

# G Typische Tragwerksmängel im Ingenieurholzbau und Empfehlungen für Planung, Ausführung und Instandhaltung

P. Dietsch, S. Winter



Dipl.-Ing. Philipp Dietsch

2005

Abschluss des Bauingenieurstudiums an der Technischen Universität München

seit 2005

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

1998

Promotion an der TU Darmstadt

seit 2003

Ordinarius für Holzbau und Baukonstruktion an der Technischen Universität München

## **1 Zusammenfassung**

In der Folge der zahlreichen Schadensfälle an weitgespannten Holztragwerken im Verlauf des schneereichen Winters 2005/06 wurden am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion eine Vielzahl von Projekten im Rahmen der Überprüfung von weitgespannten Holztragwerken durchgeführt.

Dieser Beitrag beschreibt die häufigsten Schadensbilder und Schadensursachen und erörtert Möglichkeiten, die zugrunde liegenden Schadensmechanismen in Zukunft zu vermeiden.

Darüber hinaus gibt dieser Beitrag Empfehlungen zum Vorgehen bei der Untersuchung von weitgespannten Holztragwerken sowie zu Untersuchungsintervallen, die es ermöglichen das geforderte Tragsicherheitsniveau über die angestrebte Lebensdauer aufrechtzuerhalten. Das Konzept des Bauwerksbuches wird erläutert.

Schlagworte: Hallentragwerke, Holztragwerke, Schadensbilder, Schadensursachen, Schadensmechanismen, Untersuchung, Überprüfung, Sanierung, Ertüchtigung, Schneelastkataster, Bauwerksbuch

## **2 Einleitung**

Am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion wurden zwei groß angelegte Projekte zur Überprüfung von weitgespannten Holztragwerken sowie zur Auswertung von Schäden an Holztragwerken durchgeführt. Beide begannen im März 2006, zwei Monate nach dem Einsturz der Eishalle Bad Reichenhall.

Die Zielsetzung des im folgenden Abschnitt dargestellten Projektes war, Informationen zu geschädigten Holztragwerken, deren Schädigungsgrad in der Größenordnung von Bauteilschäden bis hin zum Totaleinsturz lag, zusammenzustellen und auszuwerten. Die Ergebnisse sollen es ermöglichen, häufige Schadensmechanismen zu identifizieren. Mithilfe dieser sollen Ingenieure, die für vergleichbare Tragwerke zuständig sind, in die Lage versetzt werden, notwendige Maßnahmen zur Vermeidung vergleichbarer Schäden zu ergreifen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden bislang Schadensfälle an 214 weitgespannten Holztragwerken aus Bayern und benachbarten Ländern ausgewertet. Die Grundlage bildeten Informationen von Behörden, Fachverbänden und Sachverständigen, hauptsächlich wurden sie jedoch durch eigene Untersuchungen vor Ort erbracht.

Die Untersuchungen ergaben dienliche Hinweise im Hinblick auf die Konstruktion und Detaillierung von Ingenieurholzbauwerken. Einige von diesen werden beispielhaft im dritten Abschnitt vorgestellt.

Die Zielsetzung des im vierten Abschnitt vorgestellten Projektes war, die Tragsicherheit aller 152 weitgespannter Holztragwerke im Verantwortungsbereich der Stadt München festzustellen und zu beurteilen. Anhand dieses Projektes werden das mögliche Vorgehen und zugehörige Intervalle für Bauwerksuntersuchungen vorgestellt, die es ermöglichen auch zukünftig das für das jeweilige Bauwerk geforderte Tragsicherheitsniveau zu gewährleisten.

## **3 Auswertung von Schäden an weitgespannten Holztragwerken**

### **3.1 Datenerfassung und Auswertung**

Die Auswertung umfasst zum jetzigen Zeitpunkt Schadensfälle an 214 Bauwerken mit weitgespannten Holztragwerken, hauptsächlich aus Bayern und den benachbarten Ländern. Die Häufung der Schadens-

fälle in diesem Gebiet kann u. a. dadurch begründet werden das, bedingt durch den starken Schneefall und die Tragwerkseinstürze im Winter 2005/06, Behörden und Betreiber eine verstärkte Überprüfungs-tätigkeit an weitgespannten Holztragwerken veranlassten. Denn nur untersuchte (oder sichtbar geschädigte) Tragwerke können auffällig werden.

Für den Großteil der Tragwerke (62 %) konnten sehr detaillierte Informationen, z. B. aus gutachterlichen Stellungnahmen, ausgewertet werden. Für weitere 14 % der Bauwerke waren ausreichend Informationen verfügbar, so z. B. aus Untersuchungsberichten. Für die verbleibenden Tragwerke ermöglichten die vorhandenen Informationen eine teilweise Auswertung, es verblieben jedoch auch „weiße“ Stellen in der Informationssammlung. Nachdem ein Bauwerk mehr als ein schadhaftes Bauteil enthalten kann, waren mehrere Einträge pro Bauwerk möglich. Auch war es möglich einem Schaden mehrere Schadensursachen zuzuordnen. Dies begründet die Variation der Gesamtsummen. Die vorgenommene Klassifizierung wurde, wo zweckmäßig, in Anlehnung an verwandte Veröffentlichungen ([1], [2]) vorgenommen.

### 3.2 Tragwerksinformationen

Abb. 3.1 zeigt die Nutzungen der aufgenommenen Bauwerk. Sie zeigt die vielfältige Verwendung von weitgespannten Holztragwerken z. B. für Turnhallen, Versammlungsstätten und Lagerhallen. Der große Anteil an Eislaufhallen ist durch den Einsturz des Dachtragwerks der Eishalle Bad Reichenhall begründet, welcher in Deutschland eine Überprüfung aller Eishallen mit Holztragwerken nach sich zog.

