerdurchbruches oder eines ausgeklinkten Auflagerbereiches zu mechanischen Schäden führen. Die typischen Versagensbilder sind meist äusserlich visuell gut erkennbar.

Die hervorgerufenen Schadensbilder entwickeln sich mitunter im Querschnittinneren und sind mit den visuellen handnahen Methoden nicht immer erfassbar. Durch fachmännisches stetiges Klopfen entlang des Bauteils können Unterschiede differenziert werden. Die lokal detektierten Bereiche können folgend mit der Bohrwidstandsmessung, der Anwendung von Ultraschallechoverfahren oder der mobilen Röntgenblitzröhre für konkretere Aussagen geprüft werden.

5.2 Verbindungen

Die Tragfähigkeit von formschlüssigen Verbindungen oder Anschlüssen mit mechanischen Verbindungsmitteln wird durch zu kleine Abstände zwischen den Verbindungsmitteln und zu den belasteten Rändern, zu kleine Holzdicken, klaffende Fugen, fehlender Passgenauigkeit oder Lockerungen sowie Korrosion beeinträchtigt. Diese Einflussfaktoren gilt es aufzunehmen und mit den statischen Vorgaben abzugleichen.

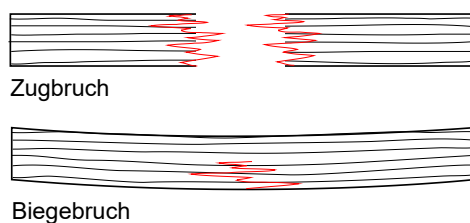


Abb. 14: Zug- und Biegeversagen

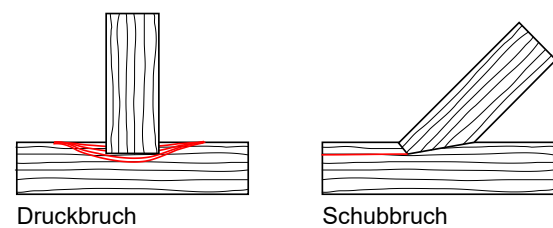


Abb. 15: Druck- und Schubversagen

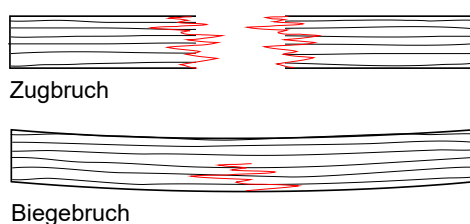


Abb. 16: Längs- und Schubrisse

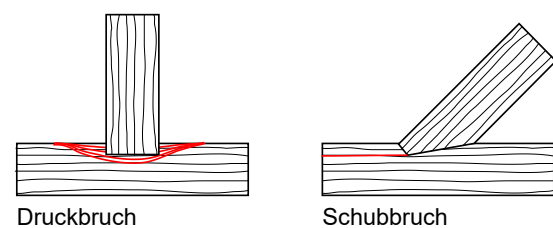


Abb. 17: Quersugrisse



Abb. 18: Anschluss im Innenbereich mit typischer Rissentwicklung, Quelle: Dr. Schütz Ingenieure (2011)



Abb. 19: Anschluss im Aussenbereich mit signalisierenden Verfärbungen und Rissen im Bereich der Stabdübel im Untergurt

In Verbindungen können weiterhin querschnittsmindernde Risse durch die Spaltwirkung der Verbindungsmittel, das Schwinden des Holzes sowie durch eine Überbeanspruchung entstehen. Die Rissbilder durch Überbeanspruchung unterteilen sich nach ihrer Entstehung in Längs- und Schubrisse oder Abscher- und Quersgrisse, vergleiche hierzu Abb. 16 bis Abb. 19. Eine Schädigung infolge von erhöhter Belastung kann aber auch plastische Verformungen, wie Eindrückungen, Stauchungen oder Deformationen der mechanischen Verbindungsmittel hervorrufen. Zusätzlich ist auf abgescherte oder hineingezogene Köpfe bzw. Unterlegscheiben zu achten.

Das frühzeitige Erkennen von Unregelmässigkeiten ist im Bereich von Verbindungen entscheidend. Hierdurch können geschädigte Verbindungen zum Teil mit einfachen Verstärkungsmassnahmen erhalten werden. Die genannten Rissentwicklungen und Schädigung sind im Bereich von Verbindungen zum Teil durch aussenliegende Laschen, Stahlblechformteilen oder Seitenhölzern verdeckt. Die visuelle/handnahe Untersuchung ist in diesen Fällen nicht ausreichend und sollte durch die Bohrwidstandsmessung, die Endoskopie, das Ultraschallechoverfahren oder die mobile Röntgenblitzröhre ergänzt werden.

6 GESAMTSTABILITÄT

Der Vergleich der effektiven Ausführung des Bauwerkes mit den vorliegenden Planungsunterlagen ist im Hinblick auf die Bewertung der Gesamtstabilität des Tragwerkes entscheidend. Die Gesamtstabilität eines Tragwerkes hängt sowohl von der lokalen als auch der globalen Integrität und Stabilität ab. Oft sind bislang unerkannte Probleme bzw. Mängel anhand der Gesamtstabilität respektive der Verformung des Tragwerkes bzw. der Gebäude erkennbar. Mehrfach wurden nachträglich bei Installationsarbeiten wichtige Stabilisierungsverbände kipp- oder knickgefährdeter Bauteile durchtrennt oder aus Unkenntnis nicht eingebaut. Dies muss der verantwortungsbewusste Experte erkennen und entsprechende Massnahmen einfordern.

Dem Verformungsverhalten der Tragkonstruktion sollte immer ein Augenmerk geschenkt werden. Aussergewöhnlich grosse und unterschiedliche Verformungen geben oft einen Hinweis auf Mängel und Schäden in der Tragstruktur. Eine Überbeanspruchung tritt mitunter durch geänderte Nutzungen oder Belastungen, wie z. B. neuere Dach- und Deckenaufbauten, oder durch Fehler in den Lastannahmen in der statischen Nachweisführung auf.

Im Zuge der visuellen/handnahen Überprüfung sind die Systemgeometrie und die bestehenden Verformungen, das tatsächliche Trag- und Aussteifungssystem mit hinreichender Genauigkeit zu erfassen und mit den vorliegenden Planungsunterlagen, den Querschnittsabmessungen, Bauteil- und Anschlussgeometrien abzugleichen. Sie bilden eine wesentliche Grundlage für die Tragwerksanalyse,

wo auftretende Zwangsbeanspruchungen infolge von Ausführungsungenauigkeiten, Verformungen oder Schädigungen im Tragsicherheitsnachweis berücksichtigt werden müssen.

Die tatsächlich vorliegenden Aussteifungssysteme sind auf ihre Funktionstüchtigkeit und Vollständigkeit zu prüfen. Treten Abweichungen und insbesondere ein Versagen einzelner Tragelemente auf, sollte auf redundante Systeme geachtet werden. Es ist zu prüfen, ob die vorhandenen Lasten von anderen Bauteilen übernommen werden können oder es ein Versagen der gesamten Konstruktion zur Folge hat. Fehlende oder ausgeknickte Aussteifungselemente oder Verbände sind sofort zu ersetzen oder zu unterstützen.

Gleichzeitig sind auch die Verbindungen auf Sitz- und Passgenauigkeit oder auf Schädigungen der Holzstruktur im Anschlussbereich der Verbindung zu überprüfen. Hieraus resultierende Verformungen, Verdrehungen, Verschiebungen oder Schiefstellungen von Bauteilen oder Bindern beeinflussen das bestehende Tragsystem und können ebenso zu Zwangsbeanspruchungen führen. Ferner ist auf ausgeknickte, gebrochene oder beschädigte Bauteile (s. Abb. 20), verschobene Auflager, Korrosionsschäden an Stahlteilen und auf wirkungslose Kopfbänder, Binde- und Zwischenhölzer zu achten. Schädigungen in Verbindungen und Anschlüssen sind zunächst zu sichern, bevor die langfristige Kraftübertragung wiederhergestellt wird. Die erforderlichen Mindestdicken und Mindestabstände sind bei ergänzenden mechanischen Verbindungsmitteln nach SIA 265:2012 hierbei einzuhalten.

Festgestellte Risse infolge einer Querzugbeanspruchung sind mit Sofortmassnahmen zu stabilisieren oder zu unterstützen. Denn bereits kleinste Änderungen in der Beanspruchungssituation können zu einem spontanen spröden Risswachstum führen und das komplette Versagen des Bauteils respektive der Konstruktion hervorrufen.

Für den Nachweis der Tragsicherheit sind vorhandene Risse als Verminderung wirksamer Flächen oder Querschnitte nach SIA 269/5:2011 zu berücksichtigen. Anhand der erarbeiteten Risskartierung sind insbesondere ausgeprägte Rissbilder in Bereichen der Zug- oder Biegezone sowie im Auflagerbereich zu prüfen und zu sanieren. Die Stabilität und Funktionstüchtigkeit des Tragwerkes können durch eine erste visuelle Untersuchung erfasst werden. Weiterführend können Probelastungen durchgeführt werden.



Abb. 20: Ausknicken von druckbeanspruchten Obergurten an Brettbindern

7 METHODEN DER VISUELLEN UND HANDNAHEN UNTERSUCHUNG

7.1 Generell

Mit der visuellen/handnahen Untersuchung wird grundsätzlich das gesamte Bauwerk sowie dessen Umfeld betrachtet. Die gezielte Kombination der Tätigkeiten mit einfachen technischen Hilfsmitteln ermöglicht das Erkennen von:

- Verfärbungen, mechanische und biologische Schädigungen im Querschnitt
- verwendeten Materialien, Holzarten, Oberflächenbehandlungen, Klebstoffen
- Hohlräumen und Rissen
- Deformationen
- Chemischen Einwirkungen

Die visuelle und handnahe Untersuchung wird unter Einsatz von einfachen technischen Hilfsmitteln durchgeführt. Tabelle 3 gibt einen Überblick von möglichen Hilfsmitteln und damit durchzuführenden Prüfungen wie erkennbaren Schädigungen. Die Untersuchung kann ein sich wiederholender, iterativer Vorgang sein. Da der Einfluss von klimatischen oder betrieblichen Bedingungen infolge wechselnder Nutzungen oder Umgebungsbedingungen erst durch ein mehrmaliges Besichtigen besser abgeschätzt werden kann.

Die Durchführung der visuellen/handnahen Untersuchung gibt einen Überblick zum gegenwärtigen Zustand des Bauwerkes und der vorherrschenden Situation. Neben dem Feststellen der effektiven Ausführung können vorhandene Verformungen, Schädigungen infolge Überbeanspruchungen, Risse sowie Querschnitts- und Festigkeitsminderungen des Holzes erkannt werden.

Tabelle 3: Hilfsmittel für die visuelle/handnahe Untersuchung

Hilfsmittel	Tätigkeit	Erkennen von
Massband, Distanzmessgerät, Massstab, Schiebelehre	Massaufnahme	Geometrie, Querschnittsabmessungen,
Stechbeitel, Schraubenzieher	Anreissen, Einstechen, Anbohren	Holzart, Holzqualität, Pilzbefall, Insektenbefall
Schlagwerkzeug, Hammer	Anklopfen, Anschlagen	Hohlräume, Pilzbefall, Insektenbefall
Blattlehre (Ventillehre), Rissmassstab, Rissbreitenmesser, Schiebelehre	Beurteilung der Risstiefe und Rissbreite	Rissen
Lupe und Taschenmikroskop	Visuelle Betrachtung	Erkennen von Holz und Klebstoff, Rissen
Indikator- oder Nachweislösungen, ph-Papier	Einfache chemische Prüfung	Oberflächenbehandlung, Klebstoff, Holzart, externe chemische Einwirkungen
Nivelliergerät, Wasserwaage	Geometrische Überprüfung	Deformation
Zuwachsbohrer (d = 5 mm) für die Entnahme von Kernproben	Bohren	Holzart, Holzqualität, Pilzbefall, Insektenbefall
Endoskop	Visuelle Betrachtung	Hohlräume, verdeckte Bauteile, Pilzbefall, Insektenbefall
Schraubenschlüssel, Drehmomentenschlüssel	Mechanische Überprüfung	Kraftschluss bei mechanischen Verbindungen
Fotoausrüstung	Dokumentieren	Nachvollziehbarkeit

Für die ersten Abschätzungen der Auswirkungen sowie für die Spezifikation von Rissbildern oder biologischen Befall wird ein hohes Fachwissen vorausgesetzt. Ausgenommen der Massaufnahme sind die Ergebnisse zumeist qualitativ, subjektiv und hängen sehr von der Erfahrung und des Vorgehens des Anwenders ab.

Achtung: Innenliegende Schäden oder verdeckte Bauteile oder Anschlüsse können in der reinen visuellen und handnahen Untersuchung unerkant bleiben.

7.2 Rissaufnahme/-kartierung

Die Rissaufnahme und Risskartierung erfolgt an gerissenen Bauteilen des Holztragwerkes sowohl für Vollholz, Brettschichtholz und Holzwerkstoffe. Gleichfalls sind Rissentwicklungen an formschlüssigen wie mechanischen Verbindungen zu erfassen.

Die Rissaufnahme erfolgt durch eine visuelle handnahe Untersuchung des Bauteils. Als Hilfsmittel zur Erfassung der Risslänge R_L , Rissbreite R_B und Risstiefe R_T dienen Massstab, Messband und Rissmassstab, (Abb. 21 bis Abb. 24). Für die Detektion des Rissursprungs empfiehlt sich der Einsatz einer Lupe. Weiterführend kann die Anwendung des Zuwachsbohrers, der Ultraschallechotechnologie oder die mobile Röntgenblitzröhre in verdeckten Bauteilsituationen oder für Risse im Bauteilinneren Ergebnisse liefern.

Die Rissaufnahme kann in Anlehnung an die Norm DIN 4074-1:2003 erfolgen. Die Norm sieht vor, dass die Risstiefen in den drei Viertelpunkten der Risslänge mit einer 0,1 mm dicken Fühlerlehre (Ventillehre, Blattlehre) zu messen sind. Als Risstiefe R_T eines Risses gilt der Mittelwert aus den drei Messungen an den Stellen t_1 , t_2 , t_3 , s. Abb. 25. Die Risstiefe wird in der Norm DIN 4074 1:2003 als projizierte Fläche über der Bauteilbreite definiert, (Abb. 26).



Abb. 21: Risslängenmessung an der Pos. 3/16



Abb. 22: Risstiefenmessung mit Blattlehre an Pos. 1/07



Abb. 23: Rissbreitenmessung an Pos. 2/14

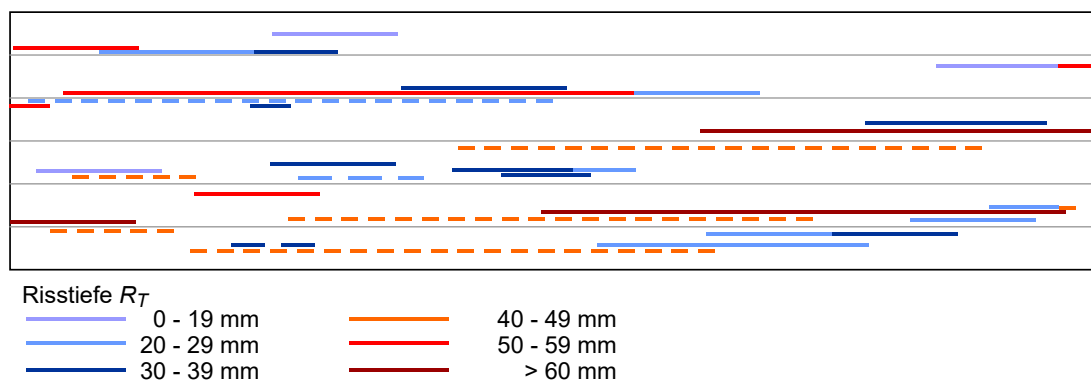


Abb. 24: Kartierung von Rissen aufgrund einer genauen Zustandserfassung, Vorderseite (kontinuierliche Linie) und Rückseite (gestrichelte Linie)

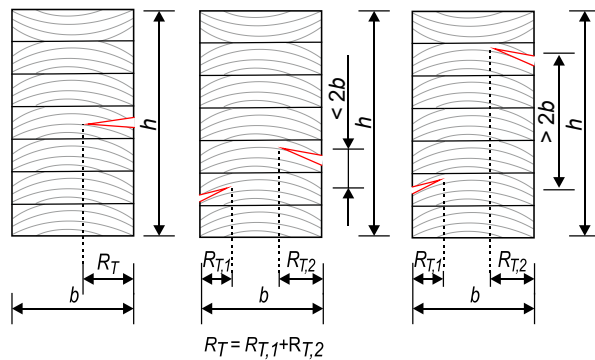
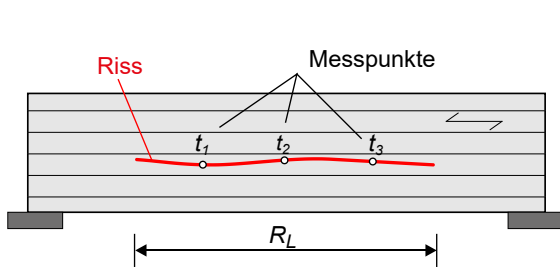


Abb. 25: Schematische Darstellung der Bestimmung Risstiefe gemäss DIN 4074-1:2003 Abb. 26: Risstiefen gemäss DIN 4074-1:2003

Ebenfalls zu beachten ist der Zeitpunkt der Rissaufnahme. Eine hohe relative Luftfeuchte während der visuellen Begutachtung kann dazu führen, dass aussenliegende Risse aufgrund des gequollenen Holzes geschlossen und somit nicht sichtbar sind. In diesem Fall ist die Zustandserfassung zu einem anderen Zeitpunkt zu wiederholen.

Die Bewertung der Rissart, der gemessenen Rissgrößen sowie deren Häufigkeit ist für jeden Einzelfall individuell durchzuführen. Im Speziellen sind hierbei der Tragwerkstyp, das statische System wie die statische Funktion des Bauteils für die Gesamtstabilität des Tragwerkes, z. B. Haupt- oder Nebenträger, einzubeziehen. Zudem sind die derzeitige wie zukünftige Nutzung und die resultierenden klimatischen Randbedingungen entscheidend für die Beurteilung.

Im Nachweis der Tragsicherheit sind vorhandene Risse als Verminderung der effektiven Querschnittsfläche für generell zu berücksichtigen. Für Schwindrisse in primär schubbeanspruchten (auflagernäheren) Bereichen wie auch in querzugbeanspruchten Bauteilen infolge Längskraft (z. B. Firstbereiche von Satteldachträgern) gelten folgende Grenzwerte nach SIA 269/5:2011:

- Schubbeanspruchung: Risstiefe ≤ 30 % der Querschnittsbreite für Brettschichtholz
 Risstiefe ≤ 40 % der Querschnittsbreite für Vollholz
- Querzugbeanspruchung: Risstiefe ≤ 20 % der Querschnittsbreite für Brettschichtholz

Für die Bestimmung des wirksamen Querschnittes wird empfohlen im Querschnitt gegenüberliegende Risse mit einem Abstand kleiner 2-mal der Trägerbreite zu addieren. Demgegenüber werden gegenüberliegende Risse mit einem Abstand grösser 2-mal der Trägerbreite getrennt betrachtet, s. Abb. 26.

Für die Beurteilung der Rissgrößen in querzugbeanspruchten Bereichen spielen die speziellen Bauwerksgegebenheiten häufig eine noch größere Rolle als bei Rissen in schubbeanspruchten Bereichen. So sind bei der Beurteilung von „Querzug“-Rissen die speziellen lokalen Belastungsverhältnisse, die gegebenenfalls «risstreibend» wirken können, wie z. B. abgehängte Lasten im unteren Bereich der Querschnittshöhe, explizit zu berücksichtigen.

Der Nachweis der Tragsicherheit bei festgestellten Delaminierungen ist nach SIA 269/5:2011 stets für den Einzelfall zu bewerten.

8 REFERENZEN

- SIA 269:2011, Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 269/1:2011, Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 269/3:2011, Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 269/ 5:2011, Erhalten von Tragwerken – Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 469:1997, Erhaltung von Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 2017:2000, Merkblatt Erhaltungswert von Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 2018:2004, Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SN EN 13183-1:2002, Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SN EN 13183-2:2002, Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SN EN 13183-3:2005, Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 3: Schätzung durch kapazitives Messverfahren, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SN EN 14080:2013, Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz - Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Aicher S., Radovic B., Folland G. (2001) Befallswahrscheinlichkeit durch Hausbock bei Brettschichtholz, IRB-Verlag, Deutschland, ISBN 978-3-8167-5977-5
- Brühwiler E. (2011) Verständigung, Grundsätze und Grundlagen beim Umgang mit bestehenden Tragwerken. In: Dokumentation SIA D 0240: Erhaltung von Tragwerken - Vertiefung und Anwendung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Dokumentation SIA D 0239, 2011: Erhaltung von Tragwerken - Einführung. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Dokumentation SIA D 0240, 2011: Erhaltung von Tragwerken – Vertiefung und Anwendung; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Ehlbeck J., Görlacher R. (1987) Erste Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an alten Konstruktionsholz. In: Jahrbuch 1987 SFB 315 (1988), S. 235-248.
- Franke B., Widmann R. (2012) Zustandserfassung und Verstärkung von Brettschichtholz, In: SAH-Tagungsband - Mechanische Verbindungen im mehrgeschossigen Holzbau, 44. Fortbildungskurs 2012, S. 193-202
- Frech P. (1986) Beurteilungskriterien für Rissbildungen im konstruktiven Holzbau, Frauenhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Fuhrmann C., Pizio S. (2019) Lignatec: Erhaltung von Holztragwerken. ISSN 1421-0320, Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Zürich
- Graf E., Meili M. (2001) Lignatec: Holzzerstörende Pilze und Insekten; Analyse, Prognose, Bekämpfung, ISSN 1421-0320, Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Zürich
- Kastner R. (2000) Alte Holzbauwerke – Beurteilen und Sanieren, Verlag Bauwesen, Berlin, ISBN 3-345-00614-6
- Keylwerth R., Noack D. (1964) Die Kammertrocknung von Schnittholz, Holz als Roh- und Werkstoff, 22 (1964), S. 29-36.
- Kretschmann D.E. (2010) Mechanical Properties of wood. In: Wood Handbook- Wood as an Engineering Material, Forest Products Laboratory • United States Department of Agriculture Forest Service • Madison, Wisconsin
- Müller A. (2008) Methoden der Zustandserfassung bei Bauwerken aus Holz, Referat, Holzbautag, Biel/Bienne
- Niemz P. (1993) Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe, DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden-Echterdingen.
- Radovic B., Wiegand T. (2005) Oberflächenqualität von Brettschichtholz, Bauen mit Holz 7/2005
- Schulze H. (1997) Baulicher Holzschutz; Informationsdienst Holz; Holzabsatzfond Bonn, DGfH München.
- Sell J., Graf E., Richter S., Fischer J. (1995) Lignatec: Holzschutz im Bauwesen, ISSN 1421-0320, Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Zürich
- Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2010: Merkblatt: Sanierung von BS-Holzbauteilen, Wuppertal, Deutschland, www.brettschichtholz.de

Holzerstörende Insekten und Pilze, Methoden der Erkennung und Vorgehen

Urs Stalder
Bernere Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Biel

1 EINLEITUNG

Holz als natürliches Material ist unter gewissen Bedingungen biologisch abbaubar. Dabei spielen holzerstörende Insekten und Pilze eine wesentliche Rolle. In der Natur ist diese Eigenschaft wünschenswert und führt die im Holz gespeicherte Sonnenenergie und die Stoffe am Ende des Lebenszyklus eines Baumes wieder in den Kreislauf zurück und lässt so andere Lebewesen daran teilhaben. Im verbauten Zustand versuchen wir aber, diese Abbauprozesse möglichst zu verhindern oder zu verzögern.

Dass Holz von Insekten und Pilzen angegriffen und zerstört werden kann, hängt von den folgenden Faktoren ab:

- Holzart
- Holzfeuchte
- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Licht, ...)

Im verbauten Zustand zusätzlich

- Konstruktiver Holzschutz
- Chemischer Holzschutz
- Wartung und Unterhalt der Holzkonstruktion

Der vorliegende Beitrag gibt einen kurzen Überblick über einige holzabbauende Organismen, Methoden der Erkennung eines Befalls und Methoden der Bekämpfung von Schadorganismen. Für vertiefte Informationen wird auf die verwendete und weiterführende Literatur verwiesen.

2 PILZE

2.1 Entwicklungsbedingungen

2.1.1 Substrat

Holzbewohnende Pilze ernähren sich entweder von den Holzinhaltstoffen wie Zucker oder Stärke oder dann vom eigentlichen Holzgewebe (Zellulose, Lignin). Einige Pilze sind spezialisiert auf Nadel- oder Laubholz oder beides. Einige auf Kern- oder Splintholz oder beides.

Befallen und abgebaut können auch andere holzhaltige Produkte, wie Papier, Holzwerkstoffe, Baumwolle, usw.

Einige Holzarten werden nicht oder kaum von Pilzen befallen und abgebaut. Sie sind durch holzeigene Stoffe gegen einen Pilzbefall geschützt. Diese Resistenz wird in 5 Klassen dargestellt (höchste Resistenz: Klasse 1). Splintholz ist immer Resistenzklasse 5.

2.1.2 Umweltbedingungen

Um sich entwickeln können, brauchen Pilze günstige Umweltbedingungen. Dazu gehören Sauerstoff, einen gewissen Temperaturbereich und vor allem Feuchtigkeit. Der Pilz braucht sie einerseits für die Keimung der Sporen und andererseits für die Ausscheidung der Enzyme und den Nährstofftransport.

Nachfolgend sind von einigen Pilzarten die beobachteten Umweltbedingungen aufgeführt. Je nach Quelle bestehen teilweise beträchtliche Unterschiede in den Angaben.

Für die meisten Pilzarten liegt das Optimum im Bereich der Fasersättigung ($u = 28 - 32\%$). Wenn diese Bedingungen nun über einen längeren Zeitraum gegeben sind (> 6 Monate), kann sich ein schädlicher Pilzbefall entwickeln.

Tab. 1: Feuchte- und Temperaturansprüche einiger Pilzarten (Quelle: Lignatec 14/2001 ergänzt)

Pilze	Holzfeuchtigkeit in %	Temperaturbereich in °C (optimal)
Braunfäulepilze generell	mind. ca. 25 opt. ca. 50 - 60	18 - 31
Echter Hausschwamm	mind. 20 opt. ca. 30 - 40	18 - 22
Weiss- und Moderfäulepilze	mind. 30 opt. 40 – 70	18 - 28
Schimmelpilze	mind. 18 opt. 25 - 70	24 - 28
Bläuepilze	mind. 30 opt. 30 - 80	ca. 5 - 35

2.2 Entwicklung von Pilzen

Die Entwicklung von Pilzen kann anhand eines Kreislaufs gut dargestellt werden, vgl. Abb. 1.

Sporen

Sie werden vom Fruchtkörper gebildet und sorgen für die Verbreitung des Pilzes. Pilzsporen können sehr langlebig sein und auch nach langer, inaktiver Zeit bei guten Bedingungen noch auskeimen. Aus diesem Grund ist die Gefahr der Verbreitung durch Verschleppung der Sporen gross.

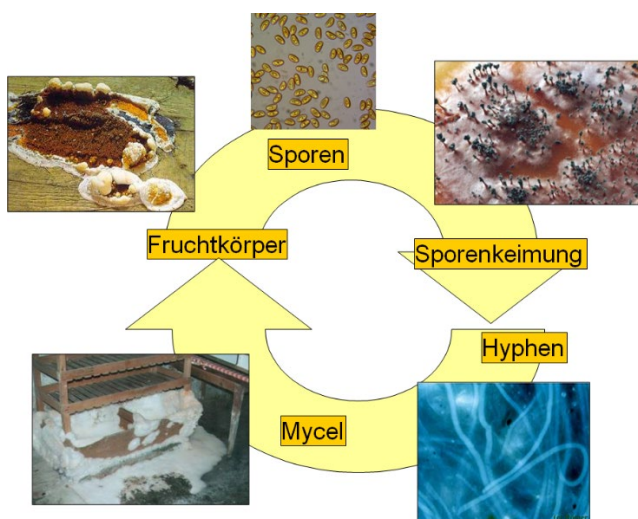


Abb. 1: Entwicklungskreislauf von Pilzen

Sporenceimung

Wenn Sporen auf einen geeigneten Nährboden (Substrat) fallen und dazu günstige Umweltbedingungen vorhanden sind, keimen sie aus.

Hyphen

Aus den Sporenceimen bilden sich Pilzfäden, welche zu einem Geflecht verschmelzen und als gesamtes das Myzel bilden.

Myzel

Die Myzelstränge machen die Nährstoffe für das Pilzwachstum zugänglich. Durch das Ausscheiden von Enzymen lösen sie Zellinhaltsstoffe oder Zellwandsubstanzen des Holzes auf. Sie sind somit verantwortlich für die eigentlichen Schäden und kommen sowohl im Innern wie auch auf der Holzoberfläche (Oberflächenmyzel) vor.

Fruchtkörper

Fruchtkörper erscheinen meistens als gut sichtbare schwammartige Gebilde, die aber nur ein Teil des Pilzes sind. Wird dieser entfernt, geht die Holzerstörung durch das Myzel gleich weiter. Der Fruchtkörper erzeugt im Innern oder auf der Oberfläche Sporen, über die sich die Pilze fortpflanzen. Der Kreislauf ist somit geschlossen.

Mit Ausnahme der Sporenceimung dienen alle diese Bestandteile und Entwicklungsstufen als Erkennungsmerkmale für die Bestimmung von Pilzen.

2.3 Einteilung von holzbewohnenden Pilzen

Eine erste Eingrenzung eines Befalls lässt sich anhand des Befallsbildes machen. So sind Braunfäule (Destruktionsfäule) und Weissfäule (Korrosionsfäule) auch für Laien recht einfach zu unterscheiden.

Da bei der Braunfäule in erster Linie die Zellulose abgebaut wird bleibt das Lignin übrig und führt zu Längs- und Querrissen im Holz. Das zeigt sich in einer würfelartigen Struktur.

Bei der Weissfäule werden Lignin und Zellulose gleichzeitig abgebaut. Das Holz nimmt eine hellen bis weisslichen Farbton an. Es löst sich in Faserbüscheln auf.

Für die Einteilung der holzbewohnenden Pilze gibt es diverse Möglichkeiten. Die Einteilung nach Abb. 4 hat sich für die Baupraxis einigermassen gut bewährt.



Abb. 2: Braunfäule mit typischer Würfelstruktur an einer Parkbank



Abb. 3: Weissfäule mit faseriger Struktur, Befall an einem Baumstrunk

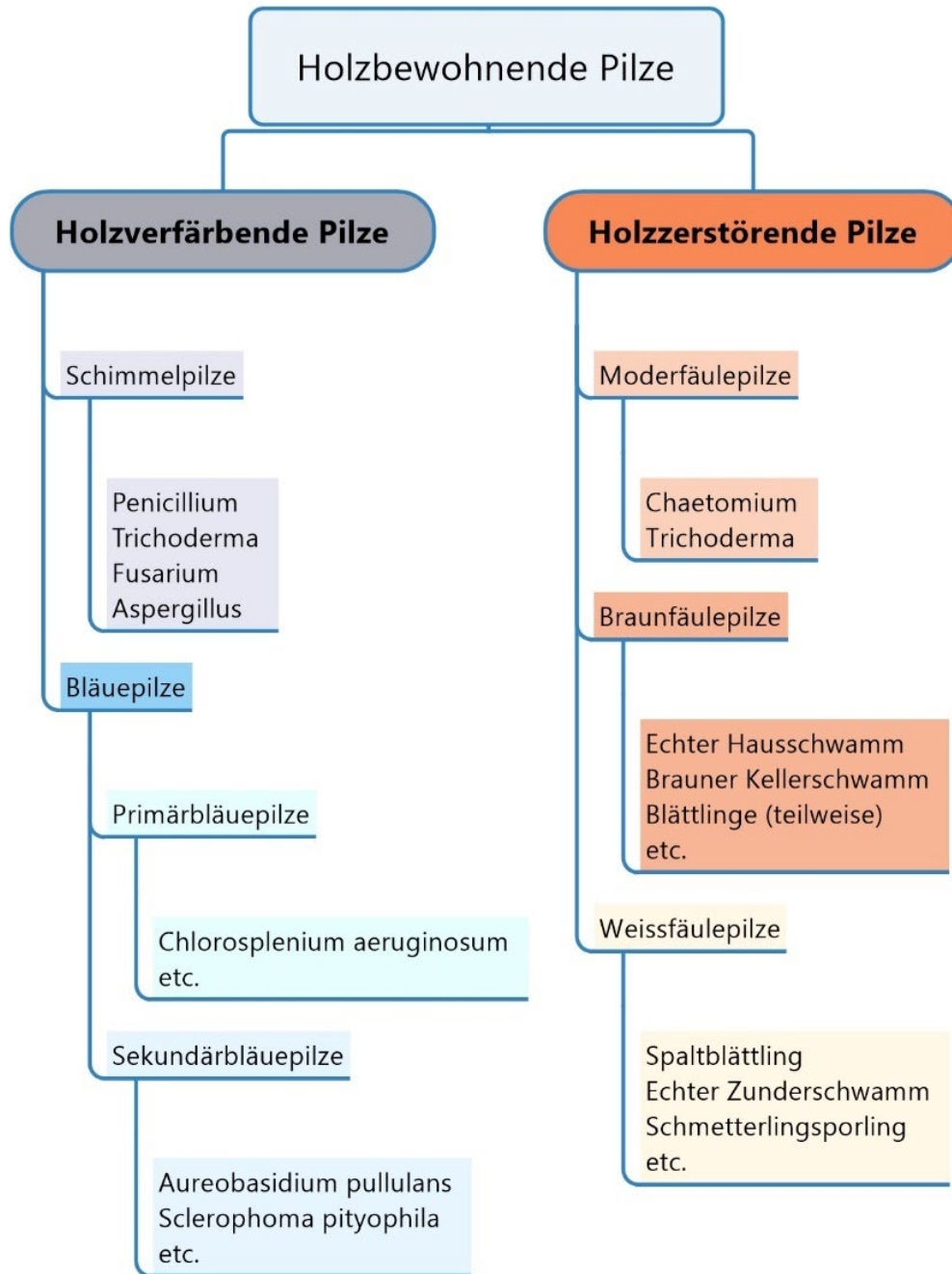


Abb. 4: Mögliche Einteilung von holzbewohnenden Pilzen (nur Auswahl)

Auch wenn Schimmel- und Bläuepilze keine Strukturschäden am verbauten Holz verursachen, sind sie doch untrügliche Zeichen, dass die Umgebungsbedingungen pilzfreundlich sind. Sie entwickeln sich meistens vor den holzerstörenden Pilzen und dienen so als «Zeigerpilze».

Auch die Unterscheidung von Primär- und Sekundärbläue kann hilfreich sein. So lässt sich beispielsweise eindeutig feststellen, ob Bauholz feucht eingebaut wurde oder nachträglich wieder feucht geworden ist.

3 INSEKTEN

Gleich wie bei den Pilzen, sind auch Insekten auf gewisse Lebensbedingungen angewiesen, damit sie sich entwickeln und vermehren können.

3.1 Substrat

Mehr noch als Pilze sind holzbewohnende Insekten auf bestimmte Holzarten oder Holzartengruppen spezialisiert. So wird ein Hausbock nie ein Laubholz befallen. Er ist spezialisiert auf europäische Nadelhölzer und lebt dabei vorwiegend im Splintholz. Diese Spezialisierung kann deshalb für eine Erkennung gut herangezogen werden. In der nachstehenden Tabelle Tab. 2 sind einige gut bekannte Trockenholzinsekten und ihr bevorzugtes Substrat aufgeführt.

Tab. 2: Trockenholzinsekten und ihre Holzarten

Holzart	Hausbock	Nagekäfer	Splintholzkäfer
Fichte	☺	☺	
Tanne	☺	☺	
Lärche	☺	☺	
Föhre (Kiefer)	☺	☺	
Buche		☺	
Eiche		☺	☺
Nussbaum / Ulme		☺	☺
Abachi / Limba		☺	☺

Eine grundsätzliche Unterscheidung ist auch die Einteilung in Frischholz- und Trockenholzinsekten. Frischholzinsekten, befallen frisch gefällte Bäume oder auch noch stehendes Bäume (Rundholz) oder frisch eingeschnittenes Schnittholz. Sie befallen kein verbautes Holz. Wird befallenes Holz hingegen ohne Wärmebehandlung z.B. durch technische Trocknung mit einer Temperatur von > 55°C verbaut, können ausfliegende Käfer durch ihr Ausflugsloch Schäden bei Luftdichtigkeitsschichten oder Sperrfolien verursachen.

Trockenholzinsekten hingegen können auch verbautes Holz mit einer Holzfeuchtigkeit unter 18% befallen und so zu Schäden an Bauten führen.

3.2 Umweltbedingungen

Auch Insekten haben ihre bevorzugten Umweltbedingungen. Am schnellsten entwickeln sie sich natürlich unter optimalen Bedingungen. Sie sind jedoch fähig auch bei schlechteren Bedingungen zu überleben. Die Entwicklung dauert dann eben länger.

Tab. 3: Feuchte- und Temperaturansprüche einiger Trockenholzinsekten (Quelle: Lignatec 14/2001 ergänzt)

Insekt	Holzfeuchtigkeit in %	Temperaturbereich in °C (optimal)
Hausbock	mind. ca. 11 opt. ca. 18 - 30	24 - 30
Nagekäfer	mind. 13 opt. ca. 20 - 35	18 - 24
Splintholzkäfer	mind. 7 opt. 16	26 - 27

3.3 Entwicklung von Insekten

Bei der Entwicklung vom Ei zum eigentlichen Käfer durchläuft das Insekt vier Stadien: Ei – Larve – Puppe – Käfer (Vollinsekt). Sie stellen die sogenannte Generationsdauer dar, die bei den einzelnen Insektenarten unterschiedlich lang ist.

Bei den meisten einheimischen Käferarten dauert dieser Entwicklungszyklus gewöhnlich mehrere Jahre. Dabei sind das Ei- und Puppenstadium im Allgemeinen sehr kurz und erstrecken sich nur auf wenige Wochen oder sogar nur Tage. Auch der fertig entwickelte Käfer lebt mit meist nur drei bis fünf Wochen nicht lange. Daher ist die Lebenszeit als Larve sehr lang und kann sich über mehrere Jahre erstrecken.

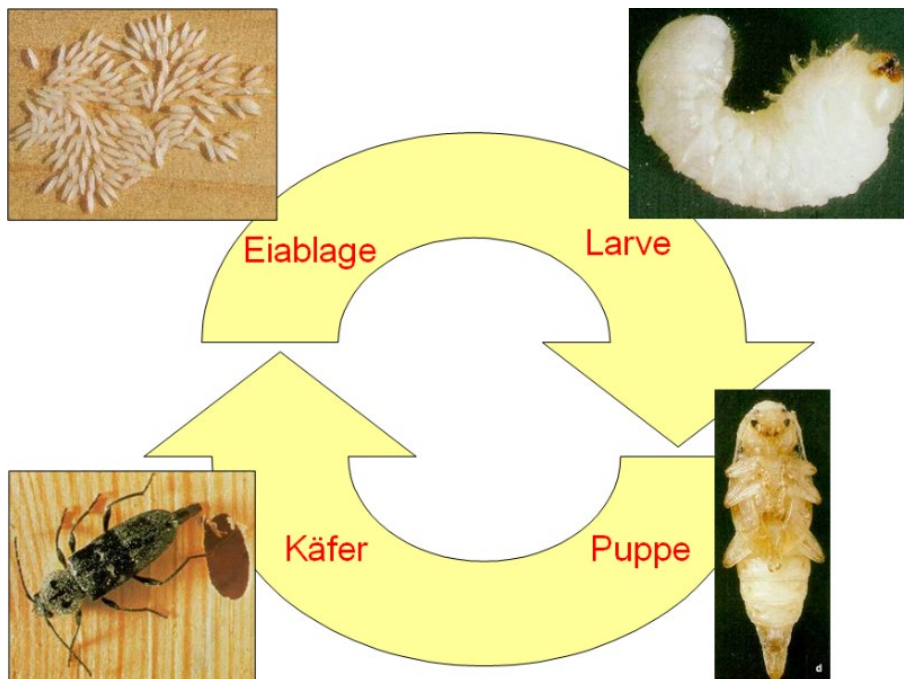


Abb. 5: Entwicklungskreislauf von Insekten

Eiablage

Das Käferweibchen legt mit einer Legeröhre winzige Eier in kleine Risse, Spalten, alte Ausfluglöcher und auch grosse Poren des Holzes. Auf der glatten Holzoberfläche werden diese Eigelege natürlich nicht, wie oben dargestellt, abgelegt. Von einem Weibchen werden oftmals mehrere hundert Eier produziert.

Larve

Aus den Eiern schlüpfen die Larven und beginnen, sich durch das Holz zu nagen. Dabei hinterlassen sie die für jeden Käfer charakteristischen Frassgänge. Sie hinterlassen Frassmehl und arttypische Kotpartikel.

Unter günstigen Lebensbedingungen und gutem Nährstoffangebot entwickeln sich die Larven rasch. Während dieser Zeit fressen sie entsprechend viel. Liegen ungünstige Umweltbedingungen bzw. Nährstoffgehalte des Holzes vor, kann sich das Larvenstadium um Jahre verlängern. In dieser Zeit fressen sie allerdings nicht sehr viel; sie kümmern vor sich hin oder sterben ab.

Puppe

Die Puppenwiege ist meistens dicht unter der Holzoberfläche. Jetzt erfolgt die Umwandlung zum Insekt.

Insekt

Das schlüpfende Insekt frisst sich aus dem Holz und hinterlässt ein charakteristisches Flugloch, das unterschiedlich gross ist, rund oder oval sein kann.



Abb. 6: Schadensbild des Hausbocks an einem Pfosten in einem ausgebauten Dachstock

Auch hier können die einzelnen Lebensphasen und Merkmale oder Hinterlassenschaften für die Erkennung und Bestimmung des betreffenden Insekts hergenommen werden. Am einfachsten ist die Bestimmung natürlich, wenn ein Vollinsekt vorliegt. Alternativ kann aber auch mit den anderen Merkmalen ein Schädling erkannt oder zumindest eingegrenzt werden. Abb. 7 zeigt einen schön gezeichneten Vergleich von diversen Schadinsekten.

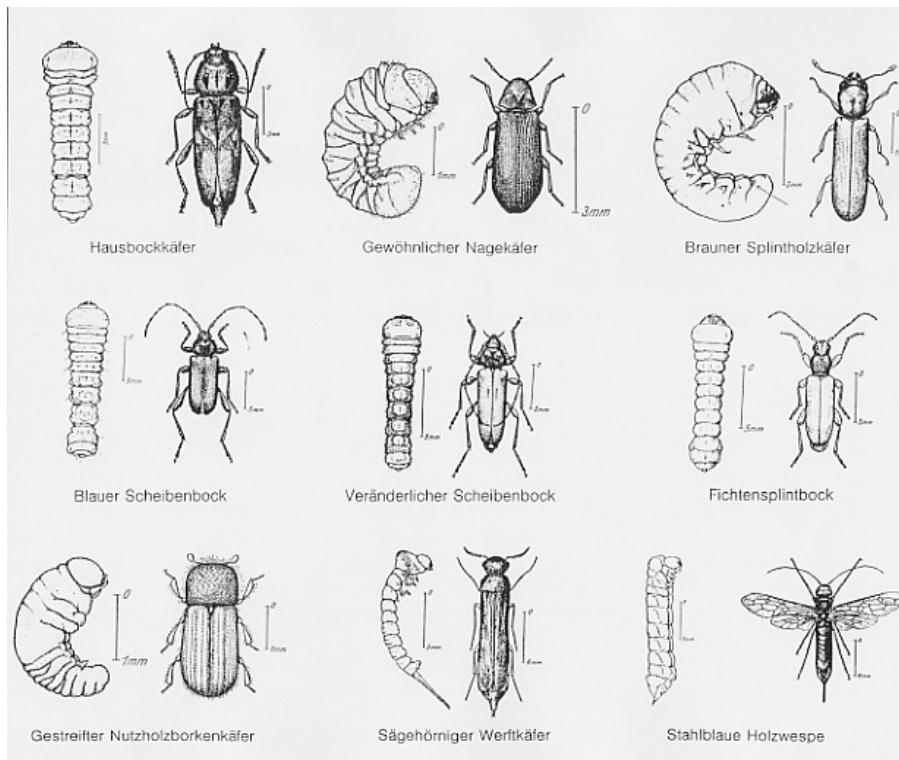


Abb. 7: Gegenüberstellung der Larven und Käfer verschiedener Holzschädlingen. (Grosser D. 1985)

4 VORGEHEN

Sanierungen von befallenen Holzbauteilen sind anspruchsvoll. Damit eine Sanierung erfolgreich durchgeführt werden kann und eine nachhaltige Wirkung zeigt, ist eine globale Sicht notwendig. Die Richtlinie der EMPA/Lignum "Lignatec 14/2001, Holzerstörende Pilze und Insekten - Analyse, Prognose, Bekämpfung" erklärt im Einzelnen die Sanierung von Pilze und Insektenschäden. Dabei sind die folgenden Verfahrensschritte einzuhalten (siehe auch Abb. 8):

- Analyse und Diagnose
- Prognose
- Bekämpfung
- Vorbeugende Massnahmen

Analyse Diagnose	Einsicht	<ul style="list-style-type: none"> • Ausräumen • Freilegen der Konstruktion • Reinigen der Konstruktion • Bei Hausschwamm befallene Teile entfernen
	Organismen	<ul style="list-style-type: none"> • Genaue Bestimmung des Schädlings
	Bauphysik	<ul style="list-style-type: none"> • Feuchtigkeit überprüfen • Ursache erhöhter Feuchtigkeit feststellen • Feuchtequelle beseitigen • Konstruktion dauerhaft austrocknen
	Statik	<ul style="list-style-type: none"> • Beurteilung der Tragfähigkeit • Stark geschwächte Bauteile ausbauen und ersetzen • Ev. Anbringen von Verstärkungen
Prognose	Ausbreitung	Ist eine weitere Ausbreitung zu erwarten? <ul style="list-style-type: none"> • Nein: keine weiteren Massnahmen • Ja: chemische und/oder physikalische Bekämpfung
Bekämpfung		<ul style="list-style-type: none"> • Aktiver Hausschwamm: chemische oder thermische Verfahren bekämpfend (P_b, Barrierebildung im Mauerwerk) • Aktiver Insektenbefall: chemische oder thermische Verfahren bekämpfend (I_b)
Vorbeugen	Bauphysikalische Massnahmen genügend	<ul style="list-style-type: none"> • Keine weiteren Massnahmen
	Bauphysikalische Massnahmen ungenügend	<ul style="list-style-type: none"> • Hausschwamm: chemische Verfahren (P, P_b) • Insekten (I_v).

Abb. 8: Die Phasen der Sanierung biogener Holzschäden (aus Lignatec 14/2001)

4.1 Methoden der Bekämpfung

Für die Bekämpfung steht eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, welche alle ihre Vor- und Nachteile, ihre Möglichkeiten und Grenzen haben.

Die verschiedenen Methoden können unterteilt werden in folgende Gruppen:

- Behandlung/Massnahmen mit Holzschutzmitteln
- Thermische Verfahren
- Elektrophysikalische Verfahren
- Begasungsverfahren
- Biologische Verfahren
- Weitere Verfahren

Tab. 4: Methoden und Verfahren der Bekämpfung

Verfahren / Bekämpfung	Wirksamkeit		
	gegen Pilze	gegen Insekten	vorbeugend
Streichen mit Holzschutzmittel	ja	ja	ja
Spritzen mit Holzschutzmittel	ja	ja	ja
Tauchen in Holzschutzmittel	ja	ja	ja
Bohrlochtränkung	ja	ja	ja
Holzschutzmittel mittels Druckapparaten injizieren	ja	ja	ja
Depotverfahren mit Festsalzstäbchen	ja	nein	ja
"Schwalbennester «mit Mauerwerkschutzmitteln	ja	nein	ja
Schaumverfahren	ja	ja	ja
Heissluftverfahren	ja	ja	nein
Feuchtegeregeltes Warmluftverfahren	bedingt	ja	nein
Kontaktheizungsverfahren	ja	ja	nein
Kälteverfahren	nein	ja	nein
Lötlampen für Hitzebehandlung von Mauerwerk	ja	nein	nein
Mikrowellentechnik			
Hochfrequenztechnik	ja	ja	nein
Infrarotstrahler für die Hitzebehandlung von Mauerwerk	ja	nein	nein
Begasung mit Stickstoff	nein	ja	nein
Begasung mit CO ₂	nein	ja	nein
Begasung mit giftigen Gasen	ja	ja	nein
Biologische Bekämpfung mit Organismen	ja	ja	nein
Insektenfalle mit Duftstoffen	nein	ja	ja
Behandlung mit amorphem Siliciumdioxid	nein	ja	nein

Für die gewerbliche Anwendung von Holzschutzmitteln und die Anwendung von giftigen Gasen wird in der Schweiz je eine entsprechende Fachbewilligung gebraucht. Ausserdem dürfen in der Schweiz nur zugelassene Holzschutzmittel eingesetzt werden.

Für die Anwendung von Mikrowellentechnik ist bewilligungspflichtig. Die ausführende Person muss einen entsprechenden Strahlenschutzkurs besucht haben.

Nach jeder Behandlung ist ein Protokoll mit den wichtigsten Angaben zu erstellen und in geeigneter Form zu archivieren. Bei Behandlung mit Holzschutzmitteln ist zudem die Kennzeichnung der behandelten Bauteile wichtig, um bei späteren Arbeiten an diesen Stellen die notwendigen Arbeitsschutzmassnahmen vorsehen zu können.

Ausserdem ist vielfach ein Monitoring sinnvoll, um die Wirksamkeit der Massnahmen zu überprüfen.

5 VERWENDETE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- Kempe K. (2009), Holzschädlinge.: Vermeiden, Erkennen, Bekämpfen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Reul H. (2007), Handbuch Bautenschutz und Bausanierung, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln
- Mankel, W. et al. (2010) Schutz des Holzes IV, Beiträge aus Praxis, Forschung und Weiterbildung, FORUM EIPOS, Band 23, expert verlag, Renningen
- Marutzky R., Willeitner H., Radiovic B., Hertel H., Grosser D. (2013), Holzschutz, Praxiskommentar zu DIN 68800 Teile 1 bis 4
- Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau (2009), Leitfaden Fachbewilligung Holzschutz, Biel
- Graf E., Meili M. (2001), Lignatec 14/2001, Holzzerstörende Pilze und Insekten, Analyse, Prognose, Bekämpfung, Lignum, Zürich
- Fuhrmann C., Pizio S. (2019) Lignatec Erhaltung von Tragwerken, Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Zürich
- Hach A., Schwarze F. (2018) Schweizerisches Holzschutzmittelverzeichnis 2018, 1. Teil: Informationen zum Thema Holzschutz, Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Zürich
- Leisse B., Löfflad H. (-), Lehrgangsskript, Kapitel 4.4, Holzbehandlung und Holzschutz zum Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen
- Grosser, D. (1985), Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschädlinge. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner KG
- Binker G., Flohr E, Brückner G, Huckfeldt T., Noldt U., Parisek L., Rehbein M., Wegner R. (2014), Praxis-Handbuch Holzschutz: Vorbeugen, Beurteilen, Sanieren, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln
- Rüpke H.J., Kürsten E. (2021), holzfragen.de, Bürogemeinschaft Sachverständigenbüro für Holzschutz, Hannover
- Binker Materialschutz GmbH (2021), binker.eu, Lauf a.d. Pegnitz

Bewertung der Holzfeuchte und deren Auswirkungen

Dr. Bettina Franke, Marcus Schiere, Prof. Dr. Steffen Franke, Prof. Andreas Müller
Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

1 EINLEITUNG

Holz ist ein hygroskopisches Material und in der Lage aus dem umgebenden Klima Feuchtigkeit aufzunehmen oder abzugeben. Die sogenannte Holzfeuchte (MC) beeinflusst die Materialfestigkeiten und Steifigkeiten wie auch das Langzeittragverhalten. Für den Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit wird dieses Materialverhalten in der SIA 265:2012 oder der SN EN 1995-1-1:2004 über die drei Feuchteklassen: Feuchteklasse 1 mit einer mittleren Holzfeuchte unter 12 M%; Feuchteklasse 2 mit einer Holzfeuchte von 12 M% bis 20 M%; und Feuchteklasse 3 für Holzfeuchten über 20 M%, berücksichtigt. Die Bedeutung der Holzfeuchte in Bezug auf mögliche Schäden im Holzbau zeigt die Studie von Frese & Blaß (2011), wo 50 % aller untersuchten Objekte eine Schädigung oder Versagen infolge von Holzfeuchtewechseln oder niedrigen und hohen Holzfeuchten aufweisen. Da die Verteilung der Holzfeuchte über den Querschnitt häufig nicht konstant ist entstehen durch das anisotrope Feuchte-Dehnungsverhalten interne Spannungen senkrecht zur Faser (Feuchte induzierte Spannungen, MIS). Diese Spannungen können leicht die charakteristische Zugfestigkeit senkrecht zur Faser von 0.4 N/mm² überschreiten und zur Rissentwicklung führen, Jönsson (2004), Möhler & Steck (1980). In gekrümmten Brettschichtholzträgern können diese Spannungen u.a. auch zum kompletten Tragverlust, wie bei Aicher et al. (1998) oder Gustafsson et al. (1998) gezeigt, führen.

Die Holzfeuchte u ist das Massenverhältnis von nassem und trockenem Holz gemäss Gleichung (1) und wird in Massenprozent [M%] angegeben. Die Holzfeuchte kann exakt durch Darrproben nach SN EN 13183-1:2002 oder durch Messungen des elektrischen Widerstandes bzw. bei Kenntnis des direkten Umgebungsklimas über die rechnerische Ausgleichsfeuchte anhand der Sorptionsisothermen bestimmt werden, s. Abschnitt 0.

$$u = \frac{m_{\text{nass}} - m_{\text{trocken}}}{m_{\text{trocken}}} \cdot 100 \% \quad [\text{M}\%] \quad (1)$$

Der Feuchtegehalt im Holz kann in zwei Stufen unterschieden werden. Bis zum Erreichen des sogenannten Fasersättigungsbereiches wird das Wasser hygroskopisch gebunden in die Zellwände eingelagert und führt hierdurch zum Schwinden und Quellen des Holzes. Über den Fasersättigungsbereich hinaus wird das Wasser frei in Hohlräume gelagert, vgl. Abb. 1. Der Fasersättigungsbereich ist Holzartenspezifisch und liegt bei ca. 28-30 M% für nordeuropäische Holzarten. Unterhalb des Fasersättigungsbereich ändern sich die physikalischen und mechanischen Eigenschaften, es tritt ein Schwinden und Quellen des Holzes ein. Oberhalb des Fasersättigungsbereiches erfolgt kein Schwinden und Quellen mehr aber bei anhaltenden erhöhten Holzfeuchtegehalt über den Fasersättigungsbereich besteht eine Gefährdung durch holzerstörende Pilze.

Der Einfluss der Holzfeuchte auf das Tragwerk wurde in den Forschungsprojekten «Langzeituntersuchung zu den Auswirkungen wechselnder Feuchtegradienten in blockverleimten Brettschichtholzträgern», WHFF 2013.06, und «Qualitätssicherung von Holztragwerken», WHFF 2016.17, ausführlich betrachtet. Die Forschungsprojekte wurden durch den Wald und Holzforschungsfond des Bundesamtes für Umwelt gefördert. Im Folgenden sind die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse auszugsweise mit dargestellt.

