



Andreas Müller
*Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, Schweiz*

**Sicherheit dank Qualität –
robust planen, kontrolliert bauen,
permanent überwachen**

Sicherheit dank Qualität – robust planen, kontrolliert bauen, permanent überwachen

Holz wird bei Tragwerken grosser Neu-, Um- und Erweiterungsbauten in der Schweiz immer häufiger eingesetzt. Hoch hinaus, weit gespannt und stark belastet sind dabei die Trends. Spannweiten mit über 100 m sind im Ingenieurholzbau heute keine Einzelfälle mehr. Die Anforderungen an die statische Nachweisführung der Bauteile und bei der Montage steigen dabei exponentiell. Neben der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit müssen die Gebäudestrukturen langfristig zuverlässig und in einem hohen Masse robust sein. Den Versagensmechanismen sollte beim Entwurf Beachtung geschenkt werden.

Robust planen

Was versteht man unter Robustheit

Laut Duden [1] sind die Synonyme für Robustheit „Beständigkeit, Festigkeit, Härte, Stabilität und Widerstandsfähigkeit“. Man kann Robustheit auch mit Unempfindlichkeit und Dauerhaftigkeit umschreiben. Die Robustheit stellt nach [2] ein umfassendes Qualitätsmerkmal dar. Deshalb sei in diesem Beitrag die Verbindung von Robustheit mit der Qualität erlaubt.

Unter Robustheit versteht man in Bezug auf die Tragsicherheit eines Gebäudes, „die Unempfindlichkeit eines Tragwerkes gegenüber einem lokalen Versagen“ [3]. Robustheit ist aber auch die Fähigkeit einer Tragkonstruktion, unvorhergesehene Ereignissen und Einwirkungen aber auch aussergewöhnlichen klimatischen Anforderungen „gutmütig“ Widerstand zu leisten. Hierzu ist eine gewisse Reserve notwendig.

Robuste Bau- und Tragkonstruktionen führen in der Regel zu geringeren Unterhaltskosten. Oft hat sich gezeigt, dass „unnötig komplizierte“ Konstruktionen und Detailausbildungen welche die Planer bereits vor fast unlösbare Probleme bei der statischen Nachweisführung und zeichnerischen Darstellung gestellt haben, auch in der Ausführung problematisch und kaum umsetzbar sind. Dies sind dann letztendlich keine robusten Lösungen.

Kriterien für die Planung robuster Bauwerke (nach Pötzl [2]):

- Vermeidung von ungünstigen Einflüssen auf die Lebensdauer:
Ein sehr guter baulicher Schutz und ein gutes Austrocknungsvermögen einer Holzkonstruktion und deren Knotenpunkte tragen zur Robustheit bei. Die Kontrollierbarkeit ist hierbei ein wichtiges Kriterium. Nichtkontrollierbare Hohlkastensysteme sind deshalb unter diesem Gesichtspunkt weniger robust als Vollwandträger.
- Vermeidung eines unangekündigten Systemversagens:
Sicherheitsrelevante Schäden müssen so frühzeitig erkennbar sein, dass Sicherungs- und Schutzmassnahmen möglich sind.
- Erhöhung der Redundanz der Konstruktion:
Redundanz bedeutet dass mehr gleichgerichtete, funktionsfähige Komponenten vorhanden sind, als zur Erfüllung der Tragsicherheit notwendig sind. Dies kann jedoch im Widerspruch zum ingenieurmässigen Wunsch stehen, Bauteile und Querschnitte zu optimieren.

- Erhöhung Duktilität der Konstruktion:

Duktilität ist ein Merkmal für Robustheit, als dadurch systemimmanente Tragreserven, wie bei statisch unbestimmten Systemen im Regelfall vorliegen, überhaupt mobilisiert werden können. Voraussetzung ist hierbei aber, dass diese Reserven nicht bereits bei der Bemessung durch plastische Berechnungsverfahren „aufgezehrt“ wurden.