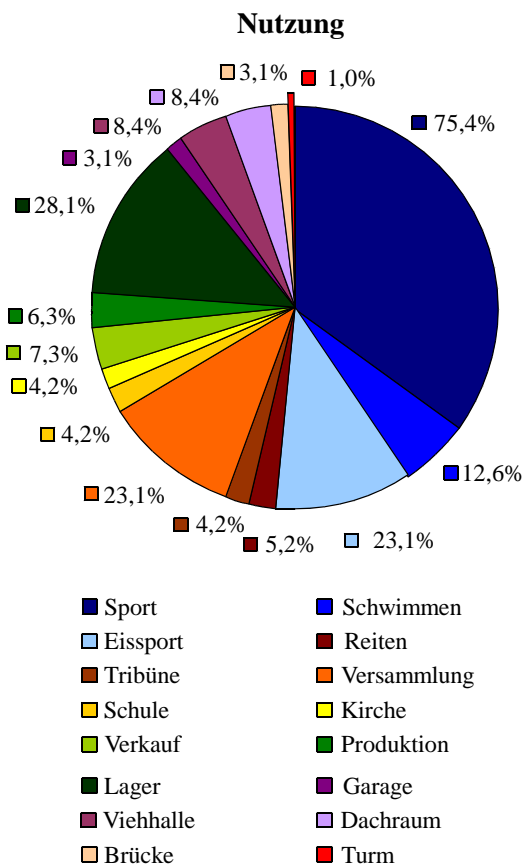


Abb. 3.1: Nutzung

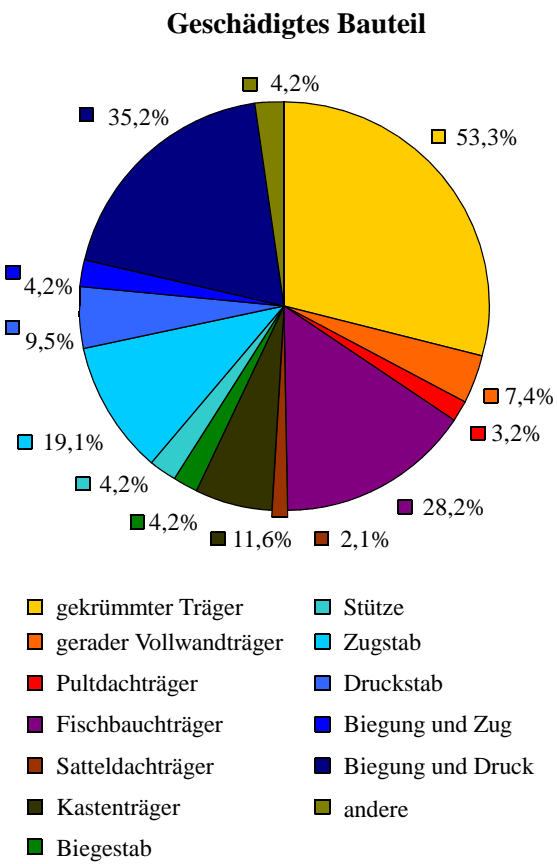


Abb. 3.2: Geschädigtes Bauteil

Die Einteilung in geschädigte Bauteile zeigt **Abb. 3.2**. Der Großteil der schadhaften Bauteile waren biegebeanspruchte Einfeldträger (z. T. mit Kragarm). Für diese wurde – falls möglich - eine weitere Unterteilung in Trägerformen vorgenommen. Diese zeigt, dass der Großteil der Tragsysteme aus großvolumigen Brettschichtholzbauteilen besteht. Viele Bauwerke enthielten Tragsysteme aus mehreren zusammengehörigen Bauteilen, darunter Rahmensysteme und Fachwerkträger. In diesem Fall wurden die betroffenen Bauteile hinsichtlich ihrer Beanspruchung unterschieden. Bauteile der Beanspruchung „Zug“ bzw. „Biegung und Zug“ sind dabei hauptsächlich Fachwerkträgern zuzuordnen, wohingegen Bauteile der Beanspruchung „Biegung und Druck“ hauptsächlich Rahmensystemen zuzuordnen sind.

### 3.3 Schaden und Auslöser

**Abb. 3.3** zeigt die häufigsten Schäden während 4 die zugehörigen Auslöser darstellt. Der häufigste Schadensfall sind Risse in Faserrichtung (46 %). Der Hauptgrund dafür ist eine niedrige oder häufig wechselnde Holzfeuchte. Der zweite Grund liegt in der Nichtbeachtung der geringen Querkzugfestigkeit von Holz begründet, welche (z.B. im Fall von Umlenkkraften in nicht verstärkten gekrümmten Trägern oder Satteldachträgern) in einer Rissbildung entlang der Faser resultieren kann. Der große Einfluss der Feuchte (gesteuert durch die jeweiligen Umgebungsbedingungen) auf die Leistungsfähigkeit von Holztragwerken wird auch durch den erheblichen Anteil von Schäden aufgrund eines zu hohen Holzfeuchtegehaltes unterstrichen. Darunter fallen z.B. Fäule oder Pilzbildung (14 %).

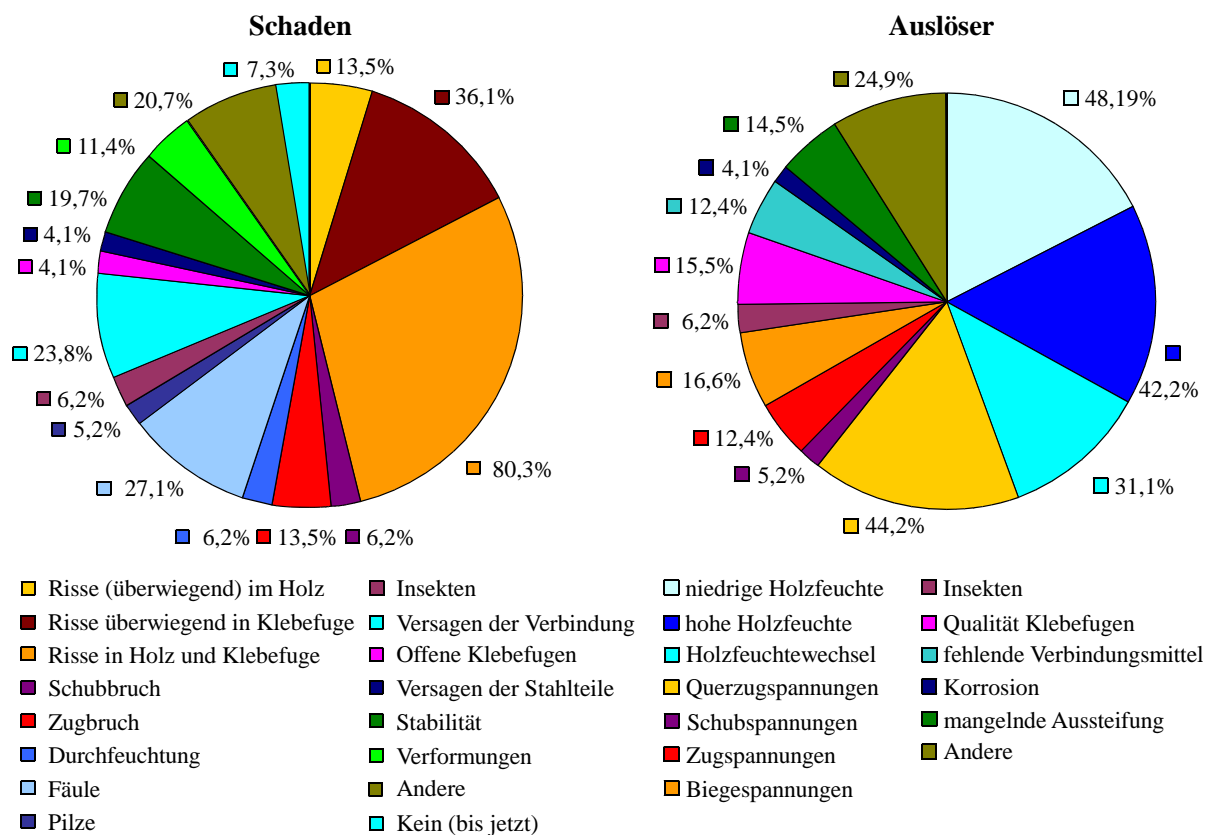


Abb. 3.3: Schaden

Abb. 3.4: Auslöser des Schadens

Das Versagen von Verbindungen oder das Versagen von im Bereich der Verbindung geschwächten Holzquerschnitten war ein weiterer nennenswerter, da häufig schwerwiegender Schaden.