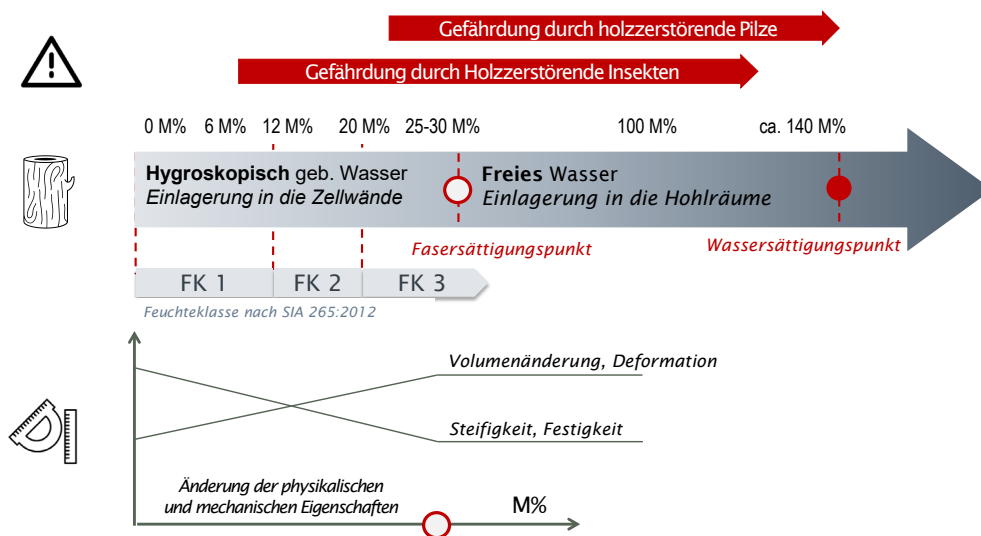


Abb. 1: Darstellung des Holzfeuchtegehaltes und dessen Beziehungen zur Feuchteklasse, mechanischen und physikalischen Eigenschaften und den Gefährdungen des Holzes

2 TYPISCHE KLIMASITUATIONEN IN HOLZTRAGWERKEN

Für verschiedene Bauwerkskategorien sind Richtgrößen für die zu erwartende Holzfeuchte in Bezug auf die relative Luftfeuchte in der Nutzungsphase in den Tragquerschnitten erarbeitet worden, siehe Abb. 2. Die Diagramme basieren auf Messungen der Holzfeuchte und des Klimas an Holztragwerken von Gamper et al. 2014, Franke et al. 2016c und Franke et al. 2019. Die Holzfeuchten sind auf eine Tiefe von 15 mm von der Oberfläche des Querschnittes bezogen. Ausreisser in Form von täglichen Spitzenwerten sind nicht berücksichtigt. Die Wertebereiche der Holzfeuchte bezogen auf die relative Luftfeuchte sind für beheizt/klimatisierte sowie offene Holztragwerke, die vor Witterungseinflüssen geschützt sind, unterschieden. Anhand der Richtgrößen kann eine Zuordnung von Gebäuden (z. B. Schwimmbäder, Ökonomiegebäude und Eishallen) in die Feuchteklassen lt. SIA 265:2012 erfolgen und die auftretenden Feuchteänderungen innerhalb eines Jahres/Nutzung abgeleitet werden.

Die Richtgrößen sind auf eine Messtiefe von 15 mm von der Oberfläche bezogen, vorliegende Messwerte in anderen Tiefen wurden entsprechend rückgerechnet. Die tatsächliche Ausgleichsfeuchte ist objektspezifisch und abhängig von dem jeweiligen Klima im Gebäude respektive dem Standort. Schwimmbäder sind klimatisiert und mit Entfeuchtungsanlagen auszuführen, ansonsten sind wesentlich höhere Holzfeuchten zu erwarten. Sporthallen und Produktionshallen weisen eine sehr niedrige Holzfeuchte auf; hier ist lt. Dietsch (2017) insbesondere die erste Winterperiode in der Nutzung bzgl. Heizen/Befeuchten zu beachten. Geschlossene Eishallen sollten klimatisiert und mit geregelten Entfeuchtungsanlagen ausgeführt werden, ansonsten entstehen sehr hohe Holzfeuchten, besonders an der Querschnittsoberfläche, die der Eisfläche zugewandt ist. In Reithallen sollte in der Regel eine stetige Luftzirkulation durch minimale Öffnungen im Fensterbereich sichergestellt sein und die Befeuchtung des Bodens sollte auf das Nötigste beschränkt werden, Dietsch (2017).

Ökonomiegebäude weisen einen erhöhten Holzfeuchtegehalt auf, dem i. d. R. über grössere Öffnungen zur Luftzirkulation entgegengewirkt wird. Diese Öffnungen sollten bei Niederschlag automatisch schliessen. Durch die anstehenden Reinigungsintervalle kann es kurzzeitig zu hohen Feuchtebeanspruchungen kommen, hier ist insbesondere der Spritzwasserbereich in der Planung und Zustandserfassung zu beachten, Dietsch et al. (2018). In Lagerhallen ist der Holzfeuchtegehalt abhängig von der Art des Lagergutes und -klimas. Mit Wechsel des Lagergutes ist die Änderung des Lagerklimas zu beachten, dies kann zu einer Aufweitung respektive Abtrocknung des Holzes führen, was wiederum mit einer Rissentwicklung verbunden sein kann. Für Brücken kann, unter Einhaltung des konstruktiven Holzschutzes, mit einem Feuchtegehalt unterhalb von 20 M% gerechnet werden, Franke et al. (2016a, 2015).

In gut durchlüfteten und vor der direkten Witterung geschützten Holztragwerken erreicht die relative Luftfeuchtigkeit den Maximalwert im Winter und den Minimalwert im Sommer. In geheizten Holztragwerken ist der tendenzielle Verlauf genau umgekehrt, im Winter ist es trockener mit niedriger relativer Luftfeuchte und im Sommer ist es feuchter mit hohen relativen Luftfeuchten. Diese Beziehungen sind für die Zustandserfassung insbesondere zur Risskartierung zu beachten, da nur bei niedrigen Luftfeuchten die Risse geöffnet und vollumfänglich erfasst werden können.

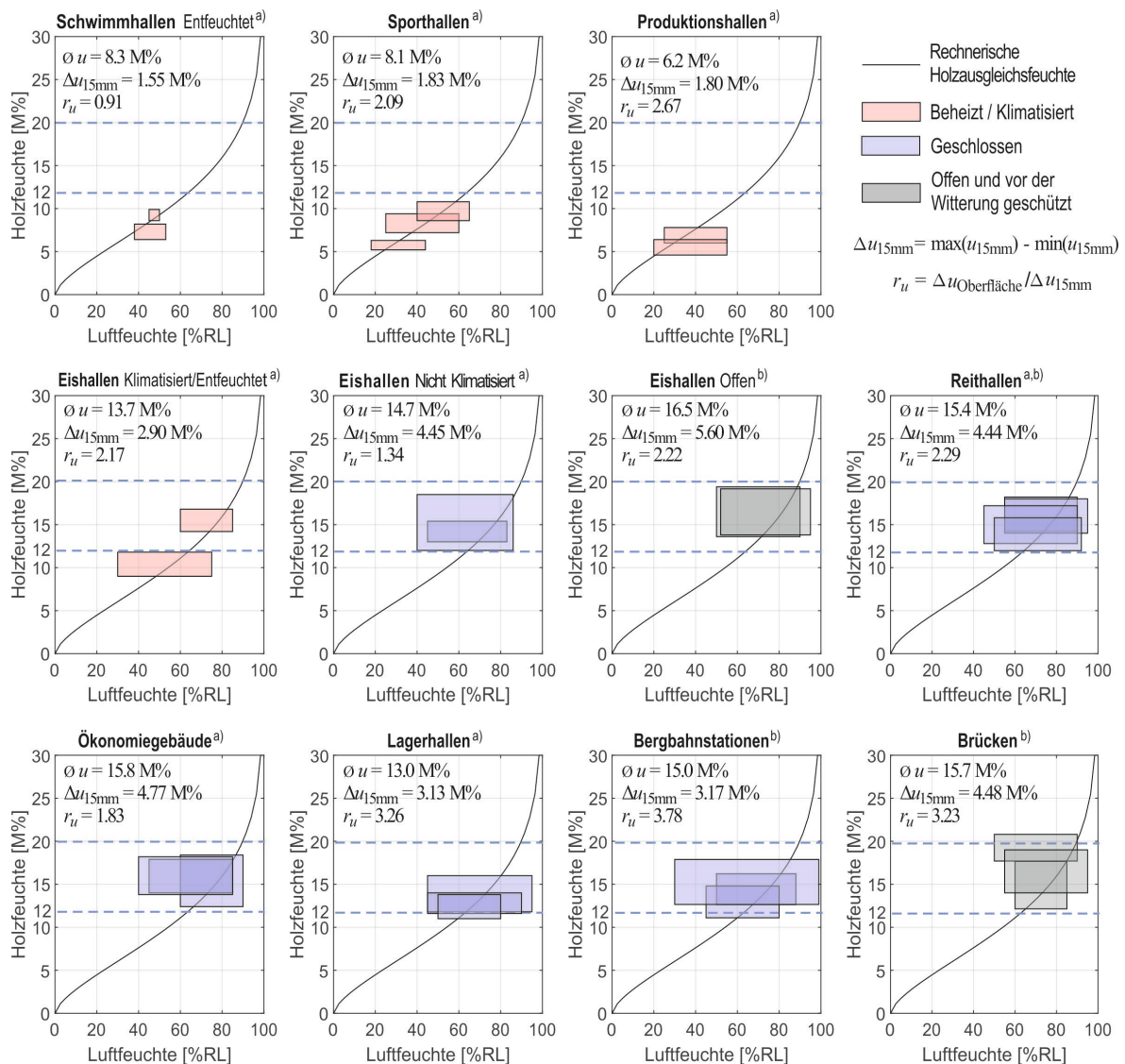


Abb. 2: Veranschaulichung der jahresdurchschnittlichen Holzfeuchten und -schwankungen in einer Tiefe von 15 mm von der Querschnittsoberfläche je Gebäudetyp, abgeleitet aus Messungen der Holzfeuchte in Süddeutschland (mit ^{a)} gekennzeichnet und basierend auf Messungen von Gamper et al. 2014) und der Schweiz (mit ^{b)} gekennzeichnet und basierend auf Messungen von Franke et al. 2019)

3 HOLZFEUCHTEMESSUNG

3.1 Generell

Für die Messung der Holzfeuchte stehen verschiedene Methoden mit unterschiedlicher Genauigkeit und Anwendungsspektrum zur Verfügung. Im Folgenden werden das kapazitive Messverfahren, das Widerstandsmessverfahren, die Messung anhand von Sorptionsisothermen wie auch das Darrverfahren näher vorgestellt. In Abb. 3 ist eine Übersicht zu den Messmethoden für die Holzfeuchte in der Zustandserfassung und in Abb. 4 die Holzfeuchtemessung mit einem elektrischen Widerstandsmessgeräte am Objekt gezeigt.

Mit der Darrmethode kann man den exakten Holzfeuchtwert anhand entnommener Proben lt. SN EN 13183-1:2002 bestimmen. Für zerstörungsfreie Messungen stehen die indirekten Verfahren zur Verfügung. In Abb. 5 ist die bekannte Messung der Holzfeuchte mit dem Elektrischen Widerstandsverfahren dem Verfahren mit Sorptionsisotherme gegenübergestellt. Gerade bei kühleren Temperaturen und einer möglichen Behandlung des Holzes mit Schutz- und Imprägniermitteln ist das Sorptionsisothermenverfahren von Vorteil. Ferner ist das Sorptionsisothermenverfahren Faserrichtungsunabhängig einsetzbar. Das elektrische Widerstandsverfahren ist demgegenüber von aussen einfach einsetzbar wie auch austauschbar und die Holzfeuchte kann mit geeigneten Messgeräten sofort abgelesen werden. Im Bereich des Monitorings und der Qualitätsüberwachung von Holztragwerken stehen noch weitere spezielle Ausführungen oder Methoden zur Verfügung, die im Referat «Monitoring von Tragwerken und Brücken in Holz» B. Franke et al. (2021) in diesen Kursunterlagen näher erörtert werden.

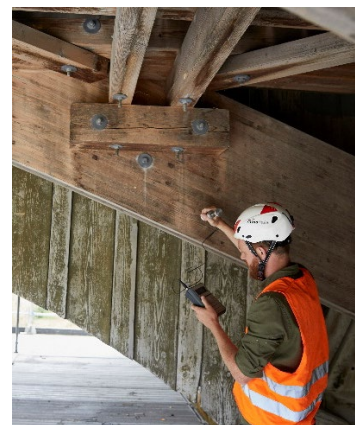
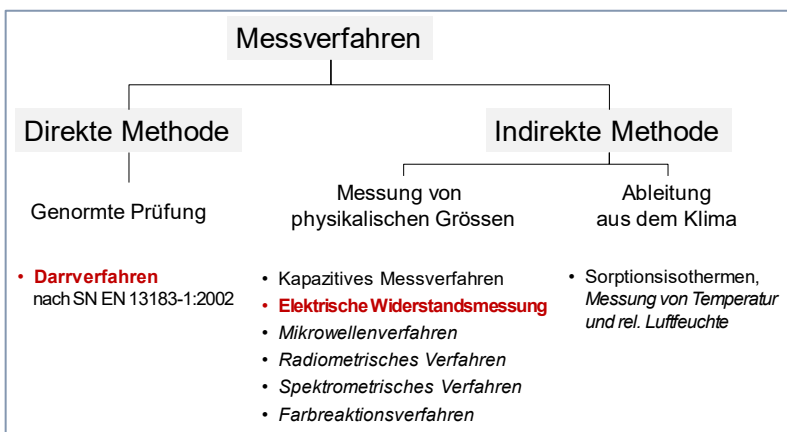


Abb. 3: Übersicht zu den Messmethoden des Holzfeuchtegehaltes, in Anlehnung an Niemz (1993)

Abb. 4: Messung des Holzfeuchtegehaltes

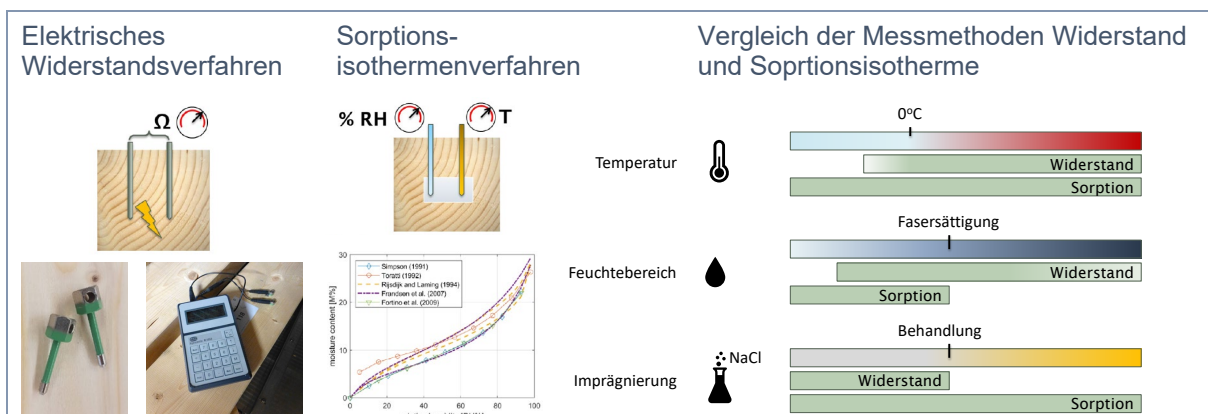


Abb. 5: Elektrisches Widerstandsmessverfahren (links), Sorptionsisothermenverfahren, Vergleich zwischen Elektrischer Widerstandsmessung und Sorptionsisothermen bzgl. Temperatur- und Feuchtebereich und evtl. Imprägnierung des Holzes

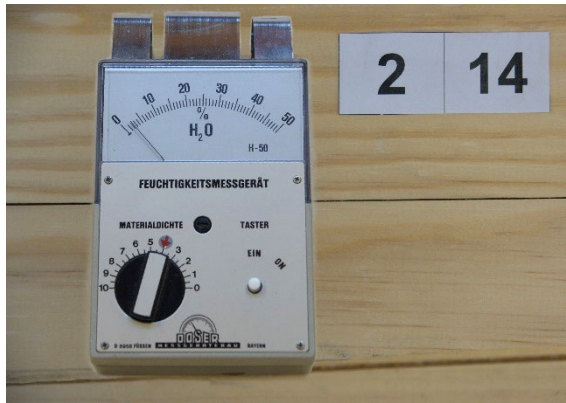


Abb. 6: Kapazitatives Verfahren



Abb. 7: Elektrische Widerstandsmessverfahren

3.2 Das Kapazitives Verfahren

Das kapazitive oder dielektrische Messverfahren bestimmt den Holzfeuchtegehalt über den Einfluss der Feuchte auf den kapazitiven Widerstand respektive die dielektrische Leitfähigkeit. Das Kapazitätsverfahren ist zerstörungsfrei und kann an bestehenden Holzkonstruktionen uneingeschränkt angewandt werden. Die Messung erfolgt über den flächigen Kontakt des Messgerätes mit der Holzoberfläche in einer gerätespezifischen Querschnittstiefe von ca. 0 bis 35 mm, (s. Abb. 6). Der Messbereich für dieses Verfahren beginnt bereits bei 2 M% Holzfeuchte. Als Ergebnis stehen aber nur über die Querschnittstiefe gemittelte Werte zur Verfügung.

3.3 Das Elektrische Widerstandsmessverfahren

Das Messverfahren beruht auf der elektrischen Leitfähigkeit von Holz, die mit zunehmendem Wassergehalt ansteigt, Keylwerth & Noack (1956). Zur Messung werden zwei Elektroden ins Holz eingebracht und der zwischen ihnen vorliegende elektrische Widerstand gemessen, (Abb. 7). Der Messwert der Holzfeuchte ist weiterhin von der Holztemperatur abhängig, die bei der Messung durch eine Temperaturkompensation zu berücksichtigen ist. In den Messgeräten sind zumeist Kennlinien für die verschiedenen Holzarten und eine Temperaturkompensation integriert, so dass der Holzfeuchtegehalt direkt angezeigt wird. Im Messbereich von etwa 6 M% bis ca. 25 M% Holzfeuchte beträgt die Messgenauigkeit $\pm M2\%$. Ab etwa 25 M% Holzfeuchte liegt eine zunehmende Ungenauigkeit vor. Das Messverfahren sollte bei Temperaturen unter 0 °C vorsichtig und ab -5°C nicht mehr eingesetzt werden, da hier die Wassermoleküle im Holz beginnen zu gefrieren und sich die Leitfähigkeit von Holz ändert. Die Messdaten können dann mit einem grösseren Fehler behaftet sein.

Zur Messung der Holzfeuchte sollten nur isolierte Elektroden verwendet werden. Mit diesen kann die Messung in unterschiedlichen Tiefen des Querschnittes (z. B. 10 mm, 25 mm, 40 mm) exakt erfolgen. Hierdurch wird die Möglichkeit geboten den Aufwechungs- vom Abtrocknungsprozess zu unterscheiden. Für Langzeitmessungen oder dem Monitoring von Tragwerken stehen ebenfalls spezielle Elektroden für den festen Einbau zur Verfügung.

3.4 Das Sorptionsisothermenverfahren

Der Holzfeuchtegehalt kann auch anhand von Sorptionsisothermen bestimmt werden. Dieses Verfahren wird zum einem zur ersten Abschätzung bei Kenntnis des Raumklimas genutzt oder zum anderem im Monitoringsbereich zur Überwachung von Holztragwerken. Anhand von Temperatur- und Luftfeuchtemessdaten und vorliegender holzartenspezifischer Sorptionsisotherme kann, die sich beim vorliegenden Klima einstellende Ausgleichsfeuchte vom Holz abgeleitet werden. Dies entspricht für Messwerte im Raum/Umgebung bei einem vorliegenden dynamischen Klimawechsel (Jahreszeiten) dem oberflächennahen Holzfeuchtegehalt und bei konstant geregelten Klima auch dem Holzfeuchtegehalt in tieferen Schichten des Querschnittes. Zum anderen wird diese Methode bei Monitoringobjekten eingesetzt, wo die Temperatur und relative Luftfeuchte mit speziellen Messsonden

in einem kleinen versiegelten Hohlraum im Inneren des Holztragwerkes gemessen wird. Gerade in Bereichen mit langanhaltenden Temperaturen unterhalb von 0 – 5°C wird dieses Verfahren bevorzugt eingesetzt. Die Auswertung der Holzfeuchte erfolgt mit Modellen, die den Zusammenhang zwischen gemessenen Parameter beschreiben, z.B. für Fichtenholz nach Gleichung (2) von Simpson (1973). Worin T die Temperatur in °C und φ die relative Luftfeuchtigkeit in [%/100] ist. Leimfugen, Salze (Streusalz), Schutz- und Imprägniermittel haben keinen Einfluss auf die Messung mit der Sorptionsmethode.

$$u_{\text{Ausgleichsfeuchte}} = \frac{1800}{M_p} \left(\frac{K_1 \varphi}{1 - K_1 \varphi} + \frac{K_2 K_1 \varphi + 2K_3 K_2 K_1^2 \varphi^2}{1 + K_2 K_1 \varphi + K_3 K_2 K_1^2 \varphi^2} \right) \quad (2)$$

Mit

$$\begin{aligned} M_p &= 349 + 1.29T + 1.35 \cdot 10^{-2} T^2 \\ K_1 &= 0.805 + 7.36 \cdot 10^{-4} T - 2.73 \cdot 10^{-6} T^2 \\ K_2 &= 6.27 - 9.38 \cdot 10^{-3} T - 3.03 \cdot 10^{-4} T^2 \\ K_3 &= 1.91 + 4.07 \cdot 10^{-2} T - 2.93 \cdot 10^{-6} T^2 \end{aligned} \quad (3)$$

3.5 Das Darrverfahren

Für das sehr exakte Darrverfahren ist es notwendig, Probekörper aus dem Bauteil zu entnehmen. Das Darrverfahren eignet sich zur labortechnischen Bestimmung des Holzfeuchtegehaltes und ist zusätzlich für Holzwerkstoffe, wo die anderen Verfahren aufgrund der vorhandenen Klebstoffe und nicht vorliegenden Kennkurven nicht zuverlässig sind, geeignet.

Das Darrverfahren ist eine sehr exakte, aber nicht zerstörungsfreie Methode und kann nur mit entsprechender Labortechnik gemäss SN EN 13183-1:2002 durchgeführt werden. Zu Beginn wird die Masse des entnommenen Prüfkörpers m_u bestimmt. Anschliessend wird der Prüfkörper in einem Darrofen oder Trockenschrank bei 103 °C ± 2 °C bis zur Gewichtskonstanz gedarrt. Die Masse des getrockneten Prüfkörpers m_{dir} wird erneut bestimmt. Mit den erhaltenen Messwerten berechnet sich der Holzfeuchtegehalt u nach Gl. (1). Mit diesem Verfahren kann die Holzfeuchtigkeit mit 0,1 M% Genauigkeit bestimmt werden.

4 HINWEISE ZU FEUCHTEINDUZIERTEN SPANNUNGEN

4.1 Holzfeuchtegehalt über das Jahr

Die Schwankungen des Klimas übers Jahr führen zur Änderung des Feuchtegehaltes des Holzes. Durch die dynamischen Schwankungen des Klimas mit unterschiedlichen Amplituden und Perioden (Jahreszeit, Tag) entstehen ungleichförmige Holzfeuchteverteilungen über den Querschnitt. Für eine Reithalle ist in Abb. 8 das Innenklima und die gemessenen Holzfeuchten in den Tiefen 10, 25 und 40 mm für ein Messzeitraum von 1 Jahr dargestellt. Die aus dem Innenklima abgeleitete rechnerische Ausgleichsfeuchte an der Holzoberfläche wurde in einer numerischen Simulation als Einwirkung verwendet und die Holzfeuchteverteilung über den Querschnitt wie auch die resultierenden internen Spannungen berechnet, siehe Abb. 8. Die Kurven stellen die Umhüllende innerhalb des Messzeitraumes von einem Jahr dar.

In der Zustandserfassung wird in der Regel der Holzfeuchtegehalt ebenfalls über verschiedene Querschnittstiefen gemessen, um hierdurch die Verteilung über den Querschnitt und einen möglichen Abtrocknungs- vom Aufweichungsprozess zu unterscheiden. Die rechnerische Ausgleichsfeuchte im Querschnittinneren wird sich je nach Dimension erst über eine längere Nutzung (im Laufe von Wochen, Monaten, Jahren) einstellen.

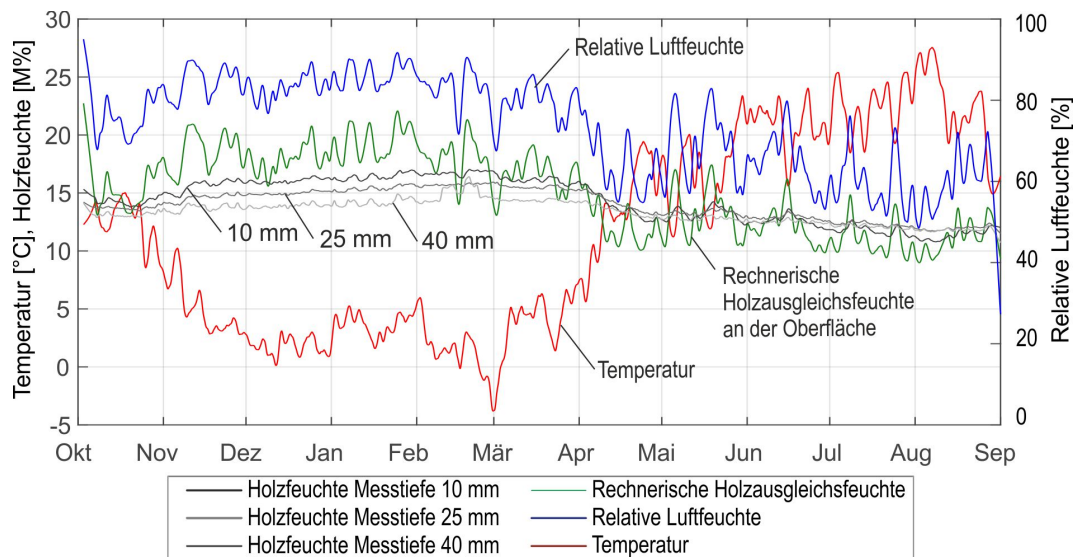


Abb. 8: Klima und gemessene Holzfeuchten für eine Reithalle

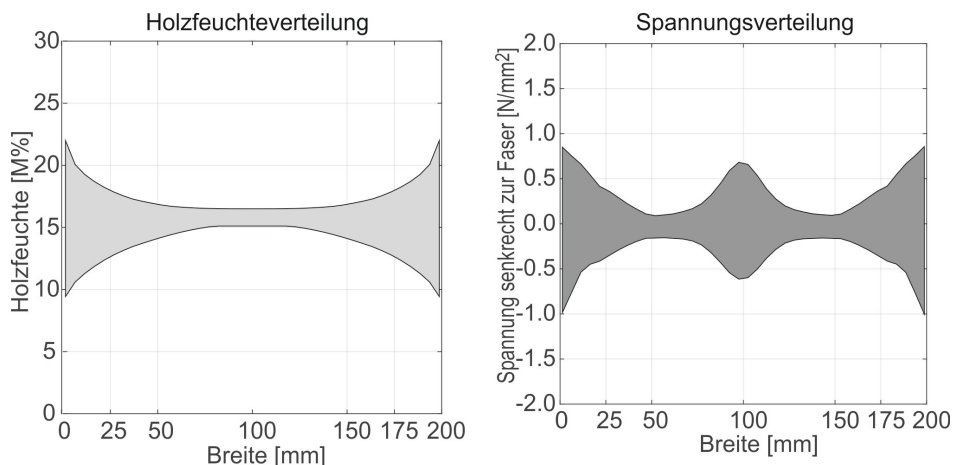


Abb. 9: Holzfeuchte- (links) und Spannungsverteilung (rechts) im Querschnitt als Umhüllende für die Berücksichtigung der Jahresschwankungen im gemessenen Klima der Reithalle aus Abb. 8

4.2 Feuchteinduzierte Spannungen

Am Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur der Berner Fachhochschule ist ein numerisches Modell entwickelt worden, welches anhand von Klimadaten den Holzfeuchtegehalt, die Dimensionsänderung und die Spannungsverteilung für Tragquerschnitte berechnet. Die Berechnungen für den Holzfeuchtetransport beruhen auf dem 2. Fick'schen Gesetz, und für das zeitabhängige Spannungs-Dehnungsverhalten sind die elastischen, feuchteabhängigen und mechanosorptiven Dehnungen berücksichtigt. Die Grundlagen und die Validierung des Modells sind in Schiere (2016) und Franke et al. (2019) ausführlich gezeigt.

Für die vorgestellte Reithalle in Abschnitt 4.1 wurde die aus dem Innenklima abgeleitete rechnerische Ausgleichsfeuchte an der Holzoberfläche in einer numerischen Simulation als Einwirkung verwendet und die Holzfeuchteverteilung über den Querschnitt wie auch die resultierenden internen Spannungen berechnet, siehe Abb. 12. Die Kurven stellen die Umhüllende innerhalb des Messzeitraumes von einem Jahr dar und zeigen, dass aufgrund der jahreszeitlichen Klimaschwankungen Feuchtegradienten im Querschnitt vorliegen und sich daraus feuchteinduzierte Spannungen quer zur Faser entwickeln.

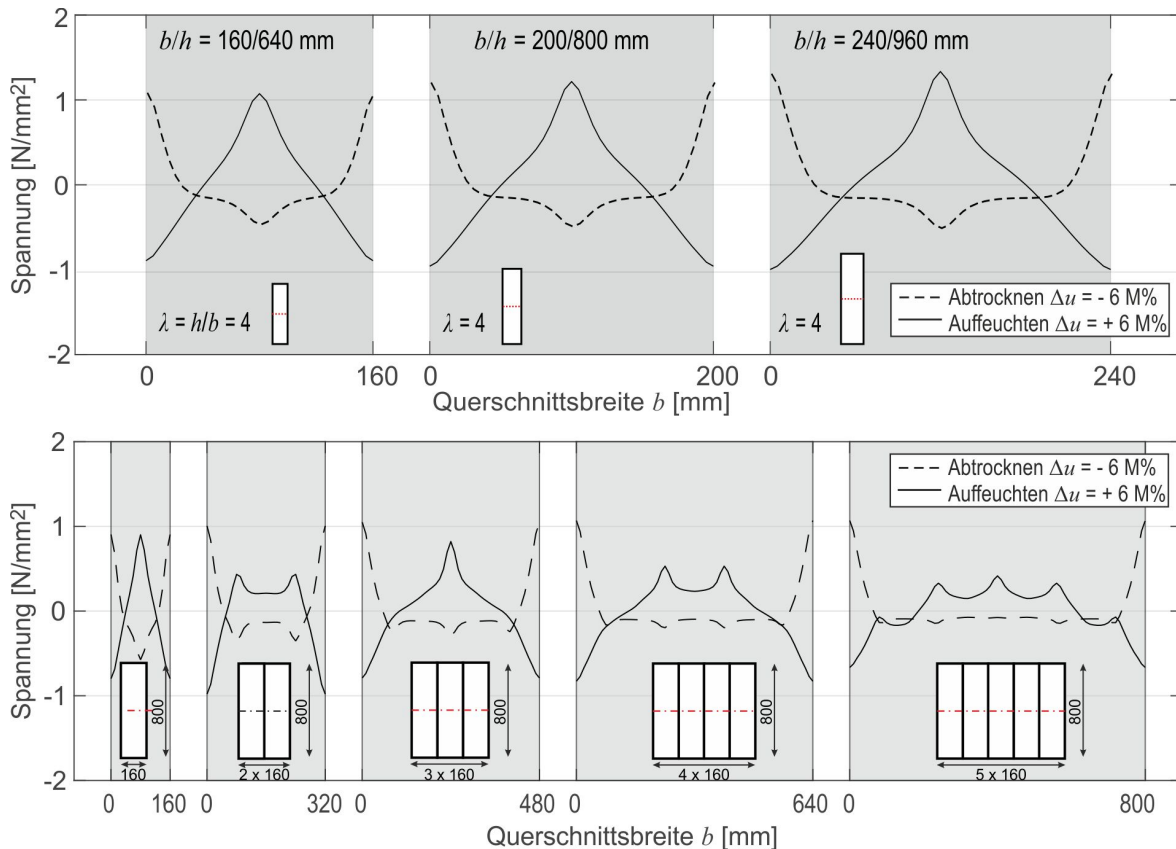


Abb. 10: Maximal berechnete Querzugspannungen über die Querschnittsmitte in Abhängigkeit von der Querschnittsgröße und Unterteilung des Querschnittes für eine stufenweise Klimaänderung

Parameterstudien mit dem numerischen Modell zeigen, dass die Größe des Klimawechsels die auftretenden feuchteinduzierten Spannungen im Querschnitt beeinflusst. Wohingegen die Querschnittsgeometrie keinen Einfluss auf die Spannungen senkrecht zur Faser an der Oberfläche im Zuge einer Auffeuchtung oder Abtrocknung hat. Das Zusammensetzen zu blockverleimten Querschnitten hat einen positiven Effekt auf die Entwicklung von Spannungen im Querschnittsinneren, siehe Abb. 10. Die Diagramme in Abb. 10 zeigen die transversalen Spannungsverteilungen über die Querschnittsbreite in Mitte der Querschnittshöhe zum Zeitpunkt der maximalen Querzugspannungen (im Inneren fürs Auffeuchten und an der Oberfläche fürs Abtrocknen) für eine stufenweise Klimaänderung. Der Zeitpunkt ist abhängig von der Querschnittsgröße. Für das Abtrocknen geschieht dies innerhalb von Tagen und für das Auffeuchten innerhalb von Wochen.

Das Zusammensetzen zu blockverleimten Querschnitten hat einen positiven Effekt auf die Entwicklung von Spannungen im Querschnittsinneren. In drei Punkten können Verbesserung erreicht werden: (1) gleichmäßigere Verteilung der transversalen Dehnungen, (2) kleinerer Bereich von Querdruckspannungen an der Oberfläche im Vergleich zu dem Bereich mit Querzugspannungen im Inneren, (3) Reduzierung der Spannungen durch Reduzierung der Schlankheit des Balkens. Die auftretenden Querzugspannungen an der Oberfläche während des Abtrocknens scheinen nicht durch die Geometrie beeinflusst. Sie ändern sich nur in Folge der vorliegenden klimatischen Beanspruchung.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Holz reagiert auf Wechsel im umgebenden Klima. Die mechanischen Eigenschaften von Holz sind abhängig von dem Holzfeuchtegehalt. Die in der SIA 265:2012 angegebenen Festigkeitskennwerte beziehen sich auf eine Holzfeuchte von $u = 12$ M%. Vorhandene Abweichungen der Holzfeuchte sind über die Feuchteklassen zu berücksichtigen.

Der Holzfeuchtegehalt ist ein Indikator für einen möglichen Befall von tierischen oder pflanzlichen Holzschädlingen. Ab einer Holzfeuchte von 6 M% kann es zu einem Befall mit holzzerstörenden Insekten kommen. Oberhalb des Fasersättigungspunktes von 26 – 32 M% besteht die Gefahr eines Befalls von holzzerstörenden Pilzen. Ein Pilzbefall kann aber auch bereits bei einer Holzfeuchte von mehr als 20 M% über einen Zeitraum von mehr als 6 Monaten eintreten.

Die ungünstigen Quersugspannungen entstehen querschnittsunabhängig an der Oberfläche bei abtrocknenden Umgebungsklima relativ schnell innerhalb von Tagen nach Beginn der Abtrocknung. Demgegenüber liegt eine Verzögerung für Phasen der Auffeuchtung vor, die zudem mit der Grösse des Querschnittes zunimmt. Abtrocknungsprozesse sind äusserst kritisch für die Rissentwicklung. Vorteilhaft ist, dass sie an der Oberfläche entstehen und in visuellen handnahen Untersuchungen leicht erfasst und bewertet werden können. Dies setzt voraus, dass die Begutachtung von Holztragwerken nach einer Abtrocknungsperiode stattfindet. Nach einer Auffeuchtungsperiode sind die Risse an der Oberfläche geschlossen und sind somit nicht sichtbar aber dennoch vorhanden.

Die Änderung des Holzfeuchtegehaltes ruft durch den Schwind- und Quellprozess des Holzes zusätzliche Spannungen im Querschnitt hervor, die zu Schwindrissen und Zwängungen oder Passungenauigkeiten in Anschlüssen führen können. Die Entwicklung von Quersugspannungen in Querschnittsmitte ist realistisch, aber nur unter langanhaltender klimatischer Beanspruchung. Risse unter diesen Umständen sind äusserlich nicht sichtbar in visuellen und handnahen Untersuchungen, aber dennoch vorhanden wie in Möhler & Steck (1980) gezeigt oder wie in zurückgebauten Holztragwerken ersichtlich. Gustafsson et al. (1998) berichtet, dass ein ausgeklinkter Träger kurzzeitig nach einer Auffeuchtung infolge der internen Spannungen auf Quersug versagte. Im Fall von z. B. gedübelten Anschlüssen mit Schlitzblechen können sehr leicht Risse infolge einer Klimabeanspruchung entstehen, die zu einer Reduzierung der Lastübertragung respektive zum Versagen des Tragwerkes führen, Rug (2007).

Die Phasen des Transports, der Lagerung bis zum Einbau oder nach Einbau die Periode bis zur Schliessung des Daches oder Fassade werden oft als Ursache für erste Schäden am Tragwerk genannt. Das Problem ist, dass das eigentlich geschützte Holztragwerk hier noch nicht durch die Fassade oder das Dach geschützt sind oder durch das Einbringen von Unterlagsböden ausserplanmässig klimatisch mit relativ hohen Luftfeuchten beansprucht werden.

6 DANKSAGUNG

Die Forschungsergebnisse sind im Projekt «Qualitätssicherung von Holztragwerken» erarbeitet worden. Das Forschungsprojekt wird vom Bundesamt für Umwelt, dem Wald und Holzforschungsfond, sowie von den Ingenieurbüros Makiol Wiederkehr AG, Primin Jung Ingenieure AG, Roth AG, Stalder Ingenieure und WaltGalmarini AG und den Wirtschaftspartnern Henkel & Cie AG, SFS unimarket AG, Würth AG Schweiz, finanziert. Ferner wird es von der Technischen Universität München und der Lund Universität Schweden wissenschaftlich unterstützt.

7 REFERENZEN

- Aicher S., Dill-Langer G., Ranta-Maunus A. (1998), Duration of load effect in tension perpendicular to the grain of glulam in different climates, *Holz als Roh- und Werkstoff* 56, pp. 295-305
- Blaß H.J., Schmid M. (2001), Querszugfestigkeit von Vollholz und Brettschichtholz, *Holz als Roh- und Werkstoff* 58, pp. 465-466
- Dietsch P., Jiang Y., Winter S. (2018) Landwirtschaftliches Bauen mit Holz – vorbeugender chemischer Holzschutz zwangsläufig notwendig?, 24. Internationales Holzbau-Forum IHF, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland.
- Dietsch P., Winter S. (2018), Structural failure in large-span timber structures: A comprehensive analysis of 230 cases, *Journal of Structural Safety* 71, pp. 41-46
- Dietsch P. (2017) Auswirkung der Gebäudenutzung auf Holzfeuchten in Hallentragwerken, S-Win Tagung, Weinfelden.
- Dietsch P., Gamper A., Merk M., Winter S. (2015) Gebäudeklima – Auswirkungen auf Konstruktion und Dauerhaftigkeit von Holzbauwerken, *Holzbau Die neue Quadriga*, 6/2015, 28-34
- Dietsch P., Franke S., Franke B., Gamper A., Winter S. (2014) Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 5, 115–127.
- Franke B., Schiere M., Franke S., Müller A. (2019) Quality assurance of timber structures, Forschungsbericht WHFF 2016.17, Berner Fachhochschule, Biel/Bienne, ISBN 978-3-906878-04-1.
- Franke, S., Franke, B., Magnière, N., Steiger, R., Jockwer, R. (2016), Assessment of the residual load carrying capacity of large span members in wood, Research Report, ISBN 978-3-9523787-9-3, Biel, Switzerland.
- Franke B., Franke S., Müller A., Schiere M. (2016) Long-term behaviour of moisture content in timber constructions – Relation to service classes. INTER, Graz.
- Franke B., Franke S., Schiere M., Müller A. (2016) Moisture diffusion in wood – Experimental and numerical investigations, WCTE, Vienna.
- Franke B., Müller A., Franke S., Magniere N. (2016) Langzeituntersuchung zu den Auswirkungen wechselnder Feuchtegradienten in blockverleimten Brettschichtholzträgern, Forschungsbericht WHFF 2013.06, ISBN 978-3-9523787-7-9.
- Franke B., Franke S., and Müller A. (2015) Case studies: long-term monitoring of timber bridges, *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 5, p. 195-202.
- Frese M., Blass H.J. (2011), Statistics of damages to timber structures in Germany, *Engineering Structures* 33, pp. 2969–2977
- Gamper A., Dietsch P., Merk M., Winter S. (2014) Gebäudeklima – Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkungen auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen, Abschlussbericht, Fraunhofer IRB Verlag 2015, ISBN 978-3-8167-9518-6
- Gustafsson P.J., Hoffmeyer P., Valentin G. (1998), DOL behaviour in end-notched beams, *Holz als Roh- und Werkstoff* 56, pp. 307-317
- Keylwerth R., Noack D. (1964) Die Kammertrocknung von Schnittholz, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 22 (1964), S. 29-36.
- Kretschmann D.E. (2010) Mechanical Properties of wood. In: *Wood Handbook- Wood as an Engineering Material*, Forest Products Laboratory • United States Department of Agriculture Forest Service • Madison, Wisconsin
- Müller A., Franke B., Schiere M., Franke S. (2017). Advantages of moisture content monitoring in timber bridges. In: 3rd International Conference on Timber Bridges, Skellefteå, Schweden
- Möhler K., Steck G. (1980), Untersuchungen über die Rissbildung in Brettschichtholz infolge Klimabelastungen, *Holzbauforschung*, pp. 194-200
- Niemz P. (1993) Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe, DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden-Echterdingen.
- Rug, W. (2007), Schäden im Holzbau, Tagungsband 14. Brandenburgischer Bauingenieurtag (BBIT2007)
- Schiere M., Dietsch P., Franke B., Franke S., Müller A. (2018), calculation of experimental moisture diffusion values in large glulam cross sections, *Journal for Construction and Building Materials* (in review).
- Schiere M., Franke B., Franke S. (2018) Antworten zur Tragfähigkeit infolge dynamischer Klimawechsel, S-WIN Tagung Von der Forschung zur Praxis, Biel/Bienne, Schweiz.
- Schiere M. (2016) Moisture diffusion and moisture induced stresses in glulam cross sections, Master Thesis, Bern University of Applied Sciences, Switzerland.
- SIA 265:2012 Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz, 2012.
- SIA 265/1:2009 Holzbau – Ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Schweiz, 2012.
- Simpson W. (1973) Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models, *Wood and Fiber*, 5(1), p. 41-49.
- SN EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Technische Methoden der Zustandserfassung

Prof. Dr. Steffen Franke, Dr. Bettina Franke
Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

1 EINLEITUNG

Der erste Schritt in der Zustandserfassung, die visuelle und handnahe Untersuchung, kann mit weitestgehend zerstörungsfreien Prüftechniken ergänzt werden. Im Folgenden werden gängige Prüftechniken in ihrer Methodik und den erzielbaren Ergebnissen und Aussagen erörtert. Jede Methode liefert für sie typische Ergebnisse, die zumeist nur eine lokale Aussage erlauben und aus diesem Grund zur Ableitung von generellen Einschätzungen an unterschiedlichen Stellen durchgeführt werden müssen. Die aufgeführten Techniken stellen eine Auswahl dar. Weitere Methoden sind auf dem Markt verfügbar. Die Fachspezialisten des Instituts für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA der Berner Fachhochschule BFH unterstützen ausführende Ingenieure und Unternehmen durch Beratung, Bereitstellung von Prüfgeräten und die Übernahme von Prüfungen. Die BFH ist zudem akkreditierte Prüfstelle zur Bewertung der Klebefugen in Brettschichtholzbauteilen nach SN EN 14080, siehe Beitrag «Leistungsfähigkeit der Klebefuge in Brettschichtholz».

2 BOHRKERNENTNAHME

Die Bohrkernentnahme ist ein Verfahren zur lokalen Gewinnung von zylindrischen Materialproben. Mit ihnen lassen sich Untersuchungen zur Bewertung des vorhandenen Materials und Querschnittes einer bestehenden Holzkonstruktion durchführen. Die Materialproben können neben einer rein visuellen Betrachtung auch physikalisch und chemisch untersucht werden, um die Rohdichte, die Holzfeuchte, Festigkeiten, das Holzalter oder eingesetzte Holzschutzmittel zu bestimmen.

Bohrkerne können mit einem sogenannten Zuwachsbohrer mit Durchmessern von 4 - 10 mm und einer Gesamtlänge von 200 bis 300 mm (Abb. 1) oder einem Zapfenbohrer mit Durchmessern von 10 – 60 mm und Gesamtlänge von ca. 100 mm (Abb. 2) entnommen werden. Im Anschluss an die manuelle oder maschinelle Bohrkerngewinnung werden die Bohrkern mit einer Ausziehhilfe aus dem Bohrloch entnommen oder aus dem Hohlbohrer herausgeschoben. Hierbei ist es wichtig, sorgfältig vorzugehen, damit der Bohrkern im Gesamten in seiner ursprünglichen Reihenfolge erhalten bleibt. Die Bohrkern sind in einem geschlossenen Behältnis (Röhrchen oder Plastiktüte) separat voneinander und mit Kennzeichnung der Entnahmeposition sowie der Orientierung aufzubewahren.

Die Entnahme von Bohrkernen sollte zunächst schrittweise, sowie hauptsächlich in den auffälligen Bereichen eines Trägers erfolgen. Die statischen Schnittkräfte des jeweiligen Trägers sind bei der Entnahme zu beachten. Insbesondere die Biegezug-, Druck- und Schubspannungszonen sollten hierbei



Abb. 1: Spitze des Zuwachsbohrers, Bohrloch und Bohrkern

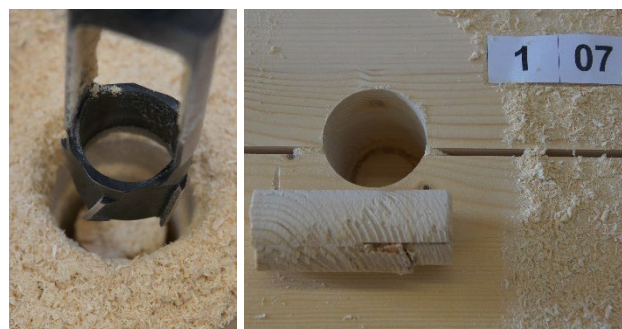


Abb. 2: Spitze des Zapfenbohrers, Bohrloch und -kern

nicht geschwächt werden. Das bedeutet, dass im Bereich von $h/6$ von der Trägerunterkante aus, jedoch mindestens in den untersten drei Lamellen, keine Bohrkerne entnommen werden dürfen. Das entstandene Bohrloch ist mit einem Holzstöpsel gleicher Holzart und gegebenenfalls imprägniert zu verschliessen.

Die gewonnenen Bohrkerne werden vorrangig visuell auf makroskopischer bzw. mikroskopischer Ebene begutachtet. Es können auch spezifische physikalische oder chemische Untersuchungen ergänzend durchgeführt werden. In Tabelle 1 sind die erzielbaren Ergebnisse mit den entsprechenden Untersuchungsmethoden zusammengefasst. Die erreichbaren Ergebnisse liefern immer nur eine lokale Aussage und können nicht auf den gesamten Träger übertragen werden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Untersuchungsmethoden der Bohrkernentnahme

Untersuchungsmethode	Ergebnis
Visuell (makroskopisch und mikroskopisch)	Restquerschnitt, Splint- und Kernholzanteil, Holzart, Befall mit holzerstörenden Pilzen und Insekten
Labortechnisch, experimentell	Holzfeuchte, Rohdichte, Holzschutzmittel, -gehalt und -eindringtiefe, Holzalter, Festigkeiten, (Lissner & Rug, 2000)

3 BOHRWIDERSTANDSMESSUNG

Die Bohrwiderstandsmessung eignet sich gut zur Feststellung von Fäulnisschäden, grösseren Schwindrissen (Breite > 3 mm), Hohlräumen und zur Abschätzung der Abmessungen von verdeckten Bauteilen, wie z. B. Zapfenverbindung. Generell ungeeignet ist dieses Verfahren zur Detektion von holzerstörenden Insekten. Insbesondere muss hier der Nagekäfer (Anobien) genannt werden, dessen Frasslöcher mit einem Durchmesser von ca. 2 - 3 mm dem zur Widerstandsmessung verwendeten Bohrdurchmesser entsprechen, und deshalb nicht erkannt werden können.

Das Verfahren beruht auf der Messung des Bohrwiderstandes, welcher von den vorliegenden Materialdichten im Querschnitt abhängig ist. Eine dünne Bohrnadel mit einem Kopfdurchmesser von 3 mm wird mit konstanter Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit in den Holzquerschnitt eingedreht (Abb. 3 und Abb. 4). Eine Änderung des Bohrwiderstandes bewirkt eine unterschiedliche Leistungsaufnahme, welche vom Gerät gemessen und in Form einer Widerstandskurve über der Bohrdistanz dargestellt wird (Abb. 5). Neben der Bohrwiderstandsmessung sollten die Parameter, wie Bohrneigung, Jahrringlage, stark rissiger Querschnitt, der untersuchten Hölzer für die spätere Auswertung dokumentiert werden.

Mit diesem Untersuchungsverfahren kann eine Aussage über den inneren Holzzustand, der Rohdichteverteilung und damit der relativen Festigkeit gemacht werden. Die ausgegebenen Bohrprofile sollten noch vor Ort überschläglich kontrolliert werden, um bei evtl. unklaren Ergebnissen weitere Bohrungen durchzuführen. Eine genaue Auswertung erfolgt im Büro mittels geeigneter Software. Dieses hat zum Vorteil, dass die Diagramme beliebig vergrössert und somit genauer bewertet werden können. Zudem können die Ergebnisse zur allgemeinen Verständlichkeit besser aufbereitet werden.

Die charakteristischen Dichteunterschiede zwischen Früh- und Spätholz können in der Bohrwiderstandskurve erkannt werden. Geschwächte Materialstrukturen können anhand eines deutlichen Abfalls in der Bohrwiderstandskurve von dem holztypischen Kurvenverlauf von gesundem Holz unterschieden werden. Mit kalibrierten Geräten ist es möglich, neben dem Bohrwiderstand auch die direkte Holzdicke abzulesen. Inwiefern diese direkten Dichteangaben durch äussere Parameter (Reibung, Ablenkung im Bohrkanal, Holzfeuchte) beeinflusst werden, ist noch nicht abschliessen bekannt. Für detaillierte Beurteilungen ist es wichtig, dass der Anwender über vertiefte Kenntnisse über den Werkstoff Holz und dessen mögliche Schädigungen verfügt und Erfahrungen im Umgang mit der Bohrwiderstandsmessung aufweist. Ferner ist es hilfreich nicht eindeutige Ergebnisse mit weiteren Fachspezialisten zu diskutieren.

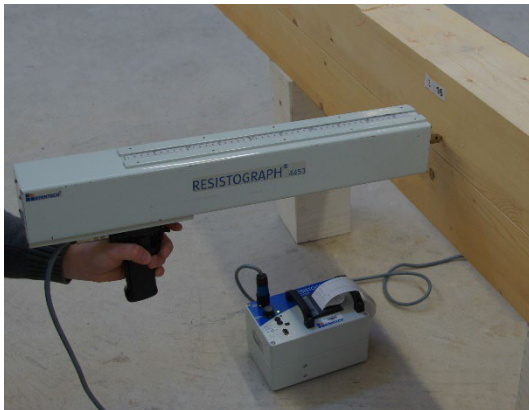


Abb. 3: Bohrwiderstandsmessgerät mit Drucker



Abb. 4: Angesetzte Spitze des Bohrwiderstandsmessgerätes

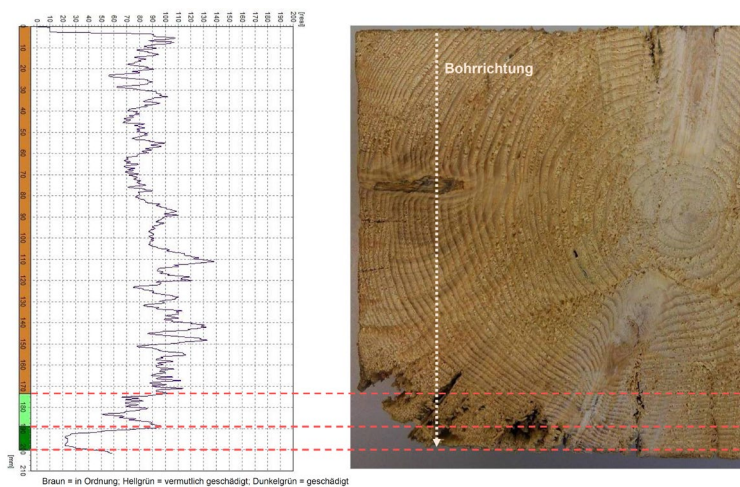


Abb. 5: Gegenüberstellung einer Bohrwiderstandsmessung mit der realen Schädigung

4 PENETRATIONS-/EINDRINGWIDERSTANDSMESSUNG

Die Penetrationsmessung ist ein einfaches Verfahren zur Schätzung der Festigkeit oder Ableitung der Dichte des Holzes in oberflächennahen Bereichen bestehender Konstruktionen. Die fast zerstörungsfreie Methode wird zumeist flächig zur Gewinnung einer repräsentativen Aussage angewandt. Ferner können hochbeanspruchte Bauteile ohne gravierende Strukturänderungen beurteilt werden.

In der Penetrationsmessung wird der Widerstand des Prüfmaterials gegenüber dem Eindringen einer geometrisch und stofflich definierten Prüfspitze bestimmt. Hierzu wird das Messgerät auf die Prüfkörperoberfläche aufgesetzt (Abb. 6). Die vorwiegend metallische Prüfspitze mit einem Durchmesser von 2 - 3 mm wirkt schlagartig mit einer definierten Federkraft auf die Prüfoberfläche ein. Anschliessend wird die resultierende Eindringtiefe t_p gemessen. Eindringtiefen von 0 - 40 mm sind erzielbar. Das Gerät arbeitet netz- und akkuunabhängig, verfügt über ein geringes Gewicht und handliches Transportmass. Der Einsatz ist schnell und ohne geringe Vorbereitungen am Objekt möglich.

Mit der gemessenen Eindringtiefe t_p kann auf die Dichte des Prüfmaterials geschlossen werden. Für Fichtenholz wurde von Görlacher (1987) folgende Regressionsgleichung für das Gerät Pilodyn 6J mit einer Metallspitze im Durchmesser von 2.5 mm der Firma Proceq aufgestellt:

$$\rho = -0.032 \cdot t_p + 0.855 \quad (1)$$

mit: ρ = Rohdichte in g/cm^3
 t_p = Eindringtiefe in mm.

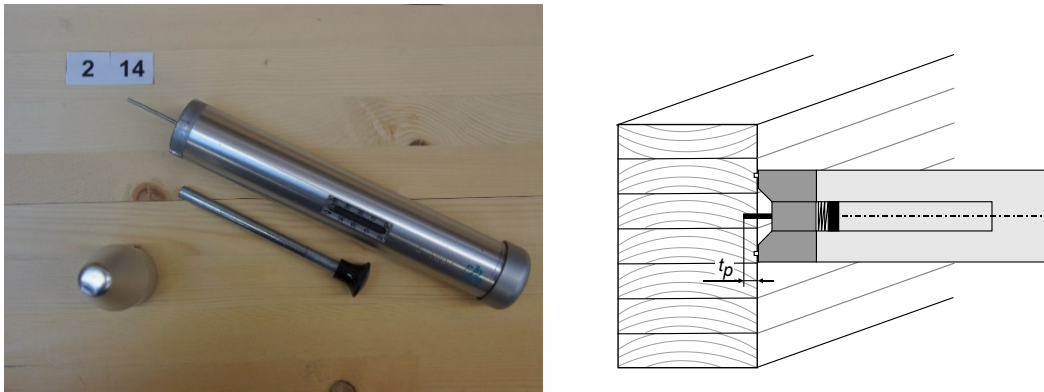


Abb. 6: Penetrationsmessgerät Pilodyn, der Firma Proceq SA (links) und Messprinzip (rechts)

Die Penetrationsmessung ist eine Alternative zur lokalen Bestimmung der Rohdichte ohne eine erforderliche Entnahme von Prüfkörpern. Die erzielbare Dichteverteilung an der Oberfläche ermöglicht eine erste Einschätzung des aktuellen Zustandes der Holzkonstruktion sowie die Abschätzung eines biologischen Befalls durch Insekten oder Pilze. In die Untersuchung sollten die Früh- und Spätholzbereiche gesondert beachtet werden. Die erzielbaren Ergebnisse gelten nur für den oberflächennahen Bereich mit einer Tiefe von ca. 2 cm. Zusätzlich ist der Einfluss der Holzfeuchte zu beachten, gefrorene oder stark ausgetrocknete Holzkonstruktionen können nicht untersucht werden.