Baupraktische Überlegungen zum Entwurf robuster Tragstrukturen

Bei stat. unbestimmten Systemen (Durchlaufsysteme) führt das Versagen eines Abschnittes oft nicht zum Totalausfall bzw. Versagen des gesamten Trägers. Sie sind daher in der Regel in Bezug auf den Schadensverlauf günstiger/unempfindlicher als stat. bestimmte Systeme wie z.B. Einfeldträger. Gemäss VDI 6200:2010 [4] können Tragwerke in Robustheitsklassen eingeteilt werden. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Robustheitsklassen für Bauwerke gemäss VDI 6200:2010 [4]

Robustheitsklasse	Bauwerk/Nutzung	Beispielhafte Tragwerke
RC 1	statisch bestimmte Tragwerke ohne Systemreserven Fertigteilkonstruktionen ohne redundante Verbindungen Imperfektionsempfindliche Systeme Tragwerke mit sprödem Verformungsverhalten	Einfeldträger stützenstabilisierte Hallentragwerke ohne Kopplungen schlanke Schalentragwerke Tragwerke aus Glas Tragwerke mit Gussbauteilen
RC 2	statisch unbestimmte Konstruktionen mit Systemreserven elastisch-plastisches Tragverhalten	Durchlaufträger eingeschossige Rahmenkonstruktionen Stahlkonstruktionen
RC 3	Konstruktionen mit grosser Systemredundanz Tragwerksverhalten und/oder Konstruktionen mit grossen plastischen Systemreserven fehlerunempfindliche Systeme	mehrgeschossige Rahmenkonstruktionen vielfach statisch unbestimmte Systeme seilverspannte Konstruktionen überschüttete Bogentragwerke
RC 4	Tragwerke, bei denen alternativ berücksichtigte Gefährdungsszenarien und Versagensanalysen ausreichende Robustheit zeigen	Bemessung für Stützenausfall Bemessung auf Lastfall Flugzeugabsturz



Abbildung 1: Geh- und Radwegbrücke über die Donau bei Dietfurt, DE



Abbildung 2: Hauptträger mit Nebentragwerk der Eishalle Bad Reichenhall [5]



Abbildung 3: Eingestürzte Eishalle Bad Reichenhall im Januar 2006 [6]

Das Versagen der Fachwerkbrücke Dietfurt zeigte, wie sich aus einem Durchlaufträger nach dem Versagen eines Knotenpunktes sich ein Spannband entwickelt hat. Dabei hat die Brücke massiv an Gebrauchstauglichkeit verloren. Sie ist aber nie gebrochen / zerbrochen oder gar in die Donau gestürzt. Sie ist im weitesten Sinne „funktionsfähig“ geblieben.

Beim Versagen eines lokalen Abschnittes sollte eine Kettenreaktion/Ketteneffekt, oft als progressive Schadensentwicklung beschrieben, vermieden werden. Das Beispiel der Eissporthalle in Bad Reichenhall zeigte leider eindrücklich, dass eine konstruktionsbedingte sehr grosse Steifigkeit der Verbindung der Nebenträger mit den Hauptträgern, beim Versagen eines einzelnen Trägers zu einer Kettenreaktion führte und ein segmentierter „Einsturz“ gar nicht möglich war (Abbildung 2 und Abbildung 3). Oben frei drehbar aufgelegte Nebentragsysteme wirken sich daher im Versagensfall eher positiv auf den Versagensmechanismus aus, da sie sich der Last entziehen können. Bedingt durch die Gesamtbauhöhe wird jedoch immer häufiger flächengleich in der Ebene der Hauptträger angeschlossen. Dies ist bei der Ausbildung einer Dachscheibe durch Trapezbleche oder Holzwerksstoffe ideal und wirtschaftlicher. Dies zeigt ein Spannungsfeld in der Planung, welches eine individuelle Abwägung der Gesichtspunkte notwendig macht.

Linear gleichgeschaltete Tragelemente wie z.B. Brettstapel- oder Dübelholzelemente verhalten sich in der Regel günstiger. Generell sind die meisten Flächenelemente bei einer ausreichenden Last-Querverteilung als relativ robust anzusehen.

Perfekt sind in dieser Hinsicht Brettschichtholzträger mit stehenden Randlamellen in der Zugzone. Hier ist eine „Belohnung“ durch den Systemfaktor ($k_{sys}=1.20$) nach Abschnitt 5.7.2, SIA 265:2012 [7] durchaus gerechtfertigt (Bsp. HBV-Brücken, Umfahrung Bulle, Kt. FR). Als sehr robust hat sich auch die Passarelle beim Schiffenen See erwiesen, die den Anprall bzw. besser das „Festfahren“ einen Lastkraft-

wagens ohne Einsturz überstanden hat (Abbildung 4). Hier waren offensichtlich grosse Tragreserven im horizontalen Tragsystem vorhanden. Die Brücke wurde zwar aus den Verankerung bzw. Widerlagern herausgerissen (Abbildung 5), sie ist aber nicht unter den nie vorhergesehenen sehr hohen Einwirkungen „zerbrochen“.