### 3.4 Verantwortungsbereich der Schäden

Abb. 3.5 stellt dar, welchem Verantwortungsbereichen die aufgetretenen Schäden zugeordnet werden können. Sie weist darauf hin, dass ein großer Teil der Schäden seinen Ursprung in Fehlern in der Planungsphase hat, wobei die falsche Einschätzung der zukünftigen Umgebungsbedingungen (28 %) einem großen Anteil an zukünftigen Schäden zuzuschreiben war.

Welche Auswirkungen die spätere Bauwerksnutzung und damit die Umgebungsbedingungen auf die sich einstellende Holzfeuchte haben, zeigt Abb. 3.6. Diese Abbildung beweist, dass besonders den niedrigen Holzfeuchten größere Beachtung geschenkt werden sollte. Mehr als die Hälfte der Tragwerke (58 %) wies Holzfeuchten auf, die unter der üblicherweise für Herstellung und Auslieferung angenommenen Holzfeuchte von 12 % lagen. In 21 % der Fälle lag die Holzfeuchte sogar unter 8%, was eine Abweichung von mehr als 33 % von der üblichen Herstellfeuchte darstellt. Die in diesen Fällen auftretenden feuchteinduzierten Spannungen übersteigen häufig die Querszugfestigkeit von Holz und führen zu Spannungsabbau in Form von Rissentstehung. Dieser Prozess wird verstärkt, wenn breite und damit in Bezug auf Holzfeuchteänderungen trägere Querschnitte oder Verbindungen mit weit auseinander liegenden Verbindungsmittelgruppen (Sperreffekt) zum Einsatz kommen. Nutzungen, in denen sich besonders niedrige Holzfeuchten einstellen sind z. B. Sporthallen oder Produktionshallen. Auch Nutzungen die hohe Änderungen der Holzfeuchte bedingen (z. B. Eishallen oder Reithallen), implizieren hohe Holzfeuchtegradienten und damit potentielle Rissentstehung. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Feuchteketten während Herstellung, Transport, Lagerung, Einbau und Betrieb sowie dem schonenden Einsatz von Trocknungsgeräten in der Bauphase und Lüftungsanlagen in den ersten Betriebsmonaten größere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

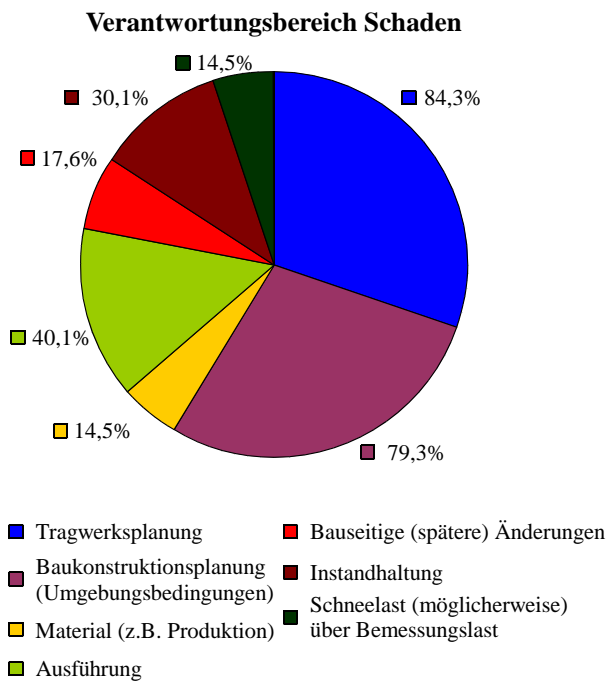


Abb. 3.5: Verantwortungsbereich Schaden

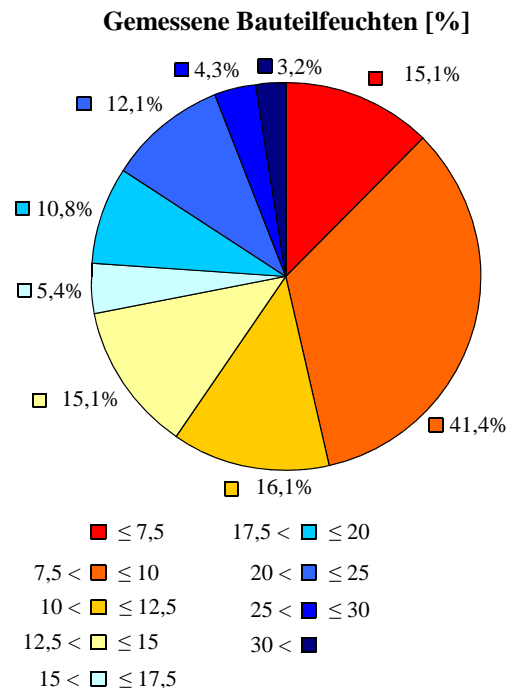


Abb. 3.6: Gemessene Bauteilfeuchten

Fehler in der Tragwerksplanung konnten oft auf eine Vernachlässigung bzw. fehlendes Wissen bezüglich des Standes der Technik (z. B. Querzugspannungen aus Umlenkkraften in Satteldachträgern und gekrümmten Trägern) zurückgeführt werden. Im Falle von älteren Tragwerken entsprach der allgemeine Wissensstand zum Planungszeitpunkt jedoch noch nicht immer dem heutigen Stand der Technik. Dazu gehören das Blockscherversagen in Verbindungen oder der Einsatz von Verstärkungselementen zur Aufnahme von Querzugspannungen in gekrümmten Trägern.

Schäden, die dem Verantwortungsbereich „Material“ zugewiesen wurden, entstanden u. a. durch die Verwendung von ungeeignetem Klebstoff (z. B. die Verwendung von Harnstoffharz-Klebstoff in feuchten Umgebungsbedingungen) oder die Verwendung von zu kurzen Keilzinken für Lamellenstöße.

Der Anteil an schadhafte Tragwerken, bei denen die Ausführung stark von den geprüften Konstruktionsplänen abwich, war bemerkenswert. Eine weitere beachtenswerte Schadensursache waren Umbaumaßnahmen (u. a. das Aufbringen eines Gründaches ohne zusätzliche statische Berechnungen), welche zu höheren Beanspruchungen und/oder zu veränderten Umgebungsbedingungen führten.

Der fachlich und zeitlich korrekte Bauunterhalt ist eine Grundvoraussetzung für ein gleichbleibendes Tragverhalten über die Lebenszeit des Bauwerks. In vielen der untersuchten Fälle war diese Anforderung nicht erfüllt, was in einer abnehmenden Tragsicherheit und einem erhöhten Schadensrisiko resultierte. Im vierten Abschnitt ist das mögliche Vorgehen zu Untersuchung und Instandhaltung von weitgespannten Holztragwerken erläutert.

Abb. 3.5 erlaubt auch die abschließende Feststellung, dass die Schneelast, häufig als Grund für Schäden zitiert, in den seltensten Fällen im Bereich der Bemessungsschneelast lag. Sie ist in diesem Zusammenhang somit höchstens als Auslöser, nicht jedoch als Ursache für Schäden zu nennen.