5 ENDOSKOPIE

Die Endoskopie ist ein Hilfsmittel zur visuellen Betrachtung von schwer oder nicht einseharen Bereichen in bestehenden Holzkonstruktionen wie z. B. verdeckte Bauteile und Anschlüsse oder innenliegende Hohlräume. Es ist eine zerstörungsarme Methode, die auch die Beurteilung von eingesetzten Materialien über das Bohrloch und die Bohrlochwandung ermöglicht. Das für die Endoskopie verwendete Endoskop kann in bewohnten Gebäuden ohne eine Einschränkung der vorhandenen Nutzung schnell eingesetzt werden. Der Einsatz erspart das Öffnen und Schliessen einer Konstruktion, zudem ist die Bedienbarkeit des Gerätes einfach erlernbar. Die Endoskopie ist eine bildgebende Methode, bei der das visuelle Ergebnis bereits vor Ort ausgewertet werden kann. Die Beurteilung der erzielten Bildausschnitte setzt viel Erfahrung voraus, unterliegt den gleichen Kriterien wie in der visuellen/handnahen Untersuchung und muss meist als Stichprobe angesehen werden. Die erfasste Situation sollte möglichst aus mindestens zwei Blickwinkeln untersucht werden. Die Anwendung von Geräten mit der Möglichkeit zur Foto- oder Videoaufnahme erleichtern die Auswertung, ermöglichen eine digitale Speicherung für die Dokumentation und erhöhen die Nachvollziehbarkeit der Untersuchungen.

Das Endoskop (Abb. 7), bestehend aus der Objektivsonde, dem Okular und einer Beleuchtungseinrichtung, kann in flexible und starre Systeme in Sicht-, Foto- oder Videosysteme unterschieden werden. Die Objektivsonde wird über ein Bohrloch oder bestehende Öffnungen in die



Abb. 7: Starres Endoskop, zusammengesetzt (links), Spitze der Objektivsonde mit Ablenkspiegel (rechts)

Konstruktion eingeführt. Die notwendige Bohrung ist gerätespezifisch und liegt im Bereich von 5 bis 20 mm. Zur Betrachtung von Bohrlochwandungen ist auf einen ausreichenden Zwischenraum zwischen der Objektivsonde und der Wandung zu achten. Ein zu geringer Abstand führt zu einem ungenügenden Bildausschnitt für die Beurteilung der vorliegenden Bausubstanz.

6 ULTRASCHALLVERFAHREN

Die bekannten Ultraschallverfahren, wie die Durchschallungs- und Resonanzverfahren eignen sich zur Bestimmung des Elastizitäts- und Schubmoduls, der Holzfestigkeit und der Dichte. Die Messungen können an bestehenden Bäumen wie auch an Rundhölzern, Schnitthölzern und Holzwerkstoffen in bestehenden Tragwerken oder im Labor angewandt werden. Die nur wenige Sekunden dauernde Messung kann an feuchten wie trockenen Holzquerschnitten erfolgen. Das Ultraschallechoverfahren ist demgegenüber eine sehr wissenschaftliche Methode zur Lokalisierung von Schadstellen, wie z. B. Querschnittsschwächungen, Rissen oder Delaminierungen, an der Oberfläche des Bauteils wie auch im Inneren des Querschnittes, (Hasenstab, 2006, Maack & Krause, 2009, Sanabria, 2012).

Ultraschall sind Schallwellen mit Frequenzen von mehr als 20 Kilohertz, die sich in Luft, Gasen, Flüssigkeiten oder Festkörpern verschieden ausbreiten. Ein Übergang der Schallwellen von der Luft in Festkörper erfolgt nur, wenn die Schallwellen in unmittelbarer Nähe bzw. über ein spezifisches Koppelmedium abgestrahlt werden. Die Weiterleitung der Ultraschallwellen im Körper erzeugt eine materialspezifische mechanische Schwingung von Atomen und Molekülen, anhand dessen Charakteristik physikalische Eigenschaften wie z. B. der Elastizitätsmodul abgeleitet werden können, (Steiger, 1996). Der Prüfkörper wird jeweils mit einer ausstrahlenden Ultraschallsonde über einen piezoelektrischen Effekt oder durch ein mechanisches Anschlagen angeregt. Die im Prüfkörper weitergeleiteten Schallwellen werden von einer Empfängersonde erfasst und bezüglich ihrer Laufzeit, Dämpfung und des Abklingverhaltens ausgewertet. Die Messsonden zur Erzeugung und Erfassung der Ultraschallwellen können direkt, halbdirekt oder indirekt angeordnet sein, (Abb. 8 und Abb. 9).

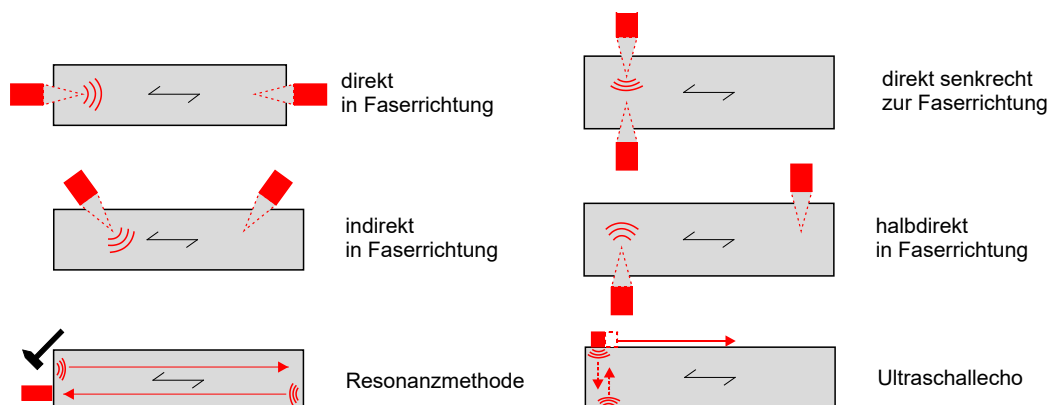


Abb. 8: Messapplikation für Ultraschallverfahren

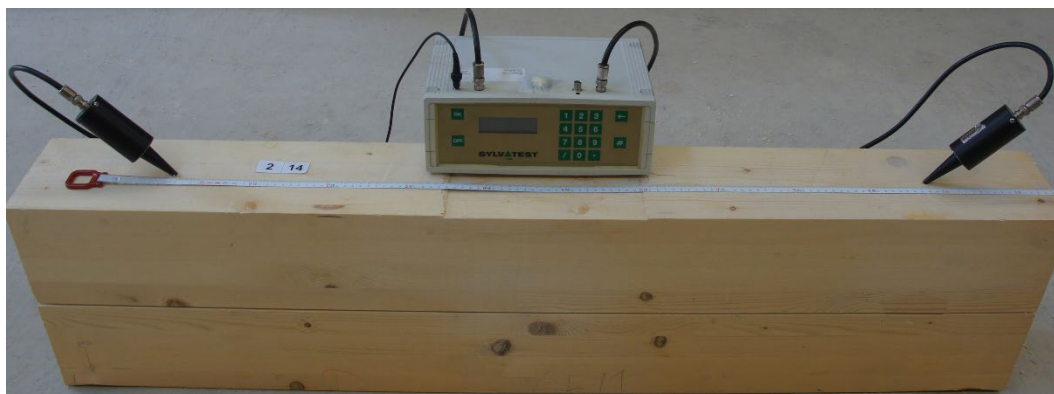


Abb. 9: Durchschallverfahren, Messgerät Sylvatest im Einsatz

Im Durchschallverfahren wird die material- und bauteilgrössenspezifische Laufzeit des Ultraschalls gemessen. Unter Angabe der Dichte des Prüfmaterials und des Abstandes der Sensoren wird vom Gerät mitunter der Elastizitätsmodul direkt bestimmt und ausgegeben oder eine quantitative Zuordnung zur Festigkeitsklasse vorgenommen. Die Genauigkeit der Messung hängt von der Grösse und dem Zustand des Prüfkörpers ab. Grosse Äste, Fehlstellen aufgrund des Befalls mit holzerstörenden Pilzen oder Risse beeinflussen die Messungen gering; stark geschädigte Holzkörper werden in Abhängigkeit der Messlänge nicht immer erkannt. Für die Erhöhung der Genauigkeit bilden viele Geräte den Mittelwert aus mehreren Messungen an gleicher Stelle. Beste Ergebnisse werden bei Längen zwischen 0,5 m – 5,0 m erreicht. Wird neben der Schalllaufzeit auch die Intensität des Signals erfasst, spricht man vom Ultraschallintensitätsverfahren. Die Schallintensität wird in Abhängigkeit von der Bauteilgrösse und der Dämpfungskonstante geschwächt und liefert hierdurch zusätzlich eine Aussage über den inneren Zustand eines Bauteils.

Die Resonanzmethode misst das Wiederhallen der Schallwellen zwischen zwei parallelen Begrenzungsflächen. Im Gegensatz zum Durchschallungsverfahren werden die Parameter anhand von einigen hundert „Wellendurchläufen“ ermittelt. Neben der Schallausbreitungsgeschwindigkeit können unter anderem die Dämpfungseigenschaften des Prüfkörpers, die Eigenfrequenz, die Obertöne und aus deren Verhältnis der Klirrfaktor erfasst werden. Über das gemessene Frequenzspektrum oder auch die Dämpfungseigenschaften kann eine quantitative Aussage auf die Festigkeitseigenschaften erfolgen. In Holzbauten lässt sich das Resonanzverfahren allerdings nur bedingt anwenden, da durch Verbindungen zu anderen Bauteilen das Schwingverhalten des Bauteils stark beeinflusst wird oder keine Zugänglichkeit zu Stirnholzflächen gegeben ist. Moderne Messgeräte, wie z. B. der Timbergrader, bestimmen mittels der Resonanzmethode die Holzfestigkeit.

Beim Ultraschallechoverfahren werden die an der Bauteiloberfläche in Bauteilquerrichtung ausgesendeten Ultraschallwellen in der Regel an der Bauteilrückseite reflektiert. Der Prüfkopf zum Senden und Empfangen der Ultraschallwellen wird nur einseitig aufgesetzt, arbeitet ohne Kontaktmittel und kann Oberflächenunebenheiten von bis zu 8 mm ausgleichen. Die Laufzeit und die Intensität des Rückwandechos werden vom empfangenden Prüfkopf gemessen. Die Reflexion der Schallwellen ist abhängig vom Materialgefüge und wird z. B. von Ästen, Hohlräumen oder Rissen beeinflusst. Aufgrund der meist kürzeren Durchdringungslänge haben diese Unregelmässigkeiten einen grösseren Einfluss auf das reflektierte Signal als beim Durchschallverfahren. Die Auswertung der aufgezeichneten Schalllaufzeit und -intensität im Bauteil bietet die Möglichkeit Unregelmässigkeiten zu lokalisieren. Unter Kenntnis der charakteristischen Schallgeschwindigkeit des untersuchten Materials und der Schalllaufzeit können die Lage und die Ausbreitung von Defekten, z. B. oberflächennahe und innenliegende Delaminierungen und Schädigungen, ermittelt werden. Über ein dichtes Netz an Messungen lässt sich ein 2D- oder 3D-Bild des Prüfkörpers erstellen, s. Abb. 10.

Die qualitative Aussage der Ultraschallechomessung hängt von der Auswerteroutine, dem Handling und stark von der Erfahrung und Interpretation des Benutzers ab. Durch die relativ kleine Messfläche ergibt sich für grössere Bauteile bisher ein hoher Zeitaufwand. Für detaillierte Analysen wird das Ultraschallechoverfahren häufig mit zusätzlichen Methoden, wie der Bohrwiderstandsmessung oder Kernbohrung, kombiniert.

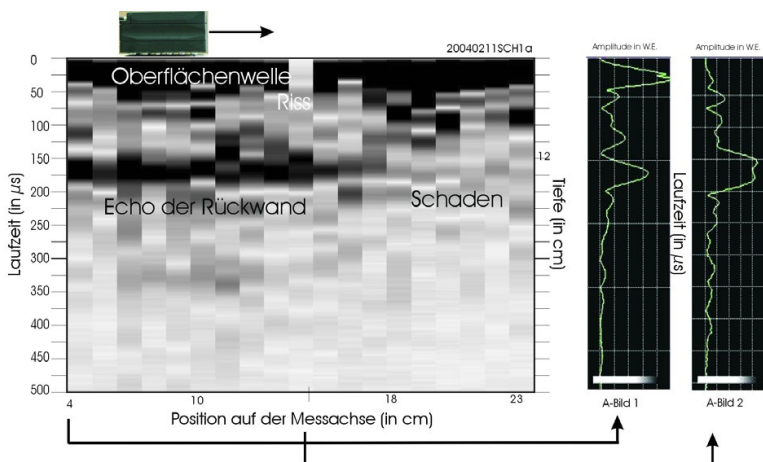


Abb. 10: Ultraschallechoaufnahme eines geschädigten Holzträgers, (Hasenstaab 2006)

7 RÖNTGEN

Die Einsatzgebiete liegen hauptsächlich im Bereich von Anschlüssen oder Verbindungen bei denen der Zustand im Inneren beurteilt oder Verbindungsmittel detektiert werden müssen. Aufgrund der Dichteunterschiede der eingesetzten Materialien kann der Zustand von mechanischen Verbindungsmitteln ebenso wie die Passgenauigkeit von formschlüssigen Verbindungen überprüft werden. Weiterhin kann das Verfahren zur Qualitätsprüfung von geklebten Anschlüssen/eingeklebte Gewindestangen respektive sanierten Klebfugen bzw. auch der Lokalisierung von innenliegenden Bauteilschädigungen durch holzerstörende Pilze eingesetzt werden.

Das Prinzip der Röntgentechnologie entspricht dem aus der medizinischen Diagnostik allgemein bekannten physikalischen Verfahren. Für die Zustandserfassung kommt eine mobile netzunabhängige Röntgenblitzröhre in Kombination mit einer digital auswertbaren Fotoplatte zum Einsatz. Die energetisch erzeugten Röntgenstrahlen werden von den unterschiedlich vorliegenden Materialdichten des zu prüfenden Bauteils verschieden stark absorbiert und treffen somit mit unterschiedlicher Intensität auf die Fotoplatte. Je höher die Materialdichte, umso stärker werden die Röntgenstrahlen beim Durchdringen absorbiert und abgeschwächt. Nach Auslesen/Einscannen der Fotoplatte werden die unterschiedlichen Intensitäten als zweidimensionales Graustufenbild dargestellt, vgl. Abb. 11.

Das Röntgenverfahren arbeitet zerstörungs- und kontaktfrei. Es ist mobil einsetzbar und die Aufnahmen können bereits vor Ort ausgewertet werden. Die Messauflösung ist hoch für den relativ grossen Messbereich von 30 cm x 40 cm als Einzelaufnahme. Ebenso sind die Messungen temperaturunabhängig und weisen eine gute Wiederholgenauigkeit auf. Generell sind die vorgegebenen Schutzvorschriften gegen Röntgenstrahlung wie die Sicherheitsabstände einzuhalten.

Die Tomographie, auch bekannt als Computertomographie (CT), kombiniert die Messergebnisse mehrerer aus unterschiedlicher Richtung vorgenommener Messungen zur Erzeugung von zumeist dreidimensionalen Ergebnissen. Dies bedeutet, dass z. B. mehrere zweidimensionale Röntgenaufnahmen zu einer dreidimensionalen Röntgenaufnahme zusammengesetzt werden, um das Objekt räumlich bewerten zu können. Es können so beispielsweise hochauflösende Abbildungen von ganzen Baumstämmen erstellt oder Fehlstellen, Risse und Äste genauer lokalisiert werden.

Das Ergebnis dieser Methode ist eine Röntgenaufnahme des Prüfobjektes. Anhand der Interpretation der Graustufen kann der Zustand visuell bewertet oder auch Dimensionen von Objekten innerhalb der Aufnahme bestimmt werden. In Abb. 12 - Abb. 15 sind Röntgenaufnahmen eines verformten Stabdübelanschlusses, der Passgenauigkeit eines Schubverbinders in einer Holz-Holzverbindung und eine Querschnittsschwächung durch Pilzbefall dargestellt. Diese Situationen können anhand der visuellen Untersuchung oft gar nicht oder nicht mit dieser Genauigkeit erkannt werden.

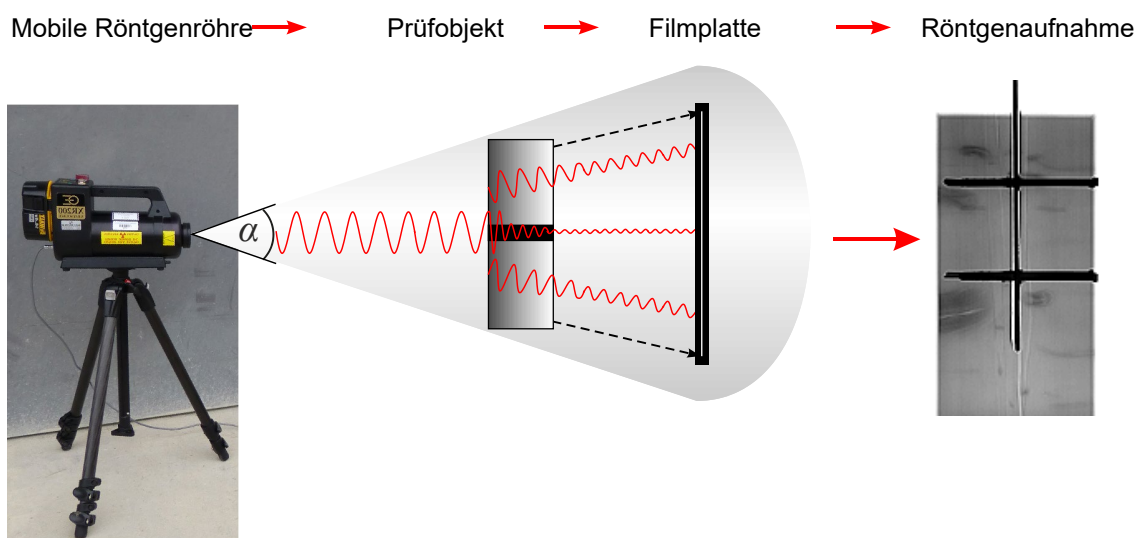


Abb. 11: Prinzipieller Aufbau und Ablauf der mobilen Röntgenaufnahme

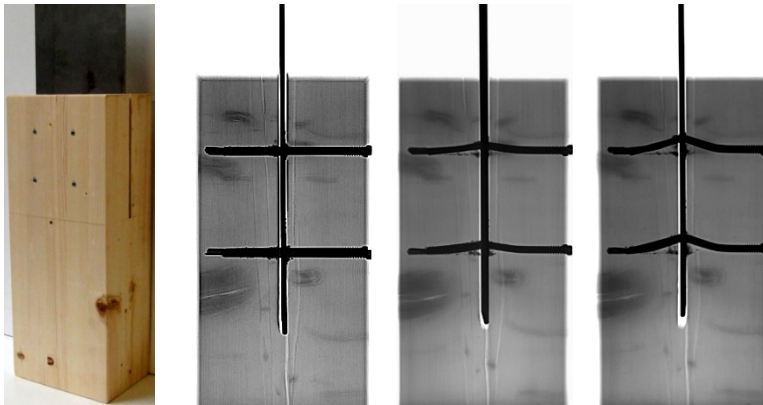


Abb. 12: Röntgenaufnahme einer Verbindung mit Stabdübeln zu unterschiedlichen Belastungszuständen

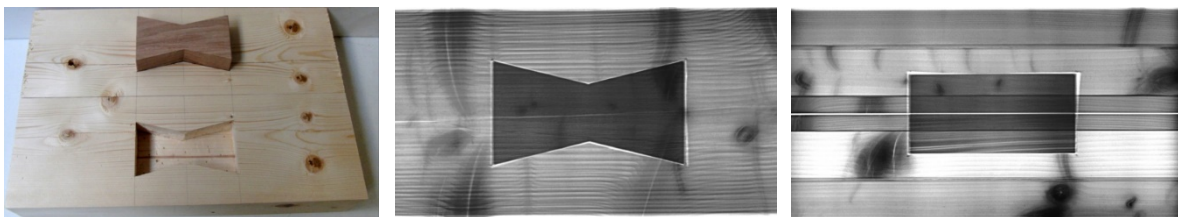


Abb. 13: Röntgenaufnahme eines Schubverbinders

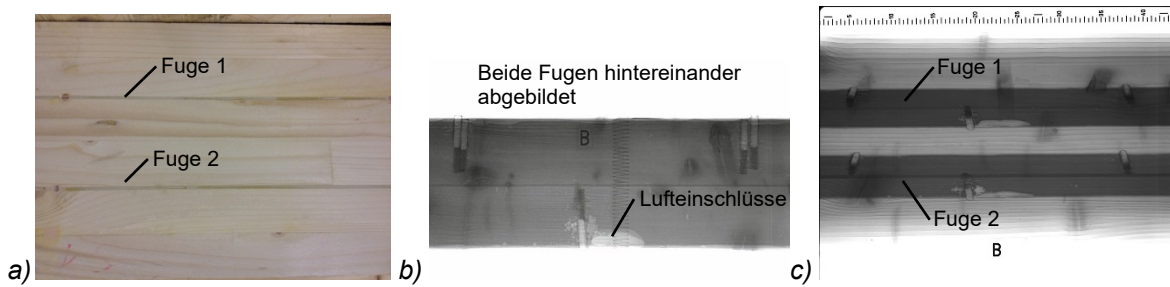


Abb. 14: Brett-schichtholzträger mit zwei sanierten Klebefugen, a) Prüfkörper, b) Röntgenbild senkrecht zu Klebefuge (Draufsicht), c) Röntgenbild schräg zur Klebefuge



Figure 1: Untersuchung von Verstärkungen im Auflagerbereich, Träger (links) und Röntgenbild mit selbstbohrenden Schrauben und Hohlräumen (rechts)

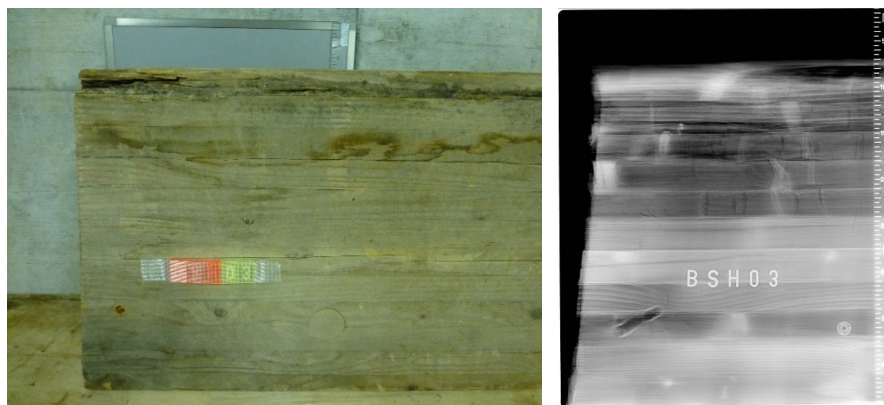


Abb. 15: Röntgenaufnahme einer Querschnittsschwächung durch Holzabbau

8 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorgestellten Methoden stellen lediglich einen Auszug aus der Vielfalt von zerstörungsfreien Prüfmethoden im Holzbereich dar. Die Techniken reichen von einfachen Untersuchungen bis hin zu Spezialanwendungen, die den Blick ins Innere eines Bauteiles zulassen. Die technischen Methoden ermöglichen die Abgrenzung von pflanzlichem oder tierischem Befall, die Bewertung der Leistungsfähigkeit der Klebefuge, die Bestimmung des Elastizitätsmoduls für die Festigkeitssortierung oder auch die Detektion von Verbindungsmitteln.

Die Anwendung des Ultraschallechoverfahrens kann unter fachkundiger Interpretation des Rückwandechos mögliche Fehlstellen in Tragelementen lokalisieren. Dies zeigen die durchgeführten Untersuchungen von Krause et al. (2014) an einer Fussgängerbrücke. Es empfiehlt sich, die in dieser Studie lokalisierten Störungen dann mit weiterführenden Methoden, wie dem Zuwachsbohrer oder der Bohrwiderstandsmessungen, zu ergänzen. Demgegenüber ist die Anwendung der mobilen Röntgentechnologie gegenwärtig bereits eine sehr aussagefähige Methode für die Bewertung von Anschlüssen mit mechanischen Verbindungsmitteln. Art, Geometrie, Passgenauigkeit und Verformungen von mechanischen Verbindungsmitteln, wie z. B. die Ausbildung von Fliessgelenken, können mit diesem Verfahren sehr präzise ermittelt werden. Auch die Begutachtung der makroskopischen Struktur von Holz, Ästen oder der Abgrenzung von verschiedenen Holzarten/Materialien ist ebenso wie die Bewertung von geklebten Anschlüssen, wie z. B. Keilzinkenverbindungen oder sanierten Klebefugen, möglich. Hohlräume, Blasen in Klebstoffen können lokalisiert werden.

In allen Anwendungen ist die geschulte Bewertung durch einen Experten oder Spezialisten wichtig. Die Fachspezialisten des Instituts für Holzbau, Tragwerke und Architektur der Berner Fachhochschule BFH unterstützen ausführenden Ingenieure und Unternehmen durch Beratung, die Bereitstellung von Prüfgeräten oder die Übernahme von Prüfungen. Die BFH ist zudem akkreditierte Prüfstelle zur Bewertung der Klebefugen in Brett-schichtholzbauteilen nach SN EN 14080.

9 REFERENZEN

- Bächle F., Junghans K., Niemz P., Baum S., Herbers Y. (2007) Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung im Bauwesen, Vorlesungsskript, ETH-Zürich, Schweiz.
- Brühwiler E. (2011) Verständigung, Grundsätze und Grundlagen beim Umgang mit bestehenden Tragwerken. In: Dokumentation SIA D 0240: Erhaltung von Tragwerken - Vertiefung und Anwendung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Ehlbeck J., Görlacher R. (1987) Erste Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an alten Konstruktionsholz. In: Jahrbuch 1987 SFB 315 (1988), S. 235-248.
- Franke S., Franke B. (2014) X-Ray technology for the assessment of timber structures. In: Proceedings of cost Workshop – Highly performing timber structures: Reliability, Assessment, Monitoring and strengthening, ISBN 978-3-9523787-3-1, Biel/Bienne, Schweiz
- Görlacher R. (1987) Zerstörungsfreie Prüfung von Holz: Ein „in situ“- Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte, Holz als Roh- und Werkstoff 45, S. 273-278

- Hasenstab A. (2006) Integritätsprüfung mit dem zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahren. Dissertation, Technische Universität Berlin, Deutschland.
- Krause M., Mayer K., Effner U. (2014) Ultrasonic echo methods for structural timber. In: Proceedings of cost Workshop – Highly performing timber structures: Reliability, Assessment, Monitoring and strengthening, ISBN 978-3-9523787-3-1, Biel/Bienne, Schweiz
- Kugele C. (1999) Technische Untersuchungsmethoden. Das Bohrwiderstandsmessgerät im Praxiseinsatz, Johannesberger Arbeitsblätter, Fulda
- Lang T. P. (2011) Spezifische Aspekte der Erhaltung. In: Dokumentation SIA D 0239: Erhaltung von Tragwerken - Einführung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Lissner K., Rug W. (2000) Holzbausanierung. Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg
- Maack S., Krause M. (2009) Ultraschallechoverfahren zur Integritätsprüfung von Holzbauteilen beim Bauen im Bestand. Forschungsbericht, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- Rinn F. (2014) Approved Concept for inspection of modern and historic timber structures: theory and practical experiences. In: Proceedings of cost Workshop – Highly performing timber structures: Reliability, Assessment, Monitoring and strengthening, ISBN 978-3-9523787-3-1, Biel/Bienne, Schweiz
- Sanabria S. (2012) Air-coupled ultrasound propagation and novel non-destructive bonding quality assessment of timber composites. Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Schweiz.
- Steiger R. (1996) Mechanische Eigenschaften von Schweizer Fichten Bauholz bei Biege-, Zug-, Druck- und kombinierter M/N-Beanspruchung, Sortierung von Rund- und Schnittholz mittels Ultraschall. Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Schweiz.

Leistungsfähigkeit der Klebefuge in Brettschichtholz

Prof. Andreas Müller, Sebastian Heubuch, Dr. Bettina Franke
Bernere Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

1 EINLEITUNG

Brettschichtholz ist ein anerkanntes und bewährtes Ingenieurholzprodukt. Es wurde von Otto Hetzer vor über 100 Jahren entwickelt. Der Lamellenaufbau im Querschnitt ist geblieben, aber die Techniken in der Produktion und die eingesetzten Klebstofftypen haben sich im Laufe der Zeit geändert. Brettschichtholz (BSH) unterliegt einer strengen Qualitätskontrolle, in der die Leistungsfähigkeit der Klebefuge sichergestellt wird. In der Zustandserfassung von bestehenden Holztragwerken mit Brettschichtholzträgern wird die Leistungsfähigkeit der Klebefuge ebenfalls beurteilt. Hierzu werden die Seitenflächen von Brettschichtholzträgern bzgl. Risse im Holz und sogenannten Delaminierungen in einem ersten Schritt visuell und hand-nah von einer fachkundigen Person untersucht. Delaminierung bedeutet hierbei die Auflösung des Klebeverbundes. Eine Delaminierung unterscheidet sich von einem Riss im Holz dadurch, dass die Öffnung/das Rissbild wie mit dem Lineal gezogen im Bereich der Klebefuge auftritt und keine bzw. sehr wenig Fasern auf den Bruchflächen vorhanden sind, vgl. Abb. 1.

Die Norm SN EN 14080:2013 «Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen» enthält Kriterien zur Beurteilung der Klebfugenfestigkeit von Bauteilen wie Brett- und Balkenschichtholz. Hiermit ersetzt die aktuelle Norm SN EN 14080:2013 die älteren Normen SN EN 386:2001, SN EN 391:2001 und SN EN 392:1995 mit den Anforderungen an die Bauteile, der Delaminierungsprüfung und Scherprüfung. Zu beachten ist, dass für die Prüfung des Klebstoffes die Normen SN EN 301, SN EN 302 und prEN 12092 weiterhin relevant sind. Die Überprüfung von der Qualität von Brettschichtholz erfolgt nicht nur während der Produktion/Herstellung, sondern auch in der Zustandserfassung. Hier sind Scherprüfungen eine gängige und einfache Prüfung. Die Delaminierungsprüfung in der Zustandserfassungen ist eher seltener, da sie nur an bereits ausgebauten Tragelementen aufgrund der erforderlichen Prüfkörpergeometrie lt. SN EN 14080:2013 Anhang C durchgeführt werden kann.

2 SCHERPRÜFUNG GEMÄSS SN EN 14080:2013 ANHANG D

2.1 Einsatzgebiet und Verfahren

Das Verfahren wurde ursprünglich zur laufenden Qualitätsüberwachung in der Brettschichtholzproduktion entwickelt. Es eignet sich jedoch auch zur Beurteilung der Klebfugenqualität von Brettschichthölzern im Bestand. Die Notwendigkeit der Durchführung der Scherprüfung nach SN EN 14080:2013 wird von einer fachkundigen Person nach der visuellen handnahen Zustandserfassung



Abb. 1: Delaminierung im Brettschichtholzträger mit typisch geradlinigem Verlauf

entschieden. Die eigentliche Entnahme der Proben kann nach Vorgaben der fachkundigen Person auch durch qualifizierte Firmen oder Mitarbeiter einer Prüfeinrichtung erfolgen. Für die Bauteilprüfung im Bestand hat sich die Entnahme von Bohrkernen mit einem Durchmesser von 35 mm bewährt. Für die Methoden und Techniken zur Entnahme der Bohrkern wird auf den Beitrag von Franke S. & Franke B. «Technische Methoden der Zustandserfassung» in den Kursunterlagen verwiesen.

Die erforderliche Entnahme der Bohrkern sollte mehrstufig durchgeführt werden. In einem ersten Schritt sollten die Träger mit deutlichen Auffälligkeiten wie Delaminierungen oder Wasserflecken näher handnah untersucht werden. Anschliessend sind die Entnahmestellen so zu wählen, dass unterschiedliche Einwirkungen aus der Nutzung, dem Klima, der Beanspruchung usw. beurteilt werden können. Die statischen Schnittkräfte des jeweiligen Trägers sind bei der Entnahme stets zu beachten. Insbesondere im Bereich von Anschlüssen oder Zug- und Schubbeanspruchungen und in der Biegezugzone sollten keine Bohrkern entnommen werden. Das bedeutet, dass im Bereich $h/6$ von der Trägerunterkante aus, jedoch mindestens in den untersten drei Lamellen, keine Bohrkern entnommen werden dürfen. «Bei Flächenverklebungen sollten Bohrkern in einer Klebfuge einen Abstand von 250 bis 300 mm zueinander haben. Quer zu den Klebfugen versetzte Bohrkern sollten in Richtung der Klebfuge einen Abstand von mindestens 150 mm und quer dazu von drei Lamellen haben.», Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (Aug. 2021)

Die Anzahl der zu begutachtenden Träger ist individuell festzulegen. Für eine Bewertung von Bereichen mit Delaminierungen/offenen Klebfugen werden Bohrkern aus dem gestörten Bereich und den benachbarten ungestörten Bereich entnommen. In einer ersten Stufe können sich so ca. 12 Bohrkern für ein Holzhallentragwerk mit üblichen Abmessungen ergeben. Für eine statistisch intensivere Prüfung wird empfohlen, je Träger insgesamt neun Bohrkern aus drei Entnahmebereichen zu entnehmen, Abb. 2. Für eine Harmonisierung lokaler Effekte ist es sinnvoll, in jedem Entnahmebereich einer Klebfuge drei Bohrkern zu ziehen. Die Entnahmestellen und die Bohrkern sind stets systematisch zu beschriften und zu dokumentieren.

Die Bohrkern müssen rechtwinklig zur Bauteiloberfläche so gebohrt werden, dass die zu prüfende Klebfuge durch die Bohrkernachse verläuft (max. 4 mm Abweichung). Für die Entnahme empfiehlt es sich einen Bohrständler mit leistungsfähiger Bohrmaschine oder Akkuboehrschrauber zu verwenden. Das entstandene Bohrloch ist mit einem in Faserrichtung orientierten eingeklebten Holzstöpsel mit einer Tiefe von mind. 40 mm in gleicher Holzart und gegebenenfalls imprägniert zu verschliessen. Die Holzstöpsel dienen nicht nur für die Ästhetik des Holztragwerks, sondern schützen es vor zusätzlichen Klimabeanspruchungen, Zutritt von tierischen Schädlingen oder im Aussenbereich vor Vögeln.

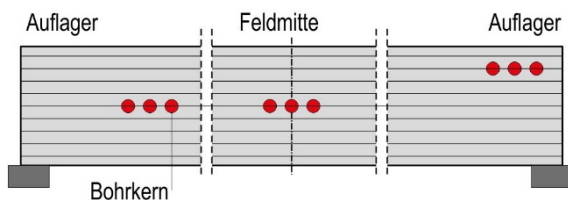


Abb. 2: Entnahmeempfehlung für Bohrkern bei Einfeldträgern

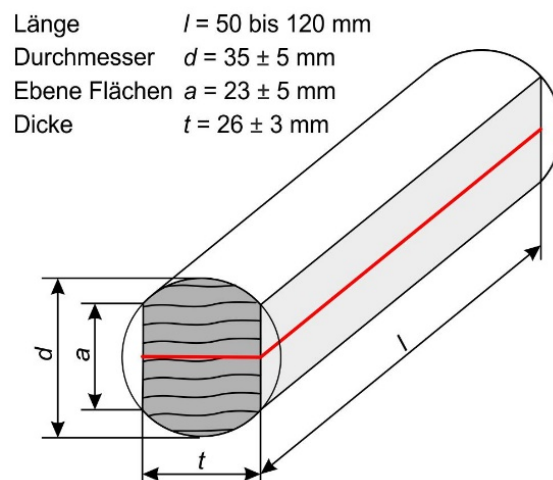


Abb. 3: Schematische Darstellung des zugeschnittenen Bohrkerns, SN EN 14080:2013

Die Prüfung und Bewertung der Bohrkerne erfolgt in Anlehnung an das Verfahren für die Qualitätskontrolle von Brettschichtholz lt. SN EN 14080:2013 Anhang D. Die Scherprüfung der Bohrkerne wird durch eine fachkundige resp. akkreditierte Prüfstelle durchgeführt. Die Berner Fachschule ist für diese Prüfung akkreditiert.

Für die Prüfung sind die entnommenen Bohrkerne lt. SN EN 14080:2012 an zwei Flächen rechtwinklig zur Klebefuge für parallele Lasteinleitungsflächen anzuschneiden. Dies führt im Prüfkörper zu einer rechteckigen Scherfläche der Klebefuge, Abb. 3. Unebene Stirnflächen sind rechtwinklig zur Prüfkörperachse abzuschneiden. «Oberflächennahe Delaminierungen oder offene Klebfugen können gekappt werden. Andernfalls sind delaminierte Klebfugenabschnitte bei der Berechnung der Scherfestigkeit von der Scherfläche abzuziehen. Die Prüfkörper sind vor der Prüfung im Normklima 20 °C/ 65 % relative Luftfeuchte bis zur Einstellung der Ausgleichsfeuchte zu klimatisieren.

Im Rahmen der Prüfung wird die Klebfuge einer Scherbeanspruchung bis zum Bruch ausgesetzt. Die Versuchsdurchführung ist lt. SN EN 14080:2013. Die Belastung ist weggesteuert mit gleichbleibender Geschwindigkeit so aufzubringen, dass der Bruch nach mindestens 20 Sekunden erfolgt. Zu ermittelnde Kennwerte sind die Bruchlast F_{max} und der Faserbruchanteil FB . Der Prüfaufbau ist exemplarisch in Abb. 4 mit einem Scherapparat gezeigt.

2.2 Auswertung, Ergebnisse und Bewertung

Die Beurteilung der Prüfergebnisse erfolgt lt. SN EN 14080:2013. Die Scherfestigkeit f_v jeder Klebfuge muss mindestens 6,0 N/mm² betragen. Für Nadelhölzer und Pappel ist eine Scherfestigkeit f_v von 4,0 N/mm² ausreichend, wenn der Faserbruchanteil 100 % beträgt. In den Prüfkörpern vorhandene Delaminierungen sind bei der Ermittlung der zugrunde gelegten Scherfläche abzuziehen.

Zusätzlich zur ermittelten Scherfestigkeit ist der Mindestfaserbruchanteil FB_{Min} zu berechnen. Dieser berücksichtigt einen geringeren Faserbruchanteil bei hohen Scherfestigkeiten. Die bestimmten Faserbruchanteile dürfen die Mindestfaserbruchanteile nicht unterschreiten. Der Faserbruchanteil sollte immer mit dem „vier Augen Prinzip“ unabhängig voneinander auf beiden Scherflächen des Prüfkörpers bestimmt werden. Hierdurch wird die Gefahr eines subjektiven Ergebnisses durch die rein visuelle Bestimmung der Faserbruchanteils vermieden. Der Faserbruchanteil ist in Prozent, auf ein Vielfaches von 5 % gerundet, anzugeben. Zur Bestimmung des Faserbruchanteils FB bei hellen Klebstoffen werden die Bruchflächen mit dem Wiesner-Verfahren eingefärbt. Die Bruchfläche wird mit Phloroglucinol (3 %-ig) bestrichen. Hierbei färbt sich das Lignin im Holz violettrot, s. Abb. 6. Dunkle Klebstoffe wie z. B. Phenol-Resorcin können auch ohne Einfärbung beurteilt werden, s. Abb. 7.



Abb. 4: Bohrkern in der Prüfmaschine

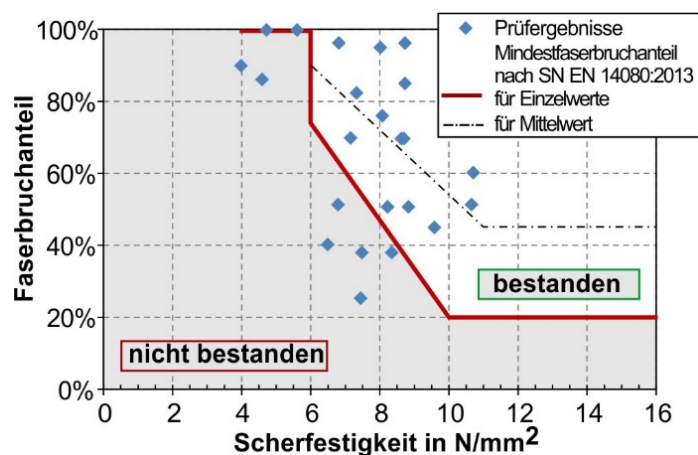


Abb. 5: Schematische Auswertung der Prüfergebnisse



Abb. 6: Eingefärbte Scherfläche von Bohrkernen mit einem Faserbruchanteil von 100 % (links) und ca. 75 % (rechts)



Abb. 7: Nicht eingefärbte Scherfläche von Bohrkernen mit einem Faserbruchanteil von ca. 95 % (links) und von ca. 65 % (rechts)

Die Prüfkörper sind mit „bestanden/nicht bestanden“ zu bewerten. Zur besseren Übersicht empfiehlt es sich, die Ergebnisse in einem Diagramm darzustellen, vgl. Abb. 5. In der Norm ist die Grenzlinie beschrieben womit zwischen „bestanden/nicht bestanden“ unterschieden werden kann. Neben der Kontrolle der Einzelwerte können auch für mehrere Bohrkern aus einer Entnahmestelle die mittleren Prüfwerte mit der Grenzkurve für Mittelwerte mit höheren Anforderungen verglichen werden.

Die ermittelten Werte der Scherfestigkeit sind nicht als absolute Werte zu sehen und dürfen nicht als Grundlage für eine statische Berechnung verwendet werden. Bestehen die Probekörper die Prüfung, dürfen die in den Tragwerksnormen festgelegten Festigkeitswerte angesetzt werden. Die Beurteilung der Klebfugenqualität sollte nur durch fachkundige Personen erfolgen. Tritt eine hohe Varianz in den Prüfergebnissen oder eine deutliche Abweichung von den Mindestanforderungen lt. SN EN 14080:2013 auf, ist der Probenumfang zu erhöhen.

3 DELAMINIERUNGSPRÜFUNG GEMÄSS SN EN 14080:2013 ANHANG C

3.1 Einsatzgebiet und Verfahren

Die Delaminierungsprüfung eignet sich zur Feststellung der Klebfugengüte mit Blick auf wechselnde klimatische Beanspruchungen von Brettschichtholz. Dieses Verfahren wird routinemässig für die Qualitätslenkung der Brettschichtholzproduktion verwendet. Aufgrund der erforderlichen Prüfkörperdimensionen eignet sich dieses Verfahren nur für bereits ausgebaute Trägerabschnitte innerhalb der Zustandserfassung und Bewertung.

In der Delaminierungsprüfung werden die Prüfkörper einer extremen Aufwechtung unter Druck und Vakuum mit anschliessender Abtrocknung im Trocknungssofen unterzogen. Dieser Aufwechtungs- und Abtrocknungszyklus führt zu einem Feuchtegefälle im Holz. Die hierdurch entstehenden inneren Spannungen rufen eine Zugbeanspruchung senkrecht zur Klebfuge hervor. Ein ungenügender Klebverbund führt zu einer Delaminierung. Die Prüfkörper beinhalten den vollständigen Querschnitt des zu prüfenden Trägers. Die Prüfkörperlänge ist 75 mm, s. Abb. 8. Vor der Prüfung ist die Gesamtlänge der Klebfugen in Millimetern an beiden Hirnholzflächen zu bestimmen. Die Versuchsdurchführung ist in SN EN 14080:2013 explizit vorgegeben und unterscheidet sich in drei Verfahren (A, B, C) zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansprüche je Feuchteklasse nach SIA 265:2012.

3.2 Auswertung, Ergebnisse und Bewertung

Die Auswertung der Prüfung hat innerhalb einer Stunde nach dem Trocknungsprozess an beiden Hirnholzflächen des Prüfkörpers zu erfolgen. Die einzeln aufgetretenen Delaminierungen sind in Millimeter zu messen. Es empfiehlt sich die ausgemessenen Delaminierungen zu kennzeichnen, vgl. Abb. 9. Die in Tab. 2 enthaltenen Definitionen sind bei der Differenzierung zwischen einer Delaminierung

und einem Holzversagen zu beachten. Die Bewertung der Delaminierungsprüfung erfolgt gemäss Tabelle 9 der SN EN 14080:2013 anhand des Gesamtprozentsatzes der Delaminierungen, vgl. Tab. 1. Bei allen Delaminierungsverfahren darf der Höchstprozentsatz der Delaminierung einzelner Klebfugen höchstens 30 % betragen, SN EN 14080:2013.

$$\text{Gesamtprozentsatz der Delaminierung } Delam_{tot} = 100 \frac{l_{tot,delam}}{l_{tot,glue\ line}} [\text{in \%}] \tag{1}$$

$$\text{Maximale Delaminierung } Delam_{max} = \frac{l_{max,delam}}{2 \cdot l_{glue\ line}} [\text{in \%}] \tag{2}$$

Mit:

- $l_{tot,delam}$ die Gesamtdelaminierungslänge in mm
- $l_{tot,glue\ line}$ die Gesamtlänge aller Klebfugen an beiden Hirnholzflächen jedes Prüfkörpers in mm
- $l_{max,delam}$ die maximale Delaminierungslänge in mm
- $l_{glue\ line}$ die Länge einer Klebfuge in mm

Tab. 1: Höchstwerte für den Gesamtprozentsatz der Delaminierung gemäss SN EN 14080:2013 Tabelle 9

Typ ¹⁾	Verfahren	Klebstofftyp	Maximaler Gesamtprozentsatz der Delaminierung nach Anzahl der Prüfreihe		
			1 Prüfreihe	2 Prüfreihe	3 Prüfreihe
Brettschichtholz, Brettschichtholz mit Universal-Keilzinkenverbindungen und Verbundbauteile aus Brettschichtholz	A	Typ I	-	5 %	10 %
	B	Typ II	4 %	8 %	-
	C	Typ III	10 %	-	-
Balkenschichtholz mit Lamellendicken von 60 mm bis einschliesslich 85 mm	A	Typ I	-	10 %	15 %
	B	Typ II	8 %	12 %	-
	C	Typ III	15 %	-	-

¹⁾ Bei Balkenschichtholz mit Lamellendicken zwischen 45 und 60 mm wird linear interpoliert

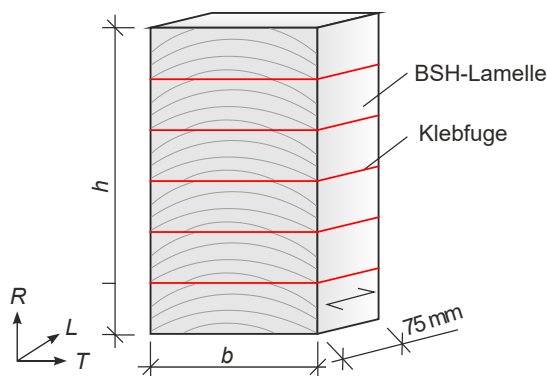


Abb. 8: Prüfkörperabmessungen für die Delaminierungsprüfung gemäss SN EN 14080:2013

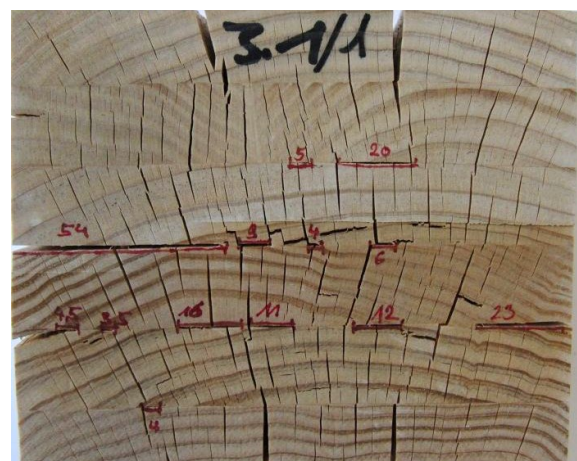
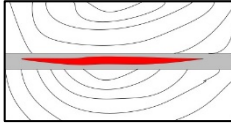
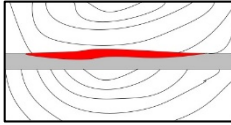
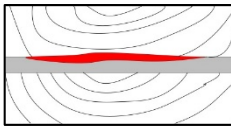
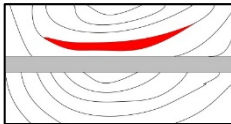


Abb. 9: Beschrifteter Prüfkörper nach nicht bestandener Delaminierungsprüfung

Tab. 2: Charakterisierung Delaminierung bzw. Holzversagen, SN EN 14080:2013

Erscheinungsbild (Rissbild)	Versagensart
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zusammenhängender Riss innerhalb der Klebfuge 	 <p style="text-align: right;">Delaminierung</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Versagen der Klebfuge genau zwischen der Klebfuge und dem Holzuntergrund ▪ es dürfen keine Holzfasern an der Klebfuge haften 	 <p style="text-align: right;">Delaminierung</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ein Versagen des Holzes, tritt innerhalb der ersten beiden Zellschichten neben der Klebfuge im Holz ein ▪ der Rissverlauf wird nicht durch den Faserwinkel und die Struktur der Jahrringe beeinflusst ▪ es wird durch ein feines, faseriges Aussehen der Holzfasern an der Grenzfläche zwischen der Holzoberfläche und der Klebfuge charakterisiert 	 <p style="text-align: right;">Delaminierung</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Versagen des Holzes, tritt mehr als zwei Zellschichten von der Klebfuge entfernt ein ▪ der Rissverlauf wird in hohem Mass durch den Faserwinkel und die Struktur der Jahrringe beeinflusst 	 <p style="text-align: right;">Holzversagen</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Öffnungen in der Klebfuge entlang Äste oder Harztaschen neben der Klebfuge oder Öffnungen in der Klebfuge, die durch verdeckte Äste in der Klebfuge verursacht werden 	Holzversagen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isolierte Öffnungen in der Klebfuge mit einer Länge ≤ 2.5 mm, die weiter als 5 mm von der nächsten Delaminierung entfernt sind 	unberücksichtigt

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorgestellten Prüfmethode zur Qualitätssicherung von Holztragwerken können auch für die Zustandserfassung von Brettschichtholz angewandt werden. Die Scherprüfung in Anhang D und Delaminierungsprüfung in Anhang C von der SN EN 14080:2013 liefern Ergebnisse zur Beurteilung der Klebfugengüte bzgl. der Festigkeit und Widerstand gegenüber klimatischen Beanspruchungen. Weiterführende Studien und Ergebnisse zur Anwendung der Scherprüfung und der Delaminierungsprüfung zur Beurteilung der Klebfugengüte sind in Franke et al. (2013) und Steiger et al. 2014 aufgezeigt. Die Ergebnisse können nicht direkt für den Nachweis der Tragsicherheit genutzt werden, aber sie unterstützen Entscheidungen für erforderliche Rissanierungen und Verstärkungsmassnahmen zur Erhaltung des Holztragwerkes.

5 REFERENZEN

- Franke B., Scharmacher F., Müller A. (2013) Assessment of the Glue-Line Quality in Glued Laminated Timber Structures, In: Aicher et al. (2013) Materials and joints in timber structures, Springer Verlag, ISBN 978-94-007-7810-8
- Franke S., Franke B. (2021) Technische Methoden in der Zustandserfassung, Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken, Tagungsband, Biel/Bienne, ISBN 9783906878058
- SN EN 14080:2013, Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 265:2012, Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SN EN 386:2001, Brettschichtholz – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SN EN 391:2001, Brettschichtholz - Delaminierungsprüfung von Leimfugen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SN EN 392:1995, Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Steiger R., Arnold M., Risi W. (2014), Beurteilung der Qualität von Klebefugen mittels Blockscher- und Delaminierungsprüfungen, S-WIN-Kurs 2014, Weinfelden, Schweiz
- Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (Aug. 2021) Merkblatt zur Bewertung von Klebfugen in Brettschichtholzbauteilen im Bestand, www.ingenieurholzbau.de, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. Wuppertal

Verstärkungstechniken – Vorgehen und Projektierung

Beat Studhalter
Lauber Ingenieure AG, Holzbau und Bauwerkserhalt

1 INHALT

Dieser Beitrag beschreibt die Vorgehensweise und die verschiedenen Phasen bei der Verstärkung bestehender Holztragwerke. Neben den wichtigsten Grundregeln werden verschiedene Beispiele aus der Praxis näher erläutert. Es wird auf verschiedene Problemstellungen eingegangen und deren Lösungen aufgezeigt.

2 EINLEITUNG

Sanieren und modernisieren stellt heute ein grosses Volumen am Baumarkt dar. Viele Bauten sind in die Jahre gekommen und brauchen dringend eine umfassende Erneuerung. Verschiedene Aspekte und Parameter führen dazu, dass eine Sanierung notwendig ist: z.B. Nutzungsänderungen, Bedürfnis nach mehr Platz, Behaglichkeitsanforderungen steigen, ressourcenschonender Betrieb, Effizienzsteigerung und viele mehr. Entscheide zur Bauerneuerung werden vielfach willkürlich gefällt, weil objektive Grundlagen zur Wahl der Sanierungsstrategie, respektive für Abbruch oder Ersatzneubau fehlt. Bauerneuerungen sind deshalb oft nicht zu Ende gedacht und behindern spätere Nachbesserungen.

Das Erhalten von historischen Tragwerken ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Bei der Ertüchtigung von Holztragwerken steht das Bemühen dahinter, möglichst viel Bausubstanz zu erhalten. Das setzt voraus, dass bei Schäden die Schadensursache bekannt ist und dass der Planer sich mit den Sanierungsmassnahmen auskennt. Bevor mit den Reparaturen oder den Verstärkungsmassnahmen begonnen wird, ist die Schadensursache zu beseitigen. Eine detaillierte Zustandsanalyse des geschädigten Tragwerks ist als Grundlage für eine optimale Massnahmenplanung erforderlich. Schäden treten unabhängig vom Baustoff auf und sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen.

Trotz geregelten Prozessen und Standardisierung: Das Bauen ist ein komplexes Vorhaben mit vielen Beteiligten, starker Vernetzung und Abhängigkeiten. Das Bauen im Bestand entspricht der Realisierung eines Einzelstückes. Jedes Einzelstück hat seine Besonderheiten und bedarf besonderer Aufmerksamkeit.

3 VORGEHEN

3.1 Projektphasen

Unter anderen Aspekten des Bauprojektmanagements sind die einzelnen Phasen des Bauvorhabens wichtige Meilensteine zur Gewährleistung und Sicherstellung der Qualität eines Instandsetzungsprojektes. In folgender Abbildung sind die Phasen eines Bauvorhabens und die Beteiligten mit deren Eingriff in der jeweiligen Phase vereinfacht dargestellt.

Das Ende einer Phase entspricht einem Meilenstein. Jede Phase wird abgeschlossen und mit dem Phasenziel verglichen. Meilensteine werden nicht überfahren. Die nächste Phase wird erst begonnen, wenn die vorausgehende Phase abgeschlossen und die Phasenziele erreicht sind. Nicht erreichte Phasenziele werden in der Regel nicht mehr sauber aufgearbeitet, wenn die nächste Phase begonnen wurde.

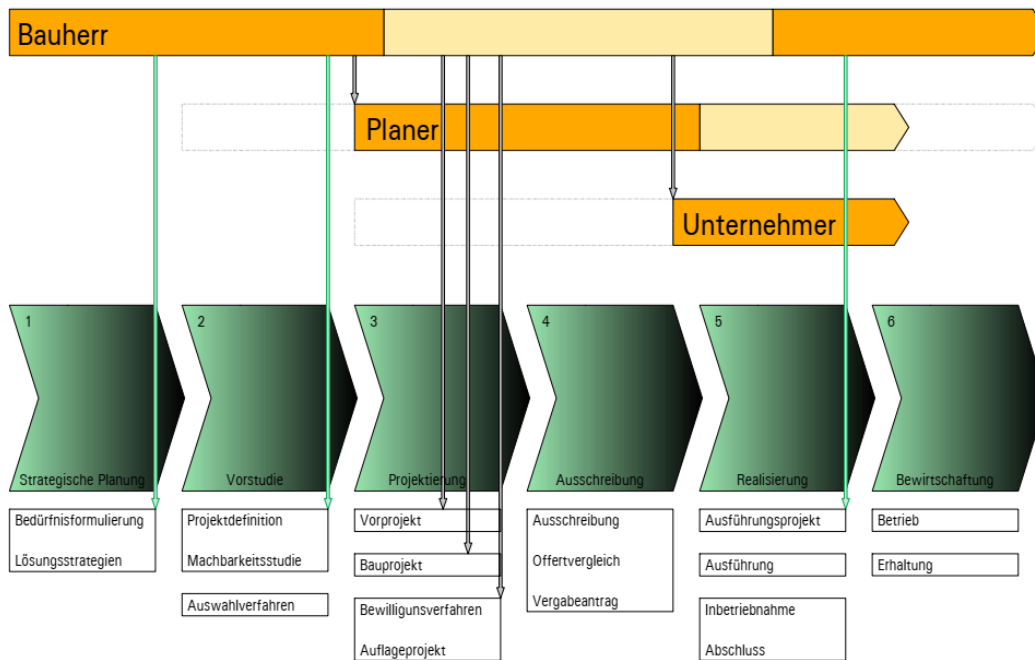


Abb. 1: Bauprojektmanagement mit Projektphasen

In der Regel werden Baugrunduntersuchungen in der Phase Vorstudie erstellt. Eine Bestandsaufnahme gehört ebenfalls in diese Phase. D.h. die Beschaffenheit des Baugrundes und der bestehenden Bausubstanz sind Bestandteile einer Machbarkeitsstudie. Hier werden die Grundsteine gelegt.