Abbildung 4: Passarelle Schiffen nach LKW-Anprall



Abbildung 5: Betonwiderlager der Passarelle Schiffen nach LKW-Anprall

Bauphysikalisch robust

Aus bauphysikalischer und baukonstruktiver Sicht hat eine robuste Konstruktion ein gutes Austrocknungsvermögen, ist wärmebrückenfrei und sollte generell wenig fehleranfällig sein. Dies sind im Holzbau konsequent diffusionsoffene Aufbauten, die eine Austrocknen in der Regel nach aussen, aber auch ein gewisses Austrocknungsvermögen nach innen sicherstellen.

Aufbauten mit umlaufend aussenliegender Wärmedämmung gelten als robust und wenig fehleranfällig (Abbildung 6).

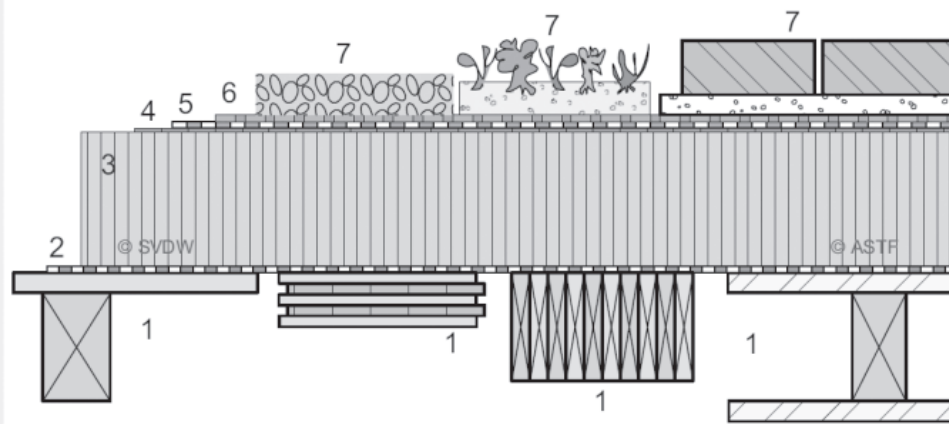


Abbildung 6: Nicht durchlüftete Konstruktion – Wärmedämmung auf der Tragkonstruktion [9]

Sowohl im Flachdach wie auch in den Bauteilen gegen Erdreich ist der konstruktive Wand-, Decken- und Dachaufbau nicht „warmseitig der Konstruktion (z.B. nach SIA 271:2007 [8])“ angeordnet. Dies gilt insbesondere für Flachdächer, die auch heute noch meist wenig robust konstruiert werden und daher überdurchschnittlich häufig an Schäden an Gebäuden beteiligt sind. Diesbezüglich ist von Aufbauten wie in Abbildung 7 abzuraten.

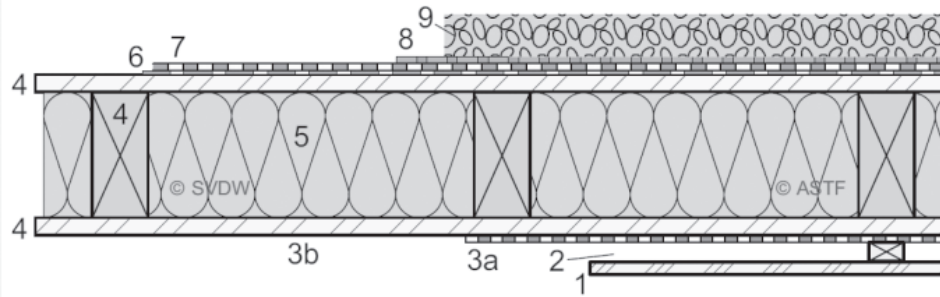


Abbildung 7: Nicht durchlüftete Konstruktion - Tragkonstruktion in der Wärmedämmebene [9]

Die Robustheit von hinterlüfteten Flachdachaufbauten wird oft überschätzt (Abbildung 8). Der konstruktive Aufbau kann zwar diffusionsoffen realisiert werden, aber die notwendigen Lüftungsquerschnitte für eine ausreichende Luftwechselrate sind oft zu gering und werden aus formalen (architektonischen) Gründen am Ein- und Auslass an den Dachrändern nicht mit dem nach SIA 271:2007 [8] geforderten 50 % des erforderlichen Lüftungsquerschnitt der Dachfläche durchgehalten. Hinzu kommt, dass beim Flachdach ein Luftwechsel nur durch den Staudruck des Windes ausgelöst wird und dadurch erheblich von den Windverhältnissen abhängt.