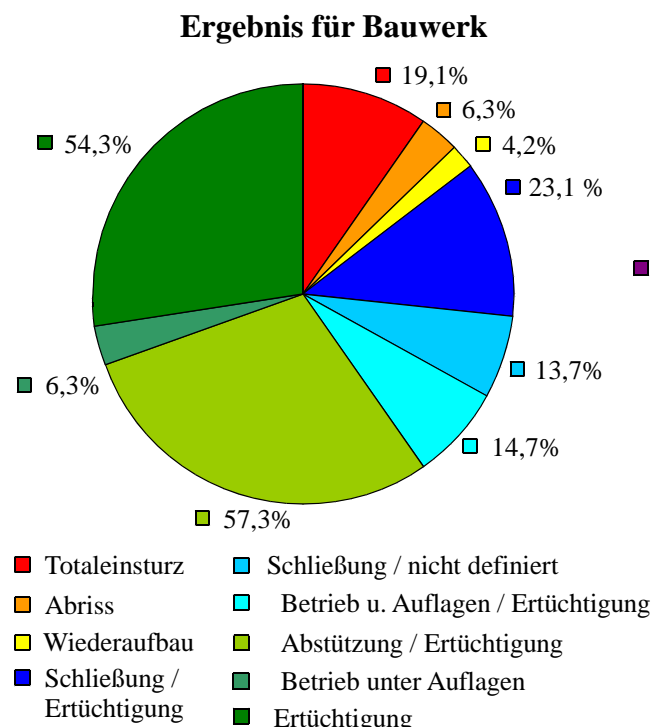


Abb. 3.7: Ergebnis für Bauwerk

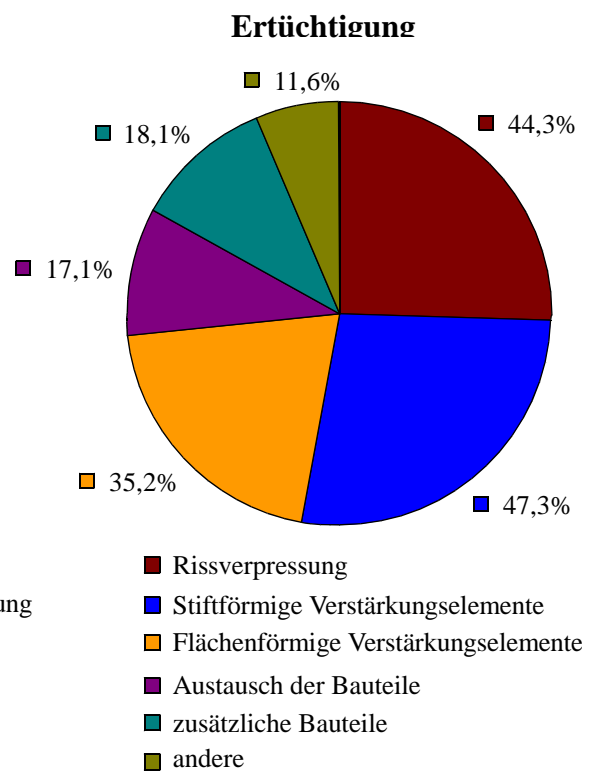


Abb. 3.8: Ertüchtigung

### 3.5 Ausmaß der Schädigung, Ertüchtigungsmaßnahmen

Abb. 3.7 zeigt das Ausmaß der Schädigung für das jeweilige Bauwerk. In 10 % der Fälle kam es dabei zu einem Totaleinsturz, bei weiteren 5 % musste das Tragwerk abgerissen bzw. wieder aufgebaut werden. In allen anderen Fällen waren kurzfristige Maßnahmen wie Schließung und/oder Abstützung und anschließende Ertüchtigung ausreichend. In Fällen, in denen das Tragwerk ertüchtigt werden musste, zählten die Rissverpressung mittels Injektion von Epoxidharz bzw. das Einbringen von stiftförmigen Verstärkungselementen (Schrauben, Gewindestangen) oder das Aufkleben von flächenförmigen Verstärkungselementen (Furnierschichtholz) mit einem Anteil von jeweils ca. einem Viertel zu den am häufigsten angewendeten Maßnahmen (siehe Abb. 3.8). Nicht selten kam dabei auch eine Kombination von Ertüchtigungsmaßnahmen zur Anwendung.

## 4 Empfehlungen für Konstruktion und Nachweisführung

Die im vorausgehenden Abschnitt beschriebene Auswertung von Schäden an weitgespannten Holztragwerken sowie die Vielzahl von am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion durchgeführten Tragwerksuntersuchungen brachten einige interessante Erkenntnisse nicht nur für die Überprüfung von weitgespannten Holztragwerken selbst, sondern auch im Hinblick auf die Konstruktion und Nachweisführung von neu zu erstellenden Ingenieurholzbauwerken zum Vorschein. Beispielhaft sollen hier vier, nach Ansicht der Autoren wichtige Konstruktionsmerkmale betrachtet werden.

### 4.1 Hochbeanspruchte Verbindungen in Fachwerkträgern

Fachwerkträger sind hoch optimierte Systeme zur Lastabtragung. Sie sind besonders abhängig von der Wirksamkeit ihrer Verbindungen, vor allem in hoch zugbeanspruchten Bereichen (Zugstöße). Ihre fachgerechte Konstruktion gehört immer noch zu den anspruchsvollsten Aufgaben sowohl für den Tragwerksplaner als auch für die ausführende Firma. Mehrere Bauwerksuntersuchungen [4] zeigten, dass bei der Konstruktion und Nachweisführung den folgenden Punkten mehr Beachtung geschenkt werden sollte.

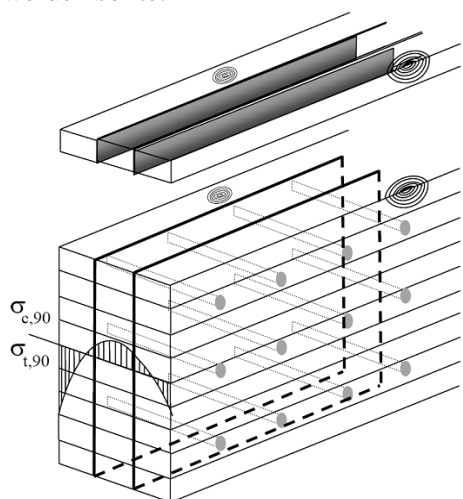


Abb. 4.1: Schematische Darstellung einer Schlitzblechverbindung incl. möglicher Einflüsse



Abb. 4.2: Schub- und Zugbrüche in einer Zugverbindung aufgrund Blockschersversagens

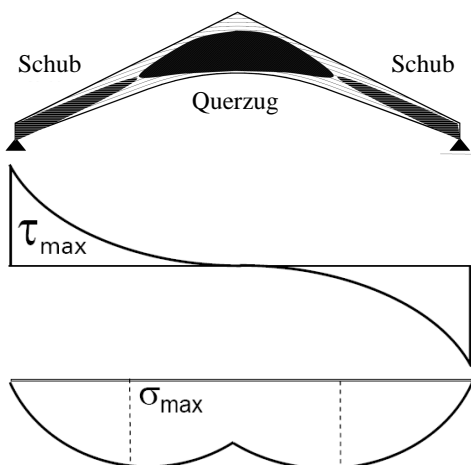
Verbindungen mit hoher Tragfähigkeit (z. B. Schlitzblechverbindungen mit Stabdübeln) benötigen eine bestimmte Anschlussfläche (siehe [Abb. 4.1](#)). Je größer diese Fläche ist, desto höher wird die Rotationssteifigkeit der Verbindung sein. Dies führt dazu, dass in Abhängigkeit der Lasteinleitung der äußeren Kräfte, von der Verbindung nicht nur Normalkräfte, sondern auch Biegemomente zu übertragen sind. Die Beanspruchung der Verbindungsmittel aufgrund dieser Biegemomente ist nicht zu unterschätzen und sollte abgeschätzt werden, indem die Verbindung nicht als gelenkige Verbindung, sondern mit einer Rotationssteifigkeit versehen, modelliert wird.