3.2 Kostenbeeinflussung je Konzeptphase

Die Kosten einer Immobilie, über ihren Lebenszyklus betrachtet, steigen von Beginn der Planung bis hin zum Abriss eines Objektes konstant an. Wie die folgende Abbildung ersichtlich macht, übersteigen die Kosten während der Nutzungsphase die Herstellungskosten bereits nach kurzer Zeit deutlich.

Die Entscheide in der Konzeptphase Planung und Revitalisierung sind von grösster Bedeutung. In dieser Phase entscheidet sich meistens der Erfolg oder Misserfolg eines Vorhabens. Die Kosten werden bestimmt mit minimalen Ausgaben, im Vergleich zu den folgenden Phasen eines Projektes. Eine Revitalisierung oder Modernisierung ermöglicht eine optimale Anpassung an neue Nutzungsanforderungen. Neben dem baulichen Konzept können auch das betriebliche und das energetische Konzept optimal aufeinander abgestimmt werden.

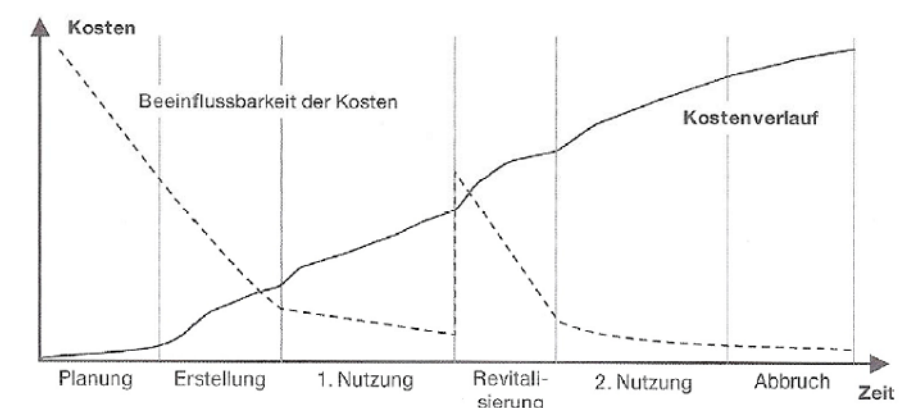


Abb. 2: Bauprojektmanagement mit Projektphasen

4 INSTANDHALTUNG

4.1 Projektierung

Die im Rahmen der Bestandsaufnahme erstellte Massnahmenempfehlung bildet die Grundlage für Entscheidungen und das weitere Vorgehen. Damit kann an der Massnahmenplanung weitergearbeitet werden. Der erste Schritt in der Massnahmenplanung ist das Massnahmenkonzept, inhaltlich vergleichbar mit der Projektstufe Vorprojekt. Die Grundlagen bilden die Ergebnisse der Überprüfung, Ziele der Bauwerksbewirtschaftung, gegenwärtige und künftige Nutzung, die Restnutzungsdauer, der Erhaltungswert und die gesetzlichen Auflagen.

Das Massnahmenkonzept soll dazu führen, dass strategisch und langfristig richtige Entscheide gefällt werden, dass die gestellten Anforderungen oder Ziele bestmöglich erreicht werden und dass die Schnittstellen zu anderen Gewerken (Ingenieure, Bauphysik, Brandschutz, Heizung, Lüftung, Klima, Sanitär, Elektro, etc.) geregelt sind.

Wichtige Dokumente sind die Nutzungsvereinbarung und die Projektbasis. Diese sind im Dialog zwischen Bauherrschaft und Projektverfassern zu erstellen. Sie beschreiben die vorgesehene Nutzung, Schutzziele und Sonderrisiken und die daraus resultierenden Anforderungen an die Bauwerke. Bei Projektänderungen werden die Änderungen angepasst oder evtl. ein neues Dokument erstellt. Diese Dokumente sind verbindlich und bilden die Grundlage für die Projektierung. Das Massnahmenprojekt, vergleichbar mit dem Bauprojekt, ist der nächste Schritt.

Neben den gültigen Tragwerksnormen SIA 260 - 265 bilden die SIA - 469 „Erhaltung von Bauwerken“ sowie die Normenreihe 269 „Erhaltung von Tragwerken“ die Grundlage für die Sanierung von Bauwerken in der Schweiz. Bei einem Umbau oder einer Erweiterung eines Tragwerkes sind die Eigenlasten und die neuen Auflasten gemäss SIA 261 zu behandeln.

4.2 Sanierungsvorschlag

Beim Erarbeiten des Sanierungsvorschlags sind in der Regel die Interessen von verschiedenen Parteien zu berücksichtigen. Lösungsmöglichkeiten müssen je nach Bauwerk in enger Zusammenarbeit mit Tragwerksplaner, Architekt, Eigentümer, Historiker und Restaurator, Denkmalpfleger, Handwerker sowie den involvierten Behörden erarbeitet werden. Die Schadensursache muss bekannt sein und beseitigt werden.

Neben der Bewahrung einer ausreichenden Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sind folgende Parameter von Bedeutung:

- Erhalten des kulturellen Wertes des Bauwerks sowie dessen Aussehen
- Erhalten des wirtschaftlichen Wertes des Bauwerks unter Berücksichtigung der Betriebs- und Erhaltungskosten
- Wahrnehmen der gesetzlichen Verantwortung der Eigentümerschaft
- Verhältnismässigkeit des Sanierungsvorschlages
- Verfügbare Zeit, Materialien und Technologien
- Arbeitssicherheit
- Eingriffstiefe
- Qualität der Handwerksarbeiten

4.3 Tragwerkssanierung

Bei der Beurteilung von Sanierungsmassnahmen wird zwischen Sofortmassnahmen, kurz-, mittel-, und langfristigen Massnahmen unterschieden. Eine ungenügende Tragstruktur kann durch verschiedene Massnahmen verstärkt werden. Einerseits besteht die Möglichkeit die Tragstruktur zu verstärken, ohne das statische System zu verändern. Andererseits kann die Verstärkung durch Umlagerung der Schnittkräfte ausgeführt werden, z.B. mittels zusätzlichen Bauteilen/Konstruktionen unter Beibehaltung der bestehenden Spannweite oder durch die Reduzierung der Spannweite. Dies geschieht zum Beispiel durch den Einbau einer Unterspannung. Auf diese Art werden die Biegemomente in Normalkräfte umgewandelt.

In der Praxis stehen folgende Vorgehen im Vordergrund:

- zusätzliche Lamellen aufleimen (Holz, CFK)
- seitliche Verstärkungen
- Leimfugen sanieren
- Verstärkung mit eingeklebten Gewindestangen und Vollgewindeschrauben
- Holzwerkstoffe aufkleben
- Biegezugverstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen
- Umschnürung mit CFK-Sheet als Schubverstärkung
- Umlagern der Schnittkräfte bei gleicher Spannweite
- Umlagern der Schnittkräfte bei verkleinerter Spannweite
- Einwirkungen fernhalten

Der Einsatz der Verstärkungsmassnahmen ist objektspezifisch anzupassen. In der Regel sind verschiedene Massnahmen erforderlich. Folgende Parameter haben einen grossen Einfluss auf das gewählte Vorgehen: Materialbeschaffung, Zugänglichkeit, Querschnittswerte, Nettoquerschnitt, Trägerhöhen, Alter des Tragwerks, Ursachenermittlung/Gefährdungsbild (Brand, Erdbeben, Stabilität, Witterung, Klima, etc.)

4.4 Arbeitssicherheit

Unternehmer und Bauleitung sind bei der Erfüllung ihrer Aufgaben verpflichtet, die Sicherheit der am Bauwerk Beschäftigten zu gewährleisten. Auf die Sicherheit ist Rücksicht zu nehmen: schon bei der Projektierung und bei der Vertragsgestaltung, dann bei der Festlegung des Bauvorgangs, insbesondere der Reihenfolge der Arbeitsabläufe, und schliesslich bei der Ausführung der Arbeiten. Der Unternehmer trifft die notwendigen Schutzmassnahmen zur Unfallverhütung und Gesundheitsvorsorge. Er wird hierbei von der Bauleitung unterstützt.

Die Richtlinien und Gesetze sind einzuhalten. Je nach Eingriffstiefe sind grössere Investitionen für die Arbeitssicherheit, die Bauplatz-Installation oder objektspezifische Rückbaukonzepte notwendig. Hinsichtlich einer Sanierung können diese Aspekte unter Umständen massgebend werden, sei dies aufgrund von logistischen oder saisonalen Kriterien.

5 BEISPIELE

5.1 Fachwerkbinder

Das Dachtragwerk einer Tennishalle besteht aus Fachwerkbindern mit einer Spannweite von 17 m. Die Druckstäbe sind immer einfach zwischen den Gurten angeordnet, die Zugstäbe zweifach und aussen an die Gurte angeschlossen. Verbindungen mit Bauschrauben und eingefrästen Ringdübeln sorgen für die Kraftübertragung in den Knoten. Im Rahmen der Bestandesaufnahme wurden bei den Auflagerknoten mehrere Schubbrüche entdeckt.



Abb. 3: Schubbruch beim Auflager, Knotenplatte zur Einleitung der Kräfte

Die Tragwerksanalyse ergab, dass die Schnittkräfte zu hoch waren, um von den bestehenden Verbindungen übertragen werden zu können. Eine Verstärkung der Knoten war praktisch nicht möglich, ohne Reduzierung der Schnittkräfte. Diese wurde durch den Einbau eines zusätzlichen Zugstabes erreicht. Nachdem die Auflagerpunkte angeschliffen waren, konnten beidseitig neue Knotenplatten aus Furnierschichtholz mit Schraubpressleimung aufgeleimt werden. Um den Verbund des Knotens weiterhin zu gewährleisten, wurden dieser wieder mit Bauschrauben gesichert. Mit Kammnägeln aufgenagelte Stahlteile übernehmen die Lastenleitung aus den neuen Zugstangen. Durch die deutliche Verminderung der Schnittkräfte konnten die Anschlüsse der Diagonalen an die Ober- und Untergurte auf einfache Weise, mit kreuzweise eingedrehten Vollgewindeschrauben, ertüchtigt werden. Die bestehenden Bauschrauben wurden nachgezogen.

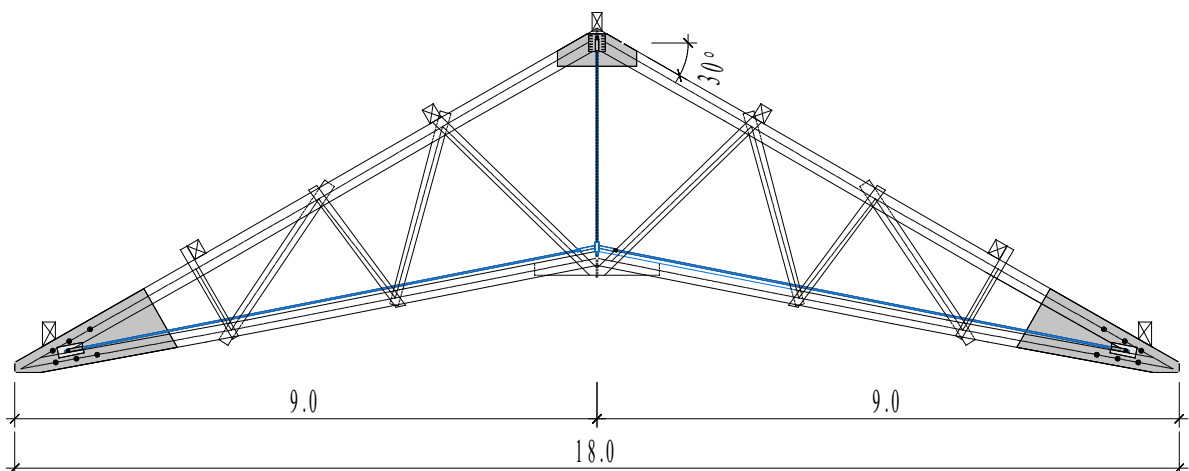


Abb. 4: Fachwerk nach der Sanierung mit zusätzlichen Zugstangen

5.2 Eingespannte Rahmenecke mit Querzugversagen

Bei einer Turnhalle führten hohe Schnittkräfte, fehlerhafte Verleimungen und Klima-Einflüsse zu Rissen in den Brettschichtholz-Stützen. Die Diagnose der Zustandsbeurteilung lautete: Querzugversagen der konisch angeschnittenen Stützen. Die Ertüchtigung der Stützen beinhaltete einerseits die Sanierung der gerissenen Leimfugen, sowie das Eindrehen von Vollgewindeschrauben zur Aufnahme der Querzugkräfte.

Die Leimfugensfestigkeiten sind gemäss Prüfung der entnommenen Bohrkerne zu klein. Die Biegerandspannung muss bei vorliegendem Schrägfaserverlauf um rund 60 % abgemindert werden. Zusätzlich ungünstig auf das Tragverhalten wirkt sich ein allfälliger Schrägfaserverlauf von den verleimten Brettern aus.



Abb. 5: Stütze mit durchgehendem Riss

5.3 Satteldachbinder mit zu geringer Schubfestigkeit

In diesem Fall war der Träger dreiseitig zugänglich und konnte auf einfache Weise im Auflagerbereich mit Furniersperrholz verstärkt werden. Dieses wurden mittels Schraubpressleimung aufgebracht. Spannungen, besonders Schubspannungen und Zugspannungen, die der Konstruktion nicht mehr zugemutet werden sollen, können durch aufgeklebte Holzwerkstoffplatten aufgenommen werden. Ästhetische Gesichtspunkte, das Platzverhältnis und die Zugänglichkeit sind in der Planung zu berücksichtigen.



Abb. 6: Satteldachträger mit aufgeklebten Furnierschichtholz-Schubverstärkungen

5.4 Durchlaufträger mit zu geringer Schubfestigkeit

Bei der Überprüfung eines Zweifeldträgers zeigte sich, dass die Schubspannungen im Bereich der Auflager überschritten wurden. Die Pfette ist sichtbar, womit eine Verstärkung mit einer aufgeklebten Holzwerkstoffplatte nicht mehr möglich war. Erschwerend wirkte sich auch aus, dass auf der linken Seite unmittelbar eine Wand anschloss. Es wurde als unverhältnismässig betrachtet, für eine Sanierung die ganze Wand auszubauen. Nach einem intensiven Variantenstudium entschieden wir uns für eine Ertüchtigung mit Vollgewindeschrauben. Vollgewindeschrauben sorgen für eine Querarmierung der Bauteile und tragen zur Ertüchtigung der Schubfestigkeit bei. Vollgewindeschrauben erlauben eine Montage mit einfachen Mitteln. Ein am Schluss montiertes Abdeckbrett schliesst die Einschraublöcher. Querschnittsminderungen infolge der Schrauben sind bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. Es ist zu beachten, dass Schubbewehrungen mittels eingeschraubten Vollgewindeschrauben erst zur Tragwirkung kommen, wenn bereits Schubriss eingetreten sind. Im vorliegenden Fall wurden die Schrauben dimensioniert, für den Lastfall Schnee als aussergewöhnliche Einwirkung.



Abb. 7: Pfette mit diagonal eingedrehten Vollgewindeschrauben als Schubverstärkung

5.5 Gratsparren mit Biegezugverstärkung

Ein sichtbarer Gratsparren musste verstärkt werden, weil die Biegespannungen deutlich überschritten wurden. Das Bauteil reichte durch eine Zwischenwand in einen zweiten Raum. Eine Ertüchtigung mit zusätzlichen aufgeklebten Holzlamellen wurde ausgeschlossen, weil dadurch der Träger aus ästhetischen Gründen zu hoch wurde. Zudem war ein „Einfahren“ der relativ steifen Lamellen durch die Zwischenwand nicht möglich, die Zwischenwand hätte mit grossem Aufwand demontiert werden müssen. Aus diesem Grund entschied man sich für die Ertüchtigung mit schlaff aufgeklebten kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Diese sind relativ flexibel und können auch in engen Raumverhältnissen und sogar durch kleine Aussparungen hindurch montiert werden.

Mit der Technik des Anklebens steht eine schnelle und wirtschaftliche Methode zur Verfügung. Am Schluss wurde die Lamelle mit einer Holzlamelle abgedeckt.

Der Einleitungsbereich der Lamellenzugkraft in den verstärkten Baukörpern stellt einen besonders gefährdeten Bereich der Verbundzone dar. Eine unzureichende Verankerungslänge führt zu einer Entkoppelung der Lamelle und somit zum Bruch der Klebeverbundverankerung. Besonders ökonomisch ist



Abb. 8: Gratsparren mit schlaff aufgeklebten kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen

die Anwendung zur Aufnahme von Biegespannungen bei Mehrfeldträgern im Bereich der Auflager. Die Lamellen können flächig auf das Bauteil geklebt oder nahezu unsichtbar in eingefräste Nuten eingeklebt werden. Diese Methode wird mit Erfolg bei alter, unter Denkmalschutz stehender Bausubstanz angewandt. Der geringe Auftrag durch die Lamelle und das einfache Handling auch bei grossen Trägerlängen, machen diese Lösung gegenüber Holzlamellen interessant.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Eine erfolgreiche Sanierung setzt voraus, dass bei Schäden die Schadensursache bekannt ist und dass der Planer sich mit den Sanierungsmassnahmen gut auskennt. Eine detaillierte Bestandesaufnahme ist die Grundlage für eine erfolgreiche Sanierung. Im Rahmen der Bestandsaufnahme soll objektspezifisch ein Fragenkatalog erstellt werden, wo Auftraggeber, Bauherrschaft oder Gesamtleiter ihre Wünsche und Anforderungen platzieren können. Woraus z.B. ersichtlich wird, wie gross die Resttragfähigkeit des Tragwerkes ist, welche Bauteile saniert oder ersetzt werden müssen, welche Wände tragend sind und bei einem Umbau bestehen bleiben bzw. abgefangen werden müssen.

Neben der handwerklichen Ausführbarkeit sind auch die wirtschaftlichen Aspekte mit einzubeziehen. In der Regel sind verschiedene Massnahmen erforderlich. Nutzungsvereinbarung, Projektbasis sowie die Unterhalts- und Überwachungspläne sind an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Regelmässiger Unterhalt ist oft die einfachste und kostengünstigste Massnahme zur Erhaltung denkmalpflegerischen Bestandes.

7 REFERENZEN

- SIA 118 (2013) Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten
- SIA 260 (2013) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 (2020) Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 269 (2011) Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken
- SIA 269/1 (2011) Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen
- SIA 269/5 (2011) Erhaltung von Tragwerken – Holzbau
- SIA 469 (1997) Erhaltung von Bauwerken
- Zehrer & Sasse (2007) Handbuch des Facility Management; ecomed-Verlag

Monitoring von Tragwerken und Brücken in Holz

Dr. Bettina Franke, Prof. Andreas Müller, Prof. Dr. Steffen Franke, Sébastien Bonifacio, Marcus Schiere
Bernser Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

1 EINLEITUNG

Holz richtig geschützt und kontrolliert ist sehr leistungsfähig und langlebig. Heute ist mehr oder jeder bereits damit vertraut, etwas digital zu überwachen oder zu steuern. Gleiches nutzt man auch mit verschiedener Präzision für die Qualitätssicherung von Holztragwerken.

«das Monitoring, [Dauer]beobachtung [eines bestimmten Systems]», www.duden.de

Die kontinuierliche Überwachung der Holzfeuchte ist ein geeignetes Frühwarnsystem. Die Bedeutung der Holzfeuchte in Bezug auf mögliche Schäden im Holzbau zeigt die Studie von Frese & Blaß (2011), wo 50 % aller untersuchten Objekte eine Schädigung oder Versagen infolge von Holzfeuchtwechseln oder niedrigen und hohen Holzfeuchten aufweisen. Eine weitere Studie von Dietsch & Winter (2018) belegt, dass 30 % dieser Objekte durch jahreszeitliche oder klimabedingte Holzfeuchtwechsel geschädigt werden. Da die Verteilung der Holzfeuchte über den Querschnitt häufig nicht konstant ist entstehen durch das anisotrope Feuchte-Dehnungsverhalten interne Spannungen senkrecht zur Faser (Feuchte induzierte Spannungen, MIS). Diese Spannungen können leicht die charakteristische Zugfestigkeit senkrecht zur Faser von ca. 0.4 N/mm² überschreiten und zur Rissentwicklung führen, Möhler & Steck (1980). In gekrümmten Brettschichtholzträgern können diese Spannungen auch direkt zum gesamten Tragverlust, wie bei Aicher et al. (1998) oder Gustafsson et al. (1998) gezeigt, führen.

Für Bauwerke, die dem Aussenklima ausgesetzt sind, wie z. B. Holzbrücken, werden Monitoringsysteme bereits langjährig zusammen mit anderen Massnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit und Lebensdauer eingesetzt, Franke et al. (2015). Zwei wichtige Aspekte sind hierbei entscheidend, um die Sicherheit und Funktionstüchtigkeit der Brücke während der gewünschten Lebensdauer zu gewährleisten, ASTRA Richtlinie 12002. Erstens muss die Planung auf dieses Ziel ausgerichtet sein und zweitens der Zustand des Bauwerks während der ganzen Betriebsphase überwacht werden. Zur Überwachung gehören nicht nur regelmässige visuelle Kontrollen und Inspektionen, sondern auch Kontrollmessungen. Wenn die Kontrollmessungen mittels einem Monitoringsystem durchgeführt werden, können Kontrollen und Inspektionen anhand dieser Messungen effizienter geplant und eventuelle Trends besser abgeleitet werden.

Schwer kontrollierbare und verdeckte Komponenten sind bei „geschützten“ Holzbrücken oft nicht zu vermeiden. Anhand heute üblicher punktueller oder flächiger Messungen ist es möglich ein Brückentragwerk messtechnisch zu überwachen. Die Bestimmung der Holzfeuchte konzentriert sich auf die kritischen Stellen/Gefahrenzonen/Hot Spots, wie z. B. auf Anschlüsse, Fahrbahnübergänge, Durchdringungen und Auflagerbereiche. Mit einer gewissen Erfahrung gelingt es meist mit der Langzeitüberwachung dieser „Hot Spots“, frühzeitig signifikante Abweichungen in der Holzfeuchte festzustellen, Müller et al. (2020). Die Abdichtungssysteme können i. d. R. nicht oder nur mit aufwändigen Sondierungen kontrolliert werden. Meistens erfolgt dies erst, wenn bereits Schäden an der Fahrbahnplatte erkennbar sind, Franke B. et al. (2015). Eine flächige Leckage-Erkennung integriert in einem Monitoringsystem kann hier Irregularitäten früher erkennen und Schäden können vermieden werden.

Aber auch die Kontrolle von Holztragwerken über Eis- und Reitflächen, in Lager- und Produktionshallen, bei Fassaden aus Holz, oder Flachdächern sind ingenieurmässige Anwendungen zur Sicherung der Qualität des Holzbaus. Die Vielfalt von Überwachungsmöglichkeiten wird auch am «House of Natural

Resources» der ETH Zürich gezeigt. Ein dichtes Sensornetzwerk wurde hier installiert, um u. a. die Vorspannkraft, die Verformung oder relative Verschiebungen neben der Holzfeuchte zur Erfassung des Verhaltens des Gebäudes über mehrere Jahre und zur Quantifizierung des Langzeitverhalten dieser Holzkonstruktion, Frangi (2021).

Monitoringsysteme können auch zur Systemsteuerung dienen. In einem Mehrfamilienhaus in Büren im Kanton Solothurn wurden vier Wohnungen mit Sensoren zur Messung der Luftqualität ausgestattet, Bonifacio S. (2020). Die Luftqualität hat direkte Effekte auf die Personen, die sich in Räumen aufhalten. Anhand von Messungen der Lufttemperatur, Luftqualität, CO₂ und VOC kann die Luftqualität beurteilt werden. Eine Steuerung der Lüftungsgeräte kann so optimiert und die Luftwechselrate auf die nötige/optimale Menge reduziert werden. Das Resultat ist eine ständig sehr gute Luftqualität bei gleichzeitiger Energieeinsparung aufgrund der Reduzierung der Luftwechselrate, wenn keine Personen in der Wohnung sind.

2 PLANUNG, SPEICHERUNG UND ÜBERTRAGUNG VON MESSDATEN

Für die Planung, Umsetzung und Auswertung eines Monitoringsystems sollte ein Austausch mit entsprechenden Fachexperten erfolgen. Zu Beginn steht die Wahl der Messgrösse als ein erster wichtiger Schritt neben der Festlegung der Kontrollpunkte und deren Anzahl. Die Messdatendichte kann von Objekt zu Objekt oder auch von Kontrollpunkt zu Kontrollpunkt individuell definiert werden. Fachpersonen auf diesem Gebiet können hier Hilfestellung liefern und bei der Entscheidung für ein geeignetes System beraten.

Der Einbau von Messsensoren ermöglicht die Erfassung von Messdaten in festgelegten Intervallen. Das Übertragen der Daten von einzelnen Messstellen kann z. B. per WLAN, LoRaWan oder LPWan zu einem zentralen Modul (Gateway) und weiter zu einem WebPortal erfolgen. Wenn die Messdaten auf einem WebPortal abgelegt sind, können diese in quasi Echtzeit z. B. vom Arbeitsplatz aus eingesehen werden und sind weltweit verfügbar. Der Server kann die Messdaten auswerten und Warnungen bzw. einen Alarm auslösen. Eine Speicherung und Auswertung der Messdaten kann auch vor Ort auf dem Gateway oder anderen Mess-/Speichereinheiten erfolgen und durch diese ausgewertet und direkt Warnungen und Alarmen ausgelöst werden (z. B. per SMS). Nach der Inbetriebnahme arbeiten diese Systeme autonom.

Die verschiedenen Komponenten Messstellen, Messgerät, Gateway und Benutzeroberfläche bilden dabei zusammen das Monitoringsystem. Batteriebetriebene Systeme können je nach System und Messstellenanzahl bis mehrere Jahre wartungsfrei funktionieren.

Kabelgebundenes Monitoringsystem



WLAN (Wireless Area Network) System



LoRaWAN (Long Range Wireless Area Network) System

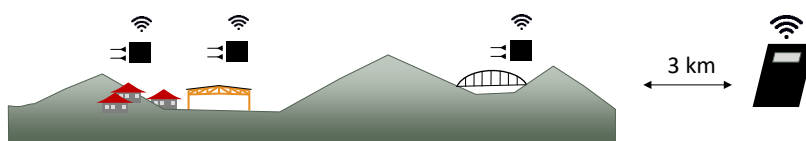


Abb. 1: Übersicht zu den Datenmanagement von Monitoringsystemen

3 MESSGRÖSSE HOLZFEUCHTE

3.1 Allgemeines zu den Messverfahren

Zur Messung der Holzfeuchte können punktuelle und flächige Messsysteme eingesetzt werden, siehe Übersicht in Abb. 2. Für die Überwachung von punktuellen kritischen Stellen wird das Widerstandsmessverfahren, die Sorptionsisothermenmethode und die passive RFID-Tag Methode unterschieden. Die prinzipielle Beschreibung der Messtechniken zur Holzfeuchte ist im Referat «Bewertung der Holzfeuchte und deren Auswirkungen», Franke et al. (2021) in diesen Kursunterlagen enthalten. Im Folgenden werden die Besonderheiten im Monitoring ergänzt.

Die elektrische Widerstandsmessmethode ist technisch sehr einfach umzusetzen und von aussen einfach anzubringen und auszutauschen. Die Sorptionsisothermenmethode liefert durch die Messung von relativer Luftfeuchte und Temperatur in einem isolierten Hohlraum eine hohe Genauigkeit, Bonifacio S. (2020). Ein RFID-Tag misst die Feuchte in der unmittelbaren Umgebung des Tags nach dem Prinzip des kapazitiven Messverfahrens gemittelt über eine gewisse Bauteiltiefe. Die Verwendung von RFID-Tags ist kostengünstig und kabellos. Passive RFID-Tags brauchen keine externe Stromversorgung oder Batterie und sind bei vielen Anwendungen einsetzbar, Müller et al. (2021).

Flächige Bauteile können zuverlässig mit leitfähigem Glasvlies oder mit Bandsensoren überwacht werden. Beide Lösungen stützen sich auf Potentialmessungen und sind vor allem im Hochbau bei Überwachung von Flachdächern im Einsatz, Burger K. et al. (2018). Bei Veränderung der Feuchte oder bei Vorhandensein von Wasser ändert sich das elektrische Potential des leitfähigen Gewebes und man kann ein flächiges Feuchtemonitoring durchführen, Müller et al. (2021).

In Monitoringsystemen unterscheidet man zwischen zwei Hauptgruppen in den Sensoren, den aktiven und passiven Sensoren. Mit dieser Bezeichnung wird unterschieden, ob der Sensor für die Messung elektrische Hilfsenergie benötigt oder nicht. Aktive Sensoren benötigen eine Versorgungsspannung und generieren anschliessend ein Ausgangssignal. Zu dieser Gruppe gehören u. a. die Sorptionsisothermen- und elektrische Widerstandsmessmethode als punktuelle Messung der Holzfeuchte. Passive Sensoren arbeiten demgegenüber ohne Versorgungsspannung und nutzen die Energie in der Umgebung z. B. des Lesegeräts. Zu den passiven Sensoren gehören u. a. auch einige Radio Frequency Identification (RFID)-Tags. In Deutsch „Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen“.

3.2 Punktuelle Messstellen

3.2.1 Elektrisches Widerstandsmessverfahren

Die Wahl und der Einbau der Elektroden sollte gerade bei Objekten, die dem Aussenklima, starken klimatischen Schwankungen oder direkter Bewitterung unterliegen, sorgfältig erfolgen. Durch das Schwinden und Quellen des Holzes können normale Holzschrauben oder Nägel keinen oder schlechten Kontakt mit dem Holz oder dem Kabel haben. Beides führt zur Verfälschung der Widerstandsmessung und zumeist zu tieferen Holzfeuchten als in Realität. Die Verwendung von Stockschrauben und einer

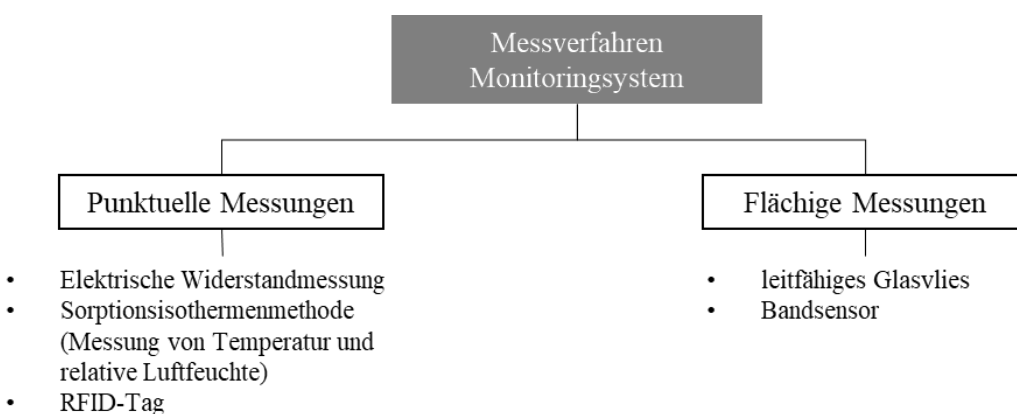


Abb. 2: Übersicht zu den Messverfahren zur Holzfeuchte in der Anwendung beim Monitoring



Abb. 3: Prinzipskizze und Fotos des Einbaus von Stockschrauben-Elektrode und Schutzbox, Müller et al. (2021)

Schutzbox hat sich bewährt, vgl. Abb. 3. Die Stockschrauben sind ausser der Spitze mit geeignetem Material zu isolieren. Die Kabel werden direkt an der Stockschraube mit Mutter und Gegenmutter fixiert. Das Schwinden und Quellen von Holz hat hierdurch fast kein Einfluss auf den erforderlichen guten elektrischen Kontakt zwischen Holz und Elektrode. Alle metallischen Teile der Elektroden sollten möglichst aus Edelstahl sein, Müller et al. (2021).

3.2.2 Sorptionsisothermenmethode

Die Sorptionsisothermenmethode eignet sich am besten bei vorhandenen Leimfugen, dem Einfluss von Salzen, der Verwendungen von Schutz- und Imprägniermitteln oder aber auch bei langanhaltenden Temperaturen unterhalb von 5 °C. All diese Faktoren beeinflussen die Messung mittels Sorptionsisothermen nicht. Die Anwendung und Implementierung der Messsonde erfordert eine Hohlraumgrösse von 8 bis 10 mm Durchmesser, wobei die Tiefe der Messsonde beliebig gesteuert werden kann, vgl. Abb. 4.

Die Funktionsweise bzw. Ergebnisse der Sorptionsisothermenmethode über verschiedene Bauteiltiefen sind exemplarisch in Abb. 5 für eine Massivholzwand aufgezeigt. Das Diagramm stellt die gemessene Holzfeuchte und die rechnerische Ausgleichsfeuchte (grüne Linie) aus dem Raumklima über einen Zeitraum von zwei Jahren dar. Man erkennt sehr deutlich, dass der oberflächennahe Sensor in der Wand bei einer Tiefe von 5 – 10 mm (orange Linie) sehr schnell auf das Raumklima mit einer ähnlichen Wechselrate und Amplitude wie die rechnerische Ausgleichsfeuchte reagiert. Nur in den Sommermonaten, wenn das Raumklima sehr schnell feuchter wird, gibt es Unterschiede zwischen der orangen und grünen Linie. Diese Unterschiede egalisieren sich aber schnell. Hierdurch kann man z. B. in dieser Konstruktion feststellen, dass Gipskarton und Abrieb sehr diffusionsoffene Materialien sind.

Ferner enthält das Diagramm die gemessenen Holzfeuchten in den Tiefen 20 - 30 mm, 70 - 80 mm und 95 - 105 mm. Bereits ab einer Tiefe von 20 mm (lila Linie) ist ein «gedämpftes» Verhalten der Holzfeuchte bezüglich rechnerischer Ausgleichsfeuchte festzustellen. Hier liegen die Holzfeuchtwerte im Sommer tiefer und im Winter höher als die rechnerische Ausgleichsfeuchte. Mit der Sorptionsisothermenmethode werden in diesem Fall sehr genaue Auswertungen bezüglich Holzfeuchte und Zusammenwirkung zwischen Raumklima und Wassergehalt in der Massivholzwand möglich.

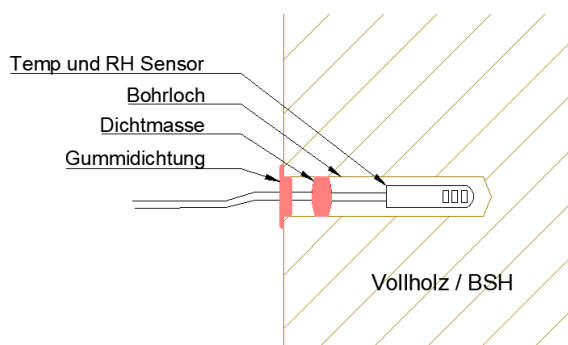


Abb. 4: Einbau von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte-Sensoren in Massivholzwände

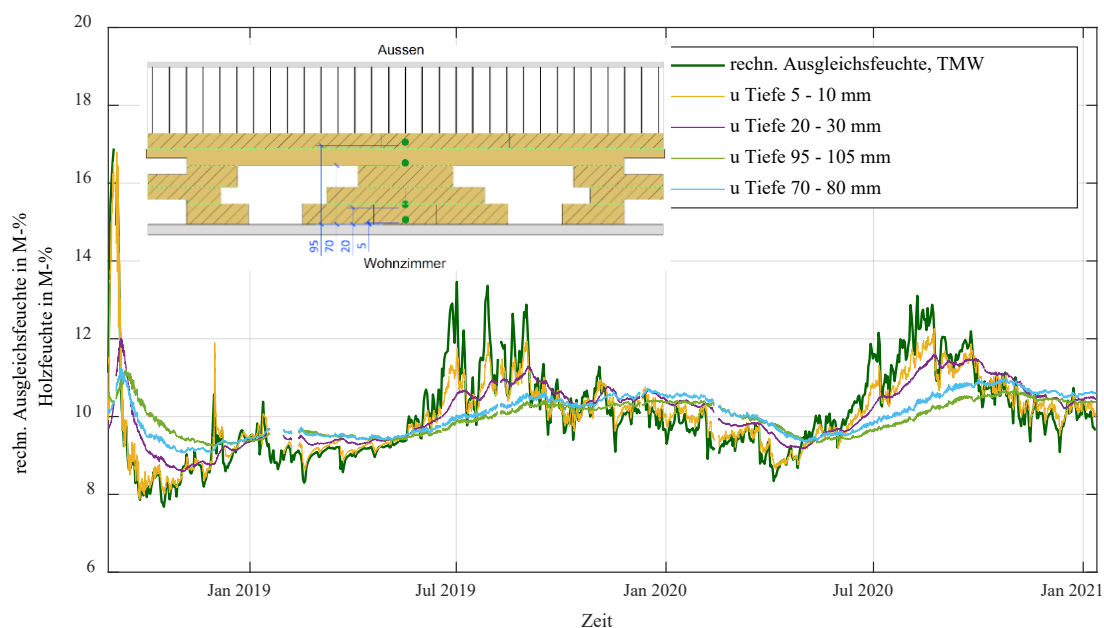


Abb. 5: Auswertung der Holzfeuchte gemessen mit der Sorptionsisothermenmethode bei verschiedenen Tiefen in einer Massivholzwand

3.2.3 RFID-Tags für die lokale Leckage Erkennung

Die Radio Frequency Identification (RFID) - Tags sind kleine Geräte, die Radiowellen mit geringer Leistung nutzen, um Daten zu empfangen, zu speichern und an Lesegeräte in der Nähe zu übertragen (Abb. 7). Die Grundtypen von RFID-Tags sind passiv, aktiv und semi-passiv oder batteriegestützt passiv (BAP), Smiley S. (2019).

- Passive RFID-Tags haben keine interne Stromquelle, sondern werden durch die elektromagnetische Energie, die von einem RFID-Lesegerät übertragen wird, gespeist.
- Aktive RFID-Tags verfügen über einen eigenen Sender und eine eigene Stromquelle an Bord des Tags.
- Semipassive oder batteriegestützte passive (BAP) Tags bestehen aus einer Stromquelle, die in eine passive Tag-Konfiguration integriert ist.

Darüber hinaus arbeiten RFID-Tags in drei Frequenzbereichen:

- Ultra-High Frequency (Ultrahochfrequenz, UHF),
- High Frequency (Hochfrequenz, HF) und
- Low Frequency (Niederfrequenz, LF).

RFID-Tags können auf einer Vielzahl von Oberflächen angebracht werden und sind in verschiedenen Grössen und Ausführungen erhältlich. Die Abmessungen variieren von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern. RFID-Tags sind auch in einer Vielzahl von Formen erhältlich. Die Firma Smartrac oder RFMicron verwenden bereits passive RFID-Tags zur kapazitiven Messung von Feuchte oder Nässe. Diese Tags werden in den Bereichen Bauwesen, Energie aber auch Gesundheitswesen erfolgreich angewandt.

Am Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur der Berner Fachhochschule wurden ebenfalls erste Anwendungen mit RFID-Tags durchgeführt (Abb. 6). Die Versuche haben gezeigt, dass der Einbau von diesen RFID-Tags im Holz eine punktuelle Messung der Holzfeuchte erlauben, jedoch mit einer grösseren Messunsicherheit als die elektrische Widerstands- oder Sorptionsisothermenmethode. Die RFID-Tags sollten im Bauteilinneren liegen und sind solange lesbar, bis die darüberliegenden Materialschichten das Signal nicht abschirmen. Hierdurch ist es möglich, schwer erreichbare und nicht sichtbare Bauteile auch ohne Stromversorgung zu überwachen. Den RFID-Sensoren wird eine Lebensdauer von 50 Jahre zugeschrieben.



Abb. 6: Gleichzeitige Messung von mehreren RFID-Tags, die im Holzprobekörper eingebaut sind

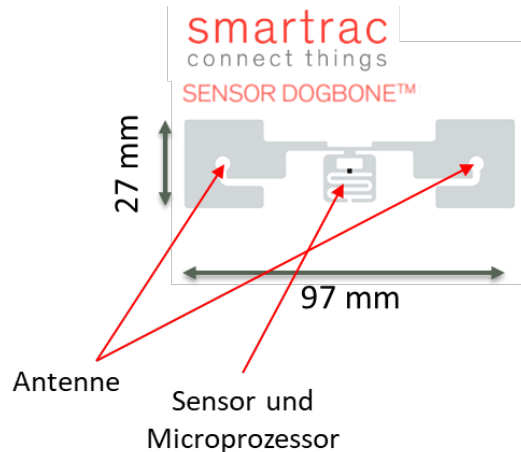


Abb. 7: Komponenten eines passiven RFID-Tags der Fa. Smartrac ohne Versorgungsspannung

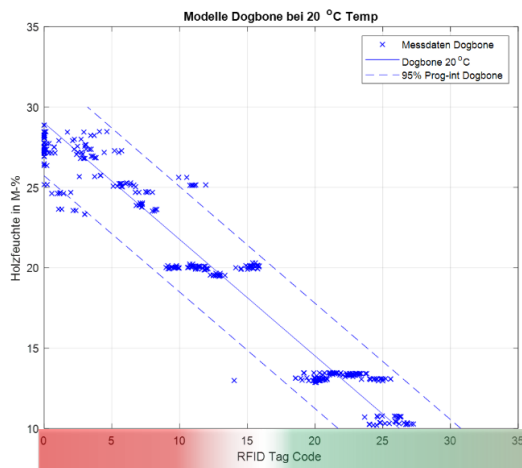


Abb. 8: Korrelation zwischen RFID-Tag Dogbone Code vs. Holzfeuchte bei 20 °C

Die Korrelation zwischen ausgelesenem Sensor Code und der Holzfeuchte muss aktuell noch anhand von Referenzprüfungen bestimmt werden und ist RFID-Tag spezifisch. In Abb. 8 ist eine beispielhafte Korrelation zwischen Sensor Code und Holzfeuchte zusammen mit dem Prognoseintervall dargestellt. Die Breite des Prognoseintervalls ergibt sich aus der Streuung der Messdaten, mit denen die Korrelation hergeleitet wurde. Je nach Anwendung ist zusätzlich auch eine Temperaturkompensation der Messung zu berücksichtigen. Der Anwendungsbereich des Modells liegt zwischen 10 M-% und 28 M-% für die Holzfeuchte. Der Messfehler liegt bei ± 3.5 M%, abgeleitet aus der Breite des Prognoseintervalls.

Aufgrund des sehr niedrigen Preises von RFID-Tags und der geringen Größe können mehrere Sensoren an jeder Messstelle installiert werden und hierdurch kann dann ein Mittelwert der Sensoren-Codes gebildet werden. Auf diese Weise kann eine höhere Messgenauigkeit erreicht werden und das System ist weniger anfällig für den Ausfall einzelner RFID-Sensoren.

3.3 Flächige Messverfahren

3.3.1 Flächige Leckage Erkennung mit Sensorbändern

Mit Sensorbändern ist es möglich, linienförmig z. B. unter einer Abdichtung von Flachdächern oder Fahrbahnbelägen hohe Feuchten oder Nässe zu detektieren. Bandsensoren bestehen aus einem Kunststoffgewebe und Edelstahldrähten, siehe u. a. Abb. 9. Während des Monitorings wird eine Potentialmessung zwischen zwei Drähten im Sensorband durchgeführt. Das Vorhandensein von Wasser führt dazu, dass der elektrische Widerstand sinkt und detektiert werden kann.

Dieses Messverfahren ist vor allem an Stellen im Einsatz, an denen sich das Wasser oder die Feuchte unter der Abdichtung ausbreiten können. Mit den Sensorbändern kann je nach Abstand und Anordnung der einzelnen Bänder, ein quasi-flächiges Monitoring erreicht werden. Für die Anwendung bei Brückentragwerken muss darauf geachtet werden, dass für eine flächige Leckage Erkennung mit linienförmigen Sensorbändern, ein Fahrbahnaufbau mit einer Abdichtung ohne Verbund erfolgt. Denn je nach geplanten Quer- und Längsgefälle der Brücke würde mögliches eingedrungenes Wasser in der Trennschicht zwischen Abdichtung und Fahrbahnplatte in Richtung des Gefälles fließen und könnte hier z. B. an einem Brückenrand oder Fahrbahnübergang detektiert werden. An den Gefällerrändern können punktuelle oder linienförmige Sensoren Anwendung finden.

Die Fuss- und Radwegbrücke zwischen Rapperswil und Auenstein wurde mit einem flächigen Monitoringsystem ausgerüstet. Das Monitoringsystem überwacht die mögliche Leckage der Abdichtung und erfasst zusätzlich Klimadaten, Materialtemperatur und Holzfeuchte, vgl. Abb. 10 und Abb. 11. Die Messeinheit vor Ort wertet die Messdaten aus und sendet diese in eine Cloud, damit sie mit einem Browser jederzeit weltweit abgerufen werden können. Bei Erreichung kritischer Werte werden Warnungen und Alarme ausgelöst.

3.3.2 Flächige Leckage Erkennung mit leitfähigem Vlies

In einer intakten Abdichtung ist kein Wasserfluss vorhanden und somit findet auch kein elektrischer Stromfluss statt. Bei einer Leckage in der Abdichtung durchdringt Wasser die Abdichtung und ermöglicht die Leitung von elektrischem Strom in dem leitfähigen Vlies unterhalb der Abdichtung. Anhand von diesem physikalischen Prinzip, sind heutzutage flächige Überwachungen von Flachdächern oder Deponien möglich, Burger K. et al. (2018). Das Vorhandensein von Wasser, im Fall von einer Leckage, ändert die elektrischen Eigenschaften, bzw. den Messwert, hierdurch können Leckagen detektiert werden. Nach Austrocknung stellen sich wieder die Ursprungswerte ein. Eine Früherkennung und die

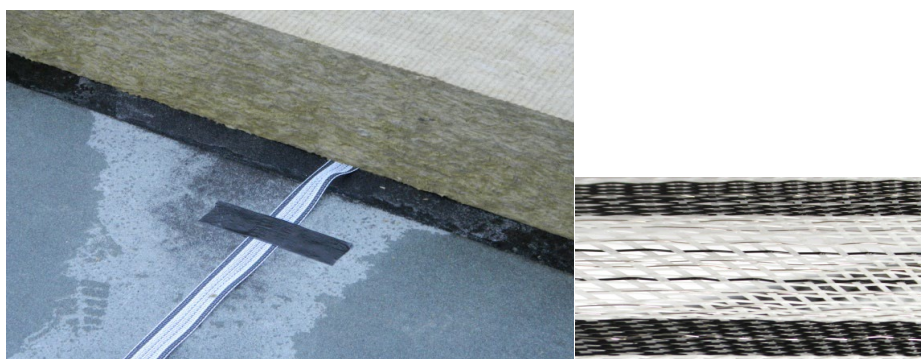


Abb. 9: Bandsensor «dm» der Firma ProGeo in einem Warmdachaufbau (links) und Detail (rechts)

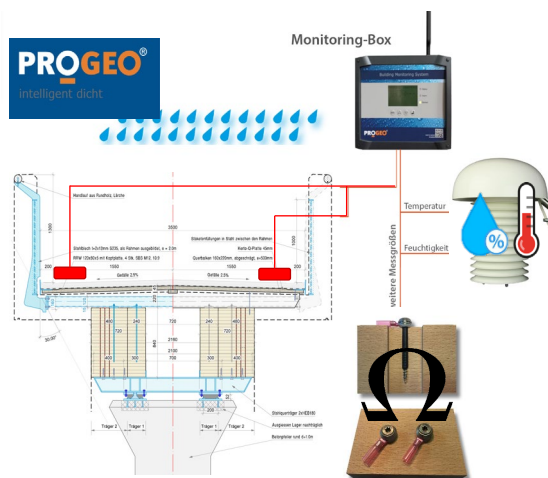


Abb. 10: Monitoringsystem Fuss- und Radwegbrücke zwischen Rapperswil und Auenstein



Abb. 11: Sensoren auf der Holzplatte und Verlegung des Glasvlies und der PBD-Abdichtung

Detektion von verdeckten Wasserschäden sind möglich. Das gleiche Funktionsprinzip kann eingesetzt werden, um das Vorhandensein von Wasser im Bereich von Steigzonen, Installationsräume oder Zwischenräume zu erkennen. Auf dem Markt sind aktuell verschiedene Monitoring-Systeme zur Überwachung von Flachdächern vorhanden, siehe u. a. smartex mx Firma ProGeo (D), Optidry Firma Ortungstechnik Nachbaur GmbH (A) oder RoofProtector Firma RPM Gebäudemonitoring GmbH (A). Diese Systeme messen über leitfähige Matten (flächig) oder Bänder (linienförmig) elektrische Messgrößen.

Für die Leckage Erkennung in Flachdächern wird z. B. ein leitfähiges Glasvlies unter der Abdichtung und oberhalb der Dämmung eingebaut. Zusätzlich wird ein Raster von Flachkabeln eingebaut. Diese bilden den inneren Pol des Messsystems. Oberhalb der Abdichtung wird mittels einer Kontaktplatte der zweite Pol gesetzt (vgl. Abb. 12 und Abb. 13). Bei einem Regenereignis wird der Strom von der Kontaktplatte über die gesamte nasse Oberfläche zur Abdichtung geleitet. Die Messeinheit führt eine Potentialmessung zwischen den zwei Stellen durch. Anhand des Kabelrasters ist es möglich, den Potentialverlauf in der Fläche darzustellen und die Position der Leckagen festzustellen.

Der Einbau von Glasvlies unter der Abdichtung dient auch als Trennschicht. Der Aufbau hat also kein Verbund zwischen Abdichtung und Untergrund. Bei Flachdächern sind keine besonderen mechanischen Eigenschaften und Verbund beim Abdichtungssystem gefragt. Diese Trennschicht kann auch während des Einbaus der Abdichtung den Dampfdruck ausgleichen. Ferner haben Versuche am IHTA



Abb. 12: Flächensensor «smartex sp» der Firma ProGeo für die Detektion von Feuchtigkeit (links), Auswertung der Messdaten im Monitoringportal (mitte) und Installation des Flächensensors in einem schwer zugänglichen Ort unter einem Wasserablauf (rechts)

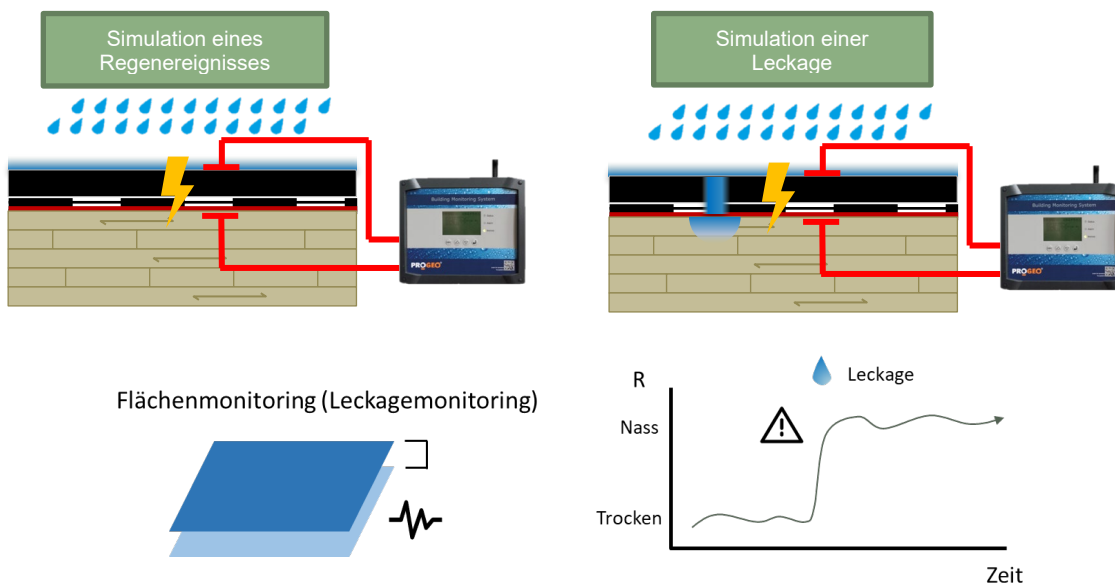


Abb. 13: Schematische Darstellung der Messungen auf Holzplatten mit leitfähige Glasvlies, PBD Abdichtung und Gussasphalt bei einem Aufbau mit Vollverbund

gezeigt, dass der Einbau von leitfähigen Werkstoffen unter der Abdichtung bei Holzbrücken, wie z. B. ein spezielles Glasvlies, das Detektieren von Feuchteänderungen ermöglicht, Müller et al. (2021). Diese Versuche haben auch bewiesen, dass bei Anwendung in schubfesten Fahrbahnaufbauten in Holzbrücken die mechanischen Eigenschaften nicht beeinflusst werden.

4 MESSUNG DES RAUMKLIMAS UND DER LUFTQUALITÄT

Zur Erfassung des Raumklimas und der Raumluftqualität wird die Temperatur, die relative Feuchte, die VOC- und CO₂-Konzentration der Raumluft gemessen. Die Lufttemperatur- und die relative Luftfeuchtesensoren können z. B. an der Decke montiert werden. Die VOC- und CO₂-Sensoren können an der Wand zusammen mit Schaltergruppe montiert und integriert werden. Mit diesen Sensoren ist es möglich, kontinuierlich die Luftqualität zu überwachen. Eine Steuerung der Lüftungsgeräte kann so optimiert werden und die Luftwechselrate auf eine nötige Menge reduziert werden. Das Resultat ist eine ständig gute Luftqualität und eine hohe Energieeinsparung aufgrund von Reduzierung der Luftwechselrate, wenn sich keine Personen in der Wohnung befinden.

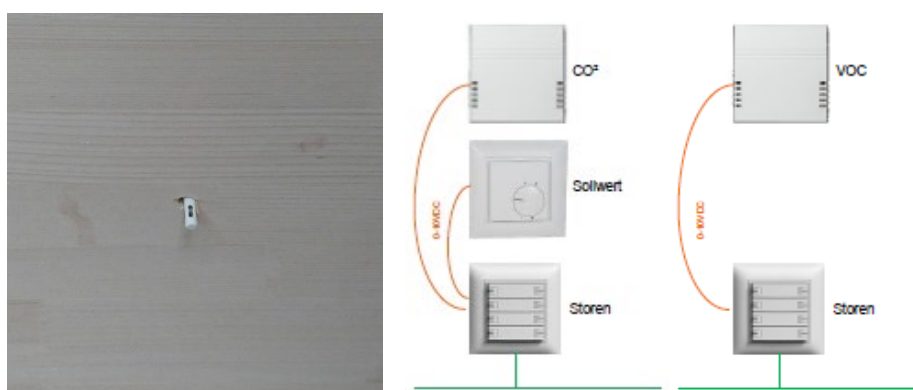


Abb. 14: Raumklimasensor an der Decke montiert und CO₂ und VOC Sensoren integriert mit der Schaltergruppe für die Wandmontage

5 FALLBEISPIEL - MONITORING EINER HOLZBRÜCKE

In Rahmen von Forschungsprojekten konnten bereits verschiedene Strassenbrücken in Holz innerhalb der Schweiz durch das Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur an der Berner Fachhochschule überwacht werden. Die Konstruktionen reichen von Balken-, Bogen-, Trogbriücken zu Blockholzbrücken und Holz-Beton-Verbundbrücken. Die Standorte sind regional verschieden wie auch die Brückenquerung über Flüsse, Täler oder Strassen. Die Spannweiten reichen von 13 bis 50 m. Weiterführende Informationen sind in Franke et al. (2015, 2016) zusammengefasst.

In Abb. 16 sind für die Obermattbrücke im Emmental exemplarisch der Verlauf der Vorort gemessenen Lufttemperaturen, relativen Luftfeuchtigkeit gemeinsam mit der rechnerischen Ausgleichsfeuchte an der Oberfläche vom Holz dargestellt. Abb. 15 enthält die Messorte aufgezeigt am Brückenquerschnitt. In den weiteren Diagrammen in Abb. 16 sind die in dem Tragquerschnitt gemessenen Holzfeuchten dargestellt. Die Holzfeuchte wurde zum einen oberflächennah, ca. 20 mm tief und zum anderen im Querschnitt mit einer Tiefe von 200 mm gemessen. Zusätzliche wurde die rechnerische Ausgleichsfeuchte für jeden Messzeitpunkt bestimmt, eine zeitliche Verzögerung infolge des Feuchtetransportes im Holz und der Dauer der Einwirkung des Klimas wurde nicht berücksichtigt. Der Verlauf der gemessenen Holzfeuchten zeigt gegenüber der rechnerischen Ausgleichsfeuchte einen verzögerten und gedämpften Verlauf.