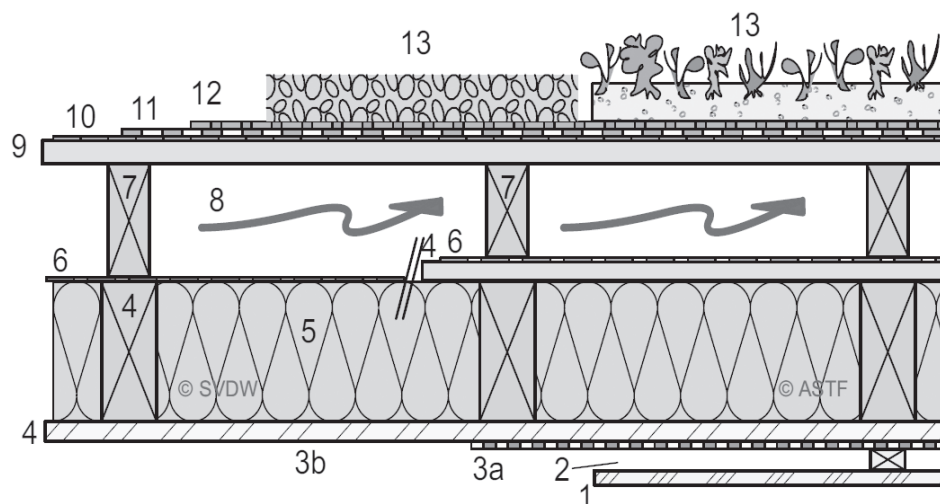


Abbildung 8: Hinterlüfteter Flachdachaufbau [9]

Selbstredend ist eine Dachentwässerung nach aussen bei Verstopfungen etc. dauerhaft weniger fehleranfällig, als eine Entwässerung nach innen z.B. in eine innenliegende Rinne. Diese müssen besonders sorgfältig mit hohem konstruktiven Aufwand geplant und ausgeführt werden. Dies gilt generell auch für geneigte Dächer und andere Anwendungsgebiete.

Durch die Verwendung von feuchteadaptiven Dampfbremsen und kapillaraktive Dämmstoffen werden Baukonstruktionen in der Regel robuster (dauerhafter). Sie sind aber auch kein „Allheilmittel“ für misslungene Baukonstruktionen. Die Verwendbarkeit ist hier in der Regel durch instationäre Berechnungen des Feuchtetransports und des Austrocknungsvermögens abzusichern.

Vermeidung unkontrollierbarer Hohl- bzw. Zwischenräume, Durchdringungen der Luftdichtheitsebenen etc. sind bekanntermassen zu vermeiden.

Kontrolliert bauen

Überwachte und qualitätsgesicherte Produkte

Hoch beanspruchte Bauteile von Tragstrukturen benötigen qualitätsgesicherte Produkte. Dies wird in der Regel durch ein abgestuftes Qualitätssicherungssystem wie es z.B. der Schweizerische Fachverband Holzleimbau (SFH) oder der Verband qualitätsgeprüfter Holzhäuser (VGQ) bieten, gewährleistet.

Im Mittelpunkt steht hierbei die regelmässige Eigenüberwachung auf Grundlage eines firmeninternen / firmenspezifischen Qualitätssicherungssystems und der stichprobenartigen Überprüfung z.B. der Dokumentation dieser Eigenüberwachung durch externe und neutrale Prüfer.

Eine laufende Überprüfung der Herstellprozesse bzw. der hergestellten Produkte wie z.B. bei der Brettschichtholzherstellung durch Blockscher- oder Delaminierungsprüfungen, Keilzinkenbiege- oder Zugprüfungen ist notwendig, um auch nicht selbstverursachte Unregelmässigkeiten z.B. bei den zugelieferten Bestandteilen der Produktion rechtzeitig erkennen zu können. Dies trägt neben der für das Marketing immer wichtiger werdenden Garantie für eine gesicherte Qualität auch zur Vermeidung von Schadensersatzansprüchen bei.

Verantwortungsvolle Ingenieure lassen sicherheitsrelevante Produkte vorab überprüfen. Sie verlangen bereits in der Ausschreibung Materialproben oder Prüfungen durch anerkannte Institute. Grosse Abweichungen von den geforderten und bei der Bemessung zugrunde gelegten Festigkeiten und Eigenschaften lassen sich so rechtzeitig erkennen.