Die im vorigen Abschnitt erläuterten Auswirkungen geringer Holzfeuchte treffen auch hier zu. Die Querkzugspannungen aus dem Schwindvorgang (siehe schematische Darstellung in [Abb. 4.1](#)) reduzieren die übertragbaren Schubspannungen entlang der äußeren Verbindungsmittelreihen sowie die übertragbaren Spannungen aus Spaltzugwirkung der Verbindungsmittel. Dies kann zu einer beträchtlichen Reduktion der übertragbaren Lasten führen bzw. die Wahrscheinlichkeit eines Blockscherversagens (siehe [Abb. 4.2](#)) erhöhen.

Zusätzlich kann im Bereich der Schlitzblechverbindungen ein negativer Sortiereffekt auftreten, da der Querschnitt in mehrere, schmalere Querschnitte aufgeteilt wird (siehe schematische Darstellung in [Abb. 4.1](#)) und die Auswirkung von Holzfehler somit größer wird. Es sollte deshalb in Erwägung gezogen werden, die für Nachweise im Nettoquerschnitt anzusetzende Festigkeitsklasse in solchen Fällen um eine Klasse zu reduzieren.

## 4.2 Spannungsverteilung in Satteldachträgern

Es ist hinlänglich bekannt, dass Satteldachträger im Krümmungsbereich Querkzugspannungen aus Umlenkkräften ausgesetzt sind. Zugehörige Schadensfälle, vor allem von unverstärkten Satteldachträgern, sind ausreichend dokumentiert. In mehreren Fällen von am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion untersuchten Bauwerken war es zu einem kompletten Durchreißen des Trägers von Auflager zu Auflager gekommen (siehe [Abb. 4.4](#)), was in manchen Fällen einen KomplettEinsturz verursachte.



*Abb. 4.3: Schematische Darstellung einer Schlitzblechverbindung incl. möglicher Einflüsse*



*Abb. 4.4: Schub- und Zugbrüche in einer Zugverbindung aufgrund Blockscherversagens*

Ein solches Durchreißen kann nur auftreten, wenn ein Querkzugversagen im Krümmungsbereich in ein Schubversagen in den äußeren Bereichen übergeht. Dies ist jedoch möglich, da Satteldachträger auf



Biegung optimierte Bauteile darstellen, die in Folge dessen in den Auflagerbereichen sehr hohen Schubspannungen ausgesetzt sind (siehe schematische Darstellung in [Abb. 4.3](#)). Die beiden Spannungen, die sich z. T. überlagern, führen gemeinsam zu einer hohen Ausnutzung des Trägers über seine komplette Länge. Dieser Sachverhalt erfordert die besondere Beachtung der Auswirkungen feuchteinduzierter Spannungen sowie erlaubter Risstiefen.

### 4.3 Sekundärtragwerke: Robustheit und Kollapsverhalten

Werden Tragsysteme für Sekundärtragwerke vor dem Hintergrund ihres Lastabtragungsverhaltens verglichen, so werden Durchlaufsysteme wie z. B. Koppelpfettensysteme hervorgehoben, da sie aufgrund ihrer geringeren maximalen Biegespannungen größere Achsabstände bei gleichbleibenden Spannweiten und Querschnitten ermöglichen. Ausführende Firmen bevorzugen die gleichen Systeme, da ihre Verwendung den Bauprozess beschleunigt.

Vergleicht man diese Systeme jedoch vor dem Hintergrund von Robustheitsanforderungen, so werden sich Durchlaufsysteme als kritischer darstellen als Einfeldsysteme [\[5\]](#).

Konstruktionsregeln für Robustheit fordern eine Unempfindlichkeit gegen lokales Versagen und die Vermeidung eines progressiven Kollapses. Dies wird z. B. durch den außergewöhnlichen Lastfall „Ausfall eines Traggliedes“ (= „Stabausfall“) nachgewiesen. In Tragwerken mit einem statisch bestimmten Sekundärtragwerk wird der Ausfall eines Traggliedes (Haupt- oder Nebenträger) nicht dazu führen, dass weitere als die direkt in das lokale Versagen eingebundenen Tragglieder überbeansprucht werden. Durchlaufsysteme werden (aufgrund ihrer Redundanz und höheren Steifigkeit) im Fall eines versagenden Bauteils ihre Lasten auf angrenzende Tragglieder weiterleiten.

Viele Veröffentlichungen zur Robustheit führen die Möglichkeit der Lastweiterleitung als erstrebenswert an. Auf der anderen Seite zeigen neuere Untersuchungen, wie die im zweiten Abschnitt dargestellte, dass die meisten Schäden an Tragwerken nicht auf zufällige Ereignisse wie z. B. eine zufällig auftretende Materialschwäche zurückzuführen sind, sondern auf systematische Fehler. Tragwerke sind üblicherweise aus sich wiederholenden Tragelementen zusammengesetzt, welche durch vergleichbare Konstruktionsprinzipien miteinander verbunden werden. Diese Systematik impliziert, dass ein in der Planungs- oder Konstruktionsphase gemachter Fehler sich höchstwahrscheinlich in allen identischen Tragelementen wiederholt.

Tragwerke mit redundanten Sekundärtragwerken, die solche systematischen Fehler beinhalten, werden einer größeren Lastweiterleitung nach dem Versagen eines Bauteils nicht standhalten können. Dies bedeutet, dass sie anfälliger gegenüber einem progressiven Versagen sind. Statisch bestimmte Sekundärtragwerke sind unter diesem Gesichtspunkt günstiger, es sollte jedoch ein besonderes Augenmerk auf eine sachgemäße konstruktive Durchbildung der Verbindungen gelegt werden.

### 4.4 Wartungsfreundlichkeit, Überprüfbarkeit

Im Laufe der vom Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion durchgeführten Tragwerksuntersuchungen stellte sich heraus, dass der Möglichkeit der Wartung bzw. der Zugänglichkeit der Bauteile zum Zwecke der Untersuchung häufig keine oder nicht genügend Beachtung geschenkt worden war.