Auf der Südseite ist ab August 2013 ein Anstieg der Holzfeuchte für einen Messsensor zu verzeichnen. Dies ist mit einer partiellen konstruktiven Leckage verbunden, die mittlerweile behoben wurde und das Holz wieder abtrocknen kann. In diesem Fall hat das installierte Monitoringsystem als Frühwarnsystem agiert und spätere schwerwiegende Konstruktionsschäden konnten frühzeitig vermieden werden.

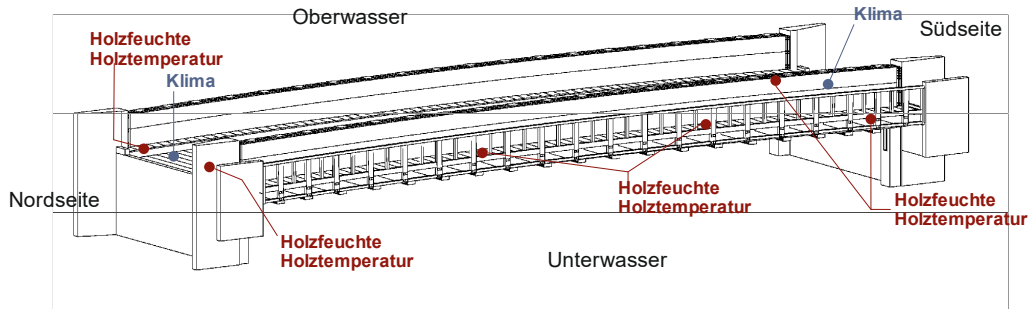


Abb. 15: Positionierung der Messsensoren an der Obermattbrücke

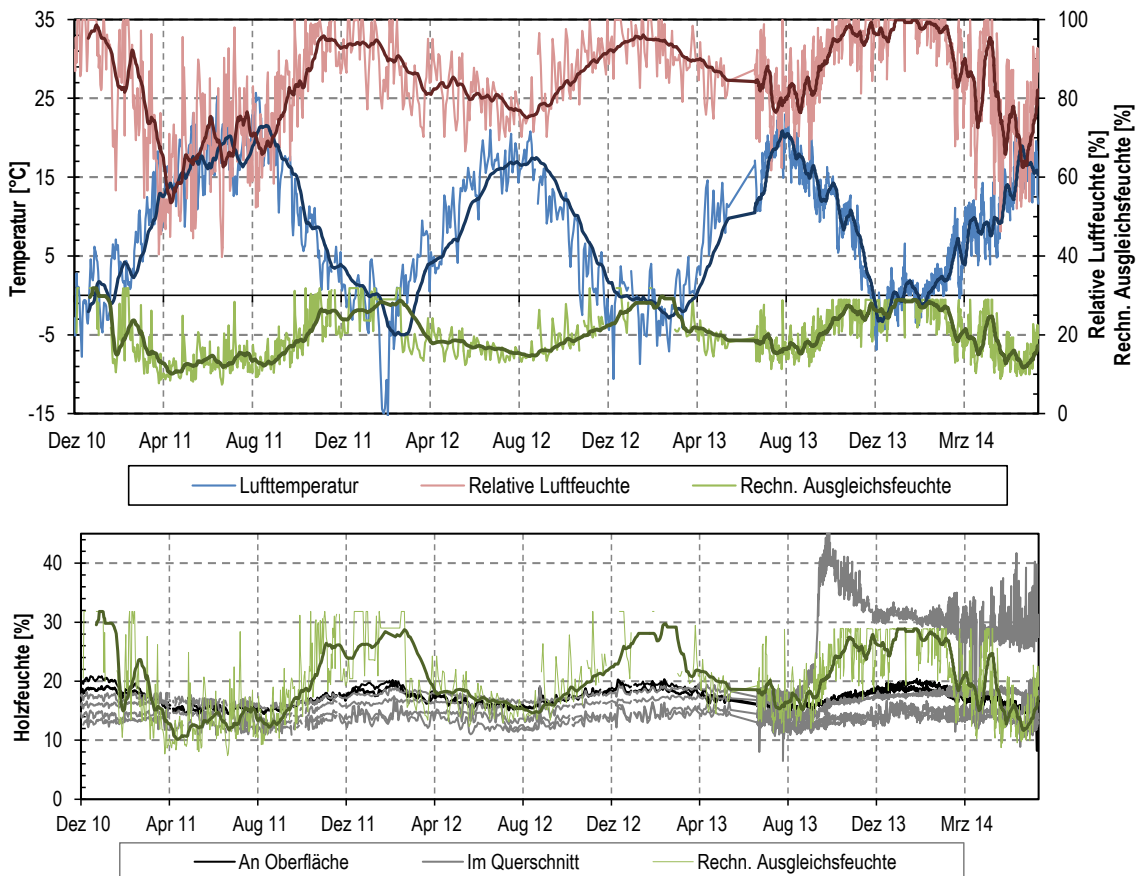


Abb. 16: Klima, Holzfeuchte und rechnerischen Ausgleichsfeuchte für die Obermatt Brücke, nach August 2013 Leckage im Querschnitt erkennbar

6 ZUSAMMENFASSUNG

Holz ist ein lebendiges und anerkanntes Konstruktionsmaterial für die Realisierung von vielfältigen Tragstrukturen wie zum Beispiel Häuser, Eis-, Reit- und Sporthallen als auch Schwimmbäder, Lager-, Produktionsgebäude und Brücken. Holz ist aber auch ein hygroskopisches Material und in der Lage aus dem umgebenden Klima Feuchtigkeit aufzunehmen oder abzugeben. Die sogenannte Holzfeuchte (MC) beeinflusst die Materialfestigkeiten und Steifigkeiten wie auch das Langzeittragverhalten. Wie die Studien von Frese & Blaß (2011) und Dietsch & Winter (2018) zeigen, ist die Ursache für Schäden an Holzkonstruktionen zur Hälfte durch eine Veränderung der Holzfeuchte oder jahreszeitliche und klimabedingte Holzfeuchtwchsel zu begründen. Die kontinuierliche Überwachung der Holzfeuchte ist aus diesem Grund ein geeignetes Frühwarnsystem um zukünftig die Qualität von Holztragwerken wegweisend zu erhöhen und Veränderungen rechtzeitig zu erkennen. Die Kontrollpunkte im Monitoring sollten in möglichen Gefahrenzonen/Hot Spots platziert werden. Diese können unter anderem Fahrbahnübergänge, Auflagerbereiche, Übergangsbereiche und Durchdringungen sein. Zur Messung

der Holzfeuchte eignen sich die verschiedenen vorgestellten punktuellen und flächigen Methoden. Für die Planung, Umsetzung und Auswertung eines Monitoringsystems sollte stets die Anzahl der Messpunkte, die Genauigkeit und die Datenspeicherung-/übertragung mit Blick auf das Ziel definiert werden. In dieser Phase kann ein Austausch mit entsprechenden Fachexperten positiv unterstützen.

7 DANKSAGUNG

Die vorgestellten Forschungsergebnisse sind in den Projekten «Qualitätssicherung von Holztragwerken» des Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz (WHFF-CH) des Bundesamtes für Umwelt und dem «Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Brücken mit Fahrbahnplatten», VSS2016/326 des ASTRA entstanden. Den Fördergebern und begleitenden Wirtschaftspartner wird an dieser Stelle für Ihre Unterstützung gedankt.

8 REFERENZEN

- Aicher S., Dill-Langer G., Ranta-Maunus A. (1998), Duration of load effect in tension perpendicular to the grain of glulam in different climates, *Holz als Roh- und Werkstoff* 56, pp. 295-305
- ASTRA (2005) Richtlinie 12002, Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen
- Bonifacio S. (2020) Untersuchung der Grundlagen zur Messung des Raumklimas in einem Holzgebäude, Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Schweiz
- Burger K., Elter P., Holm K. und Kämmer U. (2018), Das dichte Flachdach, *Bauphysik-Kalender 2018 Feuchteschutz und Bauwerksabdichtung*, 335-360
- Dietsch P., Winter S. (2018), Structural failure in large-span timber structures: A comprehensive analysis of 230 cases, *Journal of Structural Safety* 71, pp. 41-46
- Frangi A. (2021) ETH - House of Natural Resources, <https://honr.ethz.ch/living-lab/monitoring.html>, online 23. Aug. 2021
- Franke B, Franke S, and Müller A. (2015) Case studies: long-term monitoring of timber bridges, *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 5, p. 195-202.
- Franke B., Müller A., Franke S., Magniere N. (2016) Langzeituntersuchung zu den Auswirkungen wechselnder Feuchtegradienten in blockverleimten Brettschichtholzträgern, *Forschungsbericht WHFF 2013.06*, ISBN 978-3-9523787-7-9.
- Frese M., Blass H.J. (2011), Statistics of damages to timber structures in Germany, *Engineering Structures* 33, pp. 2969–2977
- Gustafsson P.J., Hoffmeyer P., Valentin G. (1998), DOL behaviour in end-notched beams, *Holz als Roh- und Werkstoff* 56, pp. 307-317
- Müller A., Angst C., Bueche N., Schiere M., Bonifacio S. (2021) Asphaltbeläge auf Holzbrücken - Synthesebericht der Versuche und Untersuchungen, *Forschungsbericht*, Berner Fachhochschule
- Müller A., Schiere M., Bonifacio S. (2020) Feuchtemonitoringsysteme auf Holzbrücken, *Tagungsband 4. Brückenkolloquium*, Technische Akademie Esslingen
- Möhler K., Steck G. (1980), Untersuchungen über die Rissbildung in Brettschichtholz infolge Klimabelastungen, *Holzbauforschung*, pp. 194-200
- Smiley S. (2019) A Tag, A Label, An Inlay. *AtlasRFIDstore*, 1 May 2019, www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/a-tag-a-label-an-inlay.

Überlegungen zur Ausschreibung

Fritz Maeder
Holzing Maeder GmbH, Evillard

1 EINLEITUNG

Die Ausschreibung, auch Leistungsverzeichnis genannt, dient als Grundlage für das Auftragsangebot, die Auftragsvergabe und die Auftragsabrechnung. Die Ausschreibung ist eine genaue Auflistung und Beschreibung aller am Bau anfallenden Arbeiten und Materialien. Sie enthält in der Regel Materialanforderungen, alle notwendigen Abmessungen und Massen. Für das Bauen im Bestand wird vom Verfasser dieses Kapitels eine detaillierte Ausschreibung als sinnvoller betrachtet als eine funktionale Ausschreibung. Eine funktionale Ausschreibung gewährt den ausführenden Firmen bei Bestandsbauten zu grossen Spielraum. Die Phase der Ausschreibung wird nach der Norm SIA 112 «Modell Bauplanung» nach der Projektierungsphase in den Bauprozess eingeordnet.

2 DER WEG ZUR AUSSCHREIBUNG

2.1 Nutzungsvereinbarung und Projektbasis

Die Norm SIA 260 «Grundlagen der Projektierung» gehört seit 2003 für den projektierenden Ingenieur zum Alltag. Die Norm hat mit der Einführung der Nutzungsvereinbarung (NV) und der Projektbasis PB den Nutzungs- und Sicherheitsplan aus der Vorgängernorm abgelöst. Im Nutzungs- und Sicherheitsplan wurden die Bedürfnisse der Bauherrschaft nur am Rande in beschränkter Masse mit einbezogen. Vielmehr standen die technischen Aspekte im Vordergrund. Mit der NV steht uns heute ein Arbeitspapier zur Verfügung, in welchem Bedürfnisse, grundlegende Anforderungen und Randbedingungen der Bauherrschaft an das Bauwerk schriftlich festgehalten werden. Dem Planungsteam dient sie als Leitplanke bei der Entwicklung eines Projektes. Empfehlenswert ist, die NV im Dialog mit der Bauherrschaft zusammen zu formulieren. Die Vereinbarung wird von der Bauherrschaft und dem Planungsteam unterschrieben und erhält somit auch einen vertragsähnlichen Charakter. Dessen müssen sich alle Beteiligten bewusst sein. Mit der gegenseitig unterschriebenen NV sind klare Vorgaben für die Projektierung vorhanden. Die PB stellt die fachbezogene Beschreibung der bauwerksspezifischen Umsetzung der NV dar. Sie wird nur vom Planerteam unterzeichnet. Die Nutzungsvereinbarung und die Projektbasis bilden eine wichtige Grundlage für alle Planungsphasen, die bei einem Planungsprozess durchlaufen werden. Wie beim Neubau sind auch bei Bestandsbauten die Nutzungsvereinbarung und Projektbasis von grosser Wichtigkeit. Wenn es erforderlich ist, müssen diese Arbeitspapiere während der Planungsphasen in gegenseitiger Absprache mit den verantwortlichen Personen angepasst werden.

2.2 Norm SIA 112 «Modell Bauplanung»

Die Bauaufgaben werden zunehmend komplexer. Nutzungs- und betriebliche Anforderungen sind für die Eigentümerschaft meist von prioritärer Bedeutung. Technische, ökonomische, ökologische und architektonische Aspekte müssen aufeinander abgestimmt werden. Dies sind nur einige Bereiche, die wichtig sind. Bauen im Bestand kann zusätzliche Anforderungen hervorrufen. Erhaltungs- und Umnutzungsplanungen sind gefordert. Denkmalplanerische Vorgaben müssen passend mitberücksichtigt werden. Die Planungsaufgaben stellen für alle Beteiligten eine grosse Herausforderung dar. Beim Bauen im Bestand wird ein weiterer Teil des Lebenszyklus eines Bauwerkes von Neuem bestimmt. Der Planungsprozess für Bauvorhaben wird nach SIA 112 mit dem Modell

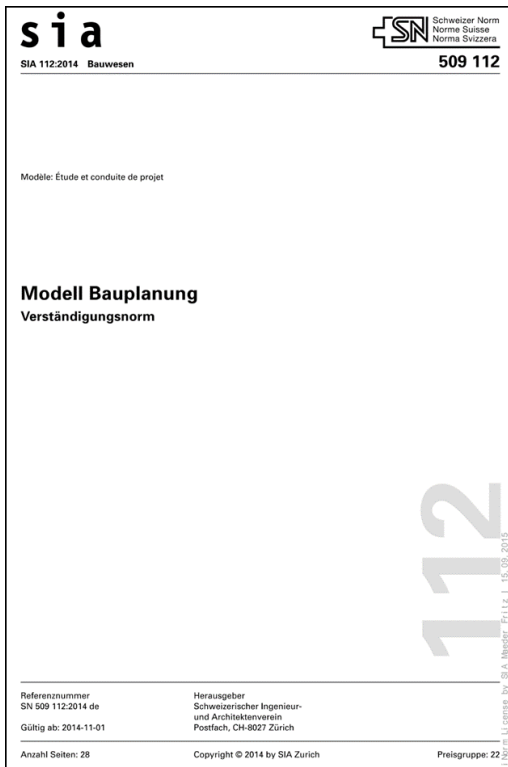


Abb. 1: SIA 112 als Grundlage für die einzelnen Bauprojektphasen

Bauplanung in seiner logischen Gliederung abgebildet. Es stellt das Zusammenwirken zwischen Auftraggeber und Planer dar. Die SIA 112 ist die Grundlage für wichtige SIA Ordnungen wie beispielsweise SIA 102 Honorarordnung der Architekten oder SIA 103 Honorarordnung der Bauingenieure. Das Modell Bauplanung ist für die Anwendungsbereiche Neubauten, Umbauten, Erhaltungs- und Umnutzungsvorhaben ausgelegt. Dies entspricht jedoch nicht einer abschliessenden Aufzählung.

2.2.1 Planungsphasen nach SIA 112

Ob bewusst oder unbewusst werden bei jedem Bauprojekt die einzelnen Bauphasen, wie in Abb. 2 gezeigt, abgearbeitet. Vielleicht wird für die eine oder andere Phase mehr Zeit aufgewendet, jedoch werden die einzelnen Schritte meistens durchlaufen. Das Modell Bauplanung umfasst sechs Hauptphasen und dreizehn Teilphasen. Es beschreibt damit den ganzen Lebenszyklus eines Bauwerks von der Bedürfnisformulierung bis hin zur Bewirtschaftung. Die Abfolge der nach dem Phasenplan gegliederten Leistungen der Planer und des Auftraggebers sowie der Entscheide des Auftraggebers hat Modellcharakter und wird im Anwendungsfall regelmässig Anpassungen erfordern.

Die Haupt- und Teilphasen können sich zeitlich überlappen. Bei Bauvorhaben mit mehreren Bauwerken können sie unterschiedlich gestaffelt sein und auch anders angeordnet werden.

Das Modell Bauplanung definiert für jede Teilphase die Ziele des Auftraggebers. Der Beauftragte wahrt die Interessen des Auftraggebers nach bestem Wissen und Können.

Die Leistungsbereiche ordnen innerhalb jeder Teilphase die Tätigkeiten von Auftraggeber und Planern. Die Reihenfolge der Auflistung der Leistungsbereiche entspricht nur beschränkt der zeitlichen Abfolge der beschriebenen Leistungen. Die einzelnen Haupt- und Teilphasen werden in der Norm SIA 112 detailliert behandelt. Es werden vertiefte Angaben über Organisation, Beschrieb und Visualisierung, Kosten und Finanzierung, Termine, Administration und Phasenabschluss gemacht.

		Phasen	Teilphasen	Ziele
Fachingenieur Projektphasen bei Bedarf	1	Strategische Planung	11 Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien	Bedürfnisse, Ziele und Rahmenbedingungen definiert, Lösungsstrategie festgelegt
	2	Vorstudien	21 Definition des Bauvorhabens, Machbarkeitsstudie 22 Auswahlverfahren	Vorgehen und Organisation festgelegt, Projektierungsgrundlagen definiert, Machbarkeit nachgewiesen, Projektdefinition und Projektpflichtenheft erstellt Anbieter/Projekt ausgewählt, welche den Anforderungen am besten entsprechen
Fachingenieur Projektphasen im Normalfall	3	Projektierung	31 Vorprojekt 32 Bauprojekt 33 Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt	Konzeption und Wirtschaftlichkeit optimiert Projekt und Kosten optimiert, Termine definiert Projekt bewilligt, Kosten und Termine verifiziert, Baukredit genehmigt
	4	Ausschreibung	41 Ausschreibung, Offertvergleich, Vergabe	Kauf- und Werkverträge abgeschlossen
	5	Realisierung	51 Ausführungsprojekt 52 Ausführung 53 Inbetriebnahme, Abschluss	Ausführungsreife erreicht Bauwerk gemäss Pflichtenheft und Vertrag erstellt Bauwerk übernommen und in Betrieb genommen, Schlussabrechnung abgenommen, Mängel behoben
	6	Bewirtschaftung	61 Betrieb 62 Überwachung / Überprüfung / Wartung 63 Instandhaltung	Betrieb sichergestellt und optimiert Bauwerkszustand abgeklärt, Wartung sichergestellt Dauerhaftigkeit und Wert für die Restnutzungsdauer aufrechterhalten

Abb. 2: Bauprojektphasen nach SIA 112

2.2.2 Genauigkeit der Baukosten

Die Bauwerkskosten sind normalerweise bei Bauprojekten von grösster Bedeutung. Nach der Norm SIA 112 werden für die einzelnen Projektphasen die Kosten wie in der Tabelle 1 beschrieben. Dabei werden die erwarteten Ergebnisse und die Leistungen der Planer definiert. Nach der Honorarordnung für Ingenieure SIA 103 werden für die Kosten folgende Genauigkeiten vorausgesetzt:

Vorprojekt: ±15%

Bauprojekt: ±10%

Diese Genauigkeiten gelten jedoch nur, wenn nichts anderes vereinbart wurde. Somit bleibt hier ein gewisser Spielraum. Für das Bauen im Bestand wird empfohlen, die Kostengenauigkeit nicht kleiner anzusetzen.

Tab. 1: Baukosten gemäss der Projektphasen

Hauptphasen	Erwartete Ergebnisse	Leistungen der Planer
Strategische Planung	Vergleich der Kosten und der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Lösungsstrategien	Schätzen der Kosten und der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Lösungsstrategien
Vorstudien Definition Bauvorhaben Auswahlverfahren	Bericht Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeit Kostenermittlung für die Durchführung des Auswahlverfahrens	Schätzen der Kosten, Überprüfen der Wirtschaftlichkeit Ermitteln der Kosten für die Abwicklung des Auswahlverfahrens, beinhaltend Preise und Ankäufe sowie Honorare und administrative Kosten
Projektierung Vorprojekt	Aufstellung der Anlagekosten, Berechnung der Wirtschaftlichkeit, Kennzahlen	Ermitteln der voraussichtlichen Kosten und Wirtschaftlichkeit (Leistungen Auftraggeber: Vorgeben der Genauigkeit der Kostenermittlung. Genehmigen der Kosten. Präzisieren der Kostenziele) SIA 103: $\pm 15\%$ (wenn nichts anderes vereinbart)
Bauprojekt	Überarbeitete Anlagekosten, Wirtschaftlichkeit und Kennzahlen, Detailstudien	Ermitteln der Kosten und der Wirtschaftlichkeit. Detailstudien für die Kostenermittlung (Leistungen Auftraggeber: Vorgeben der Genauigkeit der Kostenermittlung) SIA 103: $\pm 10\%$ (wenn nichts anderes vereinbart)
Bewilligungsverfahren	Bereinigte Kosten	Anpassen der Kosten als Folge behördlicher Auflagen (Leistungen Auftraggeber: Genehmigen des Baukredits)
Ausschreibung	Kostenvergleich mit Kostenvoranschlag, Nachweis der Wirtschaftlichkeit	Revidieren der Kostenermittlung aufgrund der Angebote und Vergleich mit bisheriger Kostenermittlung. Ermitteln der Wirtschaftlichkeit. (Leistungen Auftraggeber: Genehmigen der revidierten Kostenermittlung)
Realisierung Ausführung	Endkostenprognose / kontrollierte Rechnungen	Führen der Baubuchhaltung, Führen des Zahlungswesens, Prüfung der Rechnungen, Schlussabrechnungen von Unternehmern und Lieferanten (Leistungen Auftraggeber: Genehmigen von Mehr- und Minderkosten)
Bewirtschaftung Inbetriebnahme, Abschluss	Schlussabrechnung	Erstellen der Schlussabrechnung des Bauvorhabens

2.3 Leistungsbeschriebe - Baukostenplan

In der Schweiz gibt es für die Ausarbeitung von Leistungsbeschrieben die Normpositionskataloge NPK des CRB (Centre Suisse d'études pour la Rationalisation du Bâtiment). Der CRB ist ein Verein, der seit über 60 Jahren im Auftrag der schweizerischen Bauwirtschaft und in enger Zusammenarbeit mit den Fachverbänden klare Standards für die Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Bauwerken entwickelt.

2.3.1 Normpositionskatalog NPK

Der Normpositionskatalog dient zur Erstellung einheitlicher und klarer Leistungsbeschreibungen. Der CRB hat rund 200 NPK-Kapitel im Hochbau, Tief- und Untertagbau mit mehr als einer Million NPK-Positionen erarbeitet. Er sichert eine Verknüpfung mit der Kostenplanung und der Kostenüberwachung. Er eignet sich vor allem für Neubauprojekte. Gewisse NPK-Hefte sind jedoch auch geeignet, um Sanierungsarbeiten zu beschreiben. Für den Holzbau eignet sich der NPK 331 (Traggerippe) und NPK 333 (Äussere Bekleidungen, Gesimse, Treppen).

2.3.2 Baukostenplan BKP

Die Baukosten insgesamt werden nach dem Baukostenplan BKP zusammengestellt. Diesbezüglich gibt es einen Baukostenplan alt und einen neuen Baukostenplan eBKP-H. Der alte Baukostenplan orientiert sich nach Arbeitsgattungen. Der eBKP-H orientiert sich nach Elementen. Beispielsweise wurde der NPK 332 (Elementbau für den Holzbau) nach der Systematik der Elemente entwickelt. Dieser eignet sich jedoch weniger für das Bauen im Bestand. In der Praxis wird für die Darstellung der Baukosten meist immer noch der BKP alt angewendet.

2.4 Ausschreibungen für Bestandesbauten

2.4.1 Allgemein

Als Grundlage für eine gute Ausschreibung muss eine genaue, detaillierte Planung vorliegen. Es müssen genaue Kenntnisse über die bestehende Struktur vorhanden sein. Wenn die Konstruktion bzw. die Bausubstanz für die Begutachtung nicht einsehbar sind, ist es praktisch nicht möglich, ein genaues Leistungsverzeichnis zu erstellen. Unter diesen Voraussetzungen eine genaue Offerte zu erstellen, ist für die Unternehmer fast unmöglich. Es ist allenfalls eine grobe Kostenschätzung. Dies ist nicht nur gegenüber den ausführenden Firmen, sondern auch gegenüber den Auftraggebern unbefriedigend.

Eine seriöse, genaue Zustandserfassung muss vorausgesetzt werden können. In der Folge können die Arbeiten für Bauten im Bestand genau ausgeschrieben werden. Es können stichhaltige Leistungsverzeichnisse erstellt werden. Für komplexe Bauten wird empfohlen, dass sich die offerierenden Unternehmen vor Ort ein genaues Bild machen können.

Die Ausschreibung beschreibt jede Leistung unter Angabe von Materialqualitäten und voraussichtlichen Mengen. Es verweist auf das Bestehen allfälliger objektbedingter Bestimmungen für ihre Ausführung. Die in der Ausschreibung aufgeführten Leistungen umfassen in der Regel, falls nichts anderes bestimmt ist, die Lieferung aller erforderlichen Materialien (Baustoffe, Hilfs- und Betriebsstoffe) inklusive der Fertigung und die Montagearbeiten (siehe auch 2.4.2). Allfällige Weisungen des Bauherrn betreffend Fabrikate oder Lieferanten sind in das Leistungsverzeichnis oder in zusätzlichen Ausschreibungsunterlagen aufzunehmen.

Aus den Ausschreibungsunterlagen muss ersichtlich sein, wie die Baustellenzufahrt, Lagerplatz usw. geregelt sind. Zusätzlich muss auch definiert werden, ob Hebeittel zur Verfügung stehen oder ob sie allenfalls mitoffertiert werden müssen. Für die Unternehmer muss klar sein, ob Fassadengerüste und Innengerüste bauseits zur Verfügung gestellt werden oder nicht.

2.4.2 Normen

Im Vorspann einer Ausschreibung muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die einschlägigen Normen aufgelistet werden. Bei unsachgemässer Ausführung oder bei Streitpunkten bei der Abrechnung hat die Bauherrschaft bei späteren Beanstandungen eher Aussicht auf Erfolg. Als Grundlage für die Abwicklung von Verträgen dient die SIA 118 «Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten». Für Holzkonstruktionen sei stellvertretend die SIA 118/265 «Allgemeine Bedingungen für Holzbau» genannt. In dieser Norm werden allgemeine Vertragsbedingungen zur Norm SIA 265 «Holzbau» definiert. In der Norm SIA 118/265 wird auch definiert, was inbegriffene Leistungen und nicht inbegriffene Leistungen im Holzbau sind. Von der Konstruktion her ist sicher die Normenreihe SIA 269 zu nennen. In diesen Normen geht es um die Erhaltung von Tragwerken. Stellvertretend werden die Normen SIA 269 «Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken», die SIA 269/1 «Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen» und die SIA 269/5 «Erhaltung von Tragwerken – Holzbau» erwähnt.

2.4.3 Gebäudecheck

Nach heute geltenden Gesetzesgrundlagen dürfen keine schadstoffbelasteten Baustoffe bzw. Bauteile (Asbest, PAK, PCB usw.) unbehelligt bearbeitet oder zurückgebaut werden. Frühzeitig muss ein Gebäudecheck eingeplant werden. Ein Gebäudediagnostiker sucht ein Gebäude auf vorhandene Schadstoffe ab und erstellt im Anschluss ein Gutachten. Aufgrund des Gutachtens werden Sanierungsmassnahmen geplant. In den meisten Bestandesbauten vor 1990 muss damit gerechnet werden, dass gesundheitsgefährdende Schadstoffe vorhanden sind. Vielfach sind dies asbesthaltige Baustoffe wie Dacheindeckungen, Bodenbeläge, Rückwände von Elektrotableaus, Fliesenkleber, um nur einige zu nennen.

Diese Thematik wird hier erwähnt, weil viele Firmen das Fachwissen um schadstoffbelastete Materialien zu erkennen und auszubauen nicht haben. Somit müssen solche Arbeiten sinnvollerweise separat ausgeschrieben und teilweise an spezialisierte Firmen in Auftrag gegeben werden.

2.4.4 Angebote der Handwerker

Die Ausschreibungen werden zur Angebotsabgabe an die einzelnen Handwerker abgegeben. Es empfiehlt sich, mindestens drei Offerten einzuholen damit ein guter Preisvergleich möglich ist.

Abbrucharbeiten sollten wenn möglich genau beschrieben werden. Die damit zusammenhängenden Entsorgungskosten dürfen nicht vergessen werden.

Da es beim Bauen im Bestand oft nicht möglich ist, genaue Mengenangaben in der Ausschreibung anzugeben, ist es um so wichtiger, dass auch die Einheitspreise (Fr./m¹, Fr./m², Fr./m³, Fr./St. usw.), Kosten für Maschinenstunden und Kosten für Facharbeiter wie Zimmermann EFZ usw. (Fr./Std.) angegeben werden. Somit hat man eine verbindliche Berechnungsgrundlage für die Abrechnung nach Ausmass und für Nachträge und Regiearbeiten. Mit einer guten Planung sollten jedoch Regiearbeiten möglichst minimiert werden.

Bei Kosten für Extrawünsche empfiehlt es sich, diese sofort schriftlich festzuhalten und die Gesamtkosten zu überprüfen.

2.4.5 Spätere Beanstandungen

Zusammen mit dem Werkvertrag und den Bauplänen ist die Ausschreibung innerhalb der Garantiefrist die Rechtsgrundlage für spätere Beanstandungen. Je genauer die Ausschreibung ist, desto besser kann sie bei derartigen Beanstandungen als Verhandlungs- und Rechtsgrundlage dienen.

2.4.6 Rangordnung der Vertragsbestandteile

Wenn sich einzelne Unterlagen widersprechen, ist nach SIA 118 «Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten» Art. 7 die Regelung der Rangordnung folgendermassen festgelegt:

1. Text der vorgesehenen Vertragsurkunde
2. durch das Bauobjekt bedingte, besondere Bestimmungen
3. Leistungsverzeichnis (Ausschreibung) oder Baubeschreibung
4. Pläne
5. Nicht durch das Bauobjekt bedingte, allgemeine Bestimmungen:
 - a) die Norm SIA 118 «Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten»
 - b) die übrigen Normen des SIA
 - c) die Normen anderer Fachverbände

3 REFERENZEN

Norm SIA 112 (2014) "Modell Bauplanung"

Norm SIA 103 (2014) "Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure"

Norm SIA 118 (2013) "Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten"

Norm SIA 118/265 (2018) "Allgemeine Bedingungen für Holzbau"

Norm SIA 260 (2013) "Grundlagen der Projektierung"

Norm SIA 269 (2011) "Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken"

Norm SIA 269/1 (2011) "Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen"

Norm SIA 269/5 (2011) "Erhaltung von Tragwerken – Holzbau"

Brändle Evemarie (1988) Bauernhaussanierung (Neues Wohnen in alten Häusern)

Zeughaus Solothurn: Klare Konzepte – Vorteile bei der Realisierung

Kurt von Felten
Makiol Wiederkehr, Beinwil am See

1 AUSGANGSLAGE

Seit 400 Jahren steht an attraktiver Lage in der geschützten Altstadt von Solothurn das Alte Zeughaus. Es ist das einzige Zeughaus der Schweiz, das trotz Umnutzung zu einem Museum den ursprünglichen Zeughaus-Charakter bewahrt hat.

2008 genehmigte der Regierungsrat ein Strategiepapier zur zukünftigen kantonalen Museumspolitik und insbesondere zur Neuausrichtung des Museums Altes Zeughaus. Das daraufhin ausgearbeitete Museumskonzept wurde vom Regierungsrat verabschiedet.

Ende 2010 erforderten die Ergebnisse einer statischen Überprüfung der Deckenkonstruktion Sofortmassnahmen zur Gewährleistung der Tragsicherheit.

Um für den geplanten Umbau und die Sanierung (neues Museumskonzept) die bestmögliche Lösung zu finden, wurde im Jahr 2011 ein Projektwettbewerb durchgeführt. Das vom Preisgericht ausgewählte Siegerprojekt ‚VALJOUX‘ der Edelmann Krell Architekten aus Zürich bildet die Grundlage für das vorliegende Projekt.



Abb. 1: Altes Zeughaus, Blick von Süden

2 PROJEKTBESCHRIEB

2.1 Architektonische Konzeption

Das Gebäude beeindruckt durch die bestechend einfache und bis heute nahezu unverändert erhalten gebliebene, historische Raumdisposition. Es handelt sich um ein Haus von archaischer Kraft und starker Identität, das bis zum heutigen Tag nichts von seiner starken Präsenz eingebüsst hat. Es ist bemerkenswert, dass die baulichen Interventionen im Laufe der Jahrhunderte immer im Sinne und im Einklang mit den baulichen Eigenheiten des Hauses getätigt wurden. Die Fortführung dieses Ansatzes bildet die Maxime für das vorliegende Projekt für den Umbau und die Sanierung des Museums. Die architektonischen und technischen Massnahmen, die einen effizienten Museumsbetrieb sicherstellen sollen, geschehen mit zeitgemässen Mitteln in respektvollem Umgang mit der historischen Substanz.

Das Projekt will mit möglichst wenigen aber gezielten Massnahmen die angestrebte Raumdisposition gewährleisten, um so das elementare Wesen des Gebäudes nicht zu verunklären und den historischen Raumeindruck soweit als möglich zu erhalten. Dazu werden die baulichen Interventionen konsequent im Einklang mit dem strukturell-räumlichen Kontext entwickelt. Die Eingriffe weben sich zurückhaltend in den bestehenden Kontext ein und entwickeln die spezifischen Charakterzüge des Hauses weiter fort.

Tragendes Herzstück der baulichen Massnahmen bildet der neue Treppenturm mit Liftanlage, der die geforderte behinderten- und brandschutzgerechte Vertikalerschliessung bis ins 5. Obergeschoss erfüllt. Möglich wird dies durch die überfahrtslose Auslegung des Lifts, wonach trotz der knappen geometrischen Verhältnisse auf eine über Dach sichtbare Liftüberfahrt verzichtet werden kann. Die neue gewendelte Fluchttreppe ist konsequent nach den aktuellen Brandschutz-Normen konzipiert.

Die räumliche Positionierung und die geometrische Ausformulierung des neuen Treppenkerns basiert auf mehreren raumwirksamen Grundsätzen: Die primärstatische Holzkonstruktion bleibt unberührt, d.h. der Kern kann eingebaut werden, ohne dass die Lage der Unterzüge verändert werden muss oder Stützen verschoben werden müssen. Es werden keine bestehenden Fassadenöffnungen zugebaut. Durch seine spezifische geometrische Ausformung schreibt sich der Kern selbstverständlich zwischen die bestehenden Stützen der Holzkonstruktion ein und bildet in den einzelnen Geschossen zusammen mit dem bestehenden Treppenkern zwei raumwirksam zonierende Körper. Die konsequente Freistellung des neuen Kerns im Bereich der beiden oberen Ausstellungsgeschosse ermöglicht eine grosse Flexibilität in der zukünftigen Ausstellungsgestaltung.

Die sekundären raumbildenden Massnahmen werden konsequent nichttragend ausgeführt. So sind in den Ausstellungsgeschossen keine raumteilenden, sondern ausschliesslich raumzonierender Massnahmen in Form einer semipermanenten Möblierung und raumzonierender textiler Vorhänge vorgesehen.



Abb. 2: Neuer Treppenturm und Liftanlage



Abb. 3: Wendeltreppe

Die raumwirksamen Teilungen in den zwei Administrationsgeschossen erfolgen folgerichtig als möbelartig konzipierte raumhaltige Wandteile, die bewusst nichttragend ausgebildet sind und gegen die darüber liegenden Deckenbereiche mit einem verglasten Fensterband abschliessen. Der Raumhorizont kann dadurch tief gehalten werden und die angestammte Offenheit dieser Geschosse wird referenziell erhalten. Diese raumtrennenden Elemente fungieren je nach den räumlichen Anforderungen als Schrankwand, Bücherregal sowie Geräte- und Waschtischnische.

2.2 Nutzungsdisposition

Im Erdgeschoss und in den ersten zwei Geschossen befindet sich die neu konzipierte Dauerausstellung. Im 3. Obergeschoss befindet sich der Sonder- und Wechselausstellungsraum, der für 1 - 2 wechselnde Sonderausstellungen pro Jahr genutzt wird. Grundsätzlich sind sämtliche Ausstellungsflächen auf eine möglichst flexible Nutzbarkeit hin angelegt.

Im Eingangsbereich EG befinden sich der Empfangsbereich, eine kleine Cafeteria, die Garderobe sowie der Museumsshop. Diese Funktionen werden kompakt in der sogenannten „Neutralen Zone“ gebündelt, so dass die restliche Geschossfläche des Erdgeschosses vollumfänglich für Veranstaltungen und die neue Dauerausstellung zur Verfügung steht. Im bestehenden unterirdischen Anbau aus den 1970er Jahren befinden sich neu eine Küche, Lagerflächen, die Toilettenanlagen, Technikräume und die Mitarbeitergarderoben.

Im 4. und 5. Obergeschoss befinden sich die Administrations- und Diensträume des Museums. Diese umfassen im 4. Obergeschoss eine offene Bürozone, eine Objektwerkzone, eine Bibliothek, ein Sitzungszimmer als individueller Rückzugsort, die Sanitärräume für das Personal sowie einen kleinen Pausenbereich. Im 5. Obergeschoss befinden sich neben der Werkstatt ein Serverraum, ein Putzraum sowie Lagerräume. Die bestehenden Kniestockbereiche im 3. bis 5. Obergeschoss dienen als Technikräume.

2.3 Denkmalpflege

Das Museum Altes Zeughaus ist ein Objekt von nationaler Bedeutung. Damit die baugeschichtliche Authentizität möglichst umfassend erhalten wird, bleiben die historische Bausubstanz und das äussere Erscheinungsbild fast integral erhalten. Damit die für das Museum Altes Zeughaus charakteristische Einheit von Gebäude und Inhalt (Sammlung) auch nach den Umbau- und Sanierungsarbeiten den Besuch des Museums zu einem eindrücklichen Erlebnis machen, werden alle haustechnischen Installationen und die Massnahmen zur Ertüchtigung des historischen Holztragwerks - soweit mit vertretbarem Aufwand möglich – im nicht sichtbaren Bereich ausgeführt.

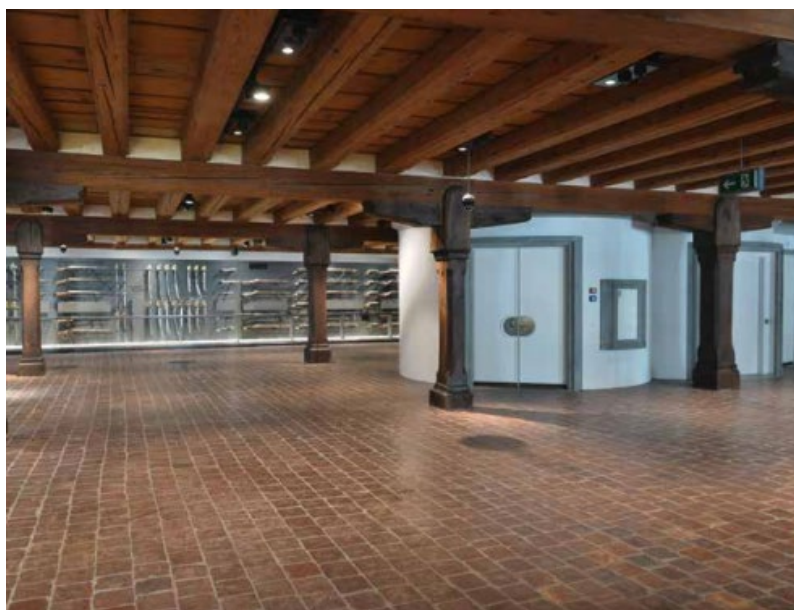


Abb. 4: Historischer Tonplatten-Bodenbelag



Abb. 5: Eichenstütze

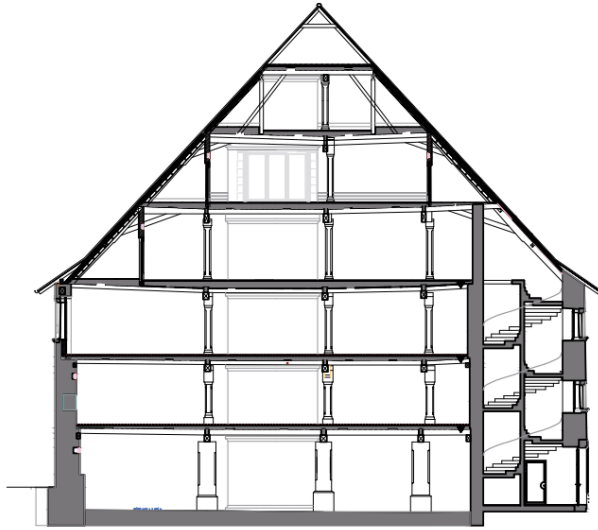


Abb. 6: Grundriss 1. OG

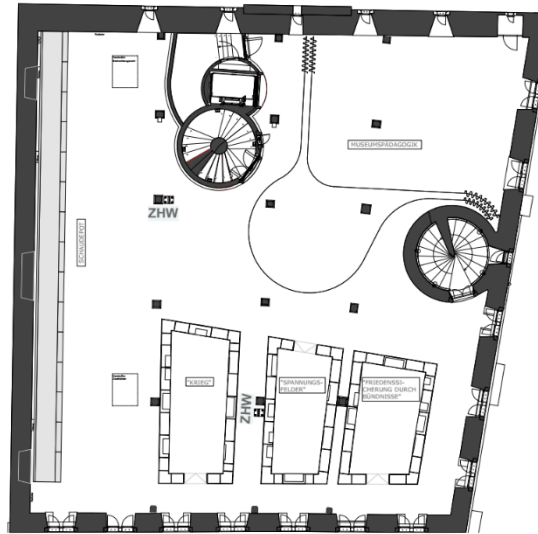


Abb. 7: Querschnitt best. Treppenhaus

Um der geschichtlichen, denkmalpflegerischen und städtebaulichen Bedeutung des Objekts gebührend Rechnung zu tragen, sind alle architektonischen, statischen und haustechnischen Konzepte in enger Absprache mit der Kantonalen Denkmalpflege erarbeitet worden.

2.4 Konstruktion

Die Gebäudestruktur besteht im Wesentlichen aus zwei verschiedenen Tragwerken, nämlich dem historischen Holztragwerk im Inneren und dem ebenfalls historischen, massiven Aussenmauerwerk aus Naturstein- und Bruchsteinmauerwerk. Das Aussenmauerwerk übernimmt in den unteren Geschossen die horizontale Lastabtragung und somit die Stabilisierung des Gebäudes. Im Dachbereich erfolgt die horizontale Lastabtragung über die bestehende Dachkonstruktion, wobei hier die horizontalen Einwirkungen hauptsächlich aus der Windbeanspruchung resultieren. Die Vertikallasten aus den Geschossdecken und aus Teilen der Dachkonstruktion werden hauptsächlich über die bestehenden Stützen des Holztragwerks abgeleitet. Im Erdgeschoss sind die Stützen aus Naturstein ausgeführt und auf Einzelfundamenten abgestellt.

Der neue Treppen Kern mit Liftanlage wird monolithisch in Ort-Stahlbeton erstellt. Um am bestehenden Tragwerk Schäden durch Schwingungen zu vermeiden ist eine Einspannung der Foundation des neuen Treppen kerns mittels Kleinbohrpfählen vorgesehen.

2.5 Brandschutz

Mit dem neuen Treppen kern mit Aufzugsanlage wird ein brandschutzkonformes Fluchttreppenhaus erstellt. Das bestehende Treppenhaus wird von der Gebäudeversicherung als Fluchttreppenhaus akzeptiert und geschossweise mit brandfallgesteuerten Brandschutztüren versehen. Es ist eine Sprinkleranlage als Vollschutz und eine Brandmeldeanlage als Vollüberwachung vorgesehen. Als weitere Löscheinrichtungen sind Handfeuerlöcher vorgesehen. Die Sicherheitsstromversorgung und die Sicherheitsbeleuchtung erfolgen gemäss Vorschrift.

Die Fluchtwegsignalisation erfolgt im gesamten Gebäude mit sicherheitsbeleuchteten Rettungszeichen. Der Hauptzugang



Abb. 8: Fluchttreppenhaus

der Feuerwehr erfolgt über den Personaleingang Nord, wo sich auch die Bedienstelle für den Feuerwehr-Bedi- und Anzeigeteil der BMA befindet. Die Nebenzugänge der Feuerwehr erfolgen via bestehendes Treppenhaus an der Ostfassade und den Haupteingang an der Südfassade.

3 HOLZBAUKONSTRUKTION

3.1 Anzunehmende Nutzlast

Das Holztragwerk wird neben der Eigen- und Auflast durch die Nutzlast infolge der Besucher und der Ausstellungsgüter belastet. Hierbei ist die Definition der Nutzlast entscheidend für die Berechnung und Auslegung der Ertüchtigungsmassnahmen. Die im Rahmen des Wettbewerbsverfahrens geforderte Nutzlast wurde im Zug der Überarbeitung des Wettbewerbsprojekts hinterfragt und nach eingehender Evaluation im Rahmen der geltenden Norm SIA 261 reduziert.

3.2 Ertüchtigung Holztragkonstruktion

Sämtliche Massnahmen zur Ertüchtigung der Holzkonstruktion finden im nicht sichtbaren Bereich (von oben) statt. Hierzu muss vorab der bestehende Bodenbelag ausgebaut werden. Diese Arbeiten werden im Hinblick auf ungewollte Verformungen (infolge der Tragwerks-Entlastung) etappiert ausgeführt.

Die Unterzüge werden mit einem Überzug aus Beton versehen. Mittels schräg eingedrehter Schrauben können die Schubkräfte übertragen und der statische Verbund zwischen Beton und Holzkonstruktion sichergestellt werden. Um die Lastdurchleitung im Bereich der Stützenköpfe zu gewährleisten, werden Rundstahleinlagen durch die Unterzüge angeordnet. Die Ertüchtigung der Unterzüge erfordert im Bereich der Balkenzwischenräume die Montage von Stellbrettern als verlorene Schalung. Nach der Montage der erforderlichen Verbindungsmittel kann im Bereich der Unterzüge betoniert werden. Hierzu müssen die bestehenden Stützen temporär ausgebaut und sämtliche Decken abgefangen werden.

Die Balkenlagen werden durch oben im Verbund aufgeschraubte Balkenprofile ertüchtigt. Die Lastabtragung wird mit den bestehenden Stützen gelöst. Einzelne Stützen im 1. und 2. Obergeschoss sind überlastet und werden mittels Stützen-Rochaden durch Stützen mit Tragreserven ausgetauscht. Nach der Ertüchtigung der Tragkonstruktion wird eine Schiftung für die neue, nivellierte Bodenschalung eingebaut. Im entstehenden Hohlraum werden fast alle Haustechnikinstallationen geführt.

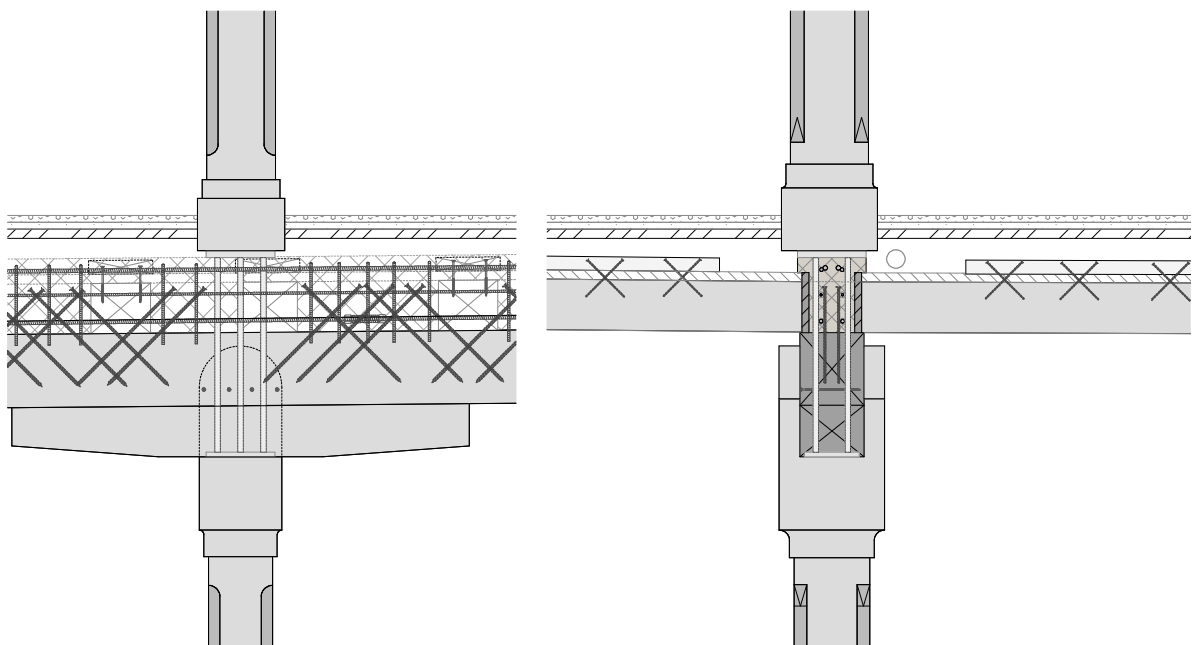


Abb. 9: Schematische Darstellung der statischen Ertüchtigung der bestehenden Holztragkonstruktion

4 FOTOS



Abb. 10: Nummerierung Tonplatten vor Ausbau



Abb. 11: Abfangkonstruktion



Abb. 12: Abfangung Riegelwand 4. OG



Abb. 13: Treppenhausöffnung bis Dach



Abb. 14: Schiftung Boden im Technikraum



Abb. 15: Ausgedämmter Bodenhohlraum



Abb. 16: UZ: Bewehrung und Schubverbinder



Abb. 17: Treppenhausöffnung bis Dach



Abb. 18: Ertüchtigung Balkenlage

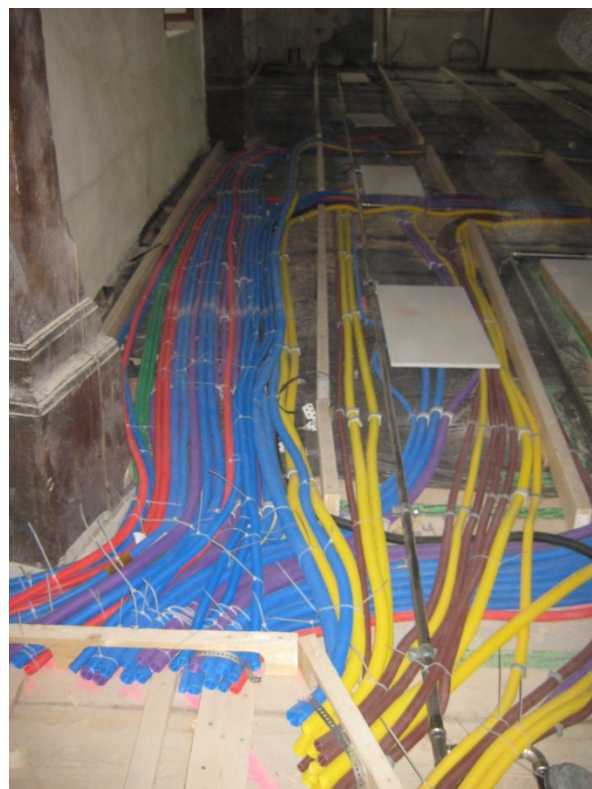


Abb. 19: Installationen in Deckenhohlraum



Abb. 20: 3. OG: Sonderausstellungsgeschoss nach Umbau – Ertüchtigte Unterzüge, neuer Treppenturm

5 ZAHLEN UND FAKTEN

Bauherrschaft	Kanton Solothurn, Bau- und Justizdepartement	
Generalplaner/Architekt	Edelmann Krell Architekten, Zürich	
Baumanagement	Anderegg Partner, Bellach	
Bauingenieur	Gruner Ingenieure AG, Olten	
Bauphysik	Bakus GmbH, Zürich	
Elektroingenieur	Scherler AG, Solothurn	
HLKKS-Ingenieur	Enerconom AG, Solothurn	
Lichtplanung	Lichtblick, Buchs	
Holzbau- u. Brandschutzingenieur	Makiol Wiederkehr AG, Beinwil am See	
Holzbauarbeiten	Bader Holzbau, Aedermannsdorf	
Chronologie	Wettbewerb	2011
	Planungsbeginn	August 2013
	Realisierung	Oktober 2014 – April 2016
	Ausstellungseinrichtung	Januar – Mai 2016
Anlagekosten in CHF inkl. MwSt.	1 Vorbereitungsarbeiten	533'000.00
	2 Gebäude	11'277'000.00
	5 Baunebenkosten	295'000.00
	9 Ausstattungen	45'000.00
	Total Anlagekosten	12'150'000.00

Zustandserfassung und Sanierung von tragenden Bauteilen im Ingenieur-Holzbau

René F. Wicki
Timber Structures 3.0 AG

1 ALLGEMEINES

1.1 Notwendigkeit der Sanierung von Rissen

Die Sanierung von verklebten, tragenden Holzbauteile ist notwendig, wenn durch Rissbildung im Holz oder Öffnungen in den Klebfugen die Gefahr besteht, dass die Tragfähigkeit des Bauteils deutlich herabgesetzt oder nicht mehr gewährleistet ist. Auch können spätere Umnutzungen des Bauwerkes oder optische Gründe eine Sanierung notwendig machen. Das Ziel der Sanierung ist in erster Linie ein sicheres Bauteil, durch die nachhaltige Ertüchtigung/Wiederherstellung der Schub- und/oder Querkzugtragfähigkeit bzw. der Lochleibungsfestigkeit. Bei der Sanierung sollen immer ganzheitliche Betrachtungen gelten und je nach Schadenfall ist ein Ingenieur / Sachverständiger oder ein Prüfinstitut miteinzubeziehen.

1.2 Grundlagen und Technik

1.2.1 Verfügbare Giessharze/Klebstoffe und Regulierungen in Europa

Die Sanierung von Brettschichtholzbauteilen wird in der Regel mit 2K-Giessharze / Klebstoffsystemen vorgenommen. Auf Europäischer Ebene bestehen derzeit jedoch keine Normen oder einheitlichen Vorschriften für den Bereich der Sanierung oder für die dafür geeigneten 2K-Systeme.

Der Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2004/A2:2014), Kapitel 3.6 schreibt für die Verwendung von Klebstoffen in tragenden Holzbauteile in Europa vor, „dass die mit ihnen hergestellten Verbindungen eine Festigkeit und Dauerhaftigkeit besitzen, die in der vorgesehenen Nutzungsklasse während der gesamten zu erwartenden Lebensdauer des Bauwerks voll erhalten bleibt.“ Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Europäischen Normen, welche die Anforderungen an Klebstoffe im tragenden Holzbau festlegt und verbindliche Prüfverfahren für eine grundlegende Qualitätsbeurteilung beschreiben. Allerdings beziehen sich diese Normen ausschliesslich auf 1K-PUR-, Phenol- und Aminoplast- sowie EPI-Klebstoffe. Prüfverfahren aus diesen Normen können zwar auf die 2K-Klebstoffsysteme übertragen werden, es fehlt jedoch bisher eine Rahmenvorschrift, die ein einheitliches Prozedere bei der Prüfung und schlussendlich bei der Zulassung von 2K-Klebstoffsystemen in Europa regelt.

Tatsächlich besteht aber ein erheblicher Bedarf in Europa, Sanierungen an tragenden Holzelementen, insbesondere Brettschichtholz, durchzuführen. In der Praxis geschieht dies auf Basis von nationalen Regulierungen, die je nach Land unterschiedlich weitreichende Vorschriften definieren und Verfahren festlegen.

1.2.2 Schweiz

In der Schweiz gilt neben dem Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2009) vor allem die Holzbau-Norm SIA 265 als Grundlage für die Verklebung von tragenden Holzbauteilen. In beiden Normen sind die Formulierungen sehr allgemein gehalten, womit für die Verwendung von Klebstoffen in der Sanierung weitreichende Freiheiten verbunden sind. Die Auswahl des geeigneten Klebstoffsystems obliegt dem verantwortlichen Ingenieur. Die Eignung des Verarbeitungsprozesses sowie das Fügen der Material-Komponenten sind durch Verfahrensprüfungen nachzuweisen. Diese müssen sich möglichst an den späteren Einsatzbedingungen orientieren (SIA 265:2012). In der Schweiz besteht somit eine verhältnismässig grosse Freiheit bei der Wahl der Klebstoffe und der geeigneten Sanierungsverfahren.