Materialqualität von Schrauben und mechanischen Verbindungsmitteln

Unerwartet beschäftigt die Branche ein neues Thema. Offensichtlich führen viele, auch namhafte Hersteller von mechanischen Verbindungsmitteln unterschiedliche Materialgüten bzw. Materialqualitäten in Ihrem Sortiment. Neben den in Ingenieurkreisen beworbenen Verbindungsmitteln in sehr hoher Qualität, welche von den Herstellern in der Regel ständig geprüft und sichergestellt wird, werden gleichzeitig noch Verbindungsmittel (z.B. Schrauben) minderer Qualität für nichttragende Zwecke angeboten. Spätestens an diesem Punkt stellt sich die Frage, wo im Bauwesen überhaupt nichttragende Verbindungen eingesetzt werden können? Die Erwartung an ein Verbindungsmittel aus dem Fachhandel ist jedoch von allen Beteiligten, dass hiermit planmässig Kräfte übertragen werden können. Die Diskussion darüber, wer im Bau- und Planungsprozess die Verantwortung für die Materialqualitäten trägt, ist unnötig. Sicherlich müssen zunächst einmal die Ingenieure die Verbindungsmittel präzise in der Materialspezifikation ausschreiben, welche sie bei den statischen Nachweisen zu Grunde gelegt haben. Es ist auch selbstverständlich, dass die ausführende Betriebe die Verbindungsmittel in der genau geforderten Qualität anfragen und bestellen, das gelieferte Produkt hierauf eigenverantwortlich überprüfen und letztendlich fachgerecht einbauen müssen.

Sehr fraglich ist aber, ob überhaupt bei solch sicherheitsrelevanten Produkten das Risiko einer „Verwechslung“ eingegangen werden darf. Eine klare Kennzeichnung mit einem Warnhinweis „nicht für tragende Zwecke“ ist an dieser Stelle unerlässlich.

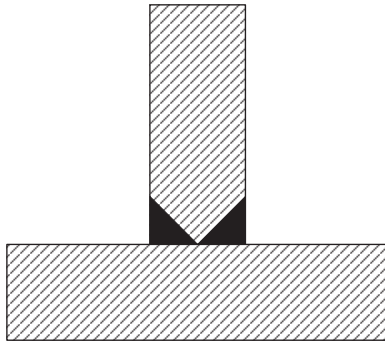


Abbildung 9: Schematische Darstellung einer DHV-Naht

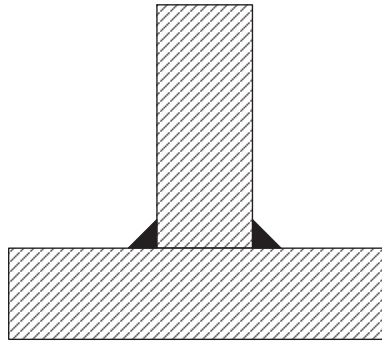


Abbildung 10: Schematische Darstellung einer Doppelkehlnaht

Qualitätssicherung geschweisster Stahl- / Anschlusssteile

In einem hohen Masse sicherheitsrelevant sind bei Ingenieurholzbaukonstruktionen die geschweissten Stahlteile für Anschlüsse und Knotenpunkte. Hier musste man leider auch schon nach dem Versagen von Tragstrukturen völlig unzulänglich hergestellte Schweissnähte als Schadensursache feststellen. Anstatt durchgeschweisste HV-Nähte wurden einfache Kehl Nähte mit minimaler Schweissnahtdicke ausgeführt (Abbildungen 9 und 10).

Angaben zu den geforderten Schweissnahtarten und -dicken sind durch die für den Stand- / Tragsicherheitsnachweis verantwortlichen Ingenieure immer erforderlich. Hierbei ist die Aussage abhängig von der Beanspruchung und der Ausnutzung der Stahlteile, ob z.B. HV-Nähte notwendig sind oder ggf. Kehl Nähte genügen.

Die fachliche Qualität und Ausstattung des ausführenden Betriebes muss überprüft werden. Existiert eine firmeneigene Qualitätssicherung? Welche Ausbildung haben die Mitarbeiter? Der Übergang von wenig bis hoch beanspruchten Verbindungen ist oft fliessend. Gemäss SIA 263/1 [10] sind Schweissarbeiten immer nach schriftlichen Schweissanweisungen (WPS) durchzuführen. Die nötige Herstellerqualifikation für das Schweißen wird in die Qualifikationsklassen H1 bis H5 unterteilt (Tabelle 2). Die Unterscheidungen ergeben sich durch Beanspruchungsart des Tragwerks, Werkstoffe und Dicke der zu fertigenden Bauteile.