Beispiele sind z. B. die Zugänglichkeit von Tragelementen hinter abgehängten Decken mittels Wartungsöffnungen und gegebenenfalls Laufstegen. Auch die Bauteile eines Kastenträgers, aus statischer Sicht ein sehr effizientes System, sind aufgrund seiner Form nicht komplett einsehbar. Da die Auswir-

kungen der sich im inneren des Bauteils einstellenden Umgebungsbedingungen (Mikroklima) so nicht direkt überprüfbar sind, ist dieser vor diesem Hintergrund als kritisch zu bewerten.

Der Tragwerksplaner sollte in seiner Bauwerksdokumentation bereits klare Angaben zu Wartung und Instandhalten machen. Dies beinhaltet die Zugänglichkeit sowie die Angabe der besonders zu überwachenden Tragelemente und gegebenenfalls dabei durchzuführende Messungen. Ein mögliches Vorgehen zur Überprüfung der Bauwerke selbst wird in folgendem Abschnitt vorgestellt.

## 5 Überprüfung von weitgespannten Holztragwerken

Der Einsturz der Eishalle Bad Reichenhall verdeutlichte, dass der Eigentümer / Verfügungsberechtigte für den ordnungsgemäßen Bauunterhalt sowie die Gebäudesicherheit verantwortlich ist. So steht in Art. 3 Abs. 1 Satz 1 der Bayerischen Bauordnung (BayBO), dass bauliche Anlagen so instand zu halten sind, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden. Seit jeher trägt daher der Eigentümer/ Verfügungsberechtigte die Verantwortung für die ordnungsgemäße Instandhaltung, d. h. Wartung, Überprüfung und ggf. Instandsetzung sowie die Verkehrssicherheit der baulichen Anlage [6].

Um dieser Verantwortung nachzukommen, kann der (häufig fachfremde) Eigentümer / Verfügungsberechtigte auf fachkundige Personen zurückgreifen, die das Bauwerk in angemessenen Intervallen untersuchen und es damit ermöglichen, das geforderte Tragsicherheitsniveau über die angestrebte Lebensdauer aufrechtzuerhalten. Die folgenden Abschnitte sollen Hinweise und Anregungen geben, um dieser Aufgabe wirtschaftlich und zuverlässig nachzukommen.

### 5.1 Ersteinstufung der Tragwerke in Prioritäten

Sollten in einem bestimmten Zeitraum mehrere Bauwerke zu untersuchen sein, so bietet es sich zum Zwecke einer besseren Disponierung von Personal (für die Untersuchung aber auch für die Durchführung einer potentiellen Sanierung) an, die Bauwerke hinsichtlich der Untersuchung in Prioritäten einzuteilen. Im Rahmen der Untersuchung der Holztragwerke der Stadt München wurde die Priorisierung unter zwei Schwerpunktsetzungen durchgeführt:

- Tragsystem
- Schadenskonsequenz

Die folgenden Prioritäten wurden aufgestellt (siehe [Tab. 5.1](#)).

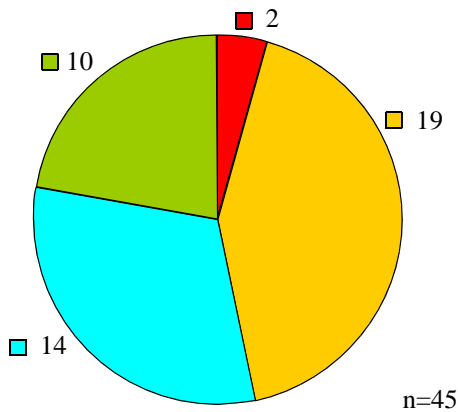
*Tab. 5.1: Einstufung der Holztragwerke der Stadt München in Prioritäten der Überprüfung*

Priorität	Zeitraum	Beispiele
I	Überprüfung und potentielle Ertüchtigungsmaßnahmen vor dem nächsten Schneefall	Gebäude: Versammlungshallen und Sportstätten Bauteile: Fachwerkträger, Nagelplattenbinder, sowie gekrümmte Träger und Satteldachträger
II; III	Überprüfung vor dem nächsten Winter; Ertüchtigungsmaßen. n. B.	Tragwerke kürzerer Spannweite, steile Dachtragwerke, Sekundärtragwerke aus Holz

in Vergleich der [Abb. 5.1](#) und [Abb. 5.2](#) zeigt die Sinnhaftigkeit einer solchen Priorisierung. Im Falle der Untersuchung der Holztragwerke der Stadt München war der Großteil der nach Abschluss der Bau-

werksuntersuchungen als kritisch eingestuftem Tragwerke im Vorfeld der Untersuchungen der ersten Priorität und damit der ersten Überprüfungsrunde zugeordnet worden. Von 45 Tragwerken in Priorität I waren 47 % zu ertüchtigen, wohingegen von den Tragwerken der Prioritäten II und III nur noch 14 % zu ertüchtigen waren.

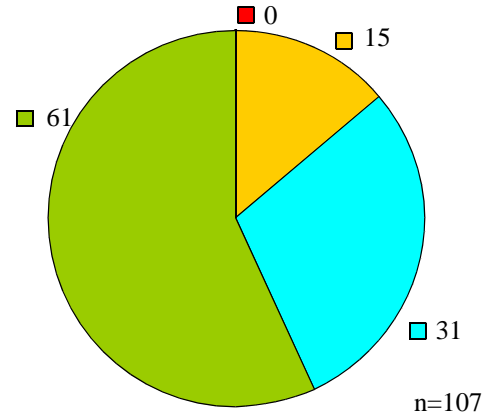
**Holztragwerke Stadt München  
Priorität I**



- Kategorie I - Sofort Sperren
- Kategorie II - Ertüchtigung noch vor Winter
- Kategorie III - geringfügige Sanierung
- Kategorie IV - keine Sanierung notwendig

*Abb. 5.1: Holztragwerke der Stadt München - Priorität I*

**Holztragwerke Stadt München  
Priorität II+III**



- Kategorie I - Sofort Sperren
- Kategorie II - Ertüchtigung noch vor Winter
- Kategorie III - geringfügige Sanierung
- Kategorie IV - keine Sanierung notwendig

*Abb. 5.2: Holztragwerke der Stadt München - Priorität II+III*

Für die Erstüberprüfung der jeweiligen Tragwerkes bietet es sich an, einen entsprechenden Leitfaden zu Rate zu ziehen. Beispielhaft angegeben ist hier der "Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz"[7], erstellt von einem Gremium aus fünf Fachleuten (Blaß, Brüninghoff, Kreuzinger, Radovic und Winter) und herausgegeben von der Studiengemeinschaft Holzleimbau. Er umfasst die in [Tab. 5.2](#) aufgeführten Schritte.

Für den mit der Untersuchung beauftragten Ingenieur ergeben sich in der Realität häufig erste Probleme mit dem Fehlen von Planunterlagen und statischen Berechnungen, was nicht selten eigene Messungen vor Ort sowie die Neuberechnung wichtiger Tragwerksteile bedingt. In Abhängigkeit der Entfernung des zu untersuchenden Bauwerks vom eigenen Arbeitsort bietet es sich an, die Untersuchungen vor Ort in zwei Teilen durchzuführen, da eine erste Begehung sehr nützlich sein kann, um einen Überblick zu gewinnen und das Vorgehen für die handnahe Untersuchung sowie dafür notwendige Werkzeuge, Messinstrumente und Arbeitskräfte festzulegen.

Tab. 5.2: Auszüge aus dem "Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz" [7]

Schritt	Beschreibung	Aufgaben (auszugsweise)
1	Sichtung der Unterlagen zum Tragwerk	Plausibilität der statischen Berechnung und Ausführungspläne Prüfberichte; Übereinstimmungsnachweise Übereinstimmung der wesentlichen Bauteile mit Normen und Zulassungen Übereinstimmung des Tragwerks mit den Konstruktionsunterlagen Informationen zu z. B. Verklebung (Leimbuch) und Montage
2	Bestimmung der Gebäudenutzung	Nutzung des Gebäudes / Umnutzung Zuordnung zu einer Nutzungsklasse im Hinblick auf die klimatischen Beanspruchungen im Gebäude Anzunehmende Einwirkungen wie Eigengewicht und Nutzlasten im Hinblick auf die Gebäudenutzung
3	Feststellung von baulichen Veränderungen	Vergleich von Planung und aktuellem Stand Änderungen (Gründach, Lüftung, Wärmedämmung, ...) Nachträgliches Schließen offener Gebäude Nachträgliche Durchbrüche, nachträglich angehängte Lasten
4	Überprüfung der Geometrie des Gebäudes	Inaugenscheinnahme zur Feststellung von Überhöhungen und Verformungen Lasermessung zur Feststellung von Durchbiegungen und Verformungen Messung von Verwölbungen und Schrägstellungen mittels Richtlatte
5	Handnahe Inaugenscheinnahme	Verbindungen (fester Sitz, Anzahl der Verbindungsmittel) Wasserflecken (Feuchtequelle; Zustand von Holz und Verklebung; Feuchtemessung in mehreren Tiefen) Entwässerung (beheizte Rohre und Rinnen; verstopfte Rohre; Notabläufe) Pilze, Korrosion metallischer Bauteile Verfärbungen; Klangänderungen beim Abklopfen des Holzes Oberflächenbehandlung bei Bauteilen im Freien (Wirksamkeit der Oberflächenbehandlung)
6	Feststellen von Rissen	Rissaufnahme nach Tiefe, Breite, Länge, Anzahl und Verteilung; Dokumentation Bei Rissen von mehr als 90 mm Tiefe oder $b/6$ bzw. $b/8$ (bei Querkzug) sollte eine Fachmann (s. Kap. ) eingeschaltet werden Holzfeuchtemessung mit ausreichend langen, isolierten Elektroden in unterschiedlichen Tiefen; Dokumentation
7	Bauphysikalische Randbedingungen	Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (Anschlüsse) Bauteilfeuchte Überprüfung des Klimas im Gebäude

Falls notwendig, können die eingehenden Überprüfungen mit Materialuntersuchungen gekoppelt werden. Zu diesen gehören z. B. Scherprüfungen an Bohrkernen zur Bestimmung der Qualität der Klebefuge oder Bohrwiderstandsmessungen um die Tiefe von biologisch geschädigten Bereichen zu bestimmen. Ein zu erstellendes Gutachten sollte mindestens die folgenden Punkte beinhalten:

- kurze Beschreibung von Gebäude und Tragwerk
- Angabe der vorhandene Dokumente
- Untersuchungen vor Ort (inkl. Bilddokumentation)
- Beurteilung und Schlussfolgerungen (Relevanz der Schäden für die Tragsicherheit)
- Richtlinien für Ertüchtigungs- / Verstärkungsmaßnahmen
- Empfehlungen für zukünftige Überprüfungen und deren Intervalle

## 5.2 Weiterbetrieb vor Ertüchtigung, Schneelastkataster

Sollte die Bauwerksüberprüfung ergeben, dass die vollständige Tragsicherheit nur durch Verstärkungs- / Ertüchtigungsmaßnahmen wiederhergestellt werden kann und nicht sichergestellt sein, dass diese Maßnahmen vor dem nächsten Schneefall vollendet werden können, so bietet es sich im Falle mehrerer derartiger Tragwerke an, ein sog. Schneelastkataster einzurichten. Dieses listet die betroffenen Tragwerke und die zugehörige, bis zur Vollendung der Ertüchtigungsmaßnahmen maximal erlaubte Schneelast auf.

Zusätzlich sind in einem solchen Fall „Referenzdächer“ zu bestimmen, auf welchen die Schneelast zu definierten Zeiten zu messen ist. Diese sollten sich in der Nähe der zu beobachtenden Tragwerke befinden und die zugehörigen Dachformen repräsentieren. Für den Fall, dass die Schneelast auf einem Referenzdach 80 % der zulässigen Schneelast erreicht, ist das betreffende Gebäude zu schließen und der Schnee günstigstenfalls abzuschaufeln. Jedem zu beobachtenden Bauwerk ist dabei eine zuständige Person zuzuweisen, die für die Überwachung und Durchführung dieser Aufgaben verantwortlich ist.

Auch automatisierte Verfahren zur Überwachung einzelner Tragwerke sind möglich, sie erfordern jedoch noch weitere Untersuchungen und Kalibrierungen, z. B. bei der Verwendung von permanenten Durchbiegungsmessungen. Ein entsprechendes Entwicklungsvorhaben wird derzeit noch durch den Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion in Zusammenarbeit mit der Hochschule Karlsruhe und der Stadt Murnau betrieben.

## 5.3 Empfehlungen für zukünftige Bauwerksüberprüfungen

Um auch zukünftig das für das jeweilige Gebäude geforderte Tragsicherheitsniveau zu gewährleisten, sollten für jedes Bauwerk Empfehlungen für zukünftige Überprüfungen aufgestellt werden. Diese sollten, neben der Angabe eines Leitfadens für die Überprüfung, vor allem die im jeweiligen Fall als besonders kritisch ermittelten Elemente enthalten (Angabe der zu überwachenden Elemente, durchzuführende Messungen, ...). Die Festlegung von Überprüfungsintervallen und notwendiger Qualifikation des durchführenden Fachpersonals kann z. B. auf Basis der „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer / Verfügungsberechtigten“ [6] geschehen, die von der Bayerischen Obersten Baubehörde herausgegeben wurden. Diese teilen bauliche Anlagen (aller Baustoffe) vor dem Hintergrund des Gefährdungspotentials und der Schadensfolgen ein (siehe Tab. 5.3). Veröffentlichungen mit vergleichbaren Angaben ([8] – [10]) sind in der Literaturliste gegeben.

**Tab. 5.3:** Einteilung von baulichen Anlagen entsprechend den „Hinweisen für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer / Verfügungsberechtigten“ [6]

Diese Einteilung ermöglicht es dem Eigentümer, die häufig wiederkehrenden Begehungen selbst durchzuführen. Für die Sichtkontrolle und die eingehende Überprüfung sollte er fachkundige und besonders fachkundige Personen hinzuziehen. Fachkundige Personen sind z. .B. Bauingenieure oder Architekten mit mehr als 5 Jahren Erfahrung in entsprechendem Bereich (Aufstellen von Standsicherheitsnachweisen, technische Bauleitung). Besonders fachkundige Personen sind z. B Prüfingenieure, öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige und Bauingenieure mit mehr als 10 Jahren Erfahrung in entsprechendem Fachbereich (hier: Holzkonstruktionen).