Nicht zuletzt aus diesem Grund herrschen in der Schweiz gute Voraussetzungen für die Entwicklung innovativer Klebstoffsysteme.

1.2.3 Deutschland

Firmen, die in Deutschland eine Sanierung von Brettschichtholzbauteilen durchführen, müssen gemäß DIN 1052:2012-10, Abschnitt 5, über einen Nachweis der Eignung zum Kleben von tragenden Holzbauteilen – die sogenannte Leimgenehmigung – verfügen. Die Zusatzqualifikation für das Instandsetzen von tragenden Holzbauteilen und von Brettschichtholz mittels Klebung muss in der Leimgenehmigung eingetragen sein.

Die Leimgenehmigungen werden von der Materialprüfanstalt Stuttgart – Otto-Graf-Institut – (MPA Stuttgart) im Auftrag des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) erteilt. Für die Ausführung der Arbeiten sind qualifizierte Arbeitskräfte erforderlich, die über Erfahrungen mit der Herstellung von Brettschichtholz verfügen. Während der gesamten Dauer der Sanierungsmaßnahme muss mindestens ein Mitarbeiter vor Ort sein, der am Sanierungslehrgang der MPA Stuttgart und der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. oder einer vergleichbaren Schulung teilgenommen hat (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. 2010).

In Deutschland sind für die Sanierung von BSH Klebstoffe zugelassen, welche die Anforderungen gemäss DIN EN 301:2006 und DIN 68141:1995, Abschnitt 3.1.3 und Anlage 3.6, erfüllen. Darüber hinaus dürfen Giessharze / Klebstoffe mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt verwendet werden.

1.2.4 Österreich

Es gelten die Regelungen des Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2009) für die Verwendung von Klebstoffen im Holzbau. Für die Zukunft ist eine Formulierung in der Nationalen Anwendungsnorm geplant, die wie folgt aussehen könnte:

„Für die Ausführung von Klebarbeiten an tragenden Bauteilen und geklebten Verbindungen ist ein entsprechender Befähigungsnachweis (z. B. Leimmeisterkurs, Sanierungskurs) notwendig. Bei der Planung und Ausführung der Klebarbeiten sind die Vorgaben des Eignungsnachweises des Klebstoffes zu beachten.“



Abb. 1: Im Rahmen des AP Holz Projektes "Zustandserfassung und Verstärkung von BSH-Bauteilen" hergestellte Prüfkörper mit drei verschiedenen 2K-Klebstoffsystemen und unterschiedlichen Methoden der Klebstoffinjektion. Die teilweise erkennbaren Fehlstellen sind nur lokal vorhanden und meist auf die unmittelbare Umgebung der Injektionsöffnungen beschränkt. Bei Versuchen erreichten alle 3 Systeme ähnliche Festigkeiten.

Tabelle 1: Auswahl von 2K-Klebstoffsystemen, die in Europa und in der Schweiz im Bereich der Sanierung verwendet werden (mit den wichtigsten technischen Angaben laut technischem Datenblatt bzw. Prüfberichten)

Klebstoffsystem	Viskosität (mPa s bei 20 °C)	Topfzeit/ Aushärtezeit/ Endfestigkeit (bei 20 °C)	max. angegebene Fugendicken	Herkunft
Astorid GSA-Harz (neue Holzbau Lungen)	25'000 (bei 25 °C)	80-100 min/ 24 h/ k.A. (bei 23 °C)	4 mm	Schweiz
Jowat 2K- Konstruktionsklebstoff 692.30	36'500	30 min/ 2 h/ >24 h	3 mm	Schweiz
Rotafix Structural Adhesive 400cc	k.A.	6 h/ 48 h/ k.A.	12 mm	England
TS3 PT192 2K-Spachtelmasse	Thixotrop	30 min/ nach 60 min ausreichende Festigkeit für Verguss/ Injektion mit TS3 CR 192	3 mm	Schweiz
TS3 CR192 2K-Giessharz	Gemisch > 9'000	10 min/ 2 h/ >24 h	4 mm praktische Erfahrungen bis 40 mm	Schweiz
WEVO EP 32 S mit Härter B 22 TS	23'000 - 28'000 4'200 - 5'000	30-40 min/ 24 h/ 4 Tage	6 - 8 mm	Deutschland (mit deutscher allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-794)

2 ANWENDUNG

2.1 Vorgehensweise bei der Sanierung von Rissen





Das Wichtigste für die erfolgreiche Sanierung von Rissen mittels Klebstoffinjektion ist ein perfekter Verbund zwischen Holz und Klebstoff. Damit dieser gewährleistet ist, braucht es neben der generellen Eignung des Klebstoffs vor allem geeignete Randbedingungen. Dies bezieht sich insbesondere auf die Qualität der zu verklebenden Oberflächen und die Technik, den Klebstoff möglichst fehlerstellenfrei in die Fugen einzubringen. Insgesamt sollte diese Technik als ein System angesehen werden und die Planung und Ausführung durch Experten respektive unter deren Aufsicht stattfinden.

Wie bei anderen Verstärkungsmethoden auch, muss die Absperrwirkung der sanierten (dicken) Klebefugen gegen Wasser und Wasserdampf in die Überlegungen mit einbezogen werden. Grosse Feuchteschwankungen, welche grosse Änderungen der Holzfeuchtebezogenen Schwind- und Quellverformungen nach sich ziehen, können in diesen Bereichen in einer erhöhten Gefährdung für eine erneute Delaminierung resultieren.





Die Sanierung von Rissen in tragenden Holzbauteilen bedarf einer umfassenden Planung und einer gewissenhaften Durchführung. Die Verklebungen müssen mit grosser Sorgfalt ausgeführt werden, da mögliche Verklebungsfehler nachträglich nur schwer festzustellen sind und schwerwiegende Konsequenzen haben können.

Vor Beginn der Sanierungsmassnahme ist die eingehende Begutachtung der Schadenssituation durch einen Sachverständigen notwendig, der in Absprache mit dem verantwortlichen Ingenieur Machbarkeit einer Sanierung abschätzt ein Sanierungskonzept erstellt. Dieses sollte Informationen zu den folgenden Punkten enthalten (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. 2010):

- Geometrie des Gebäudes, aktuelle Belastungssituation der tragenden Holzbauteile;
- Schadensumfang, insbesondere Rissprotokolle;
- Angabe der zu sanierenden Bereiche mit Festlegung der zu verwendenden Verfahren und Materialien;
- Angaben zur Belastbarkeit der Böden (Befahrbarkeit mit Steighilfen und Beanspruchungen aus Behelfsstützen zum Hochdrücken der Bauteile in die ursprüngliche Form), sofern erforderlich.
- Schrittweises Vorgehen bei der Sanierung von Rissen, u.a. nach Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. 2010, Radovic et al 1992, MPA Stuttgart 2011:

<p>Vorbereitung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamteindruck ▪ Begutachtung der Risse / des Risses ▪ Messung der Holzfeuchte ▪ Entscheidung, ob der Riss in einem Stück oder abschnittsweise saniert werden kann 	
<p>ggf. Freischneiden</p> <p>Handkreissäge oder Handoberfräse Schnitttiefe nach Möglichkeit bis auf Rissgrund Schnittbreite mindestens maximale Rissbreite</p>	
<p>Reinigung der Risse/Fugen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aussaugen bzw. Ausblasen der Risse/Fugen (Achtung: nur mit entölter und getrockneter Druckluft arbeiten!) ▪ Zur Reinigung kann auch Trockeneis zur Anwendung kommen 	
<p>Unterbau/Abstützung/Spannung des BSH-Trägers</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ bis zu grösstmöglicher Risschliessung, dann etwa 2 mm nachlassen 	

<p>Ableben/Abdecken bzw. Verspachteln der Risse/Fugen mit</p> <p>Klebeband</p> <ul style="list-style-type: none"> durchsichtiges Klebeband (Siga Farmer) verwenden, um Materialfluss beobachten zu können <p>Spachtelmasse</p> <ul style="list-style-type: none"> ca. 5 - 10 mm tief in Riss einspachteln allfälliges Abkleben, Schutz der Rissumgebung reduziert Aufwand für Nachbearbeitung 	
<p>Bohrung der Füll- und Entlüftungslöcher</p> <ul style="list-style-type: none"> bei dünnen Rissen Abstand ca. 100-150 mm bei dicken Rissen Abstand ca. 250-300 mm ca. 20-30 mm tief, Durchmesser entsprechend Injektionswerkzeug alternativ: schräg von oben bohren 	
<p>Injektion mit geeignetem Klebstoff</p> <ul style="list-style-type: none"> Rückstellmuster / Referenzplatten des Klebstoffs anfertigen Injektion abschnittsweise von Bohrloch zu Bohrloch durchführen Bei nicht horizontal verlaufenden Fugen immer von unten nach oben vorarbeiten Jeweils Klebstoffaustritt an nächstem Bohrloch abwarten Injektionsstelle mit Dübel verschliessen <p>Beispiel Injektion bei Schrägbohrungen (Abdichtung mit Klebstreifen und verstärkt mit Holzwerkstoffstreifen)</p>	 
<p>Verschluss der Bohrlöcher</p> <ul style="list-style-type: none"> Einschlagen oder Eindrehen von geeigneten Verschlüssen (Holzdübel, etc.) 	

<p>Kontrolle der Verklebungsqualität</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nach vollständiger Aushärtung punktuelle Entnahme von Bohrkernen und Prüfung mit Blockscherverfahren nach EN 392 ▪ Punktuelle Aufnahme der sanierten Fuge mittels Endoskop 	 
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Allfällige Säuberung und Oberflächennachbearbeitung 	
<p>Protokollierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schadensart mit genauer Beschreibung der Rissausbildung (Anzahl, Abmessungen, Lage, Oberflächenbeschaffenheit der Risse, wie z. B. glatt, zerfasert, sauber, verschmutzt) ▪ des Raumklimas (Temperatur, rel. Luftfeuchte) ▪ Temperatur und Feuchte des Holzbauteils in unmittelbarer Nähe zum Riss ▪ des Mischvorgangs ▪ Klebstoffmengen und Mischungsverhältnis ▪ Erfassen der Chargen oder Lot Nummer ▪ Zeitangabe zu Beginn und Ende der Klebstoffverfüllung ▪ Verfüll Menge je Einzelriss oder Rissgruppe ▪ allfällige Abweichungen vom geplanten Vorgehen und sonstige Auffälligkeiten ▪ Anfertigung von Klebstoffreferenzplatten <p>Das Protokoll soll 20 Jahre lang sicher und wieder auffindbar aufbewahrt werden.</p>	

3 REFERENZEN

- SIA 265:2012, Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- DIN EN 301:2006-09, Klebstoffe für tragende Holzbauteile, Phenoplaste und Aminoplaste – Klassifizierung und Leistungsanforderungen
- DIN 1052-10:2012, Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken – Teil 10: Ergänzende Bestimmungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN 68141:1995-08: Holzklebstoffe – Prüfung der Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen für tragende Holzbauteile, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN EN 392:1996-04, Brettschichtholz – Scherprüfung der Leimfugen, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN EN 1995-1-1/NA:2010: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter –Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN EN 14080:2013-09 Anhang D, Scherprüfung der Klebefugen
- EN 1995-1-1:2009: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- MPA Stuttgart, 2011: Unterlagen zum Sanierungslehrgang
- Radović B., Goth H. (1992) Entwicklung und Stand eines Verfahrens zur Sanierung von Fugen in Brettschichtholz. In: bauen mit holz, Heft 9/1992, Bruderverlag, Karlsruhe
- Studiengemeinschaft Holzeimbau e.V, 2010: Merkblatt: Sanierung von BS-Holzbauteilen, Wuppertal, Deutschland, www.brettschichtholz.de

Ertüchtigung von Holztragwerken mittels Vollgewindeschrauben und Gewindestangen

Beat Ruch
Allchemet AG

1 ALLGEMEINES

Vollgewindeschrauben und eingedrehte Gewindestangen sind Verbinder, welche sich seit gut 20 Jahren im Ingenieurholzbau stark etabliert haben. Am Markt hat sich das Sortiment der Schraubbefestiger in den letzten Jahren stark entwickelt und dem Planer stehen für die meisten Verbindungs- und Verstärkungsprobleme die passenden Schrauben zur Verfügung.

Selbstbohrende Vollgewindeschrauben sind in Längen von unbedeutend klein bis zu 1 m erhältlich. Sind grössere Schraubenlängen erforderlich, bieten sich Gewindestangen mit Holzgewinde an, welche in vorgebohrte Löcher eingedreht werden. Diese findet man problemlos bis zu einer Länge von 3 m. Die wichtigsten Hersteller und Lieferanten solcher Schraubbefestiger sind HECO, SFS, Rothoblaas, Würth, Fehr, Immer und Eurotec.

Die meisten Vollgewindeschrauben und Gewindestangen mit Holzgewinde sind aus Kohlenstoffstahl hergestellt. Für den Korrosionsschutz sind die Befestiger beschichtet. Viele Schraubbefestiger können überall dort eingesetzt werden, wo diese nicht direkter Witterung oder korrosiven Atmosphären ausgesetzt sind. Bei Bedarf kann die Herstellung von Sonderabmessungen möglich sein, wobei deren Wirtschaftlichkeit meistens stark von der Menge abhängt. Hierbei sollte frühzeitig das Gespräch mit dem Hersteller gesucht werden.

Verstärkungen mit Vollgewindeschrauben und Holzgewindestangen sind sehr vielseitig anwendbar. Dabei können die Verbinder - ähnlich einer Bewehrung im Stahlbetonbau - eingesetzt werden, um gezielt die weniger tragfähige Belastungsrichtung quer zur Faser des Holzes für Zug- und Druckkräfte zu verstärken oder um eine Erhöhung der Schubtragfähigkeit zu erzielen. Somit eignen sich die Schraubbefestiger bestens für die Ertüchtigung bestehender Tragwerke mit ungenügender Tragfähigkeit.

Das Setzen der Schrauben verursacht neben einigen Holzspänen keine weiteren Verunreinigungen des Einsatzortes und die Schraubbefestiger erfüllen sofort nach dem Setzvorgang zu 100% ihren Zweck hinsichtlich der Tragfähigkeit. Durch die Lage im Innern des Holzquerschnitts, sind Ertüchtigungen mit Schrauben unsichtbar und vor Brandeinwirkung - entsprechend der Überdeckung mit Holz - geschützt. Zur Wirkungsweise und zum Tragverhalten geschraubter Verstärkungen gibt es zahlreiche Untersuchungen. Die wichtigsten deutschsprachigen Veröffentlichungen stammen unter anderem von: Bejtka et al. (2005), Blass et al. (2006 und 2010) und Trautz et al. (2008 und 2009).

2 EINSATZ UND WIRKUNGSWEISE

2.1 Verdübelung gerissener Querschnitte

Einzelne Teile eines gerissenen Querschnitts lassen sich mit Schraubbefestigern wieder recht schubsteif miteinander verbinden. Der Aufwand für die Verschraubung ist gering und lässt sich in kurzer Zeit realisieren. Die Nachgiebigkeit dieses Verbundes wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Werden die Schrauben senkrecht zur Trägerlängsachse verarbeitet, nimmt die Steifigkeit mit zunehmendem Durchmesser zu. Die Schrauben können auch unter einem Winkel zur

Trägerlängsachse angeordnet werden, wodurch die Befestiger entsprechend der Fachwerkanalogie in axialer Richtung beansprucht werden. Damit wird es möglich, mit kleinen Schraubendurchmessern grosse Schubsteifigkeiten zu erzielen. Werden die Schraubverbinder so eingedreht, dass sie als Zugstreben wirken, ergibt sich zusätzlich ein Seilzugeffekt, welcher bewirkt, dass die zu verbindenden Querschnitte aufeinander gepresst werden. Somit kann die Schubsteifigkeit noch weiter erhöht werden.

Mit Schrauben und Gewindestangen mit Holzgewinde kann mit dem oben beschriebenen Prinzip ein zusätzlicher Querschnitt auf das bestehende Bauteil aufgeschraubt werden, um dieses zu ertüchtigen. Als Erweiterung des verübelteten Balkens, können mit Schraubbefestigern Fachwerke ausgebildet werden. Um die statische Höhe zu vergrössern, kann ein zweiter Querschnitt mit Druckhölzern auf Abstand gehalten werden. Lange Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen mit Holzgewinde werden anschliessend als Zugstreben eingesetzt. Somit entsteht ein klassisches Fachwerk.

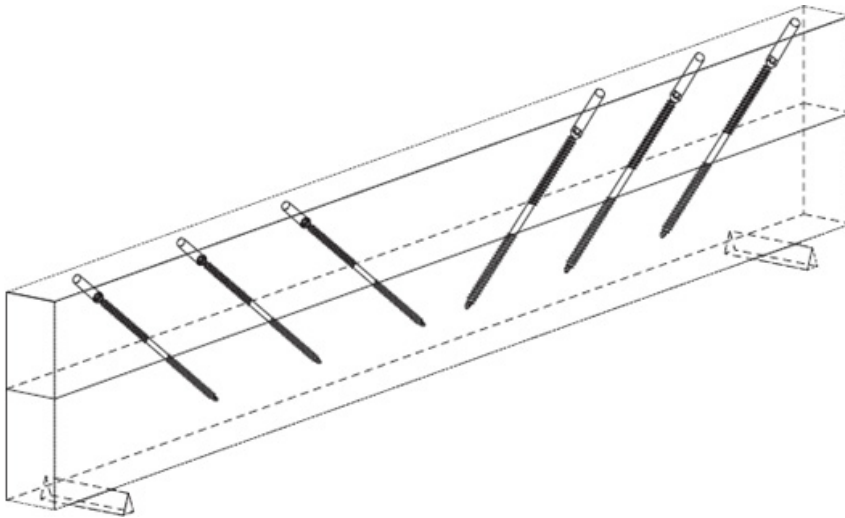


Abb. 1: Verübelteter Balken als System für die Wiederverbindung von gerissenen Querschnittsteilen oder für Querschnittsaufdoppelungen, (Allchemet AG)

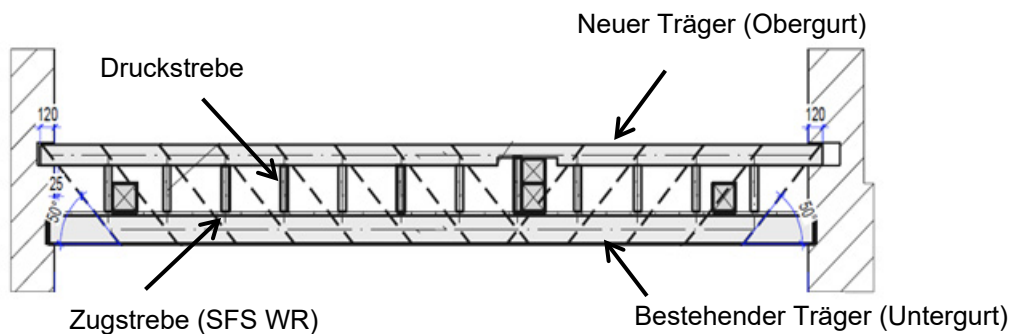


Abb. 2: Vergrösserung der statischen Höhe durch Ausbildung eines Fachwerks. Konzept: Aleksis Dind, Lutz Architectes Sàrl, Martin Geiser Conception Bois Sàrl



Abb. 3: Vergrößerung der statischen Höhe durch Ausbildung eines Fachwerks. Konzept: Aleksis Dind, Lutz Architectes Sàrl, Martin Geiser Conception Bois Sàrl

2.2 Ausklinkungen und Durchbrüche

Sind Holzbauteile durch Ausklinkungen und Durchbrüche geschwächt, können diese mit Vollgewindeschrauben und Gewindestangen mit Holzgewinde einfach, unsichtbar und schnell ertüchtigt werden. Hierbei müssen die Verbinder sowohl Schub als auch Querkraftkräfte im Bereich der Ausklinkungen und Durchbrüche aufnehmen können. Speziell bei Ausklinkungen kann es von Vorteil sein, den Verbinder unter einem Winkel von 45° zur Trägerlängsachse einzuschrauben. Damit wird die Schraube - unter Einhaltung der erforderlichen Endabstände - möglichst nahe an die Ausklinkungsecke herangeführt, was das Aufreißen möglichst früh behindert.

Bei Verstärkungen von Ausklinkungen und Durchbrüchen darf in Trägerlängsrichtung jeweils nur ein Befestiger berücksichtigt werden. Die Schrauben sind mit dem kleinstmöglichen Abstand zur Ausklinkungsecke oder zum Durchbruchrand anzuordnen.

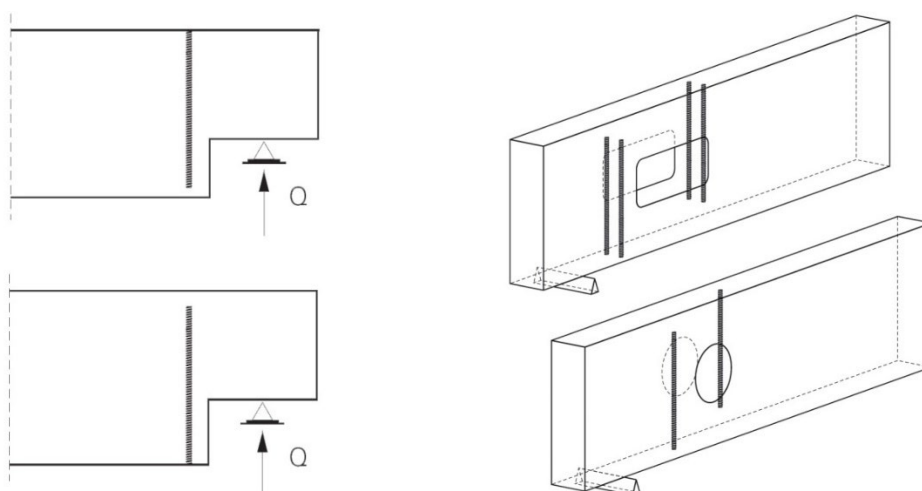


Abb. 4: Verstärkung von Ausklinkungen (links) und Durchbrüchen (rechts) mit Vollgewindeschrauben oder eingedrehten Gewindestangen, (Allchemet AG)

2.3 Querkzugverstärkungen

Querkzugverstärkungen können aus verschiedenen Gründen notwendig werden, beispielsweise aus der Geometrie von Bauteilen oder aus speziellen ungünstigen Lasteinleitungsbedingungen. Wie im vorhergehenden Punkt stellen auch hier Schrauben eine einfache, unsichtbare und schnelle Lösung dar. Diese Verstärkungen können sowohl in der Produktion eingebaut werden als auch nachträglich bei Sanierungen, wenn solche Bauteile bereits querkzugbedingte Risse aufweisen.

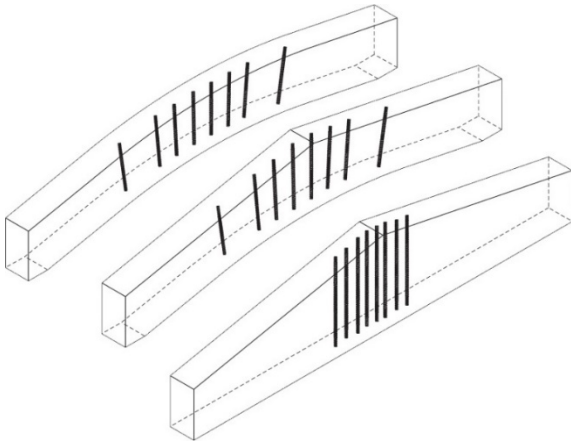


Abb. 5: Querkzugverstärkungen von Bogen- und Satteldachträgern, (Allchemet AG)

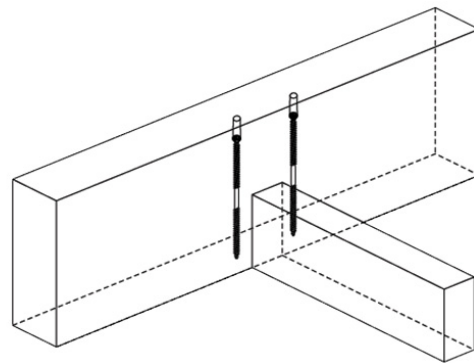


Abb. 6: Querkzugverstärkung einer unten liegenden Krafteinleitung, (Allchemet AG)

2.4 Querdruckverstärkung

Bei Querdruckproblemen können Vollgewindeschrauben oder Holzgewindestangen bündig in die Druckfläche eingeschraubt werden. Im Gegenstück wird entsprechend eine Stahlplatte eingebaut, so dass diese in direktem Kontakt zu den Schraubbefestigern steht. Über das Holzgewinde wird die Kraft im Holzquerschnitt verteilt. So können grosse Kräfte über relativ kleine Flächen eingeleitet werden.

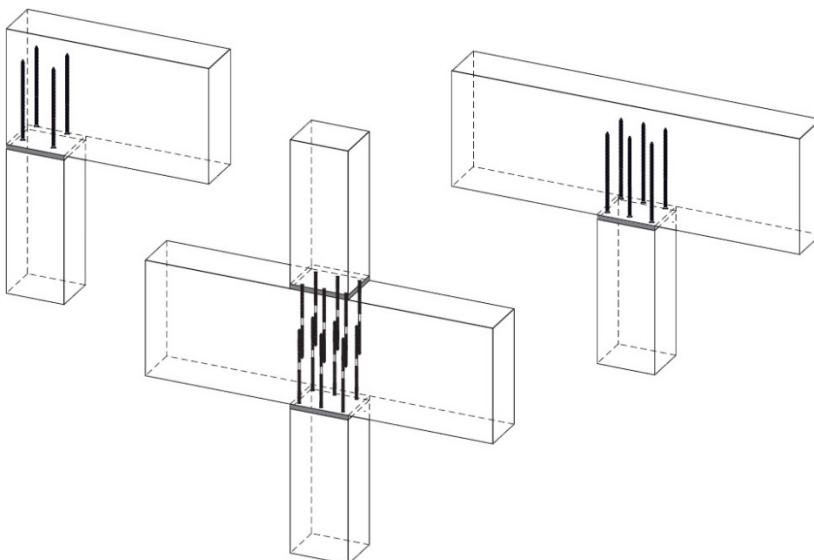


Abb. 7: Beispiele zur Verstärkung von Bauteilen in Lasteinleitungsbereichen quer zur Faser, (Allchemet AG)

2.5 Anschlüsse

Eine Verbindung zweier Holzbalken ist mit gekreuzt angeordneten Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen mit Holzgewinde möglich. Diese Verbindungsart eignet sich auch zur Ertüchtigung von bestehenden Verbindungen. Wird dabei nicht die vollständige Traglast über die Schrauben übertragen, sondern die Tragfähigkeit der Verbindung aus der Kombination von bestehender Verbindung und neuer Schrauben ermittelt, ist zu beachten, dass dies nur unter Berücksichtigung der jeweiligen Verbindungssteifigkeiten möglich ist. Die axial beanspruchten Befestiger im Schraubenkreuz bilden eine sehr steife Verbindung, wodurch die bestehende Verbindung meistens nur noch einen minimalen Anteil an die Kraftübertragung leistet. Wird dieser Umstand nicht beachtet, führt dies zu einer groben Unterdimensionierung und allenfalls zum Versagen des Tragwerks.

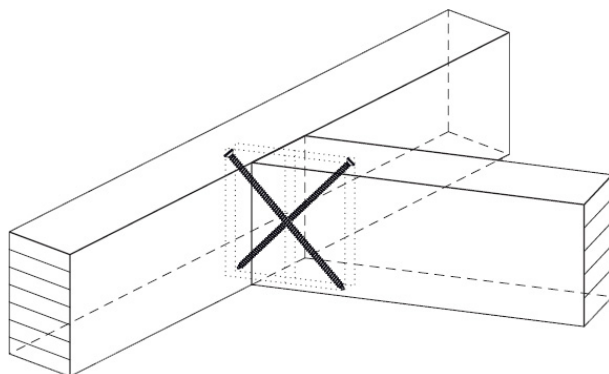


Abb. 8: Verstärkung eines Haupt-Nebenträgeranschlusses, (Allchemet AG)

3 BEMESSUNG

Die SIA 265:2021 enthält im Anhang E Angaben zu Verstärkungen. Folgende Anwendungen sind in den einzelnen Kapiteln dokumentiert:

- E.1: Allgemeines
- E.2: Verstärkung von Queranschlüssen
- E.3: Verstärkung von rechtwinkligen Ausklinkungen
- E.4: Verstärkung von Durchbrüchen
- E.5: Verstärkung von gekrümmten Trägern und Satteldachträgern aus Brettschichtholz

Verdübelte Baken werden in der Norm SIA 265:2021 im Kapitel 5.3.3 behandelt. Dabei handelt es sich um eine vereinfachte Bemessung. Eine genauere Betrachtung ist mit dem γ -Verfahren, dem Stabwerksverfahren oder anderen bekannten Verfahren möglich. Oft müssen Vollgewindeschrauben nicht vorgebohrt werden. Wenn trotzdem vorgebohrt wird, sollte dafür der Kerndurchmesser oder die Vorgabe des Herstellers verwendet werden. Die Vorbohrung kann sich positiv auf die Rand- und Achsabstände auswirken, hat aber keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit. Manche Hersteller wie z. B. HECO stellen entsprechende technische Unterlagen nach SIA zur Verfügung und verfügen über aktuelle ETAs (European Technical Assessment).

4 ANWENDUNG

4.1 Arbeitsvorbereitung

Voraussetzung für einen reibungslosen Einsatz von Vollgewindeschrauben und Gewindestangen mit Holzgewinde sind die Produktkenntnisse des Planers. Oft lohnt es sich daher, den Hersteller um technische Produktinformationen oder für eine Beratung anzufragen und diesen allenfalls in die Planung zu integrieren. In jedem Fall liefern die meisten seriösen Hersteller technische Unterlagen und stehen beratend zur Seite.

Bereits bei der Planung ist zu berücksichtigen, dass genügend Platz für die Verarbeitung der Schrauben vorhanden ist. Stets ist zu bedenken, dass zusätzlich zur Schraubenlänge die Eindrehmaschine Platz in Anspruch nimmt. Das Vorbohren, welches bei Holzgewindestangen nötig und bei selbstbohrenden Vollgewindeschrauben allenfalls gewünscht ist, bedarf manchmal mehr Platz als die reine Länge des Verbindungsmittels.

Es ist abzuklären, ob über geeignete Eindrehwerkzeuge verfügt wird. Bei manchen Herstellern können die entsprechenden Maschinen und Montagehilfen gemietet werden. Eine frühzeitige Kontaktaufnahme trägt dazu bei, dass die Mietgeräte zum Einsatzzeitpunkt effektiv verfügbar sind.

Beispiele für erforderliche Eindrehmomente:

- HECO-WR d = 13mm: Empfohlenes Drehmoment für Maschinenwahl: 57 Nm
- HECO-WB d = 16mm: Empfohlenes Drehmoment für Maschinenwahl: 150 Nm
- HECO-WB d = 20mm: Empfohlenes Drehmoment für Maschinenwahl: 220 Nm

Weiter ist sicherzustellen, dass die benötigten Schraubenantriebe zur Verfügung stehen. Für das Vorbohren werden verschiedene Bohrsysteme angeboten. So gibt es ein Luftunterstütztes System von Woodtec Fankhauser GmbH, bei welchem die Späne mittels Druckluft aus dem Loch geblasen werden. Lange Löcher können so in einem Gang schnell und gerade gebohrt werden. Hier empfiehlt es sich, im Voraus abzuklären, ob die Standardanschlüsse des Bohrers auf das eigene Druckluftsystem passen. Schliesslich ist zu kontrollieren, ob die Verarbeitung mit dem Geplanten übereinstimmt.

Wenn alles installiert ist und die verarbeitenden Personen mit der Anwendung vertraut sind, dauert die reine Eindrehzeit einer Vollgewindeschraube mit Länge 1 m mit der meistverwendeten Maschine ca. 1,2 min. Für die Holzgewindestange beträgt die Eindrehzeit für 1 m ca. 1,3 min. Das Vorbohren mit Luftunterstützung dauert leicht kürzer und ohne Luftunterstützung leicht länger als das Einschrauben. Weiter ist etwas Zeit für das Setzen der Schraube, den Positionswechsel, die Schraubenaufnahme (Beispielsweise aus dem Pack auf dem Boden) usw. einzurechnen.



Abb. 9: Beispiel eines Schraubers mit einem hohen Eindrehmoment



Abb. 10: Luftunterstützter Bohrer System Fankhauser

4.2 Verarbeitung von Vollgewindeschrauben

Vollgewindeschrauben können oft ohne Vorbohren in das Holz eingedreht werden. Dafür sind die Angaben vom Hersteller zu beachten. Wenn vorgebohrt werden muss oder dies gewünscht wird, kann dies grundsätzlich nach SIA 265:2021, 6.5.1.3 mit dem Gewindekerndurchmesser ausgeführt werden. Gerade bei langen Schrauben macht ein kurzes Vorbohren der ersten ca. 5 cm Sinn, um die Schraube einfach und punktgenau zu verarbeiten.

Bei langen Schrauben steigen auch die Drehmomente, welche für das Eindrehen aufgewendet werden müssen. Die Spannbaken von Schraubern können dabei zu schwach werden, um den Antrieb zu halten. Hierfür gibt es Lösungen, über welche der Hersteller gerne informiert.

Ebenfalls kann ein grosses Drehmoment schnell zu einer Überhitzung und letztendlich zu einer völligen Zerstörung der Maschinen führen, wenn ungeeignete Modelle dafür verwendet werden. Bei grossen Durchmessern, grossen Längen und/oder hoher Anzahl an Schrauben empfiehlt sich allenfalls die Verwendung eines Druckluftschraubers. Ungeeignet sind jedoch bei langen Vollgewindeschrauben Tangentialschlagschrauber!

Die Schrauben sollten möglichst ohne Unterbrechung eingeschraubt werden. Weil die verarbeitende Person grosse Drehmomente festhalten muss, ist beim Eindrehen der Schrauben auf einen guten Stand und die nötige Arbeitssicherheit zu achten. Falls Schraubbefestiger aus ungünstigen Positionen heraus verarbeitet werden müssen, z. B. von unten nach oben, kann eine Verschraubung mittels zwei Personen eine erhebliche Erleichterung darstellen.

Bei der Erstellung von Gerüsten und Arbeitsflächen ist der Weg, welche die Schraubmaschine zurücklegen muss, zu berücksichtigen. Ein unterbrechungsfreies Eindrehen sollte ermöglicht werden und es sollte an jedem Punkt möglich sein, die Maschine sicher festzuhalten.

Es sollte darauf geachtet werden, dass die Planvorgaben möglichst genau eingehalten werden. Das Holz als inhomogener Werkstoff weist unterschiedliche Widerstände in verschiedenen Beanspruchungsrichtungen auf. So kann eine Abweichung des Eindrehwinkels schnell zu verminderten Tragwiderständen gegenüber der Statik führen. Weiter sind die angegebenen Mindestachsabstände und Mindestrandabstände einzuhalten.

4.3 Verarbeitung von Gewindestangen mit Holzgewinde

Hier gelten die gleichen Aussagen wie oben für die Vollgewindeschrauben genannt wurden. Zusätzlich müssen folgende Punkte beachtet werden.

Gewindestangen mit Holzgewinde müssen vorgebohrt werden. Bei grossen Einbindlängen sind dafür meist mehrteilige Bohrer nötig. Da diese zusammengeschaubt werden, kann der Bohrer nicht im Rückwärtsgang herausgedreht werden. Somit ist beim Bohrvorgang darauf zu achten, dass die Späne immer gut aus dem Loch geräumt werden. Dies wird mit einem regelmässigen Herausziehen des Bohrers erreicht, was bei langen Bohrungen zu einer erheblichen Laifarbeit führen kann. Verklemmt der Bohrer einmal, wird dieser Teil des Bauteils bleiben.

Eine weitere Möglichkeit sind Luftunterstützte Bohrer. Die Bohrzeit für Lange Bohrlöcher verringert sich enorm und es kann in einem Ansatz über die gesamte Länge gebohrt werden. Da die Späne mit Druckluft aus dem Loch geblasen werden, fliegen diese mit hoher Geschwindigkeit auf die bohrende Person zu. Das Tragen einer Schutzbrille ist darum Pflicht.

Die Stangen sind mit einer entsprechenden Hülse einzudrehen, welche anschliessend mit einem Ratschenschlüssel wieder entfernt werden kann. Bei Herstellern wie HECO ist die Hülse so konstruiert, dass sich die Stange leicht versenken lässt und in der Folge ein sauberes Loch bleibt, welches allenfalls mit einem Standardastflickzapfen verschlossen werden kann. Dies funktioniert sehr gut, wenn die Stangen senkrecht zur Oberfläche eingedreht werden. Werden die Stangen schräg eingedreht, ist ein vorgängiges Anbohren mit einem Astflickbohrer ratsam.

Gewindestangen mit Holzgewinde lassen sich nicht so leicht bündig einschrauben, weil die Eindrehhülse das Ende der Stange verdeckt. Bei der Querdruckverstärkung ist ein genaues bündiges Eindrehen jedoch erforderlich. Bei den Hülse von HECO ist eine entsprechende Markierung vorhanden. Natürlich können die Stangen auch einige Zentimeter länger gelassen und anschliessend bündig zum Holz abgetrennt werden. Gewindestangen mit Holzgewinde können mit einem Stehbolzendreher wieder entfernt werden. Der Aufwand dafür ist jedoch erheblich.

4.4 Besonders zu beachten

Bei der Ertüchtigung von Balkenanschlüssen mittels Schraubenkreuzen ist die Steifigkeit der unterschiedlichen Verbindungsmittel zu berücksichtigen. Die axial beanspruchten Befestiger im Schraubenkreuz bilden eine sehr steife Verbindung, wodurch die bestehende Verbindung meistens nur noch einen minimalen Anteil an die Kraftübertragung leistet. Wird dieser Umstand nicht beachtet, führt dies zu einer groben Unterdimensionierung und allenfalls zum Versagen des Tragwerks. In diesem Fall kann eine vollständige Lastübernahme der neuen Schraubenkreuze eine mögliche (konservative) Lösung darstellen. Eine solche Lösung muss sogar gesucht werden, wenn die Steifigkeiten sehr unterschiedlich sind, wie z. B. beim Verstärken von teilweise delaminierten Bauteilen. Die Schraubverstärkung muss in diesem Fall so ausgelegt werden, dass sie alleine in der Lage ist, die entstehenden Kräfte aufzunehmen.

5 REFERENZEN

- SIA 260:2003, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 265:2021, Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- DIN 1052-10:2012, Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken – Teil 10: Ergänzende Bestimmungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN EN 1995-1-1/NA:2010: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter –Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- EN 1995-1-1:2009: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- Bejtka I. (2005) Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 2., KIT Scientific Publishing, Deutschland.
- Blass H.J., Bejtka I., Uibel T. (2006) Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 4., KIT Scientific Publishing, Deutschland.
- Blass H.J., Krüger O. (2010) Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestschrauben, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 15. 2010, KIT Scientific Publishing, Deutschland.
- Ehlbeck J., Görlacher R. (1987) Erste Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an alten Konstruktionsholz. In: Jahrbuch 1987 SFB 315 (1988), S. 235-248.
- Franke B., Widmann R. (2012) Zustandserfassung und Verstärkung von Brettschichtholz, In: SAH-Tagungsband - Mechanische Verbindungen im mehrgeschossigen Holzbau, 44. Fortbildungskurs 2012, S. 193-202
- Fuhrmann C. (2011) Norm SIA 269/5: Erhaltung von Tragwerken - Holzbau. In: Dokumentation SIA D 0240: Erhaltung von Tragwerken - Vertiefung und Anwendung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Lang T. P. (2011) Spezifische Aspekte der Erhaltung. In: Dokumentation SIA D 0239: Erhaltung von Tragwerken - Einführung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Lissner K., Rug W. (2000) Holzbausanierung. Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg
- Maack S., Krause M. (2009) Ultraschallechoverfahren zur Integritätsprüfung von Holzbauteilen beim Bauen im Bestand . Forschungsbericht, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- Maffioletti W., Quinto C. (2011) Wenn die Vergangenheit bis in die Gegenwart reicht: Die neuen Erhaltungsnormen des SIA - Die Sicht des Juristen. In: Dokumentation SIA D 0239: Erhaltung von Tragwerken - Einführung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Trautz M., Koj C. (2008) Mit Schrauben bewehren. Bautechnik 85, H.3, S. 190-196
- Trautz M., Koj C. (2009) Mit Schrauben bewehren – Neue Ergebnisse. Bautechnik 86, H.4, S. 228-238

Verstärkung von Holz mit CFK

Referent: Benjamin Nef, Sika Schweiz AG, Technical Departement

Autorin: Annika Baier

1 EINLEITUNG

Verbundwerkstoffe aus faserverstärkten Polymeren werden seit etwa 30 Jahren in der strukturellen Verstärkung von Bauwerken – Brücken, Gebäuden und anderer Infrastruktur – eingesetzt. Verschiedene Fasern und Matrixharzsysteme kommen auf unterschiedlichen Substraten zum Einsatz, wobei die Verstärkung von Stahlbeton mit CFK (Carbon-faserverstärkter Kunststoff, auch CFRP - Carbon Fibre Reinforced Polymer) am häufigsten ist.

Der Einsatz von solchen Verstärkungslösungen mit Faserbundwerkstoffen ist weit verbreitet. Bei der Ertüchtigung von Stahlbetonstrukturen ist CFK Standard geworden. Die Verstärkungssysteme werden vermehrt auch auf anderen Substraten wie Stahl, Mauerwerk, Naturstein oder Holz verwendet.

Verschiedene Problemstellungen können mit einer CFK-Verstärkungslösung angegangen werden: Umnutzung oder Verbesserung einer Struktur, Reparatur von beschädigten Elementen, Fehler in Berechnung oder Ausführung, Erfüllung strengerer Richtlinien oder Aufnahme höherer Lasten.

Bei der Verstärkung von Holz ist meistens eine Versteifung, ein Verringern der bestehenden Verformung oder seltener eine Schubverstärkung das Ziel. Für solche Fälle eignen sich CFK-Werkstoffe sehr gut, da sie bei kleinem Volumen einen grossen Steifigkeitsunterschied zu Holz aufweisen. Die Materialien haben sehr konstante Eigenschaften, sind einfach und schnell installiert sowie leicht und (im Fall von Kohlefasern) korrosionsbeständig. Zusätzlich kann man auf umfassende Erfahrungen der letzten drei Jahrzehnte zurückgreifen, in Forschungsarbeiten sowie Anwendungen weltweit.

2 VERSTÄRKUNGSLÖSUNGEN

2.1 Systeme

Bei der strukturellen Verstärkung kommen verschiedene Fasern (Kohle, Glas, Aramid, Basalt, Flachs) und Matrixharzsysteme zum Einsatz. Am weitesten verbreitet sind Kohle- und Glasfasern mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften (Tabelle 1), meistens mit Epoxidharzmatrix und -verklebung.

Kommerziell erhältlich sind die Fasern entweder als vorgefertigte Kompositwerkstoffe wie Lamellen oder Rundprofile, als trockene Gewebe, Gelege oder Faserbündel oder auch als vorimprägnierte Gewebe. Die Trockenfaserprodukte werden auf der Baustelle mit dem entsprechenden Matrixharz imprägniert und direkt auf das Substrat aufgebracht, während die vorgehärteten Produkte nur noch verklebt werden.

Tab. 1: Eigenschaften verschiedener Fasertypen

		Kohle T700S	Glas E-Glas
Zugfestigkeit	MPa	4900	2300
E-Modul	GPa	230	73
Zugdehnung	%	2.1	2.2-2.5
Dichte	g/cm ³	1.8	2.6



Abb. 1: Lamellen und Gewebe auf Kohlefaserbasis



Abb. 2: Extern aufgeklebte CFK-Lamelle zur Biegeverstärkung (Holzbrücke in Sins)

Die verschiedenen Systeme können entweder flächig oder in Schlitze verklebt werden. Für beide Installationstypen ist die Untergrundvorbereitung des Substrates sehr wichtig. Bei flächig verklebten Systemen muss die Klebefläche von Öl, Fett, Staub und losen Partikeln befreit werden. Auch Schutzbeschichtungen, Lack oder Farbe beeinträchtigen den Verbund und müssen vor der Installation abgeschliffen werden. Wird ein Gewebe um eine Kante gelegt, muss sie abgerundet werden um zu verhindern, dass die Fasern geknickt werden. Schlitze, in die CFK-Profile verklebt werden sollen, brauchen eine andere Untergrundvorbereitung. Hier sind Farbaufstriche oder Lacke nicht problematisch, jedoch muss der neu gesägte Schlitz gut von Sägestaub befreit werden um den Verbund zu garantieren.

Bei den Verklebungen der CFK- Lamellen sowie der Imprägnierung der Gewebe kommen in der Regel Epoxidharze zum Einsatz. Diese Klebstoffe bestehen aus zwei Komponenten, die gemischt werden und für verschiedene Untergründe von Beton über Holz bis zu Stahl geeignet sind. Dass das installierte Verstärkungssystem Last aufnehmen kann, müssen Klebstoff oder Imprägnierharz ausgehärtet sein, was je nach Produkt und Umgebungstemperatur von wenigen Stunden bis mehrere Tage dauern kann.

2.2 Biegeverstärkung

CFK Lamellen können auf zwei verschiedene Arten zur Biegeverstärkung von Holz eingesetzt werden, als extern aufgeklebte Lamellen (s. Abb. 2) oder als in Schlitze verklebte Lamellen oder Rundprofile.

Die extern aufgeklebte Verstärkung wird genauso installiert wie vom Stahlbetonbau bekannt: die zugeschnittenen Lamellen werden mit Kleber beschichtet und an das vorbereitete Substrat gepresst, wobei ein kraftschlüssiger Verbund wichtig ist. Luftblasen in der Klebefläche müssen möglichst vermieden werden.

Eingeschlitzte Lamellen können unten oder auch seitlich am Träger angebracht werden. Gerade bei älteren Balken, welche bereits gekrümmt sind, ist die Installation an der Unterseite nicht immer möglich.

Der grosse Vorteil von Schlitzlamellen gegenüber den flächig geklebten ist, dass sie nach der Installation nahezu unsichtbar sind. Es bleibt einzig eine wenige Millimeter breite Klebestelle zurück, die einfach übermalt oder verkleidet werden kann.

2.3 Schubverstärkung

Zur Schubverstärkung eignen sich flächig verklebte Gewebe besser als Lamellen, da die Kraftübertragung mit der grossen Klebefläche verbessert wird und die Gewebe um die Trägerkanten gelegt werden können, um sie zu verankern. Zusätzlich können mehrere Lagen aufgebracht werden, mit den Fasern jeweils genau in Lastrichtung ausgerichtet. Die Gewebe werden direkt auf dem Substrat imprägniert, der Imprägnierharz dient gleichzeitig als Kleber für das System. Damit ist die Installation schnell und unkompliziert. Im Gegensatz zu den verklebten Lamellen ist hier das Verstärkungssystem nach der Installation gut sichtbar, es kann entweder unbeschichtet bleiben oder nach Bedarf übermalt werden.

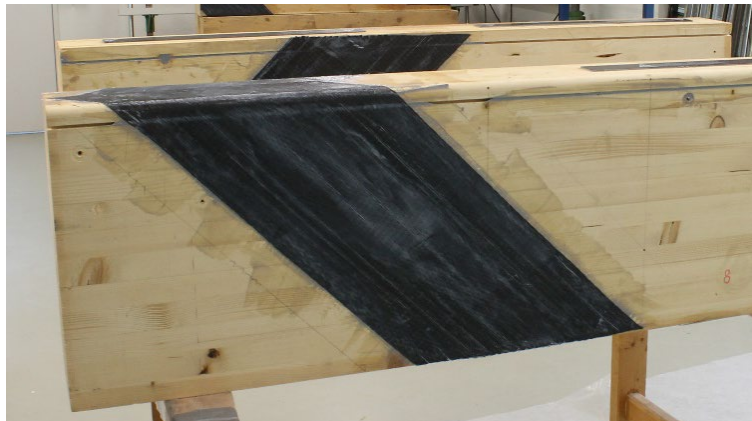


Abb. 3: Brettschichtholzträger mit Kohlefasergewebe zur Schubverstärkung

3 REFERENZPROJEKTE

Die Verstärkung von Holzstrukturen ist neben Wohngebäuden und Infrastruktur wie Brücken vor allem für historische Bauten und Strukturen unter Denkmalschutz von Interesse. Eines der ersten Projekte in der Schweiz, bei dem CFK Lamellen als strukturelle Verstärkung verklebt wurden, ist die Reussbrücke in Sins, AG, s. Abb. 4. Diese Holzbrücke wurde 1807 erbaut und rege benutzt. Bis 1996 waren auf der Brücke Fahrzeuge bis zu 28 t erlaubt, was zu starken Durchbiegungen der Querbalken führte. Im Rahmen einer allgemeinen Instandsetzung im Jahre 1992 wurden die betroffenen Balken mit Sika CarboDur® Lamellen verstärkt. Damit wurde die Durchbiegung verringert, ohne das Erscheinungsbild der Brücke zu verändern.



Abb. 4: Holzbrücke in Sins, Gesamtansicht



Abb. 5: Verstärkung Schönhof Görlitz



Abb. 6: Brettschichtholzträger mit eingebetteten CFK-Lamellen

Eine andere typische Anwendung ist die Verstärkung der Holzböden im Schönhof Görlitz, Deutschland, s. Abb. 5. Dieses Gebäude ist das älteste Renaissance-Bauwerk in Görlitz und wurde renoviert, um es als Museum nutzen zu können. Um der grösseren Nutzlast gerecht zu werden wurden an den Holzbalken der Originaldecke Sika CarboDur® Lamellen angebracht, welche das Aussehen des Gebäudes kaum verändern und die Umnutzung ermöglichen.

4 AUSBLICK

Bei der Renovation historischer oder alter Bauwerke werden immer mehr CFK-basierte Verstärkungssysteme eingesetzt. Die grössten Hürden sind hier die Substratqualität, Berechnungsgrundlagen und das Fehlen speziell auf Holz zugeschnittener Systeme.

Eine gute Grundlage für die Berechnung extern angebrachter Verstärkungssysteme ist die italienische Richtlinie CNR-DT 201/2005. Daneben werden oft Forschungsberichte und Ergebnisse von Testserien zur Berechnung herbeigezogen.

Die kommerziell erhältlichen CFK-Verstärkungslösungen wurden meistens für Stahlbetonstrukturen entwickelt. Sie funktionieren zwar auch auf Holz, sind aber in der Regel sehr spröde und nicht optimal dafür zugeschnitten. Um die Verstärkung von Holzbauten mit CFK-Systemen voranzutreiben sind nicht nur umfassendere Berechnungsgrundlagen nötig, sondern auch Systeme, die speziell auf dieses Substratmaterial ausgelegt sind, mit entsprechenden mechanischen Eigenschaften und exzellenter Adhäsion auf verschiedenen Holzarten.

Zusätzlich zur Instandsetzung von bestehenden Strukturen ist die Verwendung von CFK auch im Neubau interessant. CFK-Lamellen können zum Beispiel in Brettschichtholzträger oder andere vorgefertigte Elemente mit eingebaut werden, was die Träger ohne zusätzliches Gewicht versteift, und eine schlankere, leichtere Bauweise zulässt, s. Abb. 6.

5 REFERENZEN

CNR-DT 201/2005 (2007), Guidelines for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures, Timber Structures

Eingeklebte Stahlstäbe

Thomas Strahm
neue Holzbau AG, 6078 Lungern

1 GSA® TECHNOLOGIE

Eingeklebte Gewindestangen zählen zu den leistungsfähigsten Verbindungsmitteln im modernen Ingenieurholzbau. Egal ob parallel oder rechtwinklig zur Faserrichtung eingeklebt lassen sich grosse Kräfte auf kleiner Fläche in Holzbauteile einleiten. Zusammen mit Herrn Professor Ernst Gehri forscht und entwickelt die neue Holzbau AG (n'H) seit Ende der 1990er-Jahre in diesem Bereich. Unter dem Markennamen „GSA®-Technologie“ entstehen seither verschiedenste Lösungen, die erfolgreich in diversen Holztragwerken auf der ganzen Welt eingesetzt werden.

Holz, Harz und Stahl bilden ein Verbundsystem. Folglich sind die Eigenschaften der drei Komponenten aufeinander abzustimmen. Um optimale Anschlüsse kreieren zu können, müssen gewisse Regeln eingehalten und Voraussetzungen erfüllt sein. Die Verbindung muss so ausgelegt werden, dass im Bruchzustand die Stahlstangen (duktil) versagen, damit die spröden Versagensmodi des Holzes oder des Klebstoffes ausgeschlossen bleiben.

1.1 Beanspruchung längs oder quer zur Faserrichtung

Je nachdem ob Stangen längs oder quer zur Faserrichtung eingeklebt werden, sind den verschiedenen Versagensarten unterschiedliche Bedeutungen beizumessen.

Eingeklebte Gewindestangen erzielen ihre maximale Wirkung, wenn sie möglichst axial belastet werden. Aus diesem Grund befasst sich dieses Dokument ausschliesslich mit Beanspruchungen in Schaftrichtung. Nach Norm SIA 265:2012 (Ziffer 6.10.2.1) ist der Tragsicherheitsnachweis in der Regel durchzuführen bezüglich:

- Versagen des profilierten Stabs
- Versagen des Klebstoffs und seines Verbunds mit dem profilierten Stab und dem Holz
- Versagen des Holzes entlang der Klebfuge
- Versagen eines Holzteils im Bereich der Verbindung

Nach Norm SIA 265 dürfen für Druckkrafteinleitungen die gleichen Werte wie für Zugkrafteinleitungen eingesetzt werden. Dieses Vorgehen liegt bestimmt auf der sicheren Seite. Die Zugbeanspruchung parallel zur Faser stellt somit die grösste Herausforderung dar.


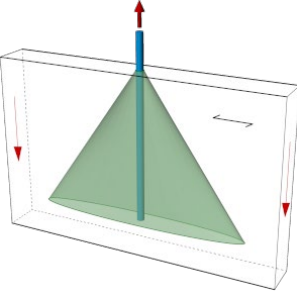
	<p>Einsatz parallel zur Faser: $0^\circ \leq \alpha < 30^\circ$</p> <p>Der Gleichgewichtszustand zwischen der Kraft in der Gewindestange und den Normalspannungen im Holzquerschnitt wird erreicht über Scherspannungen parallel () zur Faser. Der Kreiskegel weist eine allseitig geringe Ausbreitung auf, weil der Schubmodul (G) viel kleiner ist als der E-Modul längs zur Faser (E_0). Aus dieser Überlegung folgt, dass:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die «aktivierbare Holzfläche» am Stangenende beschränkt ist. - ein übergrosser Ankerabstand dies nicht verbessert. - viele kleine Stangen einen optimalen Kraftfluss ermöglichen. <p>Der Nachweis des Holz-Nettoquerschnitts am Ende der Stangen ist stets zu führen. Hier ist in vielen Fällen der Einsatz höherer Festigkeitsklassen zwingend, um der Leistungsfähigkeit der GSA standhalten zu können.</p>
	<p>Einsatz quer zur Faser: $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$</p> <p>Der Gleichgewichtszustand zwischen der Kraft in der Gewindestange und den Querkräften im Holzquerschnitt wird erreicht über Scherspannungen quer (\perp) zur Faser. Die Scherspannungen erreichen in Querrichtung (Rollschub) eine relativ geringe Ausbreitung. In Faserrichtung darf hingegen von einer grossen Ausbreitung ausgegangen werden. Die Abbildung zeigt deshalb einen elliptischen Kegel.</p> <p>Die Länge der Stangen ist meistens konstruktiv zu wählen, damit sich Nachweise im Holzteil erübrigen. (beispielsweise Einklebelänge $> 0.7 \cdot$ Trägerhöhe im Falle von Queranschlüssen auf Zug)</p>

Abb. 1: Beanspruchung längs- quer zur Faserrichtung

1.2 Merkmale der GSA®-Technologie

Die Bemessungstabellen enthalten hohe Tragwiderstände bei relativ kleinen Rand- und Zwischenabständen. Damit die angegebenen Werte erreicht werden, ist nebst dem betrieblichen Knowhow eine adäquate Qualitätssicherung erforderlich.

Die GSA®-Technologie wurde von Beginn weg entwickelt, um wirtschaftliche Ankerabstände zu ermöglichen. Deshalb gehört die spezielle Anker Ausbildung zur täglichen Praxis. Die sogenannte Einschnürung dient in den entsprechenden Situationen den folgenden Zwecken:

- Da die Kraftübertragung zwischen Harz und Stahl rein mechanisch erfolgt, wird durch das Entfernen des Gewindes ein Bereich ohne Klebeverbund geschaffen.
- Mit der Versenkung der wirksamen Klebefuge vergrössert sich das auf Querkzug beanspruchte Holzvolumen.
- Durch die Bearbeitung auf den passenden Durchmesser wird das planmässige Stahlversagen und damit die Duktilität sichergestellt.
- Schliesslich soll der Stahl nur in diesem definierten Dehnbereich fließen, ohne die Klebefuge zu zerstören.