Wer Stahlbauten/-bauteile konstruiert, fertigt und/oder montiert, muss über eine werkseigene Kontrollorganisation verfügen, die sicherstellt, dass die Ausführung der Stahlbauteile den Anforderungen der SIA 263/1 [10] entspricht.

Tabelle 2: Herstellerqualifikation für das Schweissen gemäss SIA 263/1

Klasse	H5	H4	H3	H2	H1
Art der Einwirkung	Tragwerke vorwiegend ruhend beansprucht			Tragwerke mit Ermüdungsbeanspruchung	Sonderkonstruktionen mit Ermüdungsbeanspruchung
Geltungsbereich	S235...S275 ≤ 16 mm Kopf- und Fussplatten ≤ 30 mm	S235...S275 ≤ 22 mm Kopf- und Fussplatten ≤ 30 mm	alle Werkstoffe ≤ 30 mm Kopf- und Fussplatten ≤ 40 mm	alle Werkstoffe ohne Dicken-einschränkung	alle Werkstoffe ohne Dicken-einschränkung
Werkseigende Produktionskontrolle	In der Verantwortung der Herstellenden durchzuführen				
Betriebsanforderungen	Keine Überprüfung	Überprüfung durch eine Prüfstelle erforderlich			
Stufe der Anforderung nach SN EN 729	Elementar SN EN 729-4	Standard SN EN 729-3			Umfassend SN EN 729-2
Mindestanforderung an die Schweissaufsichtsperson	Geprüfter Schweißer	Schweispraktiker	Schweissfachmann	Erfahrener Schweissfachmann oder Schweisstechner	Schweissingenieur oder erfahrener Schweisstechner
Schweißer	Gültige Prüfbescheinigung nach SN EN 287-1				

Von Ingenieuren erstellte Prüfpläne für die Kontrolle der wesentlichen Bauteile haben sich bewährt.

Neben den Schweissnähten betrifft dies auch wichtige Klebeverbindungen im Holzbau. Hier sollte bei der Kontrolle neben der Überprüfung des verwendeten Klebstofftyps, generell die für das Bauvorhaben relevante Eintragungen der Eigenüberwachung eingesehen werden. Bei hochbeanspruchten Bauteilen kann es im Einzelfall auch Sinn machen, die Anfertigung von Prüfkörpern für eine Blockscher- und / oder Delaminierungsprüfung bereits in der Ausschreibung zu fordern.

Überwachte und qualitätsgesicherte Bauweisen

Das mit der VKF Richtlinien von 2005 eingeführte Qualitätssicherungssystem für mehrgeschossige Holzbauten hat sich so gut bewährt, dass es zukünftig auch baurechtlich auf andere Bauweisen ausgedehnt werden soll.

Die hohe Akzeptanz der mehrgeschossigen Gebäude in Holz ist mit ein Verdienst der bislang umgesetzten hohen Bauqualität. Es hat sich gezeigt, dass nicht nur brandschutzrelevante Qualitätsstandards bei der Planung und Ausführung von Holzbauten beachtet und umgesetzt wurden, sondern die gesamte Baukonstruktion jeweils mit einschloss.

Die Sicherstellung der Standards durch eine kontinuierliche Eigen- und stichprobenartige Fremdüberwachung ist notwendig.

„Eine griffige Qualitätssicherung bedeutet nicht Mehraufwand, sondern führt über den gesamten Bauprozess effizient zum gewünschten Sicherheitsniveau und langfristig zu einem Mehrwert des Gebäudes“ [11]

Permanent überwachen

Die SIA 269:2011 [12] unterscheidet bei bestehenden Gebäuden in Betriebliche Erhaltungsmaßnahmen (u.a. Überwachung, Monitoring) und Überprüfung des Tragwerkes (Zustandserfassung). Einen Überblick hierzu gibt Abbildung 11.