## 5.4 Bauwerksbuch

Um zukünftige Überprüfungen zu erleichtern und eine einheitliche Dokumentation zu gewährleisten bietet es sich an, für jedes Gebäude ein sog. Bauwerksbuch aufzustellen. Das Bauwerksbuch sollte alle notwendigen Informationen beinhalten, die die verantwortliche Person und zukünftige Prüfer benötigen. Es kann folgenden Aufbau haben:

*Tab. 5.3: Beispielhafter Aufbau des Bauwerksbuches*

1	Allgemeines
2	Aufstellungsdaten (Architekt, Fachingenieure, Prüfingenieur, Baufirmen, ....)
3	Bauwerksbeschreibung und Bauwerksskizzen (Positionsplan, Baumaterialien und Querschnitte)
4	Aufbauten / Lastzusammenstellung / Nutzlasten (z. B. Schneelasten)
5	Standsicherheitsnachweis (verwendete Normen (Ausgabe), Stabwerksprogramme, ....)
6	Baugrund (z. B. Grundwasserstand)
7	Baugrund (z. B. Grundwasserstand)
8	Materialien / Bauteile (Materialeigenschaften, Zulassungen, ....)
9	Änderungen / Umbauten / Instandsetzungen (z.B. Durchbrüche, Gründach, Lüftung, Wärmedämmung, ...)
10	Sanierungsmaßnahmen / Prüfungs- und Überwachungsanweisungen (und -Intervalle)
11	Bauwerksprüfungen (Prüfer, Geräteinsatz, Besonderheiten)
12	Planunterlagen (vorhandene Dokumente, Datum des Dokuments)
13	Ausfertigungen (Aufsteller, Kopien an ...)
14	Inhaltsverzeichnis
11	Bauwerksprüfungen (Prüfer, Geräteinsatz, Besonderheiten)
12	Planunterlagen (vorhandene Dokumente, Datum des Dokuments)
13	Ausfertigungen (Aufsteller, Kopien an ...)
14	Inhaltsverzeichnis

Für Bestandsgebäude ist das Bauwerksbuch ein gutes Mittel um zukünftige Überprüfungen zu vereinfachen und um eine durchgängige Dokumentation zu gewährleisten, selbst für den Fall des Wechsels der verantwortlichen Personen. Für Bestandsgebäude sollte es in Verbindung mit einer eingehenden Überprüfung aufgestellt werden und alle verfügbaren Informationen enthalten. Sollten notwendige Informationen (z. B. Planunterlagen, statische Berechnungen) nicht mehr vorhanden sein, ist mit dem Eigentümer abzustimmen, welche Informationen neu zu erstellen sind. Für Neubauten wird empfohlen, dass das Bauwerksbuch vom Tragwerksplaner erstellt wird. Das Bauwerksbuch kann nur vollwertig nutzbringend sein, wenn es vom Eigentümer und zukünftigen Prüfern im Sinne eines „Bauwerkstagebuches“ fortgeführt wird.

## 6 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Schadensfälle im zweiten Abschnitt dieses Beitrages verdeutlicht, dass ein Großteil der erfassten Schäden auf menschliches Versagen zurückzuführen ist. Weitere Schadensanalysen ([1] – [3]) lassen sinngemäße Feststellungen zu. Menschliches Versagen lässt sich assoziieren mit Fachwissen und Qualität der Arbeit. Fachwissen ist eine Qualität an sich. Und Qualität braucht Zeit.

Der Werkstoff Holz, unter Anerkennung des Standes der Technik bearbeitet und eingebaut, war in den seltensten Fällen die Ursache für Schäden. Gleiche gilt für hohe Schneelasten, die als Auslöser, nicht jedoch als Ursache für erfasste Schäden gelten können.

Der Einsturz der Eishalle Bad Reichenhall verdeutlichte, dass der Eigentümer / Verfügungsberechtigte für den ordnungsgemäßen Bauunterhalt sowie die Gebäudesicherheit verantwortlich ist. Der fachlich und zeitlich korrekte Bauunterhalt ist eine Grundvoraussetzung für ein gleichbleibendes Tragverhalten und Sicherheitsniveau über die Lebenszeit des Bauwerks. In vielen der untersuchten Fälle war diese Anforderung nicht erfüllt, was zu einer abnehmenden Tragsicherheit und einem erhöhten Schadensrisiko führte. Um solche Fehler und damit das Auftreten von Schäden zu verringern, erweist es sich als sehr vorteilhaft, Leitfäden und Intervalle zur Bauwerksüberprüfung einzuführen. Das Bauwerksbuch, welches ein Tragwerk über seine Lebenszeit begleitet, bietet die Möglichkeit diese Zielsetzungen an das betreffende Bauwerk anzupassen und ist deshalb ein gutes Hilfsmittel um die oben genannten Zielsetzungen für jedes Tragwerk zu erreichen.

## 7 Danksagung

Den Ingenieurbüros Prof. Steck, Dr. Linse, PG Dittrich, Bernhard, Dr. Behringer, Dr. Schütz, Dr. Burger, Konstruktionsgruppe Bauen and Bauart Konstruktion sei für die Überlassung ihrer Daten zum Zwecke der Auswertung für das vorgestellte Projektes gedankt.

---

## 8 Literatur

- [1] Blaß, H.-J., Frese, M.: *Bauwerksuntersuchungen – Ergebnisse und Erkenntnisse*. In: Tagungsband 13. Internationales Holzbau-Forum, Garmisch, 2007, 12 S.
- [2] Frühwald, E., Serrano, E., Toratti, T., Emilsson, A., Thelandersson, S.: *Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?* Report TVBK-3053., Div. of Struct. Eng., Lund University, 2007, 270 S.
- [3] Bundesministerium für Verkehr: *Schäden an Brücken und anderen Ingenieurbauwerken*. Dokumentation, Dortmund: Verkehrsblatt-Verlag 1994, 440 S.
- [4] Dietsch, P., Mestek, P., Merk, M., Winter, S.: *Structural safety and rehabilitation of connections in wide-span timber structures – two exemplary truss systems*. WCTE 2008 Conference Proceedings, Miyazaki, Japan, 2008, 8 S.
- [5] Dietsch, Winter, S.: *Robustness Considerations for the Design of Secondary Structures*. WCTE 2010 Conference Proceedings, Riva del Garda, Italien, 2010, 8 S. (eingereicht)
- [6] Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren: *Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten*. München, 2006, 11 S.
- [7] Blaß H.-J., Brüninghoff, H., Kreuzinger, H., Radovi'c'c, B., Winter, S.: *Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz*. Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal, 4 S.
- [8] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten (RI-ERH-ING)*. Berlin, 2007
- [9] VDI-Richtlinie 6200: *Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure 2009
- [10] Toratti, T. et al.: *Quality of timber construction – guidance for buildings and load bearing structures*. COST Action E55, 1st Workshop, Technische Universität Graz, 2007, 68 S.