Dies erlaubt in den so wichtigen Gruppen-Anwendungen parallel zur Faser die lineare Aufsummierung der Einzelwiderstände ($n_{ef} = n^{1.0}$). Damit schafft die GSA®-Technologie die Voraussetzung für eine einfache und sichere Bemessung und ein perfektes Zusammenspiel von Holz, Harz und Stahl.

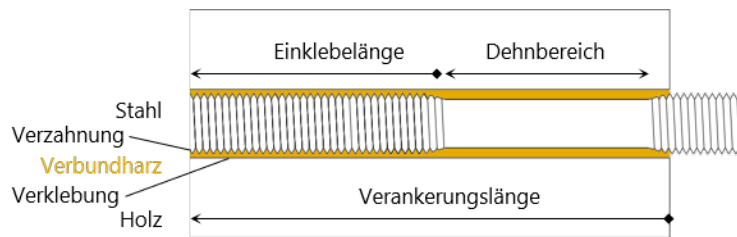


Abb. 2: Definition Verankerungslänge/ Einklebelänge/ Dehnbereich

Auf der Homepage gsa-technologie.ch können zusätzliche wichtige Informationen sowie eine Bemessungstabellen heruntergeladen werden.

1.3 Krafteinleitung senkrecht/schräg zur Faser

Krafteinleitungen müssen häufig über Querdruck erfolgen. Insbesondere bei Nadelholz ist die Leistung relativ gering. Zudem muss mit grossen Verformungen senkrecht zur Faser, sowie grossen Variationen infolge Feuchtwechsel gerechnet werden. Durch den Einsatz geklebter Anker sind geringste Auflagerlängen möglich. Die daraus resultierenden Verformungen sind wesentlich geringer (von Bedeutung bei verformungsempfindlichen Konstruktionen).

Für eine Krafteinleitung senkrecht zur Faser kann von einer gleichmässigen Kraftverteilung über die Ankerlänge gerechnet werden. Die Ankerkräfte stehen dabei im Gleichgewicht mit der Querkraft (bzw. den daraus resultierenden Schubspannungen). Eine komplette Übereinstimmung der Ankerlänge l_A mit der Trägerhöhe h ($l_A = h$) ist zwar nicht erforderlich. Um jedoch einen möglichst günstigen Kraftfluss zu erreichen, wird empfohlen:

Endauflager: Ankerlänge $l_A \geq 2/3$ der Trägerhöhe h

Zwischenaullager: Ankerlänge $l_A \geq 2/3$ der Trägerhöhe h , jedoch maximal $4/5$ von h (damit soll der Biege widerstand des Holzträgers über dem Zwischenaullager weitgehend unvermindert vorhanden bleiben).

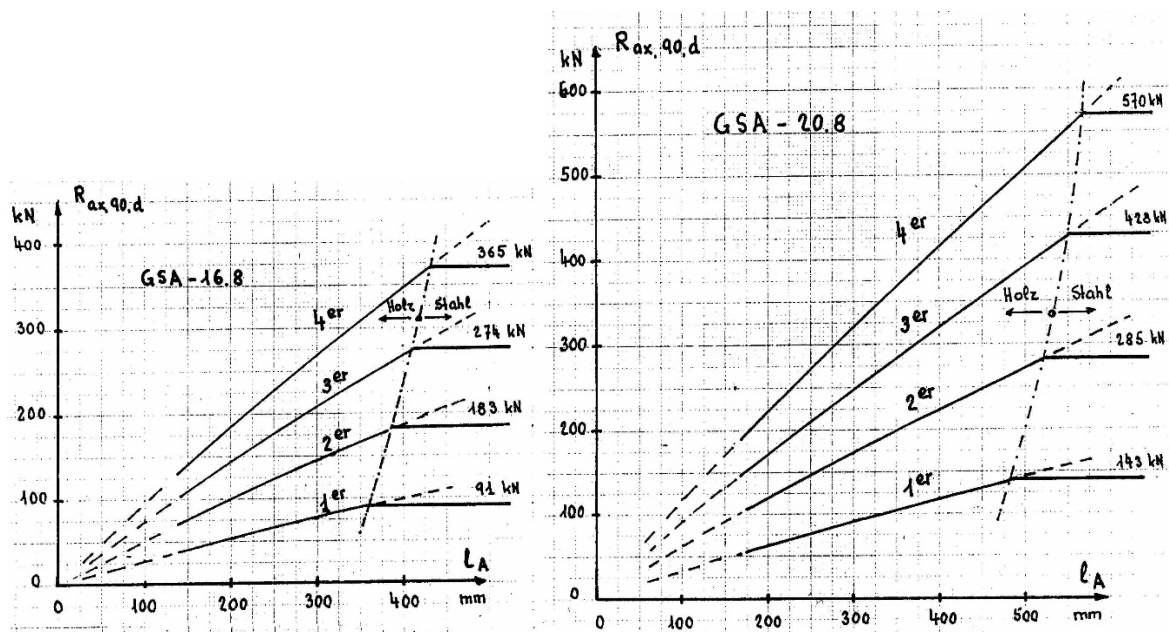


Abb. 3: Bemessungswerte GSA®-Technologie, Druck quer zur Faser

1.4 Ausklinkungen und Durchbrüche

Generell sind Ausklinkungen und Durchbrüche zu vermeiden, diese erzeugen hohe lokale Beanspruchungen bei einem äusserst spröden Versagen (Quersug).

Ein sprödes Versagen unverstärkter Ausklinkungen oder Durchbrüche tritt leider auch heute noch zu häufig auf, obschon einfache Möglichkeiten effizienter Verstärkungen vorhanden sind!



Abb. 4: Typische Ausklinkung

Die Normen geben direkt – für verschiedene geometrische Verhältnisse – die durch die Bewehrung aufzunehmenden Zugkräfte. Generell sind die Verstärkungselemente unter 90° zur Faserrichtung anzuordnen. Genügen die Verstärkungselemente obigen Bedingungen, so kann die Ausklinkung mit dem Restquerschnitt (ohne Reduktion k_{red}) berechnet werden.

Bei den Durchbrüchen ergibt sich gemäss normativer Bemessung – auch bei einer optimalen Verstärkung des Durchbruches – stets ein verminderter Wirkungsgrad des Trägers hinsichtlich Schubtragvermögen.

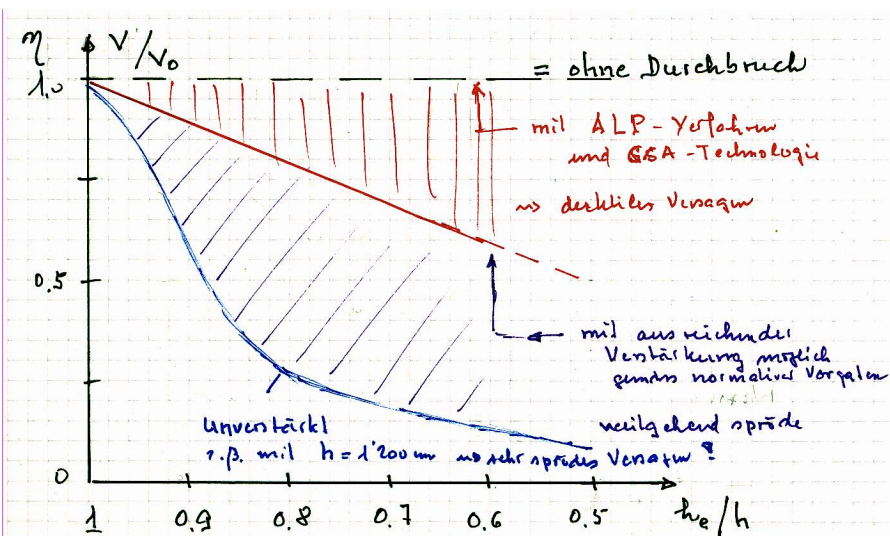


Abb. 5: Vergleich: unverstärkt/verstärkt/ohne Durchbruch

Geht man von einem Durchbruch Lochdurchmesser/Trägerhöhe = 0,3 aus (grössere Werte bis 0,4 nur bei aussen liegenden Verstärkungen zulässig), so ergibt sich ein Wirkungsgrad bezüglich Schub von $\eta = 0,7$. Um dies zu kompensieren, muss die Trägerbreite um 43 % grösser gewählt werden!

Durch eine alternative Ausbildung (möglich dank der GSA® Technologie) werden Wirkungsgrade $\eta \approx 1$ möglich, wie dies Versuche an BSH-Trägern 140/600 aus Fichte mit einem Durchbruchverhältnis von sogar 0,43 (zulässig nur 0,3) aufgezeigt haben. Bemerkenswert ist, dass dabei kein Durchbruch erfolgte. Die Versuche wurden jeweils nach Erreichen des charakteristischen Schubwertes abgebrochen. Das GSA® ALP ermöglicht demnach trotz Durchbruch die volle Ausnützung des Schubvermögens des Trägers. (Durchbruch statisch vernachlässigbar). Dadurch wesentlich Einsparung an Breite bzw. an Holzvolumen, falls Biegeversagen nicht massgebend. Zudem wesentlich duktileres Bruchverhalten.

2 BIEGEVERSTÄRKUNGEN

2.1 Allgemeines

Häufig genügen bei älteren Konstruktionen die Anforderungen der bestehenden Konstruktionen nicht mehr. Wird umgebaut kommen dabei vielfach deutlich höhere Lasten dazu (im Dachbereich wird mehr gedämmt, eventuell eine Photovoltaikanlage installiert; bei Decken kommen auch häufig zusätzliche Auflasten dazu). Dem gegenüber steht die meist zu knapp dimensionierte Raumhöhe, die es dem Ingenieur häufig verunmöglicht die Konstruktion zu erhöhen. Die einfachste Lösung besteht darin zusätzliche Balken zwischen die bestehenden zu legen. Dies ist nicht immer möglich, da für die Zwischenbalken häufig keine Auflagermöglichkeit besteht. Neben der Tragsicherheit besteht im Holzbau häufig ein Gebrauchstauglichkeitsproblem. So können die meist Konstruktionen relativ einfach für die Tragsicherheit verstärkt werden, jedoch bleiben zu grosse Deformationen. Eine gangbare Lösung ist die Armierung des Holzes wie zwei Beispiele aus der Praxis zeigen.

2.2 Biegeverstärkung einer Balkenlage

Ausgangslage: Die bestehende Balkenlage erfüllt weder die Anforderungen an die Tragsicherheit noch diejenige an die Gebrauchstauglichkeit. Die Decke muss verstärkt werden, die Balken können in der Höhe, infolge Fensteröffnungen, nur minim in der Höhe verstärkt werden.

2.2.1 Lösung

In die bestehenden Balken wird eine Längsnut eingefräst. Danach einen profilierten Stahlstab einlegen, abdichten und mit GSA® Harz ausinjizieren.



Abb. 6: Ansicht der bestehenden Balkenlage

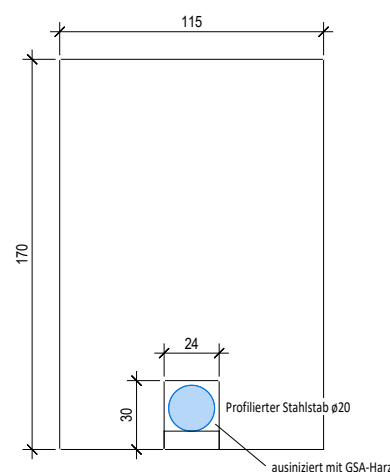


Abb. 7: Prinzip der vorgesehenen Verstärkungsmassnahme

2.2.2 Was bringt das?

Gerechnet als Verbundquerschnitt:

Steigerung des Widerstandsmoments um über 70 %. Die Armierung ergibt eine Querschnittserhöhung von 115/175 mm auf 115/225 mm (50 mm mehr, ohne den Querschnitt zu erhöhen). Zudem eine Erhöhung bezügliche Steifigkeit von über 40 %.

Im Gegensatz zur oberen Berechnungen konnte die Armierung über eine zusätzliche Lamelle abgedichtet werden. So entstand infolge Querschnittserhöhung einen noch leistungsfähigerer Querschnitt.



Abb. 8: Durchführung der Verstärkungsmassnahme

2.3 Ertüchtigung eines Biegeträgers

Das Ingenieurbüro Walt Galmarini in Zürich hat den Auftrag eines Sanierungskonzepts für grössere Biegeträger erhalten. Da nicht alle Parameter rechnerisch erfasst werden können, wurden an der EMPA in Dübendorf Versuchsträger in Originalgrösse geprüft. Neben den statischen Kennwerten konnten auch die einzelnen Arbeitsabläufe praktisch ausprobiert werden. Damit wurden wichtige Erkenntnisse für die Sanierung gewonnen.

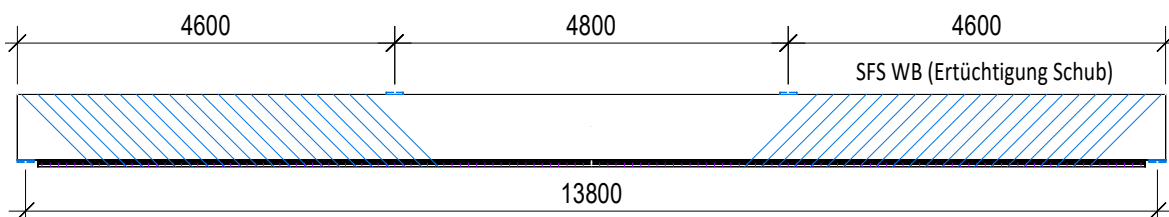


Abb. 9: Prinzip der vorgesehenen Verstärkungsmassnahme, Längsachse

Die Träger haben eine Spannweite von 13,8 m. Sie wiesen unterschiedliche Fehlklebungen auf und müssen sowohl auf Biegung und Schub ertüchtigt werden. Um den Erfolg der Verstärkung zu überprüfen, wurden die Träger zuerst unverstärkt getestet.

Die Träger wurden einerseits durch SFS WB Schrauben (Schub) sowie durch eine Armierete Zuglamelle ertüchtigt. Die Zuglamelle besteht aus hochfesten T26 Lamellen in deren Mitte liegen zwei profilierte Stahlstäbe $d = 20$ mm. Die Zuglamelle dient als Bohrschablone für die SFS WB Schrauben. Zudem waren die Löcher für die Schraubpressklebung in der Lamelle auch bereits gebohrt. Die ganze Zuglamelle wurde nach dem armieren auf einer CNC Anlage höchst präzise abgebunden. Die Vorfertigung der Lamelle ist wichtig, weil die Lamelle bei der Montage über Kopf montiert wird. Der Platzbedarf für die Schrauben der Schraubpressklebung ist infolge Armierung und Schubertüchtigung (SFS WB) äusserst bescheiden.

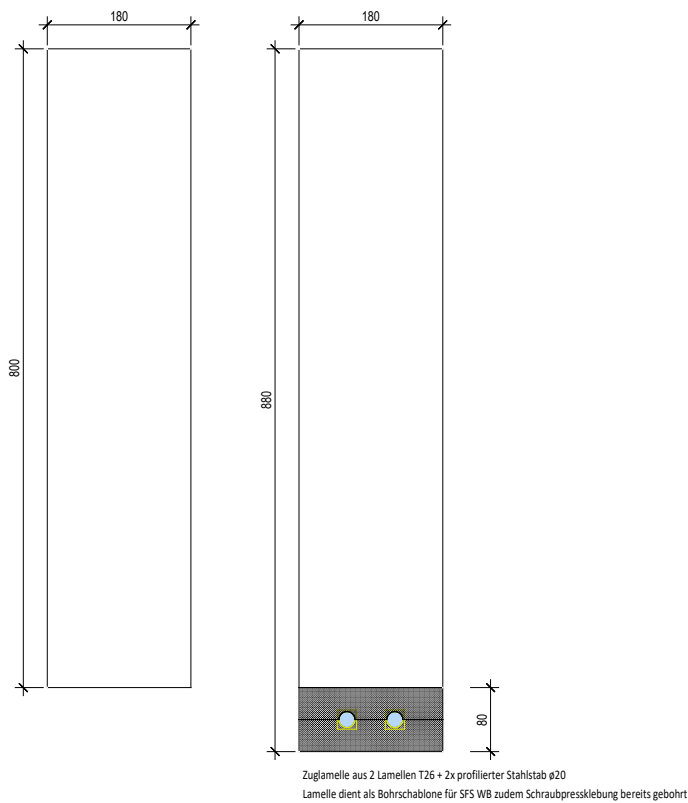


Abb. 10: Prinzip der vorgesehen Verstärkungsmassnahme, Querschnitt

2.3.1 Was bringt das?

Ohne die Schubbewehrung zu beachten (Verstärkung durch Armierungslamelle). Im Gegensatz zur Verstärkung der Balkenlage, bei der der Stahlquerschnitt zum Holzquerschnitt relativ gross ist, ist der Stahlanteil bei einem so hohen Träger eher gering. Trotzdem erhöht sich das Widerstandsmoment und das Trägheitsmoment um über 60%! Selbstverständlich wirkt dabei nicht nur der Stahl, die unarmierten T26 Lamellen bringen auch schon viel ($I = + 40\%$; $W_u = + 30\%$).

Gebrochen sind die Träger schlussendlich auf Biegung. Die Verstärkung nur durch die armierte Zuglamelle kann nicht genau beziffert werden. (Neben Biegung wurde Träger auch Schubarmiert). Jedoch zeigen die Resultate, dass eine Steigerung in der berechneten Grössenordnung möglich ist.

3 SCHUBVERSTÄRKUNG

Treten in einem Bauwerk grössere Feuchteänderungen auf entstehen bei BSH Trägern Risse und z.T. Fugenöffnungen (sogenannte Delaminierungen). Brettschichtholz wird in der Regel mit einer Holzfeuchte der Lamellen von 12% +/- 2% verklebt. In einem geheizten Gebäude mit niedriger Luftfeuchtigkeit sind Ausgleichsfeuchten von < 6% keine Seltenheit, bei grösseren BSH Trägern muss es infolge Abschwinden demnach irgendwo reissen. Die Problematik ist beim Einsatz von Laubholzprodukten noch grösser, da die eingesetzten Laubholzarten (Buche/Esche) deutlich grössere Quell- und Schwindverhalten aufweisen, als Brettschichtholz in Nadelholz (Fichte/Tanne/Lärche). Im Holzbau ist es demnach je länger je wichtiger vorgängig ein mögliches Nutzungsklima zu definieren und gegebenenfalls die Bauteile darauf anzupassen (durch trockenere/nassere Lamellen, andere Klebstoffe).

3.1 Schubertüchtigung eines Fischbauchträgers

Im Jahr 2018 wurden die Binder der Turnhalle Gubel saniert. Holzingenieur war Silvio Pizio, Wolfhalden. Die Holztragkonstruktion der Turnhalle Gubel in Oerlikon ist ca. 100 Jahre. Die Ingenieure aber auch die Holzbauer von damals haben hier eine wirklich innovative/interessante Konstruktion entwickelt.

Die Tragkonstruktion ist sehr alt. Zu dieser Zeit wurde das Holz noch deutlich effizienter eingesetzt als heute. Der Steg hat jegliche Brettbreiten, wurde sicher abgetreptt verklebt und danach der Statischen Form entsprechend ausgeschnitten. Aufgeklebt wurden danach die doch deutlich breiteren Gurte. Damit diese überhaupt sinnvoll miteinander verbunden werden konnten wurden Füllhölzer eingesetzt. Die Mittleren Füllhölzer wurden längs eingeschnitten. Da die Konstruktion mit der Zeit mehr austrocknete, das Längsholz der Füllhölzer jedoch nur wenig abschwindet sind im Steg erhebliche Risse entstanden. Über den Klebstoff war nichts bekannt, es musste jedoch davon ausgegangen werden, dass zu dieser Zeit ein Klebstoff verwendet wurde, welcher den heutigen Ansprüchen nicht mehr genügt.

Auf den ersten Blick sah die Konstruktion nicht schlecht aus. Das Holz war intakt, leider wurden die Risse optisch saniert, das bedeutet oberflächlich wurden die Risse ausgebessert und verkittet. Dies erschwerte die Bestandesaufnahme, jedoch auch die Sanierung, wie sich später herausstellte.

Die neue Holzbau AG hat zusammen mit Prof. Ernst Gehri eine Methode entwickelt, die es ermöglicht gerissene Träger zu verstärken. Die Wirkung der Verstärkung ist eine Funktion der Steifigkeit. Je grösser die versteifende Wirkung, desto grösser ist der Anteil der Schubkräfte, die durch die Verstärkung aufgenommen wird. Unter der Voraussetzung kompatibler Verformungen liegt hier eine additive Wirkung vor. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Versteifung durch den GSA® Anker nicht mit einer 100% additiven Wirkung zu rechnen ist.

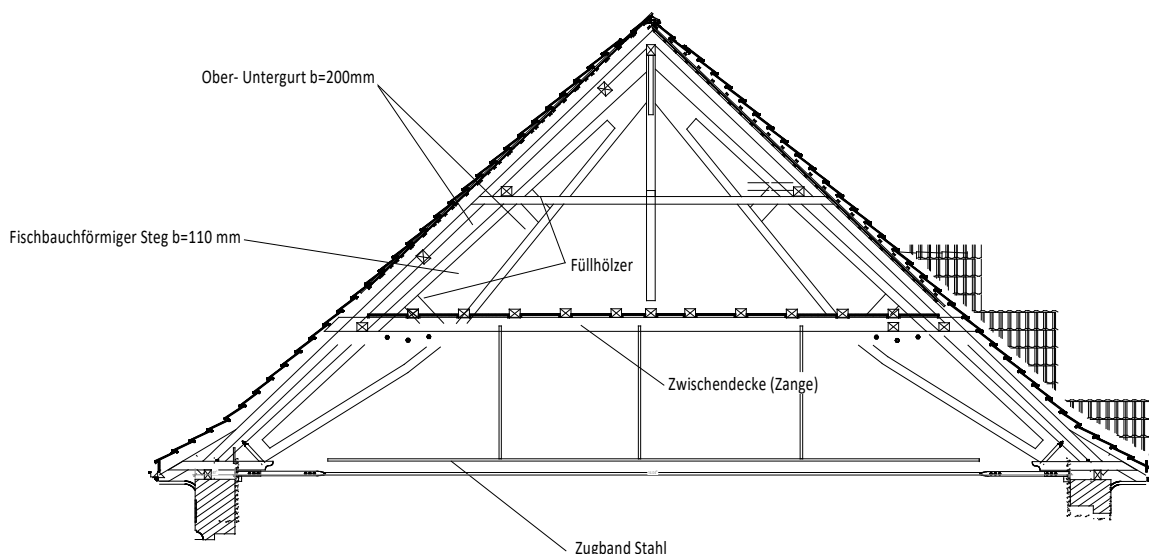


Abb. 11: Binderschnitt Turnhalle Gubel



Abb. 12: Prüfung Träger mit natürlichen Rissen

Die Arbeiten an den Trägern erfolgten auf 2 Ebenen. Einerseits konnte auf dem nun nicht mehr belasteten Zwischenboden, andererseits auf einer Gerüstplattform auf Höhe des Zugbands gearbeitet werden. Nach dem Entfernen der Füllhölzer wurde der Träger mit Leimbauzwingen so gut wie möglich zusammengepresst. Die noch verbleibenden Fugen mit einem 2-K Spachtel sauber zugespachtelt. Die optische Sanierung war dabei nicht ideal, einerseits wurden dadurch grosse Risse nicht gesehen, mit dem späteren Ausgiessen mit GSA® Harz hat es die «Flicke» teilweise gelöst, oder das Harz hat die Hohlräume irgendwie gefüllt. Nach dem Spachteln wurde eine Bohrschablone angelegt und von unten her gebohrt, die Anker eingesetzt und mit einem Flickzapfen unten zugeflickt. Vor dem Ausgiessen wurden die Träger noch gespriesst und etwas nach oben gedrückt. Die Halle war geheizt, musste mindestens 7h bei 20°C aushärten bevor die Zwingen und die Spriessen entfernt werden konnten.



Abb. 13: Sanierter Träger im oberen Bereich

4 VARIA

Durch ihre hohe Leistung sind eingeklebte Anker auch im Bereich Verstärkung und Ertüchtigung eine gute Alternative. Sie ermöglichen von aussen kaum sichtbaren Verstärkungen und eignen sich so auch für geschützte Bauten. Der Umgang mit eingeklebten Ankern auf der Baustelle ist allerdings nicht einfach. Die Herausforderungen an den Ingenieur, jedoch auch an den ausführenden Zimmermann auf der Baustelle ist sehr gross. Die erforderliche statische Verklebung ist nur möglich, wenn sowohl die klimatischen Bedingungen aber auch der Umgang mit dem Epoxidharz sowie deren Qualitätssicherung einwandfrei funktionieren. Der GSA® Harz ist sehr flüssig, rinnt durch noch so kleine Ritzen. Um Verunreinigungen zu verhindern müssen die Oberflächen entsprechend abgedeckt werden. Ohne speziell geschultes Personal mit viel Erfahrung sind Sanierungen mit dieser Technologie nicht möglich.



Abb. 14: Sanierung eines Brückenaufagers mit einer BSH Eichen Prothese

Verstärkungen und Ertüchtigungen von Brettschichtholz ist für den Ingenieur eine grosse Herausforderung. Bereits die Zustandserfassung ist äusserst schwierig. Von dem hängt ab wie stark eingegriffen werden muss. Das Sanierungskonzept verlangt nach kreativen Lösungen. Häufig müssen die verschiedensten Ideen und Techniken miteinander kombiniert werden um befriedigende Lösungen zu finden. Auch die Sanierung selbst ist fast immer sehr aufwendig, denn meistens ist die Zugänglichkeit des zu sanierenden Bauteils nur begrenzt möglich.

LITERATURVERZEICHNIS

- E. Gehri, «Krafteinleitungen mittels Stahlanker» in Brettschichtholz, Weinfelden, 28. SAH-Fortbildungskurs, 1996, pp. 111-143.
- A. Bernasconi, Tragverhalten von Holz senkrecht zur Faserrichtung mit unterschiedlicher Anordnung der Schub- und Biegearmierung, Publikation 96-3, ETH Zürich, 1996.
- E. Gehri, «Klassische Verbindungen neu betrachtet» in HOLZ ART 2000, Luzern, 17. Dreiländer-Holztagung, 2000, pp. 43-50.
- E. Gehri, «Leistungsfähige Verbindungen: Kriterien und Konzepte» in Verbindungstechnik im Holzbau, Weinfelden, 32. SAH-Fortbildungskurs, 2000, pp. 13-25.
- A. F. Fabris, Verbesserung der Zugeigenschaften von Bauholz parallel zur Faser mittels Verbund mit profilierten Stahlstangen, Ph.D Thesis ETH Zürich, 2001.

- E. Gehri, «Ductile behaviour and group effect of glued-in steel rods» in International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures, Stuttgart, RILEM Publications s.a.r.l., 2001, pp. 333-342.
- R. Steiger, E. Gehri und R. Widman, «Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain» in Materials and Structures 40, 2006, p. 69–78.
- R. Widmann, R. Steiger, E. Gehri, «Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam perpendicular to the grain» in Materials and Structures 40, 2007, p. 827–838.
- E. Gehri, «Eingeklebte Anker – Anforderungen und Umsetzungen» in *Band I, Prolog IV*, Garmisch, 15. Internationales Holzbau-Forum, 2009.
- E. Gehri, «High performing jointing technique using glued-in rods» Trentino: World Conference on Timber Engineering, 2010
- G. Tlustochowicz, E. Serrano und R. Steiger, «State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods» in Materials and Structures 44, 2011, p. 997–1020.
- Z-9.1-778, 2K-EP-Klebstoff GSA-Harz und GSA-Härter für das Einkleben von Stahlstäben in Holzbaustoffe, Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik, 2012.
- R. Steiger, «In Brettschichtholz eingeklebte Gewindestangen» in Band I, Prolog IV, Garmisch, 18. Internationales Holzbau-Forum, 2012.
- R. Steiger, E. Serrano, M. Stepinac, V. Rajčić, C. O'Neill, D. McPolin und R. Widmann, «Reinforcement with glued-in rods» in Reinforcement of Timber Structures, A state-of-the-art report, Shaker Verlag, 2015, pp. 133-159.
- E. Gehri, «Verbindungstechniken für auf Laubhölzer basierte Holzwerkstoffe - mit besonderer Berücksichtigung von BSH und LVL aus Buche» in *Band I, Prolog IV*, Garmisch, 21. Internationales Holzbau-Forum, 2015.
- E. Gehri, Performant connections – A must for veneer-based products, Wien: World Conference on Timber Engineering, 2016.

Holzwerkstoffe und Holz-Lamellen

Robert Widmann
Empa Abteilung Ingenieur-Strukturen, CH 8600 Dübendorf

1 EINLEITUNG

Die Verstärkung von Bauteilen aus Brettschichtholz mittels Holzwerkstoffen und zusätzlichen (Holz) Lamellen gehören zu den Standardverfahren im Ingenieurholzbau. Es wird sowohl im Zuge von Sanierungen als auch bei der Herstellung neuer Bauteile eingesetzt. Im Normalfall wird hierbei durch eine (nachträgliche) Vergrößerung des Original Querschnitts die erforderliche Tragfähigkeit und/oder Steifigkeit (wieder) hergestellt. Meistens werden diese Verstärkungen in streifen- und/oder plattenförmiger Form ausgeführt.

1.1 Holzwerkstoffelemente

Mittels Schraubpressklebung applizierte Holzwerkstoffplatten kommen in erster Linie zum Einsatz, wenn flächig wirkende Verstärkungen benötigt werden. Dies ist insbesondere bei Querzug- und Schubverstärkungen, aber auch bei Querdruck der Fall (Abbildung 1). Holzwerkstoffe werden auch eingesetzt, um Knotenpunkte oder Verbindungsmittelbereiche von Holzkonstruktionen zu verstärken. Die Anwendung erfolgt normalerweise von aussen und diese Verstärkungen sind somit sichtbar. In letzter Zeit wurden aber derartige Verstärkungen auch vermehrt als innen liegend ausgeführt (Knoten TA Media, Abbildung 2). Die Verstärkungen sollten von Vorteil symmetrisch angeordnet werden um einen gleichförmigen Spannungsverlauf innerhalb des zu verstärkenden Bauteils zu gewährleisten.

Bei diesen grossflächigen Verstärkungen ist zu beachten, dass sie auf Grund ihrer Absperrwirkung einen erheblichen Einfluss auf das Quell- und Schwindverhalten des zu verstärkenden Bauteils haben. Dies kann bei grossen Feuchteschwankungen zu einer vermehrten Rissbildung im Bereich der Verstärkungen führen.

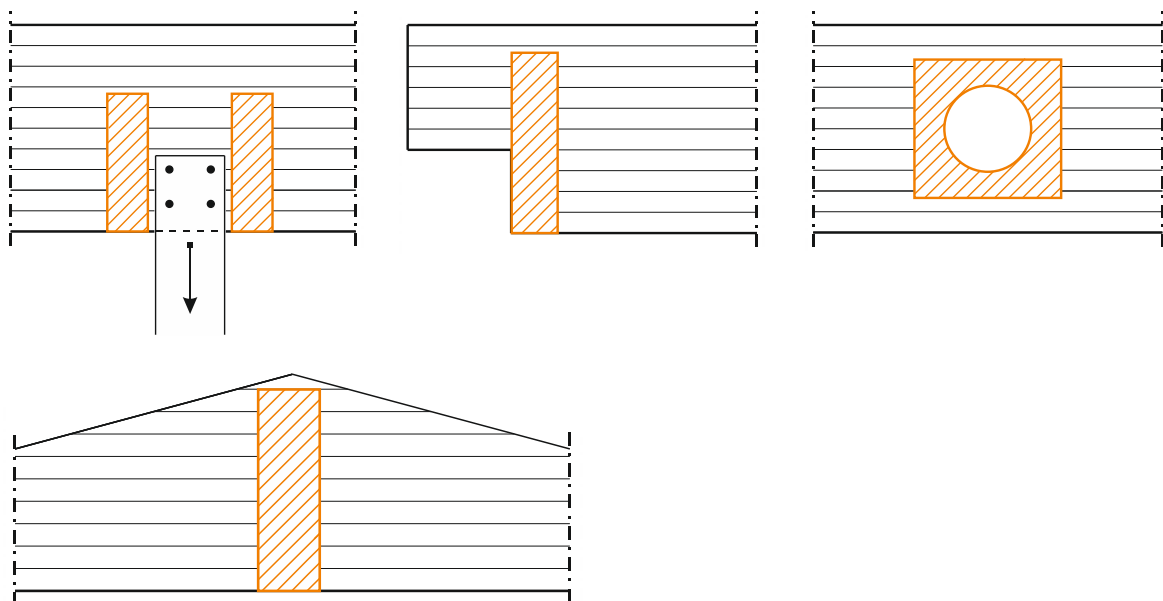


Abb. 1: Prinzip der Verstärkung von Queranschlüssen, Ausklinkungen, Durchbrüchen und Satteldachträgern (analog gekrümmte Träger) mit Holzwerkstoffen.

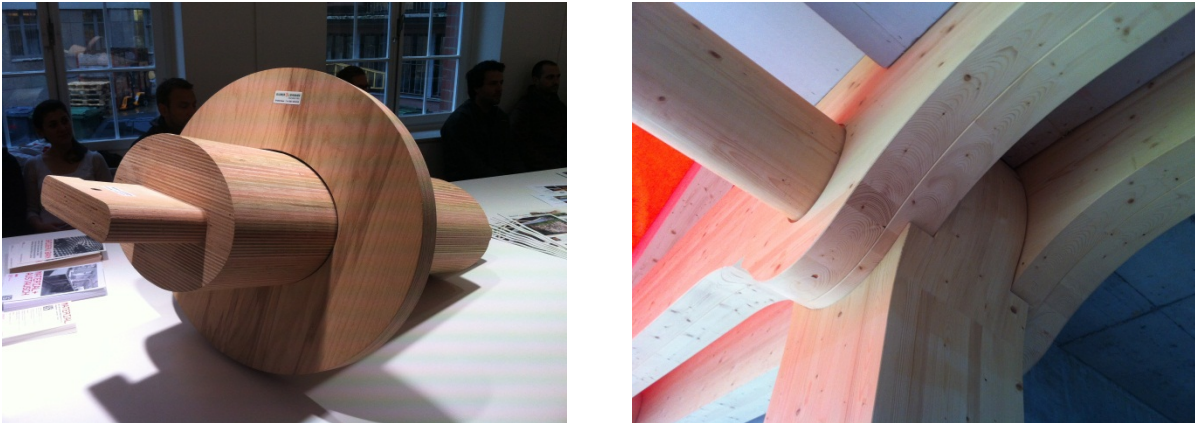


Abb. 2: Mit innenliegenden Holzwerkstoffen verstärkter Knoten (links: Modell) im Neubau der TA Media in Zürich. Architekt: Shigeru Ban, Ingenieure: sjb.kempton.fitze AG, Ausführung: Blumer Lehmann AG

1.2 Zusätzliche Lamellen

Mit dem Einsatz von zusätzlichen Lamellen, welche ebenfalls meist per Schraubpressklebung auf der Biegezugseite von Biegeträgern angebracht werden, kann die Biegetragfähigkeit und Biegesteifigkeit von Trägern erheblich gesteigert werden (Abbildungen 3 und 4). In erster Linie ist dieser Verstärkungseffekt auf geometrische Faktoren begründet. Die Biegefestigkeit steigt bei Rechteckquerschnitten mit der statischen Höhe im Quadrat, die Biegesteifigkeit mit der statischen Höhe im Kubik. Meist lohnt es sich auch, die zusätzlichen Lamellen in einer besonders guten Qualität auszuführen, um durch einen entsprechend erhöhten E-Modul und eine erhöhte charakteristische Zugfestigkeit weitere Verstärkungseffekte zu erzielen. Stehen eingeschränkte Platzmöglichkeiten oder optische Gründe gegen eine beliebige Zunahme des Querschnitts, so lassen sich die zusätzlich angebrachten Lamellen weiter verstärken, beispielsweise durch über die ganze Länge eingeklebte profilierte Stäbe aus profilierten Stählen oder Kohlefaser oder aber flache Elemente wie dünne Stahl- oder Kohlefaserlamellen.

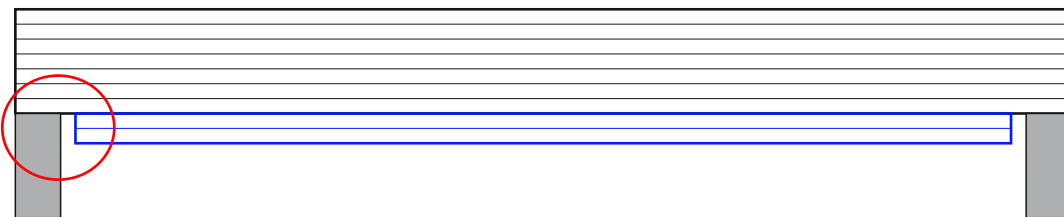


Abb. 3: Prinzip der Applikation von zusätzlichen Lamellen an einem zu verstärkenden Biegeträger. Im Auflagerbereich entsteht dadurch bei nicht vollständig durchlaufenden Lamellen eine Ausklinkung.

Durch die Querschnittvergrößerung steigt auch der Schubwiderstand des Trägers geringfügig an. Dies wird in den meisten Fällen jedoch unberücksichtigt gelassen, unter anderem auch deshalb, weil die zusätzlichen Lamellen meist nicht bis ans Trägerende durchgezogen werden können. Andererseits entsteht an den Auflagern durch die Zusatzlamellen eine Ausklinkung, welche statisch allenfalls berücksichtigt werden muss.

Es ist auch möglich und wird in der Praxis angewendet, Biegeverstärkungen seitlich an Biegeträgern anzubringen. Dies kann sowohl über die ganze Trägerhöhe als auch nur im Biegezugbereich ausgeführt werden.



Abb. 4: Überprüfung der Leistungsfähigkeit durch Versuche mit Bauteilen im Masstab 1:1 an der EMPA Dübendorf und anschliessender Anwendung in einem zu sanierenden Dachtragwerk.

2 TECHNIK

2.1 Geeignete Holzwerkstoffe

Prinzipiell eignen sich für derartige Verstärkungen mehrere Arten von Holzwerkstoffen (Abbildung 5) bzw. auch normale Brettlamellen aus festigkeitssortiertem Vollholz bis zu 35 mm Dicke. Von den Holzwerkstoffen wird am häufigsten Furniersperrholz und Furnierschichtholz (FSH, LVL, Kerto), beide mit mindestens 5 Lagen und einer Mindestdicke von 10 mm oder auch Brettsperrholz (Lagendicke bis 30 mm), für diesen Zweck eingesetzt. Die entsprechenden Materialkennwerte können der SIA 265/1 und/oder den Herstellerunterlagen (Zulassungen) entnommen werden. Die Verstärkungen lassen sich auch mehrlagig ausführen.



Furnierschichtholz
(Kerto, LVL), min. $t = 10$ mm



Massivholzplatte
max. $t_{\text{Lage}} = 30$ mm



Sperrholz – Plywood
min. $t = 10$ mm



Brettsperrholz
(BSP, CLT), max. $t_{\text{Lage}} = 30$ mm

Abb. 5: Übersicht der am häufigsten verwendeten Holzwerkstoffe bei der Verstärkung von Brettschichtholz. Mit angegeben sind die minimal anzuwendenden Dicken der gesamten Werkstoffplatten bzw. die maximale Dicke einzelner Lagen dieser Holzwerkstoffe.

Bilder: dataholz.com.

2.2 Geeignete Klebstoffe

Aus dem Merkblatt Sanierung von BS-Holzbauteilen der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2010) gehen sinngemäss folgende Empfehlungen bezüglich der Klebstoffe hervor:

Es können Phenoplastharz- oder Aminoplastharzklebstoffe verwendet werden, welche die entsprechenden Anforderungen erfüllen. Es dürfen zudem Klebstoffe gemäss allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung verwendet werden (in der Schweiz nicht notwendig). Üblich ist bei vielen Sanierungsarbeiten der Einsatz von Zweikomponenten Epoxidharz-Klebstoffen. Das Harz ist während der Reaktion dünnflüssig und füllt Hohlräume sehr gut aus. Bei der Verklebung ist kein Pressdruck erforderlich, weil die Klebemasse - im Gegensatz zu Polykondensationsklebstoffen - nicht schwindet. Epoxidharz-Klebstoffe sind während der Reaktion so dünnflüssig, dass ein Wegfliessen des Klebstoffes allenfalls durch geeignete Massnahmen verhindert werden muss. Bei der Sanierung von sichtbar bleibenden Bauteilen kann den Klebstoffen ein Farbstoff beigemischt werden, sofern die Eigenschaften des gefärbten Klebstoffs geprüft und als geeignet eingestuft worden sind. Sofern Klebstoffe, z. B. zum Andicken, mit Streckmitteln gemischt werden sollen, ist dies nur zulässig, wenn der angedickte Klebstoff geprüft und als geeignet eingestuft worden ist. Alle verwendeten Klebstoffe müssen dem Typ I gemäss EN 301 entsprechen.

Auch Zweikomponenten-Polyurethan-Klebstoffe kommen vermehrt für derartige Verstärkungsmassnahmen zum Einsatz.

Für die Anwendung der Schraubpressklebung haben mehrere Anbieter in der Schweiz entsprechende Produkte in ihrem Angebot. Wichtiges Kriterium bei der Auswahl des Klebstoffs ist hier unter anderem auch die Fugendicke. Der Klebstoff sollte dabei nachweislich für Fugendicken von mindestens 2 mm geeignet sein. Für die Praxis ist es in jedem Fall ratsam, ausschliesslich nachweislich geeignete Produkt(systeme) einzusetzen. Wichtig ist dabei auch die Abklärung einer geeigneten Beschaffenheit der Holzoberfläche(n) sowie des Einflusses allfällig vorhandener Oberflächen- und/oder Holzschutzbehandlungen auf die Qualität und Festigkeit der Verklebung.

2.3 Bemessung

Die Bemessung von aussen aufgeklebten Verstärkungen aus Vollholz oder Holzwerkstoffen ist ein relativ einfacher Vorgang. Aus den Steifigkeitsbedingungen ergibt sich, dass die Verstärkung im Normalfall die gesamte zu übertragende Kraft alleine aufnehmen muss. Dies gilt insbesondere im Fall von Sanierungen bei bereits bestehenden Rissen. Die Kraft muss im entsprechenden Bereich vom Holz über den Klebstoff in die Verstärkung übertragen werden, in diesem dann den gefährdeten Querschnitt überbrücken und anschliessend wieder über den Klebstoff zurück in das Holz geleitet werden. Verstärkung (meist auf Zug, gegebenenfalls auf Schub) und Klebefuge (auf Schub) müssen bemessen werden.

Unter dieser Voraussetzung leitet sich der erforderliche Netto-Querschnitt des/der Holz- bzw. Holzwerkstoffteils/teile für die Verstärkung ab. Bei dieser Berechnung muss jedoch allenfalls der ungleichmässige Spannungsverlauf berücksichtigt werden. Dies wird vereinfacht mit einer Reduktion der entsprechenden Festigkeit auf 2/3 des Originalwerts (Queranschlüsse) und auf 50% des Originalwerts (Ausklüngen, Durchbrüche) erreicht (deutscher NA zum Eurocode 5, DIN EN 1995-1-1/NA:2010). Bei Querszugverstärkungen von Satteldach- und gekrümmten Bindern ist keine Reduktion der Festigkeit erforderlich. (Angaben: deutscher NA zum Eurocode 5, DIN EN 1995-1-1/NA:2010, keine Angabe in der Norm SIA 265:2012).

Bei den Klebfugenfestigkeiten wird in der gleichen Quelle der Umstand ungleicher Spannungsverteilung durch die Angabe entsprechender charakteristischer Werte direkt berücksichtigt. Hierbei muss die rechnerisch gleichmässig verteilte Klebfugenspannung der in der Tabelle 1 genannten entsprechenden Festigkeiten gegenübergestellt werden.

Die Bemessung von ungeschädigten Queranschlüssen, Ausklüngen, Durchbrüchen, Satteldachträgern und gekrümmten Trägern erfolgt auf Basis des Anhangs D der SIA 265. Da hinsichtlich einer Querszugbeanspruchung die entsprechend (geringe) vorhandene Festigkeit des zu

Tab. 1: Charakteristische Klebfugenfestigkeit sowie Reduktionsfaktor bezüglich der charakteristischen Zugfestigkeit von Holzwerkstoffen für unterschiedliche Verstärkungen (DIN EN 1995-1-1/NA:2010, keine Angabe in SIA 265:2012).

Verstärkung von	Charakteristische Klebfugenfestigkeit $f_{t,k}$ [N/mm ²]	Faktor zur Reduktion der charakteristischen Zugfestigkeit $f_{t,k}$ der Holzwerkstoffe
Ausklinkungen, Durchbrüchen	0.75	0.5
Queranschlüssen	0.75	0.67
Satteldachbindern und gekrümmten Bindern	1.50	1.00

verstärkenden Bauteils nicht angesetzt werden darf, kann die Bemessung in Anlehnung an die Angaben in der SIA auch für bereits gerissene Bauteile angewendet werden. Hierbei muss allerdings die genaue Lage der Risse berücksichtigt - und die Bemessung gegebenenfalls entsprechend angepasst werden. Dies führt meistens dazu, dass in solchen Fällen die Verstärkung die gesamte aufzunehmende Querkraftbelastung zu übertragen hat.

Die SIA 265 fordert, dass bei aussenliegenden aufgeklebten Verstärkungen die ungleichmässige Verteilung der Klebfugenspannungen und der Zugspannungen in den Verstärkungen im Tragsicherheitsnachweis zu berücksichtigen sind. Allerdings sind in dieser Norm keine Angaben zu finden, wie diese Verteilungen anzunehmen sind bzw. wie sie genau auf der sicheren Seite liegend rechnerisch berücksichtigt werden können. Hierzu können daher die weiter oben beziehungsweise in der Tabelle 1 gemachten Angaben hilfreich sein.

Bei der Bemessung von Biegeverstärkungen mittels zusätzlicher Lamellen kann auf das γ -Verfahren zurückgegriffen werden. Im Normalfall kann bei geklebten Verbindungen von einem γ -Wert von 1 ausgegangen werden, da die Schubsteifigkeit der Klebefuge mindestens den gleichen Wert aufweist wie das umgebende Holz. Somit ergibt sich die Vereinfachung bei der Berechnung wobei der bestehende Querschnitt und der neue Querschnitt (zusätzliche Lamellen) zu einem vergrösserten Gesamtquerschnitt zusammengefasst werden und dementsprechend einfach nach normaler Balkentheorie bemessen werden können.

Werden bei Balken Biegezugverstärkungen seitlich angebracht bzw. Lamellen verwendet, die einen erheblich höheren (mittleren) E-Modul aufweisen als der zu verstärkende Träger selbst –z.B. durch Einkleben von Stahl- oder Kohlefaserstangen in diese Lamellen – kann dies zumindest theoretisch dazu führen, dass das Biegeversagen auf Grund von Stauchungen in der Biegedruckzone erfolgt. Schwierig ist hierbei insbesondere der rechnerische Nachweis der effektiven Steifigkeit besonders bei den verstärkten Lamellen. Daher wird für solche "extremen" Verstärkungsmassnahmen angeraten, deren Wirksamkeit durch Versuche abzuklären.

3 ANWENDUNG

Das Funktionieren der Verstärkungen mit plattenförmigen Bauteilen ist im Wesentlichen davon abhängig, dass die grossflächige Verklebung entsprechend den Vorgaben des Herstellers ausgeführt wird und somit ihre volle Leistungsfähigkeit entfalten kann. Die darin enthaltene Vorbereitung des Verklebungsgrunds kann vor allem bei älteren Bauteilen einen erheblichen Arbeitsaufwand darstellen.

Bei der Schraubenpressklebung (Abbildung 6) ist darauf zu achten, dass der erforderliche Pressdruck durch die Art, Anzahl und Verteilung der Schrauben über den Querschnitt gewährleistet wird. Gemäss dem Merkblatt Sanierung von BS-Holzbauteilen der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2010) sind hier mindestens pro 150 cm² (bei einer maximalen Kantenlänge des Schraubenrasters von 150 mm) eine bauaufsichtlich zugelassene (in der Schweiz nicht notwendig) Teilgewindeschraube mit einem Durchmesser größer als 4 mm anzuordnen. In der aufzuklebenden Platte oder der aufzuklebenden Lamelle darf kein Schraubengewinde vorhanden sein. Die Gewindelänge im Holzteil



Abb. 6: Anwendung der Schraubpressklebung. Wichtige Parameter sind die erforderliche Anzahl Schrauben pro Fläche (links oben und unten), die Wahl, korrekte Menge und Verarbeitung eines nachweislich geeigneten Klebstoffs (oben rechts) sowie eine saubere und möglichst ebene Verklebungsfläche (unten rechts). Bilder: Holzforschung Austria

mit der Schraubenspitze muss mindestens 40 mm betragen, jedoch mindestens gleich der Platten- oder Lamellendicke sein. Bei mehrlagiger Schraubung muss das Schraubenbild entsprechend versetzt angeordnet werden. Die Schrauben können nach der Aushärtung entfernt werden, da sie in keinem Fall zur Lastübertragung (hier: Schub in der Klebefuge) beitragen. Andererseits kann es von Vorteil sein, die Schrauben in der Verbindung zu belassen. Diese sind in der Lage, allfällig auftretende Kräfte aus Querkraft senkrecht zur Klebefuge aufzunehmen. Solche Kräfte können beispielsweise als Folge aus ungleichmäßigem Schwindverhalten des zu verstärkenden Bauteils entstehen.

Prinzipiell ist es zumindest theoretisch auch möglich, den vom Klebstoff her vorgegebenen Mindestpressdruck in anderer Art und Weise aufzubringen als durch Schraubpressung, zum Beispiel durch Zwingen, hydraulische oder elektrische Pressen und ähnliche Techniken. In der Praxis hat sich allerdings die Schraubpressklebung als wirtschaftlichste Lösung durchgesetzt.

4 REFERENZEN

SIA 260:2013, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 265:2012, Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 267:2013, Geotechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 269:2011, Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 269/1:2011, Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 269/3:2011, Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 269/ 5:2011, Erhalten von Tragwerken – Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 469:1997, Erhaltung von Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

- SIA 2017:2000, Merkblatt Erhaltungswert von Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- DIN EN 301:2018-01, Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste, für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen
- DIN 1052-10:2012, Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken – Teil 10: Ergänzende Bestimmungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN 68141:2016-12: Holzklebstoffe - Bestimmung der offenen Antrockenzeit und Beurteilung der Benetzung und Streichbarkeit, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- DIN EN 1995-1-1/NA:2010: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter –Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- EN 1995-1-1:2010: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- Franke B., Widmann R. (2012) Zustandserfassung und Verstärkung von Brettschichtholz, In: SAH-Tagungsband - Mechanische Verbindungen im mehrgeschossigen Holzbau, 44. Fortbildungskurs 2012, S. 193-202
- Lignum, 2019: Lignatec 31/2019, Erhaltung von Holztragwerken, Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Zürich

Einsatz der Pressverklebung - Forschungsergebnisse

Prof. Dr. Steffen Franke, Marcus Schiere, Dr. Bettina Franke
Bernere Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

1 EINLEITUNG

Die Pressverklebung eröffnet im Holzbau eine Vielzahl von Anwendungen wie unter anderem das Zusammensetzen von Tragelementen, Ausführen von Verbindungen und Verstärken von gegebenen Situationen. Die Pressverklebung kann für Wand-, Decken- und Trägerelemente (siehe Abb. 1), für Zug/Druck- und biegesteife Anschlüsse (siehe Abb. 2) und auch als Verstärkung wie z. B. bei Ausklinkungen oder Durchbrüchen relativ einfach angewandt werden. In der Pressverklebung werden die notwendigen Holzwerkstoffplatten an den Hauptträger verklebt, wobei der erforderliche Pressdruck während des Aushärtens über mechanische Verbindungsmittel erreicht wird.

Viele Optionen und Kombinationen vom Material, Klebstoff und Verbindungsmittel (Klammern, Nägel, Schrauben) stehen heutzutage für die Ausführung einer Pressverklebung zur Verfügung, was aber auch zu vielen Verunsicherungen in der Planung und Ausführung führt. Die wichtigste Voraussetzung für die Wahl des Verbindungsmittels ist die Sicherstellung des erforderlichen flächigen Pressdrucks zur Aushärtung des eingesetzten Klebstoffsystems. Die Ausführung und Qualitätssicherung der Pressverklebung ist in der Schweiz und auch auf europäischer Ebene (Eurocode 5, EC5) normativ nicht geregelt. Gegenwärtig sind für die normative Ausführung der Pressverklebungen nur Schrauben entsprechend der DIN 1052-10:2012, durch den Verweis in der DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12, erlaubt. Hier sind die Anforderungen an die Schraube, Oberflächen, Abstände, Klebstoff und Holzfeuchte enthalten. Jedoch sind die Angaben kritisch zu prüfen, da Schrauben mit einem Gewindedurchmesser von grösser 4 mm auf einer Fläche von 15'000 mm² mit einem maximalen Abstand von 150 mm und einem erforderlichen Pressdruck von 0.6 N/mm² eine Zugtragfähigkeit von 9'000 N erreichen müssten, vgl. Abb. 4. Diese Zugtragfähigkeit kann nicht mit der üblichen Stahlzugfestigkeit bzw. Fließgrenze noch mit dem wesentlich geringeren Kopfdurchziehewiderstand für Schrauben mit wirtschaftlichen Durchmessern von 4 oder 5 mm erzielt werden. Die folgend dargelegten Untersuchungen und Ergebnisse sind im Forschungsprojekt «Investigation and analysis of press glued connections for timber structures» gefördert durch das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation entstanden und sollen hierauf erste Antworten geben und Lösungen für einen praxisorientierten Einsatz aufzeigen.

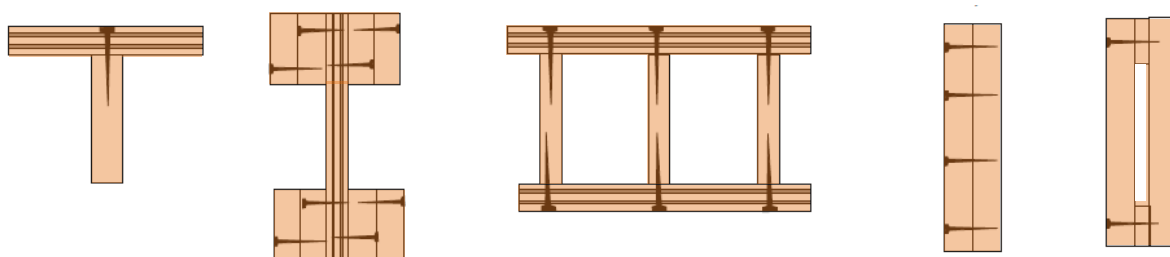


Abb. 1: Schematische Darstellung mögliche Tragquerschnitte mittels Pressverklebung: T-Träger, I-Träger, Hohlkasten, Doppel-Steg Träger, Box-Träger (v. l. n. r.), Kairi (2002)

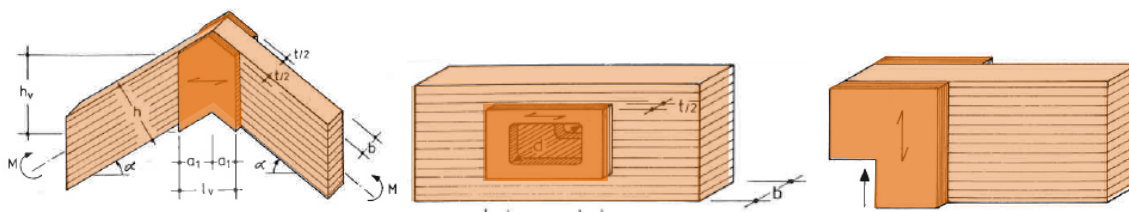


Abb. 2: Verstärkungen an Verbindungen, Durchbrüchen und Ausklinkungen (v. l. n. r.), Steck (1988)

Weiterhin stehen neben den normativ anwendbaren Schrauben auch Klammern und Nägel als mechanische Verbindungsmittel zur Verfügung, wobei diese pro Verbindungsmittel wesentlich günstiger sind und zudem auch schneller verarbeitet werden können, so dass sich hieraus sehr wirtschaftliche Anwendungen ergeben. Allerdings ist der normativ abgesicherte Einsatz von Klammern und Nägeln nicht gegeben. Lediglich in der nicht mehr gültigen deutschen Norm, DIN 1052:1988, war deren Einsatz bis 2004 geregelt. Die sehr wirtschaftlichen Anwendungsmöglichkeiten sind aber seitens der Praxis sehr gewünscht, weshalb Klammern und Nägel in den Untersuchungen berücksichtigt wurden.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Anforderungen an die Pressverklebung

Für die Qualitätssicherung und Ausführung der Pressverklebung sind keine Standardisierungen existent. Zu prüfen ist, ob die Vorgaben der SN EN 14080:2013 zur Herstellung von Brettschichtholz und Massivholz anzuwenden sind. Allgemein gesehen ja, denn Ziel sind hochleistungsfähige Träger und Verbindungen. Die Unterschiede liegen aber im Ausgangsmaterial, den Klebstoffen und den möglichen Vorbehandlungen. Ein Qualitätskriterium ist die Dicke der Klebstoffuge, welche in der SN EN 14080:2013, Literatur oder Unternehmerrichtlinien (Besmer-Brunner GmbH o. D. und Pirmin Jung 2010) zur Kontrolle des Pressdruckes während der Herstellung angegeben ist. Die erforderliche Klebstoffugendicke ist aber abhängig von der Fließfähigkeit und dem Eindringverhalten des Klebstoffes, der Oberflächenrauigkeit und dem Holzprodukt selbst. Klebstoffugendicken von 0.2 bis 0.6 mm (SN EN 14080:2013) je nach Klebstofftyp von Phenol- zu Aminokunststoff (z. B. MF, MUF, PRF, UF), 1 Komponenten Polyurethan (PUR), oder Emulsionspolymer Isocyanate (EPI) sind zulässig. Letztendlich kann damit aber nicht der erforderliche gleichmässige flächige Pressdruck überprüft und kontrolliert werden.