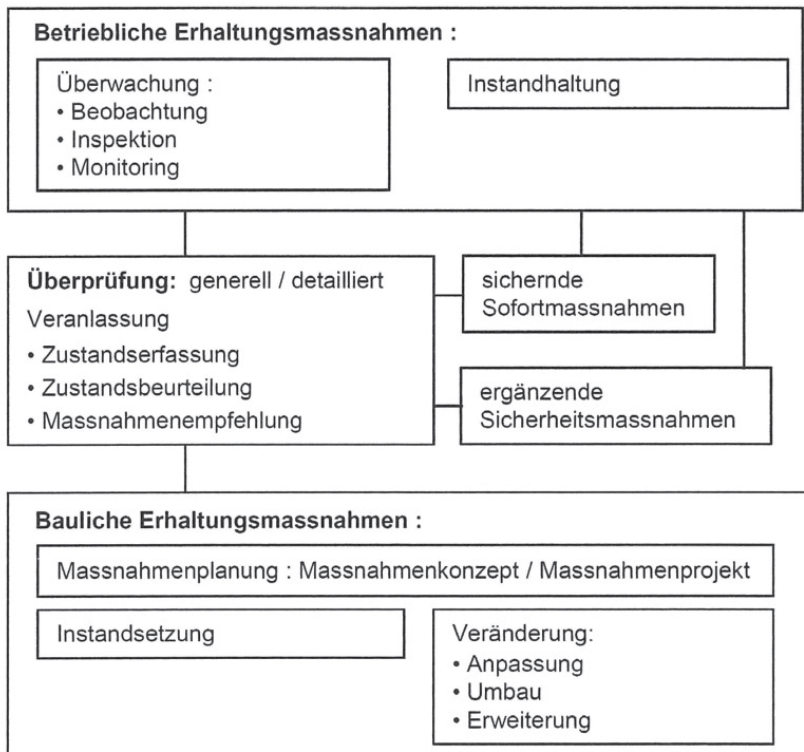


Abbildung 11: Definition von Erhaltung gemäss SIA 269:2011 [12]

Überwachung

Die Überwachung umfasst die Besichtigung des Bauwerks auf offensichtliche Mängel oder Schädigungen und deren Dokumentation. Am Tragwerk, das heisst an allen tragenden Bauteilen wie Stützen, Wänden, Decken, Deckenträgern sowie Dachbindern, sind dies vor allem Verformungen, Schiefstellungen, Risse, Durchfeuchtungen, Ausblühungen und Korrosion [4]. Eine solche Überprüfung sollte mindestens alle 12 Monate durch den Eigentümer / Hauswart erfolgen.

Überprüfung

Die Überprüfung des Tragwerkes erfolgt stufenweise mit zunehmender Vertiefung. Eine generelle Überprüfung erstreckt sich auf das gesamte Tragwerk und sollte in einem 2–5 jährigen Rhythmus durchgeführt werden. Sollte es hierbei zu Auffälligkeiten kommen, ist eine detaillierte Überprüfung durchzuführen. Diese Überprüfungen sollten durch eine fachkundige Person durchgeführt werden.

Monitoringsysteme

Fest installierte Monitoringsysteme mit und ohne permanente Daten-Fernübertragung haben sich für eine rechtzeitige Schadensfrüherkennung sehr bewährt. Abbildung 12 zeigt einen Auszug eines Klima- und Holzfeuchtemonitorings. So können durch rechtzeitige Vorwarnung die notwendigen Massnahmen meist noch sehr kostengünstig durchgeführt werden.