Pressdrücke von 0.6 - 1.0 N/mm² sind für qualitativ gute Klebstoffverbindungen von 35 - 85 mm dicken Lamellen erforderlichen, SN EN 14080:2013. Hierzu werden teure und massive hydraulische Pressen eingesetzt. Niedrigere Pressdrücke von 0.05 - 0.4 N/mm² sind mit pneumatischen Pressen oder der Vakuumtechnik erreichbar. Mit mechanischen Verbindungsmitteln kann man dagegen nur Pressdrücke von 0.01 - 0.2 N/mm² (Kairi 2002) erreichen, was für eine qualitativ hochwertige Klebeverbindung eine extrem gute Abstimmung der weiteren Randparameter erfordert, vgl. Abb. 4. Die Anzahl und der Abstand der Verbindungsmittel kann für eine gleichmässigeren Druckverteilung optimiert werden, aber der erreichbare Pressdruck bleibt jedoch limitiert. Dennoch sind Nägel, Klammern und Schrauben eine einfache und schnelle Alternative und von den Herstellern eine sehr gefragte Produktionstechnologie, wobei jedes seine Vor- und Nachteile mitbringt.

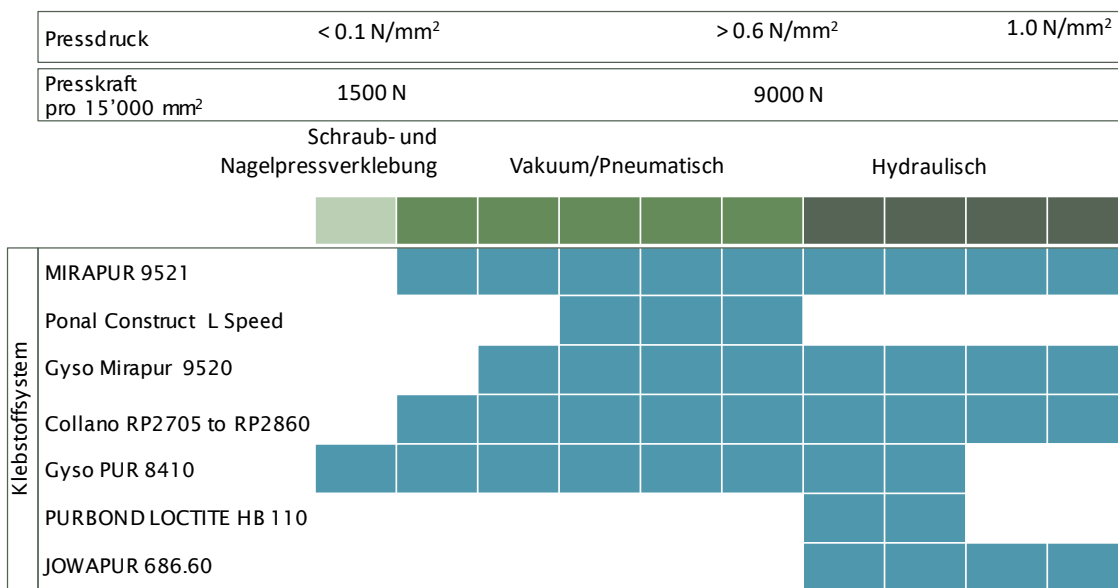


Abb. 3: Zusammenstellung der Klebstoffsysteme mit erforderlichen und erreichbaren Pressdrücken mit Pressverklebung, Vakuumpresse oder hydraulischen Presse

2.2 Material und Verbindungsmittel

Die Forschungsarbeit konzentrierte sich auf die Pressverklebung von Fichtenholzstegen mit Beplankung aus Dreischichtplatten oder Kerto-Q-Platten zur Produktion von Hohlkastenelementen für den Dach- und Deckenbereich. Klammern und Nägel wurden traditionell zur Pressverklebung eingesetzt. Schrauben verfügen über eine höhere Tragfähigkeit als Nägel und erlauben in der Produktion bereits ein Neupositionieren oder Wenden der Elemente bevor ein vollständiges Aushärten des Klebstoffes erreicht ist.

Aufgrund der normativen Einschränkung der Pressverklebung auf Schrauben wurde der Fokus auf verschiedenartige Schraubentypen als einzelnes Verbindungsmittel oder in der Gruppe gelegt und aufgrund der wirtschaftlicheren Anwendung, Nägel und Klammern in geringerem Umfang getestet. Weiterhin wurde eine Unterscheidung in der Einbringart, manuell mit Handgeräten oder automatisch mit Herstellungsanlagen berücksichtigt. Eine Übersicht ist in Abb. 3 gegeben. Die Details und Spezifikationen der verschiedenen Hersteller sind für Nägel und Schrauben in Tab. 1 zusammengefasst.

Der eingesetzte 1-Komponenten Polyurethane Klebstoff wurde anhand von Literaturergebnissen und Vorgaben zur Anwendung vorab ausgewählt. Abb. 4 stellt die technischen Anforderungen der Klebstoffe bzgl. des Aushärtedruckes der erforderlichen Presskraft pro 15'000 mm² Einzugsfläche und verfügbaren Pressdrucktechnologien gegenüber. Der gewählte 1-Komponenten Polyurethane Klebstoff erfordert nur einen Pressdruck von 0.1 N/mm², welches ein grosses Potential für die Pressverklebung bietet.

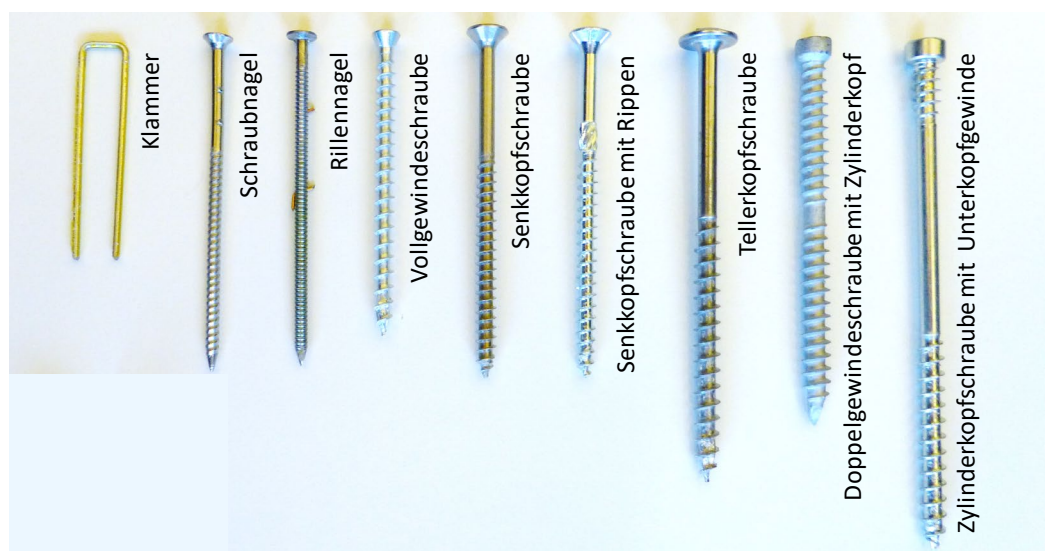


Abb. 4: Übersicht der eingesetzten Verbindungsmittel im Forschungsprojekt

Tab. 1: Verwendete Nägel und Schrauben, mit Angabe des Durchmessers d , Kopfdurchmessers d_h , Schaftdurchmessers d_s , Verbindungsmittellänge L und Einbindelänge L_s , [mm]

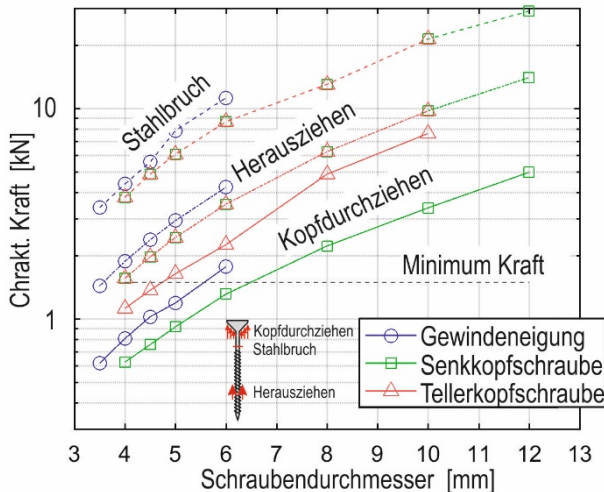
Nägel	ID	d	d_s	d_h	L	L_s	Schrauben	ID	Eigenschaft	d	d_h	L	L_s
Schraubnagel	NS1.1	3.2	2.8	5.9	75	40	CH/Würth ASSY	SC1	SD	5.0	9.6	80	50
Schraubnagel	NS1.2	3.2	2.8	6.9	75	40	CH/SPAX	SC2	SD/HR	5.0	9.7	80	50
Rillennagel	NR2.1	2.8		6.8	75		CH/Fischer	SC3	SD/HR/SR	5.0	9.7	80	50
Rillennagel	NR2.2	3.1		7.1	90		CH/Rothoblaas	SC4	SD/HR/SR	5.0	10	80	40
Rillennagel	NR2.3	3.4		7.4	100		VT/Heco	SV5.1	SD	4.0	6.1	70	voll
Rillennagel	NR2.4	3.8		7.9	110		VT/Heco	SV5.2	SD	4.5	6.8	70	voll
Klammer	NC3			15	75		VT/Heco	SV5.3	SD	4.5	6.8	80	voll
							VT/Heco	SV5.4	SD	5.0	9.6	80	voll
							WH/SPAX	SW6	SD	6.0	13.6	100	60
							DT/SFS WT-T	SD7	SD	6.5	8	90	40/35
							DT/Würth	SD8	SD	6.0	8.2	120	50/15

* Abkürzungen: CH (Senkkopfschraube), VT (variierendes Gewinde), WH (Tellerkopfschraube), DT (Doppelgewinde), SD (Selbstbohrende Spitze), HR (Fräsrippen unterhalb des Schraubenkopfes), SR (Fräsrippen entlang des Schafts)

3 ERGEBNISSE AUS DER FORSCHUNG

3.1 Theoretische Presskräfte der Verbindungsmittel

Die erreichbare Presskraft eines Verbindungsmittels ergibt sich aus dem Minimum des Kopfdurchzieh- widerstandes, des Auszieh- widerstandes und der Stahlzugtragfähigkeit. Der Vergleich der Kräfte in Abhängigkeit des Schraubendurchmessers zeigt, dass der Kopfdurchzieh- widerstand massgebend wird, siehe Abb. 5. Die «Minimum Kraft» im Diagramm steht für die erforderliche Presskraft für einen Pressdruck von 0.1 N/mm² bei einer Einzugsfläche von 15'000 mm². Diese Anforderungen können mit einer Tellerkopfschraube ab einen Durchmesser von ca. 5 mm, bei einer Senkkopfschraube ab 6.5 mm und Schrauben mit variierenden Gewindesteigung ab 5.5 mm theoretisch erreicht werden.



Kopfdurchziehparameter für Schrauben nach Herstellerangaben:

$$F_{k,ax} = 80e^{-6} \rho_k^2 d_h^2 \quad \text{Senkkopfschrauben}$$

$$F_{k,ax} = 13d_h \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0.8} \quad \text{Var. Gewindesteigung}$$

$$F_{k,ax} = 100e^{-6} \rho_k^2 d_h^2 \quad \text{Tellerkopfschrauben}$$

d_h als Kopfdurchmesser [mm]
 ρ_k charakteristische Rohdichte

Abb. 5: Vergleich der theoretisch erreichbaren Kräfte getrennt nach Versagensart

3.2 Experimentell bestimmte Presskräfte der Verbindungsmittel

3.2.1 Definition und Auswertemethode der Presskräfte

Die erreichbare Presskraft ist zeitabhängig und kann nach dem Einbringen einen Kraftverlust von bis zu 30 % innerhalb der erforderlichen Aushärtezeit von ca. 3 Stunden für gewöhnliche Klebstoffe erreichen, (Bratulic & Augustin (2016), Hillmer (2014)), wobei der grösste Verlustanteil direkt nach dem Einbringen vorhanden ist. In Abb. 6 (links) sind hierfür exemplarisch Kraftverläufe über die Zeit von vier Schraubnägeln der Testserie NS1.2 gezeigt.

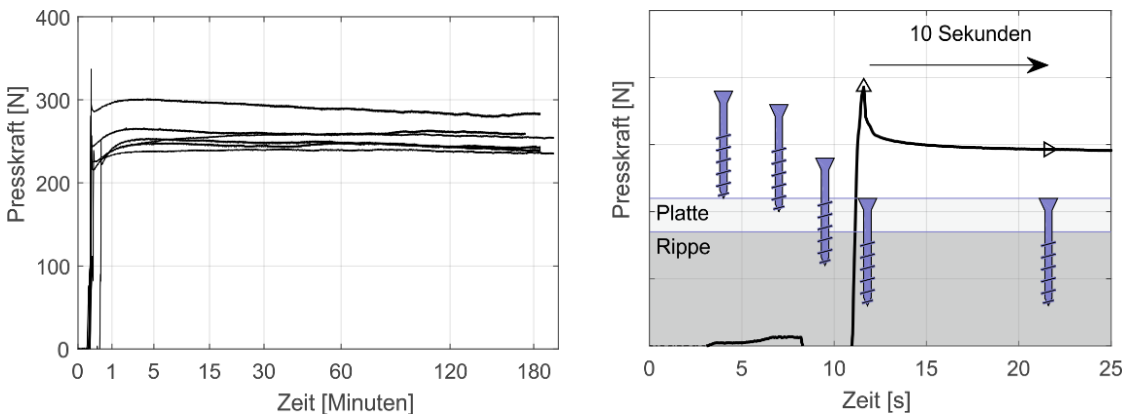


Abb. 6: Presskraftverhalten über die Zeit für die Testserie NS 1.2 (links) und in Zusammenhang mit dem Einbringprozess (rechts)

Die erreichbaren Presskräfte wurden daher nach 10 s des Einbringens bzw. nach der maximal erreichten Anpresskraft bestimmt, so dass der weitere Kraftverlust innerhalb der nächsten 3 Stunden marginal ist, Abb. 6 (rechts). Die infolge des Einbringens des Verbindungsmittels entstehende Wärme (Reibung) kühlt ab und führt zu einem nachträglichen Zusammenziehen des Verbindungsmittels nach ca. 100 Sekunden, so dass dieser marginale Verlust abgeschwächt oder gar kompensiert wird.

3.2.2 Presskräfte für Nägel

Die erreichten mittleren Presskräfte für Schraubnägel und Rillennägel sind in Abb. 7 zusammengefasst und mit dem Minimal/Maximal-Wert, der Standardabweichung und den 5%-Quantilwert nach FprEN 14358:2015 statistisch bewertet. Die Versuchsergebnisse sind unterschieden in eingesetzte Handgeräte (Nagelschusspistolen) und automatischen Nagelanlagen (Pusher und Schussanlage). Beim Pusher kann vor dem Einbringen des Nagels eine Vorbelastung der Elemente bis 300 kg erfolgen. In den getesteten Stufen mit 0, 150, 275 kg (NS1.1) konnte eine deutliche Presskraftsteigerung erzielt werden.

Die erreichten mittleren und 5 %-Quantile der Presskräfte für Schraubnägel (NS1.1 und NS1.2) und Klammern (NC3) mit Maschinenschussgeräten liegen tendenziell etwas unter denen mit Handschussgeräten. Unterschiedliche Kopfdurchmesser von Schraubnägeln zeigte keinen Einfluss. Rillennägel (NR2.1 bis NR2.4) erreichen mit maximalen Werten von 399 N bis das Zweifache der Presskraft gegenüber Schraubnägeln, wobei grössere Längen grössere Streuungen zur Folge hatten. Klammern (NC3) liefern gegenwärtig, aufgrund der grossen Streuung und sehr kleinen 5 %-Quantilwerte von 54 bzw. 20 N, keine relevanten abgesicherten Presskräfte. Die hohe Streuung entsteht durch die auftretende Vielfalt der Orientierung der Klammerschäfte zueinander (spreizen, zusammenbiegen) während des Einbringens. Kann diese Orientierung kontrolliert und zukünftig positiv genutzt werden, können Klammern eine günstige und lukrative Alternative in der Pressverklebung sein.

3.2.3 Presskräfte für Schrauben

Die erreichten Presskräfte für Schrauben sind in Abb. 8 zusammenfassend dargestellt und liegen zwischen 710 und 2223 N, was deutlich über denen der Nägel ist. Die Angaben enthalten je Schraube neben den Mittelwert den minimal/maximal Wert, die Standardabweichung vom Mittelwert und den berechneten 5 %-Quantilwert nach FprEN 14358:2015. In der Gruppe der Schrauben mit 80 mm Gesamtlänge und Gewindedurchmesser von 5 mm (SC1 bis SC4), zeigt die Serie SC3 die geringste

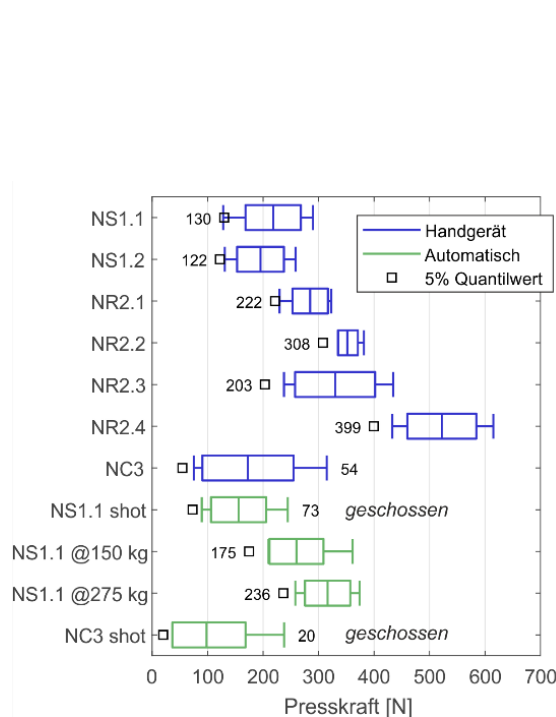


Abb. 7: Presskräfte der untersuchten Nägel und Klammern lt. Tab. 1, statistisch ausgewertet

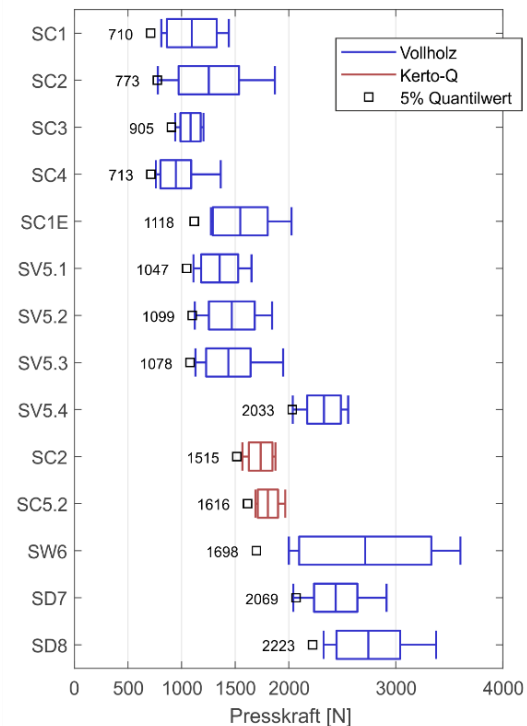


Abb. 8: Presskräfte der untersuchten Schrauben lt. Tab. 1, statistisch ausgewertet

Variation. Allgemein konnte festgestellt werden, dass Schafffräsrippen sich positiv auf die Variation der Ergebnisse auswirkt. Obwohl nach technischen Angaben SC4 einen grösseren Kopfdurchmesser hat, sind die erreichten Presskräfte im Mittel niedriger. In der Serie SC1.1E wurde die gleiche Schraube wie in SC1 eingesetzt aber ca. 1 - 2 mm tiefer als üblich eingedreht. Die erreichte Presskraft erhöht sich um 57 % deutlich, wobei die Ästhetik nicht optimal ist.

Die betrachteten Senkkopfschrauben variieren im Durchmesser und in der Länge, weisen aber für die Serien SV5.1 bis SV 5.3 alle nahezu ein gleiches Niveau in den Mittelwerten wie auch 5%-Quantilwerten der Presskraft auf. Nur die Serie SV5.4 erreicht im Vergleich zu den anderen Senkkopfschrauben aber auch zu den Serien SC1 bis SC4 deutlich höhere Presskräfte. Die Schraubnägel weisen einen angestiegenen Winkel des Senkkopfes von 60° auf 90° auf. Ein Einfluss der Schraubenlänge von 70 mm bzw. 80 mm konnte nicht festgestellt werden, vorausgesetzt die Mindesteinbindelänge ist vorhanden. Die Ergebnisvariationen der Schrauben mit variierender Gewindesteigung sind mit 16 - 20 % ca. halb so gross als die der Senkkopfschrauben mit 20 – 36 %.

Die Tellerkopfschrauben (SW6) und Doppelgewindeschrauben (SD7, SD8) haben einen Durchmesser von 6 mm und mehr, was insbesondere für höhere erforderliche Pressdrücke oder bei grösseren Materialdicken mit möglichen grösseren Verbindungsmittelabständen oder -längen relevant ist. Die erreichten mittleren Presskräfte haben ein ähnliches Niveau von 2.5 kN, dennoch zeigen die Tellerkopfschrauben eine hohe Variation was sich negativ auf den 5 %-Quantilwert auswirkt. Aus ästhetischen Gründen würden auch eher die Doppelgewindeschrauben mit einem kleinen Kopf von 8 mm Durchmesser anstatt den 13.5 mm grossem Durchmesser der Tellerkopfschraube bevorzugt. Zu beachten ist allerdings, dass zu kleine Differenzen der beiden Gewindesteigungen auch zu Presskräften von 0 kN führen können, Kairi et al. (1999). Bei Schrauben mit Unterkopfgewinde ergeben sich ca. 10 % höhere Presskräfte.

3.2.4 Presskräfte für Verbindungsmittelgruppen

Es wird vermutet, dass sich die einzeln erreichbaren Presskräfte je Verbindungsmittel in Verbindungsmittelgruppen nicht direkt superpositionieren lassen. Die innerhalb des nacheinander Einbringens wirkenden Kräfte auf das Element werden die Presskräfte in der Umgebung der Verbindungsmittel reduzieren. Dieses Verhalten wurde in Versuchsserien mit Schraubnägeln (7 mm Kopfdurchmesser, 75 mm Einbindelänge) mit einem Abstand von 40 mm und 80 mm getestet. Für Schrauben wurden Testreihen mit Senkkopfschrauben, variierenden Gewindesteigungen und Tellerkopfschrauben mit einem Abstand von jeweils 50 mm und insgesamt 5 Schrauben in Reihe konfiguriert. Nach den Empfehlungen in der DIN 1052:2008 und der gängigen Praxis werden in der Regel Abstände von 150 mm umgesetzt.

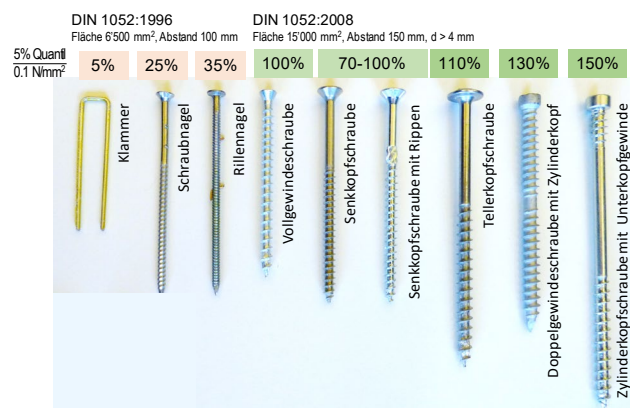
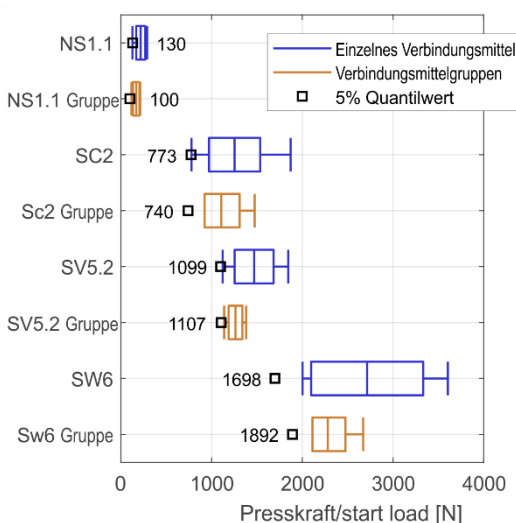


Abb. 10: Vergleich der erreichten Presskräfte mit den Anforderungen in DIN 1052:2008 durch die prozentuale Angabe des 5 %-Quantilwert bezogen auf den erforderlichen Pressdruck von 0.1 N/mm²

Abb. 9: Erreichte Presskräfte im Vergleich zwischen einzeln oder als Gruppe wirkende Verbindungsmittel

Die erreichten Presskräfte in Verbindungsmittelgruppen sind denen von einzeln betrachteten Verbindungsmitteln in Abb. 9 gegenübergestellt. Die Kräfte sind wiederum statistisch aufbereitet und beinhalten den Mittelwert, die minimal/maximal Werte, die Standardabweichung und den 5 %-Quantilwert nach FprEN 14358:2015. Die erreichbaren Presskräfte in Gruppen sind in den Mittelwerten reduziert, zeigen aber eine wesentlich geringere Streuung, so dass die 5 %-Quantilwerte mitunter grösser sind. Die Untersuchung zeigt, dass ein Überlagerungseffekt bezogen auf den zu erwartenden Pressdruck vernachlässigbar ist und, dass somit Schrauben mit einem Abstand von 50 mm anstatt 150 mm den dreifachen Pressdruck erzeugen.

Zusammenfassend sind in Abb. 10 die aus Versuchen erreichten Presskräfte getrennt nach verwendeten Verbindungsmittel den Anforderungen an einen Pressdruck von 0.1 N/mm² zum Aushärten des Klebstoffes gegenübergestellt. Die erforderlichen Einzugsflächen von 6'500 mm² und 15'000 mm² und die Abstände von 100 mm entsprechen der DIN 1052:1988 für Nägel resp. DIN 1052:2008 / DIN 1052-10:2012 für Schrauben. Der Pressdruck für den verwendeten Klebstoff wurde analog zum technischen Merkblatt zu 0.1 N/mm² definiert. Die erreichten Pressdrücke sind für den Vergleich bereits auf den 5 %-Quantilwert bezogen. Für die Pressverklebung erfüllen nur die verwendeten Schrauben die Anforderungen, wobei die Schrauben mit Doppelgewinde das höchste Potential haben.

3.3 Betrachtung der erreichten Festigkeiten in der Klebeverbindung

Für die ganzheitliche Bewertung der Pressverklebungen wurden neben den erreichbaren Pressdrücken auch die Festigkeit der Verbindung nach dem Aushärten des Klebstoffes geprüft. Hierzu wurden verschiedene Prüfserien mit Applizierung des Pressdrucks durch Verbindungsmittel oder durch eine Pressanlage gegenübergestellt. Die Prüfserien enthalten diese Produktionsszenarien zum Klebstoffauftrag und zusammensetzen:

- a) ideale Konditionen im Labor:
 - Prüfkörper aus zwei Lamellen von je 30/100/600 mm³
 - Klebstoffmenge 250 g/m²
 - Gleichmässiger maschineller Pressdruck von 0.016 N/mm², 0.11 N/mm² und 0.174 N/mm²
- b) Produktions- oder Baustellenbedingungen:
 - Prüfkörper aus Vollholzlamelle 27/100/700 mm³ und Rippe 100/100/700 mm³
 - Klebstoffmenge 250 g/m²
 - Verbindungsmittelabstand von 150 mm
 - Schraubnägel, Senkkopfschrauben Ø 5 mm und Ø 6 mm
- c) unebene Oberfläche oder zueinander geneigte Oberflächen:
 - Prüfkörper aus zwei Lamellen von je 30/100/600 mm³
 - Klebstoffmenge 250 g/m²
 - Unter einem maschinellen Pressdruck von 0.11 N/mm² wurden folgende Störungen berücksichtigt:
 - (1) Pressdruckentlastung während Aushärtung (Lagefixierung der Bauteile)
 - (2) Ungleichmässiger Klebstoffauftrag
 - (3) Klebefugendicke von 0.3 mm durch Abstandshalter
 - (4) Keilartige Klebefugendicke von 0.6 mm durch Abstandshalter

Es wurde generell für die Prüfserien a) bis c) das Klebstoffsystem Collano RP2830 mit einer Aushärtezeit von 75 Minuten und zusätzlich in Serie c) MIRAPUR 9521 mit einer Aushärtezeit von 3 Stunden eingesetzt. Der maschinelle Pressdruck wurde mit einer Prüfmaschine kraftgesteuert erzeugt, so dass der Pressdruck innerhalb der Aushärtezeit automatisch nachgeregelt wurde und konstant blieb. Vergleichend wurde für die Prüfserien c-1) der Pressdruck weggesteuert erzeugt (Lagefixierung), was innerhalb der Aushärtezeit zu einem Kraftverlust/Pressdruckverlust führen kann. Der Holzfeuchtegehalt der Prüfkörper wurde mit der Darmmethode im Mittel zu 12.6 M% bestimmt. Die zugehörige Rohdichte beträgt 472 kg/m³ im Mittel.

Nach dem Aushärten der Prüfkörper wurde die Festigkeit anhand von Schubversuchen nach SN EN 14080:2013 geprüft. Die Prüfung erfordert Prüfquerschnitte mit Kantenlänge zwischen 40 und 50 mm und setzt sich aus der erreichten Schubfestigkeit beim Abscheren der Klebefuge und der Bewertung der Bruchfläche zusammen. Für die Bewertung der Bruchfläche wurden die Oberflächen mit dem Verfahren nach Wiesner eingefärbt und im vier Augenprinzip der Faserbruchanteil bestimmt.

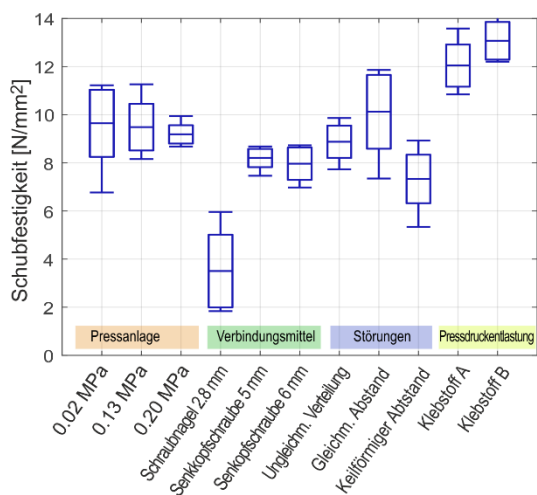


Abb. 11: Schubfestigkeiten des Prüfprogramms

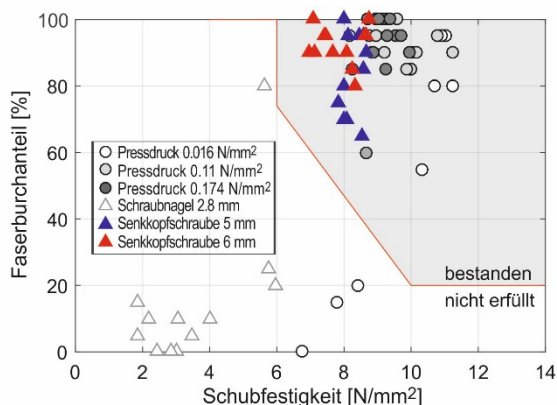


Abb. 12: Faserbruchanteil in Abhängigkeit der Schubfestigkeit für Pressverklebung mit Maschine und Verbindungsmittel

Die erreichten Ergebnisse für die Schubfestigkeit sind in Abb. 11 und zusammen mit dem Faserbruchanteil in Abb. 12 dargestellt. Mit zunehmend maschinell flächig erzeugtem Pressdruck verringert sich die Streuung der Schubfestigkeitsergebnisse und der Faserbruchanteil steigt. Die Klebefugengüte ist ab einem Pressdruck von 0.11 N/mm² zuverlässig erreicht. Unter Verwendung von Verbindungsmitteln zur Erzeugung des Pressdruckes werden niedrigere Schubfestigkeiten erreicht. Für die erforderlichen Anforderungen zum Aushärten des Klebstoffs eignen sich die Senkkopfschrauben ab 5 mm Durchmesser. Die Schraubnägeln liefern keine erforderliche Festigkeit in Bezug auf den Faserbruchanteil und erfüllen hierdurch die Anforderungen an eine tragfähige geklebte Verbindung nach SN EN 14080:2013 nicht.

Die Auswertung der Prüfserien unter Berücksichtigung von verschiedenartigen Störungen ist in Abb. 13 dargestellt. Die zufällige ungleichmäßige Verteilung des Klebstoffes bei konstanter Klebstoffmenge von 250 g/m² führt zu keiner Einschränkung in der Qualität der Klebefugenfestigkeit. Wohingegen die gezielten Unebenheiten von 0.3 mm oder keilförmig von bis zu 0.6 mm zu einer grossen Streuung führen und die Prüfung mitunter nicht bestehen. Maximale Klebefugendicken von 0.3 mm sind demnach zwingend einzuhalten. Der Einfluss einer kontinuierlichen Pressdruckentlastung durch die Regulierung des Pressdruckes über den Weg führt zu sehr hohen Schubfestigkeiten bei grosser Variation des Faserbruchanteils. Die Reduzierung des Pressdruckes entspricht dem Verhalten bei der Pressverklebung mittels Verbindungsmitteln und scheint sich positiv auf die Schubfestigkeit auszuwirken.

4 HINWEISE FÜR DIE PRAXIS

In der Praxis existieren bei einzelnen Firmen interne Richtlinien zur Erstellung von Pressverklebungen. Diese basieren weitgehend auf den normativen Angaben der deutschen Norm DIN 1052:2008 / DIN 1052-10:2012. Anhand der vorgestellten Ergebnisse können weitergehende allgemeingültige Aussagen für eine qualitätsgesicherte Anwendung der Pressverklebung mit mechanischen Verbindungsmitteln gegeben werden.

Die im folgenden gegebenen Empfehlungen stellen keine Garantie für eine tragfähige Klebeverbindung dar, da neben den Anforderungen an das Verbindungsmittel wesentlich auch die Eigenschaften und der Herstellungsprozess massgebend sind (Klebstoff und Aushärteprozess, Klebefugendicke). Hier sind weitere Vorgaben zu definieren und einzuhalten.

- Erzielbare Presskräfte können tendenziell mit Kopfdurchzieh Widerständen bestimmt werden

In Abb. 14 ist der charakteristische Kopfdurchzieh Widerstand der Verbindungsmittel mit den in Versuchen erreichten Tragfähigkeiten gegenübergestellt. Alle Ergebnisse sind auf eine Rohdichte von 350 kg/m³ skaliert. Es ist deutlich erkennbar, dass die charakteristischen Tragfähigkeiten basierend auf den Kopfdurchzieh Widerstand von Rillennägeln, Senkkopfschrauben und Tellerkopfschrauben bestimmt werden können, wobei Schrauben mit variierenden

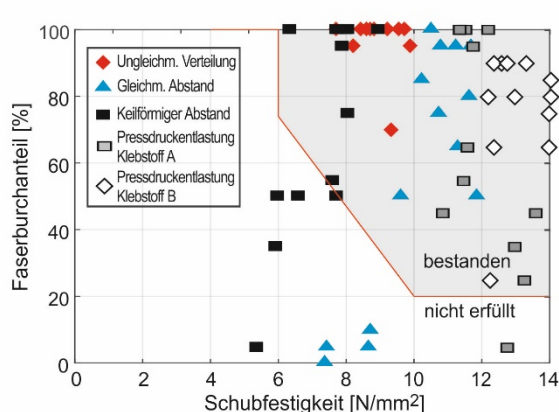


Abb. 13: Faserbruchanteil in Abhängigkeit der betrachteten Störungen bei der Pressverklebung

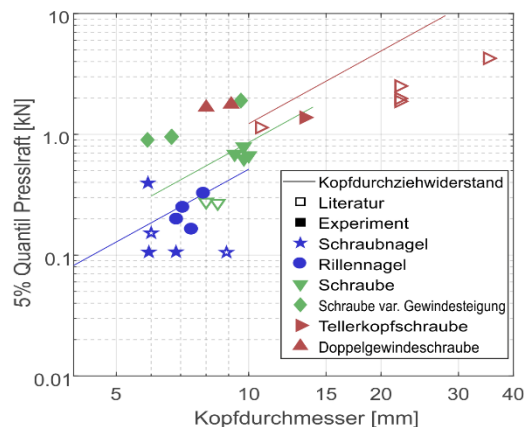


Abb. 14: Vergleich der experimentell erreichten Presskräfte mit den charakteristischen Kopfdurchzieh Widerständen der Verbindungsmittel

Tab. 2: Anwendungskombinationen von Verbindungsmitteln und Abständen für die Pressverklebung für eine Mindestpressdruckanforderung von 0.1 N/mm²

	5 %-Quantilwert ($\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$)	Verbindungsmittelabstand bezogen auf Rippenbreite		
		60 mm	80 mm	100 mm
Schraubnagel 3.2 mm	100	17	12	10
Rillennagel 2.8 mm	200	33	25	20
Senkkopfschraube 5 mm	700	116	87	70
Var. Gewindesteigung 4.5 mm	900	150	113	90
Tellerkopfschraube 6 mm	1400	150	150	140

Gewindesteigung ein etwas höheres Potential haben. Für Doppelgewindeschrauben liegen die erzielbaren Presskräfte tiefer als die Kopfdurchzieh Widerstände und sind abhängig von den Gewindesteigungsunterschieden.

- Praktikable Verbindungsmittel

Die Mindestanforderungen an den Pressdruck für eine Fläche von 15 000 mm² können mit Senkkopfschrauben ohne Kopfräsrillen ab 5 mm Durchmesser erfüllt werden. Höhere Pressdrücke sind mit Tellerkopfschrauben und Schrauben mit variierender Gewindesteigung erreichbar. Mit der Einhaltung strikter Vorgaben an Oberflächenqualität, Klebstoffaushärtungsprozess und Herstellungsmethoden sowie unter Verwendung geringerer Abstände konnten mit Rillennägeln ebenfalls ausreichende Pressdrücke erreicht werden. Klammern können bezogen auf die erreichten Ergebnisse nicht qualitätsgesichert eingesetzt werden. Mögliche Kombinationen von Verbindungsmitteln und Abständen für die Pressverklebung sind in Tab. 2 für eine erste Orientierung angegeben. Die Inhalte beruhen auf den vorgestellten Ergebnissen und sind bzgl. Langzeitverhalten und praxistauglicher Umsetzung weiter zu prüfen.

- Reduktionen durch Verbindungsmittelgruppen bzw. geringe Abstände können vernachlässigt werden.

- Die Verwendung von 1K-PU Klebstoffen zeigt ein hohes Potential in der Anwendung für die Pressverklebung.

Die bisher erreichten Ergebnisse geben eine erste Orientierung zur Anwendung der Pressverklebung. Eine generelle Standardisierung ist noch nicht möglich, da die Testserien noch bezüglich des Langzeitverhaltens (vgl. Delaminierungsuntersuchung) und für praktische Elementgrößen zu erweitern sind. Dennoch ist die Pressverklebung ein wichtiges Element im Holzbau, da sehr duktile Verbindungen erzielt werden können, die gerade beim Versagen der Klebefestigkeit immer noch einen Verbund durch die Verbindungsmittel sichern.

5 DANKSAGUNG

Das Forschungsprojekt wird durch das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SERI C15.0053) gefördert und ist im Rahmen der europäischen COST Action FP1402 lanciert. Die Firmen Haubold Passlode Schweiz und Brawand Zimmerei unterstützten weiterhin das Projekt mit Maschinen, Material, Zeit und Erfahrung.

6 REFERENZEN

- Besmer-Brunner GmbH. o. D. "Schraubenpressverklebung Im Holzbau, Verklebungsprotokoll für tragende Bauteile."
- Bratulic K., Augustin M. (2016) Screw Gluing – Theoretical and experimental study on screw pressure distribution and glue strength, WCTE 2016 conference proceedings, Vienna, Austria.
- Hillmer V (2014) Nagelpressverklebung – Einflüsse von maschineller Fertigung und örtlicher Versetzung, Bachelorarbeit, Fachhochschule Hildesheim, Deutschland.
- DIN 1052-1:1988 Holzbauwerke, Teil 1: Berechnung und Ausführung, DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DIN 1052:2004, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DIN 1052:2008 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DIN 1052-10:2012 Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken, Teil 10: Ergänzende Bestimmungen, DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DIN EN 1995-1-1/NA:2010. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Nationaler Anhang, Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- FprEN 14358:2015 Holzbauwerke – Berechnung und Kontrolle charakteristischer Werte, Schlussentwurf, Europäische Kommission für Normung.
- SN EN 1995-1-1:2004. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Switzerland
- SN EN 14080:2013, Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements, SIA 265.151, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Switzerland
- Kairi M., Kaloinen E., Koponen S., Nokelainen T., Fonselius M., Kevarinmäki A. (1999), Screw Gluing Kerto-LVL with Pulyurethane, Otawood Publication, Laboratory of Wood Technology, VTT Building Technology, Espoo, Finland
- Kairi, Matti. 2000. "Schraubenverleimungen erlauben neue Möglichkeiten im Ingenieurholzbau." In Proceedings IHF Garmisch Partenkirchen, Germany.
- Kairi, Matti. 2002. "4.4 Glued/Screwed Joints/Screw Glued Wooden Structures." In Cost Action E13: Wood Adhesion and Glued Products : State-of-the-Art Report 2002, by Tony Pizzi, Marc Van Leemput, Manfred Dunky, Carl-Johan Johansson, European Commission, and Directorate General for Research. Luxembourg: EUR-OP.
- Steck, G. 1988. Bau-Furniersperrholz aus Buche, Informationsdienst Holz, Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH), Düsseldorf, Germany.
- Pirmin Jung. 2010. "Schraubenpressverklebung Im Holzbau, Merkblatt Intern+extern."

AUTORENVERZEICHNIS

KURSLEITUNG

Andreas Müller

Prof. Dipl.-Ing.

Berner Fachhochschule -AHB
Biel/Bienne

andreas.mueller@bfh.ch

- Seit 2014 Leiter des Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur, der Berner Fachhochschule
- Seit 2006 Bundesexperte für Denkmalpflege (Holzbau)
- Seit 2005 Professor für Holzbau und Baukonstruktion
- Seit 2004 Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger (IHK), auf dem Fachgebiet Holzbau und Holzbrückenbau
- 2005 – 2013 Geschäftsführer u. Gesellschafter tragwerkeplus Ingenieurgesellschaft mbH, Reutlingen
- 1997- 2005 Gesellschafter Tragwerke+ Baukonstruktionen – Ingenieure Prof. Nikolaus Nebgen und Dipl.-Ing. Andreas Müller
- 2001 - 2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Institutskoordinator (50%) Institut für Holzbau, Hochschule Biberach
- 1998 - 2004 Regionaler Fachberater INFORMATIONSDIENST HOLZ
- 1985 - 1997 Diplom-Bauingenieur und Projektleiter

Bettina Franke

Dr.-Ing.

Berner Fachhochschule -AHB
Biel/Bienne

bettina.franke@bfh.ch

Ausbildung zur Bauingenieurin an der Bauhaus Universität Weimar mit Schwerpunkt Konstruktiver Ingenieurbau. Bis 2008 als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig an der Professur für Holz- und Mauerwerksbau der Bauhaus Universität Weimar mit Übernahme von Lehr- und Forschungstätigkeiten. 2008 Promotion im Ingenieurholzbau und anschliessend 2-jährige Forschungstätigkeit an der University of Auckland in Neuseeland, seit 2011 an der Berner Fachhochschule als Wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig mit den Schwerpunkten Qualitätssicherung, Verbindungen, Brücken und Laubholz, im Jahr 2019 Scientific Exchange an der University Laval, Québec.

Robert Widmann

Dipl.-Ing. (FH)

Empa – Materials Science and Technology
Abteilung Ingenieurstrukturen
Dübendorf

robert.widmann@empa.ch

- 1982 - 1992 Feuerwerker der Deutschen Luftwaffe, Kampfmittel- und Blindgängerbeseitigung
- 1992 - 1997 Studium Bauingenieurwesen an der FH Biberach (D)
- 1998 - 2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter im Bereich Ingenieurholzbau in den Abteilungen Holz und Ingenieur-Strukturen der Empa Dübendorf
- seit 2015: Leiter Versuchslabor (Bauhalle) der Empa Abteilung Ingenieur-Strukturen

REFERIERENDE/MITWIRKENDE

Kurt von Felten

Makiol Wiederkehr AG

Beinwil am See

vonfelten@holzbauing.ch

- 1989 - 1992 Berufslehre als Zimmermann
- 1992 - 1993 praktische Tätigkeit als Zimmermann
- 1993 - 1996 Studium als Bauingenieur in Brugg Windisch
- 1996 - 1998 Mitarbeit in Holzbauunternehmung
- seit 1998 bei Makiol Wiederkehr AG
- Forschungsbegleitung und Lehrauftrag im CAS Holztragwerke an der Berner Fachhochschule

Steffen Franke

Prof. Dr.-Ing.

Berner Fachhochschule -AHB
Biel/Bienne

steffen.franke@bfh.ch

Ausbildung zum Bauingenieur an der Bauhaus Universität Weimar mit Schwerpunkt Konstruktiver Ingenieurbau, von 2001 bis 2008 Lehr- und Forschungstätigkeit an der Professur für Holz- und Mauerwerksbau an der Bauhaus Universität Weimar, 2008 Promotion im Ingenieurholzbau, anschliessend 2-jährige Forschungstätigkeit an der University of Auckland in Neuseeland, seit 2011 an der Berner Fachhochschule, ab 2012 Professor für Holzbau mit den Schwerpunkten Anschlüsse, Tragwerke, Qualitätssicherung und Laubholz, im Jahr 2019 halbjähriger Auslandsaufenthalt in Kanada bei Aspect Engineers in Vancouver und Nordic Structures in Montreal.

Sebastian Heubuch

Msc Wood Science

Berner Fachhochschule -AHB
Biel/Bienne

sebastian.heubuch@bfh.ch

- Seit 03/2017 Wissenschaftlicher Assistent an der Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur
- Seit 08/2018 Potential Holz KLG, selbstständige Tätigkeit
- 2016 - 2020 Studium an der Berner Fachhochschule, Wood Technology, Complex Timber Structures (Master)
- 2012 - 2016 Hochschule Augsburg, Fakultät Architektur und Bauwesen, Bauingenieurwesen (Bachelor)
- 2014 - 2016 Mitarbeit als Tutor an der Hochschule Augsburg, Fachbereich Vermessung und Straßenbau
- 09/2014 – 02/2015 Praktikum bei EURBAN Ltd. in London
Timber Engineering (CLT)

Fritz Maeder

dipl. Ing. FH Holztechnik

Holzling Maeder GmbH
Evilard

maeder@holzling-maeder.ch

- 1977-1980 Lehre als Zimmermann
- 1987-1991 Ausbildung zum Holzbauingenieur HTL in Biel
- 1991-1995 Projektleiter an der Abt. F+E, SH-Holz, Biel
- seit 1994 Nebenamtsdozent an der BFH-AHB, Biel und Burgdorf
- 1996 Gründung eigenes Ingenieurbüro für Holzbau
- seit 2006 Fachingenieur als Kontrollorgan Brandsicherheit Holz
- seit 2010 Brandschutzfachmann VKF

Benjamin Nef

BSc Civil Engineering,
Bauingenieur FH

Sika Services AG
Zürich

nef.benjamin@ch.sika.com

- seit über 16 Jahre bei dem Chemiespezialitäten Lieferanten Sika
- 2004-2006 Lab Technician für den Bereich Fassade/ Fenster/ Industrie, Silikon Kleb- und Dichtstoffe (Internationale Tätigkeit bei Sika Services AG)
- 2006-2011 Senior Lab Technician für den Bereich Fassade/ Fenster/Industrie, Silikon Kleb- und Dichtstoffe (Internationale Tätigkeit bei Sika Services AG)
- 2011-2014 Junior Product Engineer, Statische Verstärkung und starres Kleben im Baubereich (Internationale Tätigkeit bei Sika Services AG)
- Seit 2014 Product Engineer, Elastisches Kleben und Dichten, Starres Kleben sowie statische Verstärkung von Hochbauten (Regionale Tätigkeit bei Sika Schweiz AG)

Gunther Ratsch

Dipl. Ing. (FH) Holzingenieurwesen,
MSc BFH Civil Engineering

Lignum Schweiz-
Zürich

Gunther.Ratsch@lignum.ch

- 2020 MSc BFH -Civil Engineering
- Seit 2019 Lignum Holzwirtschaft Schweiz
- 2017-2019 Wissenschaftlicher Assistent BFH
- 2004-2017 Projektingenieur in verschiedenen Planungsbüros
- 2003 Dipl.-Ing. (FH) in Holzingenieurwesen an der FH Hildesheim
- 1998 Berufslehre als Zimmermann

Beat Ruch

Eidg. Dipl. Holzingenieur

Allchemet AG
Emmenbrücke

beat.ruch@allchemet.ch

- 2000 - 2003 Berufslehre als Zimmermann
- 2003 - 2004 Technische Berufsmaturität
- 2004 - 2008 FH Studium als Holzingenieur
- Tätigkeiten: Häring AG ; az Holz AG
- 2012 – 2021 SFS unimarket AG
- Seit 2021 Allchemet AG
 - Technische Beratung Holzbaubefestiger in der Schweiz
 - Verantwortung Sortiment Holzbefestiger
 - Erstellung technischer Unterlagen
 - Durchführung externe und interne Schulungen

René Steiger

Dr. sc. techn. / Dipl. Bauing. ETH/SIA

Empa – Materials Science and Technology
Abteilung Ingenieurstrukturen
Dübendorf

rene.steiger@empa.ch

- Bauingenieur-Studium ETH Zürich, Abschluss 1985
- Doktorat ETH Zürich, Promotion 1996
- 1996 - 1999: Ingenieurbüro dsp (Projektierung von Stahl- und Stahlbeton-Hoch- und Tiefbauten)
- 1999 - 2011: Empa / Abteilung Holz
- seit 2012: Empa / Abteilung Ingenieur-Strukturen (seit 2021 stellvertretender Abteilungsleiter)
- seit 1996 Mitglied der Kommission SIA 265 (Holzbau)
- 2004 - 2010 und seit 2016 Mitglied der Kommission SIA 260 (Grundlagen der Bemessung und Erhaltung von Tragwerken)
- seit 2003: CH-Delegierter CEN/TC250/SC5 (Eurocode 5)
- Lehraufträge an diversen Fachhochschulen und der ETH Zürich

Thomas Strahm

Holzbauingenieur HTL

neue Holzbau AG
Lungern

thomas.strahm@neueholzbau.ch

1999 Diplom als Holzbauingenieur HTL an der Schweizerischen Ingenieur- und Fachschule für die Holzwirtschaft SISH, Biel, inkl. Praktikumsjahr. 2004 Nachdiplom MAS FHNW in Kunststofftechnik, Brugg. Seit 1999 bei der neuen Holzbau AG, Lungern. Tätig als Leiter Engineering. Entwicklung GSA Technologie in Zusammenarbeit mit Prof. Ernst Gehri.

Urs Stalder

Schreiner EFZ,
Dipl. Ing. HTL Holzbetrieb, eidg. Dipl.
Natur- und Umweltfachmann

Berner Fachhochschule -AHB
Biel/Bienne

urs.stalder@bfh.ch

- 1978 – 1981 Kaufmännische Lehre
 - 1983 – 1985 Lehre als Schreiner
 - 1985 – 1991 Schreiner in versch. Betrieben
 - 1991 – 1995 Studium zum Holzingenieur an der SISH, Biel
 - 2014 – 2016 Studium zum Natur- und Umweltfachmann an der sanu, Biel
 - 1996 – 1998 Leiter Qualität, Entwicklung und Sicherheit Pavatex Cham
 - 1998 – 2003 Produktionsleiter Pavatex Cham
 - seit 10/2003 Hauptamtdozent HF Holz
 - seit 2007 20% Mitarbeiter F+E, BFH-AHB; Themen: Fenster, Türen, Holzschutz, Einbruchhemmung
 - seit 08/2008 Studiengangleitung NDS HF Unternehmensführung
 - seit 2018 Mitglied Lignum Holzschutzkommission
 - seit 2019 Verantwortlicher für die Fachbewilligung Holzschutz
- Unterrichtsfächer an der BFH-AHB
- Werkstoffe - Holzkunde, Holzwerkstoffe, Holzschutz, andere Werkstoffe
 - Bauphysik, Fertigungstechnik, Umwelt & Nachhaltigkeit, Spezialgebiete (Fenster und Türen, Einbruchhemmung, ...)

Beat Studhalter

dipl. Holzbauingenieur FH SIA
MAS Energieingenieur Gebäude

Lauber Ingenieure AG
Luzern

beat.studhalter@lauber-ing.ch

- Berufslehre zum Zimmermann in Ruswil
- Technische Berufsmaturität in Luzern
- Holzbauingenieur FH, Fachrichtung Bau an der Hochschule für Architektur, Bau und Holz in Biel
- Praktikum bei Cooperative Research Centre for Wood Innovations in Australien
- MAS Energieingenieur Gebäude an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw

Mareike Vogel

Dipl.-Ing.

Berner Fachhochschule -AHB
Biel/Bienne

mareike.vogel@bfh.ch

Als Bauingenieurin sammelte ich meine Praxiserfahrung im Holzbau in Holzbauingenieurbüros und einem Zimmereibetrieb. Seit über 10 Jahren bin ich an der BFH unter anderem zuständig für Zustandserfassungen und Expertisen im Bereich Holzkonstruktionen. Dabei geben wir Bericht über den Holzzustand, konstruktive Gegebenheiten und erarbeiten – in Zusammenarbeit unseren Auftraggebern – Unterhalts- und Sanierungsmaßnahmen.

René Wicki

dipl. Möbelschreiner
u. Unternehmensführer SIU

TS3 Timber Structures 3.0 AG
Thun

rene.wicki@ts3.biz

René Wicki, wohnt und arbeitet in Nottwil am Sempachersee. Ausbildung zum Möbelschreiner mit eidg. Diplom u. laufende Weiterbildungen im In- u. Ausland. 1990 Wechsel von der Bau- in die chemisch-technische Industrie für die neue 1K-PUR Klebstoff Technologie im Ingenieurholzbau. 20 Jahre Marktaufbau, Zulassungen, Patente, Systemlösungen, Applikationsanlagen als Entwickler, Anwendungstechniker und Projektleiter bei Collano AG, NSC, Purbond Henkel im Bereich 1K- u. 2K-PUR folgten. Nach 4 Jahren als Leiter F & E sowie stv. Geschäftsführer bei der Astorit AG, seit 2017 bei TS3 Timber Structures 3.0 AG als Leiter Anwendungstechnik tätig.

Berner Fachhochschule

Architektur, Holz und Bau
Weiterbildung
Solothurnstrasse 102
Postfach 6096
CH-2500 Biel 6

wb.ahb@bfh.ch
ahb.bfh.ch

Partner

Empa, Abteilung Ingenieur-Strukturen
Lignum, Holzwirtschaft Schweiz
Bundesamt für Umwelt, Aktionsplan Holz

Allchement AG
Holzing Maeder GmbH
Lauber Ingenieure AG
Makiol Wiederkehr AG
neue Holzbau AG
Sika Services AG
Timber Structures 3.0 AG

ISBN 978-3-906878-09-6