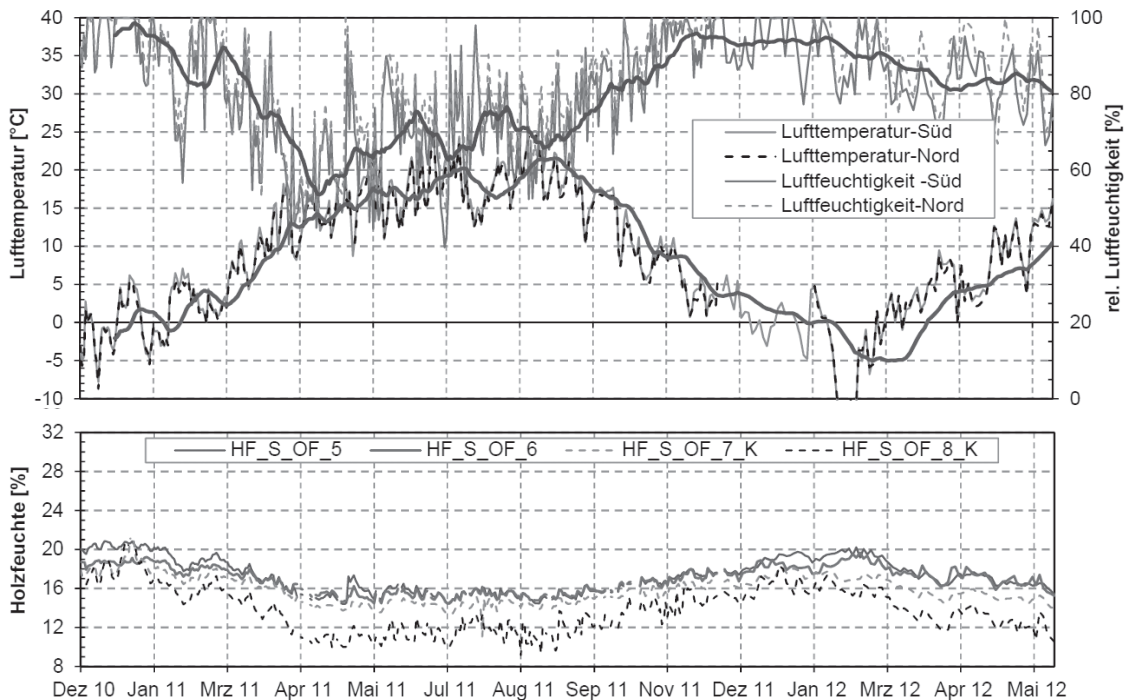


Abbildung 12: Auswertung einer Klima- und Holzfeuchtemessung eines Monitoringsystems

An der 2007 errichteten Holzbrücke über die Ilfis in Obermatt (Bauherr: Kanton Bern, Abbildung 13) wurde 2010 ein Monitoringsystem zur Überwachung der Holzfeuchte nachträglich eingebaut. Aufgrund der so erhaltenen Daten konnte an einem der Fahrbahnübergänge im Frühjahr 2011 eine erhöhte Holzfeuchte festgestellt werden. Der Grund für den Feuchteeintrag war eine ungenügende Abkantung eines Blechanschlusses (Abbildung 14). Der Schaden konnte somit zeitnah und ohne grossen Aufwand behoben werden.



Abbildung 13: Ansicht der Obermattbrücke



Abbildung 14: Ungenügende Ausbildung der Tropfkante mit deutlicher Auffeuchtung

Zusammenfassung

Spannweiten mit über 100 m sind im Ingenieurholzbau heute keine Einzelfälle mehr. Durch die hohe Leistungsfähigkeit des Materials in Bezug auf sein Eigengewicht ist der Werkstoff Holz für diese hohen Anforderungen besonders gut geeignet. Die Ansprüche an den Tragwerksentwurf und die statische Nachweisführung der Bauteile steigen. Neben der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit müssen die Gebäudestrukturen langfristig noch zuverlässiger sein. Die Robustheit stellt hierfür ein umfassendes Qualitätsmerkmal dar. Bereits im Tragwerksentwurf muss dies berücksichtigt werden.

Hoch beanspruchte Bauteile von Tragstrukturen benötigen qualitätsgesicherte Produkte. Im Mittelpunkt steht dabei die regelmässige Eigenüberwachung der Herstellprozesse bzw. der hergestellten Produkte.

Robuste Bau- und Tragkonstruktionen führen in der Regel zu geringeren Unterhaltskosten. Dies setzt jedoch eine regelmässige Überwachung, Überprüfung und Instandhaltung voraus. Fest installierte Monitoringsysteme sind effizient und haben sich als Frühwarnsystem zum Erkennen von eingetretener Veränderung sehr bewährt. Idealerweise werden diese bereits in der Planungsphase vorgesehen.

Literatur

- [1] <http://www.duden.de/node/684018/revisions/1165320/view>
- [2] Pötzl. M., Robuste Tragwerke – Vorschläge zu Entwurf und Konstruktion, Bauingenieur 71 (1996) 481-488, Springer-Verlag 1996
- [3] Starossek, U., Progressive collapse of structures: Nomenclature and procedures, Structural Engineering International 16 (2006) Nr. 2, 113-117
- [4] VDI 6200, Standsicherheit von Bauwerken – Regelmässige Überprüfung, Verein Deutscher Ingenieure, 2010
- [5] Sennewald, R., Der Einsturz der Eissporthalle in Bad Reichenhall – Wie hätte er verhindert werden können?, 2007
- [6] THW Helfervereinigung OV BGL, <http://www.thw-bgl.de/index.php/einsaetze/2006/148-fotos-einsturz-eissporthalle-bad-reichenhall>
- [7] SIA 265:2012: Holzbau
- [8] SIA 271:2007: Abdichtungen im Hochbau
- [9] Schnyder, H., Sahli, H., Merkblatt Feuchteschutz bei Flachdächern in Holzbauweise, Gebäudehülle Schweiz, 2007
- [10] SIA 263/1:2003: Stahlbau – Ergänzende Festlegungen
- [11] Luginbühl, U., Oetiker, W., Vetterli, N., Bauen mit Holz – Qualitätssicherung und Brandschutz, Lignum-Dokumentation Brandschutz, 2005
- [12] SIA 269:2011: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken

