



*Dr. Stefan Winter  
Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
TU München,  
München, Deutschland*

## **Aktuelle Schäden an Holzkonstruktionen - Bestandsaufnahme**

**Evaluation of load-bearing structures in non-residential buildings - stocktaking**

**Valuazioni delle strutture portanti di padiglioni – un inventario**

**Dokument in Deutsch**

## **Gemeinsame Vorbemerkung der Autoren**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heinrich Kreuzinger**  
**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter**

Die Schadensereignisse des Jahres 2006 und die nachfolgenden Untersuchungen haben eine Vielzahl neuer Erkenntnisse gebracht - aber auch eine Reihe neuer Fragen aufgeworfen. Die Fachöffentlichkeit ist daher an einer umfassenden Information interessiert, die offenen Fragen sollen auf möglichst breiter Basis diskutiert werden. Die Verfasser wurden daher von verschiedenen Seiten und Veranstaltern gebeten, über ihre Erkenntnisse zu berichten.

Wir bitten daher um Verständnis, dass zur Sicherstellung einer gleichlautenden Information der unterschiedlichen Teilnehmerkreise gleichartige Veröffentlichungen und Vorträge erfolgen (z. B. an den Karlsruher Holzbautagen 2006 und an dieser Veranstaltung).

Wir haben festgestellt, dass Schäden vor allem bei Bauwerken aufgetreten sind, bei denen schon in der Phase der Planung und Herstellung nicht alles den Vorschriften und Spielregeln entsprach. Meist war auch nicht nur ein Grund die Ursache für einen Schaden sondern es gab mehrere Gründe. Die Schlussfolgerung nach der Bestandsaufnahme kann deshalb nur lauten:

Qualität sichern !

Alle am Bau Beteiligten müssen ihre Arbeit sorgfältig und gewissenhaft ausführen. Jeder muss an seiner Stelle Verantwortung tragen. Die oft beobachtete Verweigerung Verantwortung zu übernehmen ist hier nicht nur fahrlässig, sondern kann auch zu schwerwiegenden Folgen führen.

An der Entstehung eines Baues mitzuwirken ist mehr als ein Job, es ist ein Beruf, der begeistern kann.

# Aktuelle Schäden an Holzkonstruktionen - Bestandsaufnahme

## 1 Einleitung

Das Jahr 2006 begann mit einigen Ereignissen, die das Bauwesen nachhaltig erschütterten. Deutschland war zunächst durch den Einsturz der Eissporthalle Bad Reichenhall betroffen. Der Einsturz dieses weitgespannten Holztragwerkes lenkte gleichzeitig die besondere Aufmerksamkeit auf Holzkonstruktionen. Kurz nach dem Unglück von Bad Reichenhall bzw. nahezu zeitgleich fanden eine Reihe weiterer Einstürze von weitgespannten Tragwerken statt. In Deutschland kamen dabei – Gott sei Dank – keine weiteren Menschen ums Leben, im Nachbarland Polen forderte jedoch der Einsturz der Messehalle in Kattowitz, einer Stahlkonstruktion, weitere Todesopfer. Die tragischen Ereignisse schreckten sowohl die Öffentlichkeit als auch die Betreiber von Hallentragwerken auf und führte in der Folge zu einer Vielzahl von Überprüfungen weitgespannter Tragwerke. Nachfolgend werden Ursachen von Einstürzen bzw. Schäden an weitgespannten Holztragwerken genannt, die bei der Bearbeitung einer Vielzahl von Schadensfällen (auch vor Jahresbeginn) und der Bearbeitung des Gutachtens zur Eissporthalle Bad Reichenhall besonders auffällig waren.

Durch die tragischen Ereignisse zu Jahresbeginn wurde der Öffentlichkeit und den Betreibern bewusst, dass auch Gebäude im Grundsatz eine technische Anlage sind und wie alle technischen Anlagen ausreichender Wartung und Überprüfung und ggfls. Instandsetzung bedürfen. In einem durch die TU München koordinierten Projekt wurden bisher beispielsweise 45 Tragwerke, teilweise in Mischbauweise, untersucht. Von diesen 45 Tragwerken erfordern zwei Tragwerke sofortige Maßnahmen (Sperrung und Ersatzvornahme), bei 19 Tragwerken wurde eine Sanierung noch vor dem Winter bzw. entsprechende Beschränkungen der Schneelasten empfohlen, bei 14 der Tragwerken sind kleinere Reparaturen notwendig und 10 Tragwerken zum Teil neueren Baudatums wurden keinerlei Mängel oder Schäden festgestellt.

Dieses Ergebnis zeigt, dass zwar die Bemerkung eines renommierten Kollegen, dass „die Bundesrepublik bezüglich ihres Gebäudebestandes auf dem Weg in die DDR vor der Wende ist“, sicher überzeichnet ist. Das Ergebnis zeigt aber auch, dass dringender Handlungsbedarf durchaus gegeben ist.

Der Einsturz der Eissporthalle in Bad Reichenhall

Nachfolgend wird der zwischen den Hauptgutachtern zum Einsturz der Eissporthalle in Bad Reichenhall (TU München und TÜV Süd) und der Staatsanwalt in Traunstein vereinbarte Presstext bezüglich der technischen Sachverhalte unverändert wiedergegeben. Der Verfasser bittet um Verständnis, dass mit Blick auf das laufende Verfahren keine abweichende Texte zu veröffentlichen sind. Die einzelnen Punkte der Presseerklärung werden daher nur durch einige erläuternde Bilder ergänzt.

### **„Feststellungen der Sachverständigen:**

*Die vorgelegten Gutachten der beiden Hauptgutachter der Technischen Universität München und des TÜV-Süd basieren auf umfangreichen Untersuchungen vor Ort unmittelbar nach dem Schadenseintritt sowie nachfolgenden Untersuchungen an sichergestellten Bauteilen. Die Sachverständigen haben u. a. Teile aus unbeschädigten Resten des Tragwerks entnommen und die charakteristischen Festigkeiten der verwendeten Einzelbauteile ermittelt.*

Die beiden Hauptgutachter kommen dabei im Wesentlichen zu den gleichen Ergebnissen. Insbesondere wird übereinstimmend festgestellt, dass der Einsturz des Dachtragwerkes der Eissporthalle Bad Reichenhall nicht auf eine Einzelursache, sondern auf die Verkettung mehrerer Mängel und Schäden zurückzuführen ist.

Im Einzelnen sind die Sachverständigen zu folgenden Feststellungen gelangt:

### 1. Bauweise

Die in den Jahren 1971/1972 errichtete Eissporthalle Bad Reichenhall war ein Bauwerk mit ca. 75 m Länge und ca. 48 m Breite. Das Dach wurde durch 2,87 m hohe Hauptträger getragen, die in Holzbauweise als Kasten erstellt waren. Dabei handelte es sich um eine Sonderkonstruktion. Die Kastenträger waren mit Ober- und Untergurten aus Brettschichtholz sowie aus seitlichen Stegplatten in so genannter „Kämpfstegbauweise“ hergestellt, wobei die 48 m langen Gurte aus drei 16 m langen Teilen bestanden, die mit so genannten Universal-Keilzinkungen gestoßen waren. Für die Kämpfstegbauweise lag eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vor, die jedoch die Bauhöhe der daraus hergestellten Träger auf 1,20 m beschränkte.



Abbildung 1: Eishalle in Bad Reichenhall



Abbildung 2: Teilansicht des eingestürzten Tragwerks

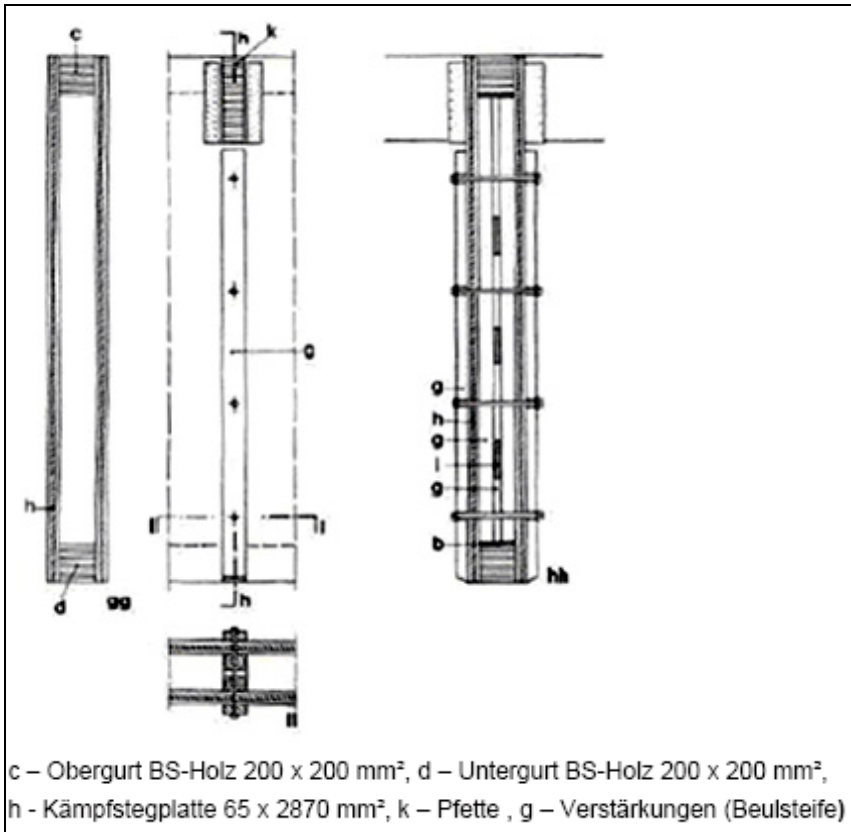


Abbildung 3: Querschnitt der Träger der Eissporthalle (entnommen aus [1])

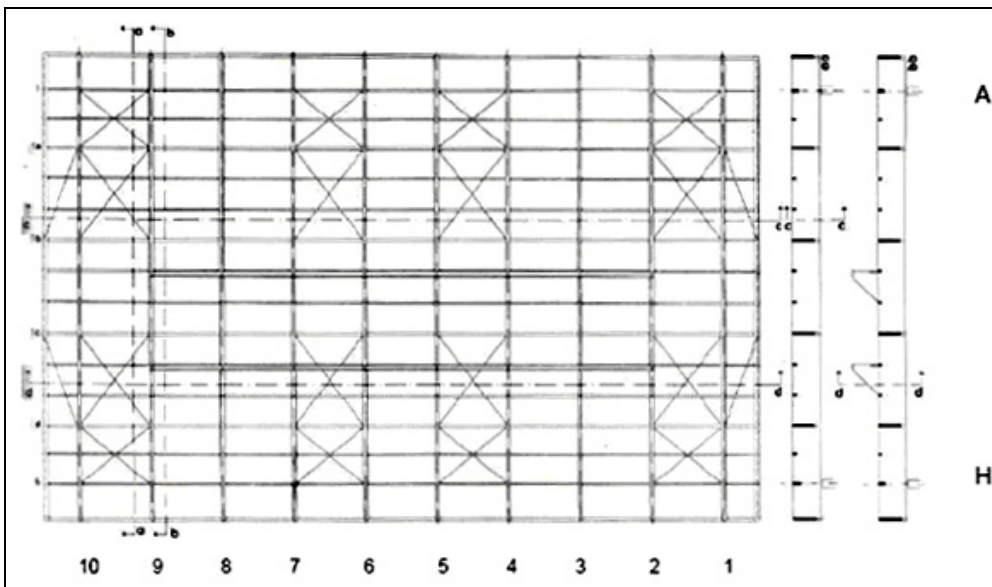


Abbildung 4: Grundriss der Halle und Seitenansicht der Träger (entnommen aus [1])

## 2. Abweichung von der zugelassenen Bauweise

Bei der Eissporthalle in Bad Reichenhall hat man bei Planung und Ausführung gegen wesentliche Regelungen der allgemeinen Zulassung für die Kämpfbauweise verstoßen und den damals vorliegenden Erfahrungsbereich verlassen. Insbesondere wurde die maximale Trägerhöhe von 1,20 m laut Zulassung bei der Bauweise der Eissporthalle Bad Reichenhall mit einer Trägerhöhe von 2,87 m Höhe weit überschritten. Eine beantragte Erweiterung der Zulassung auf die geplante Bauweise mit Kastenträger ohne Höhenbegrenzung war im Jahr 1971 vom Institut für Bautechnik nicht erteilt worden.

Für die Ausführung der Sonderkonstruktion wäre deshalb eine so genannte „Zustimmung im Einzelfall“ der Obersten Baubehörde des Freistaates Bayern erforderlich gewesen. Entsprechend bisherigen Erkenntnissen wurde eine solche Zustimmung durch die Baubeteiligten nicht beantragt und lag nicht vor.



Abbildung 5: Kämpfstegträger mit  $h = 2,87 \text{ m}$

## 3. Keine Prüfung der statischen Berechnung

Eine von einem Prüfenieur geprüfte statische Berechnung des Daches der Eissporthalle konnte bislang trotz intensiver Recherchen nicht gefunden werden. Ohne eine solche geprüfte Statik hätte das Bauwerk nicht errichtet werden dürfen.

## 4. Keine ungewöhnliche Schneelast

Die in der statischen Berechnung angesetzte maximale Schneelast von  $150 \text{ kg/qm}$  war zum Unfallzeitpunkt nicht überschritten. Eine rechnerische Überbeanspruchung aufgrund äußerer Lasten zum Zeitpunkt des Einsturzes lag damit unter Voraussetzung der üblichen Bauwerksicherheiten nicht vor und das Gebäude hätte deshalb aufgrund der vorhandenen Schneelast nicht einstürzen dürfen.

## 5. Fehler in der statischen Berechnung

Die Überprüfung der nach bisherigen Erkenntnissen nicht geprüften statischen Berechnung ergab, dass zwei nennenswerte Fehler bzw. Versäumnisse vorhanden sind. Die Zugspannungen im Schwerpunkt der Gurte wurden nicht nachgewiesen. Hierdurch wurde das Tragverhalten der Gurte zu hoch bewertet. Auch die Schwächung der Konstruktion infolge der Stöße von Gurten und Stegen mit so genannten Universalkeilzinkungen wurde in der statischen Berechnung nicht berücksichtigt. Diese Fehler und Versäumnisse führten zu einer deutlichen Überbewertung des statischen Tragverhaltens der Deckenträger. Somit war die notwendige Bauwerksicherheit von mindestens 2,0 nicht vorhanden.

Die Bauwerksicherheit beinhaltet eine mögliche Überschreitung der Last, die Bauwerksalterung und geringfügige Abweichungen bei Planung und Herstellung. Vergleichsrechnungen der Gutachter unter Verwendung der zum Zeitpunkt der Errichtung der Eissporthalle Bad Reichenhall geltenden technischen Regeln haben gezeigt, dass die rechnerische Sicherheit zum Zeitpunkt der Errichtung der Halle unter Berücksichtigung aller Randbedingungen und Nachweise lediglich in der Größenordnung von etwa 1,5 lag.

## **6. Verwendung von Harnstoffharzklebstoffen**

Die Hauptträger des Dachtragwerks wurden überwiegend unter Verwendung eines Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffes hergestellt. Die Verwendung dieses Klebstoffes für tragende Bauteile war auch nach den damals bestehenden technischen Regelungen nur in einem trockenen Umgebungsklima zulässig.

Nach heutigem Wissensstand sind Harnstoffharzleime für die Verleimung tragender Bauteile in Eishallen nicht geeignet, da sie nicht dauerhaft feuchtebeständig sind. Unbeheizte und nicht klimatisierte Eishallen weisen für feuchteempfindliche Bauteile ein besonders kritisches Klima auf. Die relative Luftfeuchtigkeit in solchen Hallen ist in der Regel sehr hoch. Zudem führt die Wärmeabgabe infolge der Wärmestrahlung zwischen Hallendecke und Eisfläche zu einer Unterkühlung und damit zu einer vermehrten Tauwasserbildung an der dem Eis zugewandten Unterseite der Dachkonstruktion. In Bad Reichenhall kam es zudem zu wiederholten Wassereinbrüchen infolge von Undichtigkeiten an der Dachhaut bzw. im Bereich der Dachentwässerung. Keine nachteiligen Auswirkungen hatte nach übereinstimmender Ansicht der Gutachter hingegen das nachträgliche Schließen der zunächst zweiseitig offenen Halle.

Die heutigen Erkenntnisse über die kritischen Feuchtigkeitsverhältnisse in Eissporthallen waren im Jahr 1972 noch nicht vorhanden, sodass der Einsatz von Harnstoffharzleim zur Verleimung der tragenden Bauteile nicht generell gegen den damaligen Stand der Technik verstieß. Auch nach den zur Bauzeit geltenden technischen Regeln hätte für die Verbindungen zwischen Gurten und Stegen wegen der dicken Klebefugen jedoch anstatt des spröden Harnstoffharz-Klebstoffes ein wesentlich elastischerer Resorzinharzleim verwendet werden müssen.

Durch die über Jahre hinweg auftretende Feuchtebeanspruchung in der Eissporthalle Bad Reichenhall wurden die mit Harnstoffharzklebern ausgeführten Klebeverbindungen der Dachkonstruktion erheblich geschädigt. Dies betraf vor allem die Universalkeilzinkenstöße der Untergurte sowie zum Teil die Generalkeilzinkenstöße der Obergurte und die Verklebung zwischen Gurten und Stegen. An den Universalkeilzinkungen der Untergurte war der Kleber zum Teil so geschädigt, dass er bis in eine Tiefe von 5 cm bis 8 cm keine Klebewirkung mehr hatte.

Die feuchtigkeitsbedingte Schädigung der Klebeverbindungen der Dachkonstruktion stellt eine wesentliche Ursache für den Einsturz der Eissporthalle in Bad Reichenhall dar.

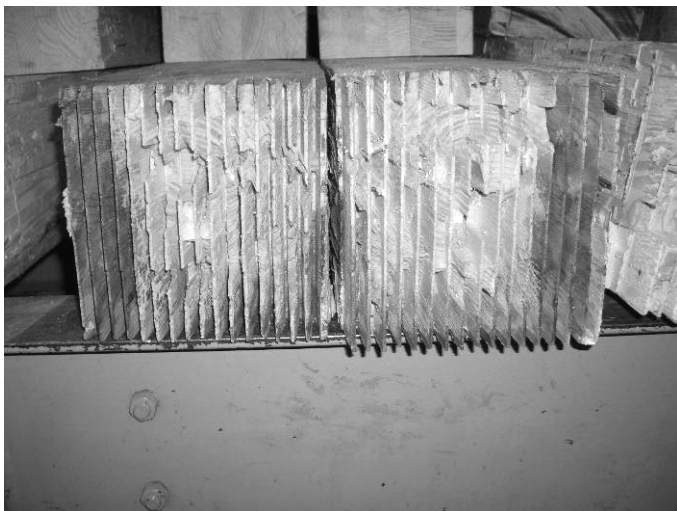


Abbildung 6: Durch Wassereintritt geschädigter Generalkeilzinkenstoß

### 7. Mängel der Konstruktion der Hauptträger

Der Herstellungsvorgang der Kastenquerschnitte der Hauptträger durch Blockverleimung zwischen Stegen und Gurten entsprach nicht den damaligen allgemein anerkannten Regeln der Technik. Ebenso muss die Herstellung der vertikalen Universalkeilzinkenstöße der Stegplatten als schwierig und wenig robust angesehen werden. Die Qualität der Klebstoffugen war unterschiedlich. Hinzu kamen Vorschädigungen der großformatigen Stege aufgrund der wechselnden Feuchtebelastungen.

Diese Konstruktionsmängel waren mit ursächlich für den Einsturz der Halle.



Abbildung 7: Generalkeilzinkenstoß einer Kämpfstegträgerplatte

### 8. Beton-Tragkonstruktion

Demgegenüber sind die vorhandenen Setzungen der Beton-Tragkonstruktion der Eissport-halle, die entlang der südlichen Stützenreihe von der Ost- zur Westseite ca. 10 cm betragen, nicht als schadensrelevant anzusehen. Die daraus resultierenden Verformungen der Dachkonstruktion selbst sind so gering, dass auf der Grundlage von Plausibilitätsvergleichen und -vergleichsrechnungen nicht auf eine zusätzliche Zwangsbeanspruchung der Dachkonstruktion geschlossen werden kann.



## 9. Instandhaltung

*Im Hinblick auf die Instandhaltung des Gebäudes wird festgestellt, dass die Ursachen der immer wieder auftretenden Wassereinträge in das Gebäudeinnere der Eissporthalle (Undichtigkeiten an der Dachhaut) nicht dauerhaft beseitigt wurden und während der Dauer der Hallennutzung kein Renovierungsanstrich der hölzernen Dachkonstruktion erfolgte.*

*Ob derartige Maßnahmen die feuchtigkeitsbedingte Schädigung der Klebeverbindungen der Dachkonstruktion wesentlich verzögert hätten, kann derzeit nicht mit ausreichender Sicherheit beantwortet werden.*

*Eine fachgerechte Überprüfung zur Standsicherheit der Dachkonstruktion ist nicht dokumentiert. Dabei wäre zu berücksichtigen gewesen, dass es sich um eine Sonderkonstruktion handelt. Weiterhin müssen auch vor Jahren schon Anzeichen für eine Schädigung der Verklebungen zwischen Gurten und Stegen sowie an den Universalkeilzinkenverbindungen der Untergurte und große Fugen an den Stegen vorhanden gewesen sein. Dies hätte für einen Fachmann Veranlassung zu einer vertieften Überprüfung des Zustandes der Tragkonstruktion und der diesbezüglichen bautechnischen Unterlagen geboten.*



Abbildung 8: Geschädigte Fuge Steg-Gurt

## 2 Zusammenfassung

*Zusammenfassend sind die Einsturzursachen wie folgt zu beschreiben:*

*Die infolge von Fehlern der statischen Berechnung und konstruktiver Mängel ohnehin zu geringe Bauwerkssicherheit von deutlich weniger als 2,0 wurde über die Standzeit des Gebäudes durch äußere Einflüsse, insbesondere die Verschlechterung der Klebeverbindungen an den Untergurten, stetig weiter reduziert, bis es am 02.01.2006 - ausgelöst durch die Schneelast - zum Einsturz der Halle kam.*

Nach den Erkenntnissen der Sachverständigen versagte einer der drei ostseitigen Hauptträger zuerst. Durch die steifen Querträger wurden die Lasten von dem zuerst versagenden Träger auf benachbarte Träger umgelagert. Diese bereits vorgeschädigten Träger wurden damit ebenfalls überlastet, wodurch das gesamte Dach reiverschlussartig einstürzte.“  
Im Fall der Eissporthalle Bad Reichenhall handelte es sich um ein sogenanntes progressives Kollapsverhalten, d. h. das Versagen eines einzelnen Hauptträgers konnte durch die sehr steife Querträgerkonstruktion infolge der eintretenden Kettenreaktion zum Einsturz des gesamten Hallentragwerks führen.

Zum Einsturz der Eissporthalle in Bad Reichenhall ist besonders zu betonen, dass es sich um eine Sonderkonstruktion handelte, die mit herkömmlichen weitgespannten Brettschicht-holztragwerken in keiner Weise zu vergleichen ist.

### 3 Beobachtungen bei anderen Halleinstürzen bzw. Hallenschäden

Bei den Untersuchungen unterschiedlichster, anderer Hallenkonstruktionen kristallisierte sich eine Anzahl weiterer wesentlicher Schadensursachen heraus:

Die Auswirkungen der jeweiligen Schäden sind dabei höchst unterschiedlich gewesen. Teilweise führten sie zu einem Einsturz oder Teileinsturz der Gebäude, teilweise zu erhöhten Verformungen, zum Teil wurden aber außer dem erscheinenden Rissbild keinerlei negative Veränderungen an der Gesamtkonstruktion verursacht. Letzterer Fall trat insbesondere immer dann ein, wenn die tatsächlich auftretenden Lasten deutlich unterhalb der maximalen Bemessungslasten blieben.

Nachfolgend werden Schäden an Holzkonstruktionen beschrieben. Es ist aber mit Nachdruck festzuhalten, dass bei bekannt gewordenen Einstürzen lediglich in der Hälfte der Fälle eine reine Holzkonstruktion betroffen war bzw. das Versagen in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Werkstoff Holz stand. In allen anderen Fällen waren Hallen aus anderen Materialien (Stahl und Stahl-Beton) betroffen oder der Einsturz einer Holzkonstruktion konnte eindeutig auf reines Stahlversagen zurückgeführt werden.

Ebenso ist festzuhalten, dass in den allerwenigsten Fällen die Bemessungsschneelasten wesentlich überschritten wurden. Wie in Bad Reichenhall kommen Schneelasten allenfalls als Auslöser in Betracht.

#### 3.1 Materialfehler

Bei einigen Hallentragwerken wurden eindeutige Materialfehler, insbesondere bei Brett-schichtholz festgestellt. In einigen wenigen Fällen konnte festgestellt werden, dass die Verklebung von Beginn an unzureichend war. Hier handelt es sich um sehr seltene Ausnahmefälle! Häufiger war bei den Konstruktionen eine auffällige Ringschäle der Lamellen anzutreffen, die in Verbindung mit Schub- oder Querkzugbeanspruchungen schadensauslösend sein können.



Abbildung 9: Beispiel für ringschälige Lamelle

Zusätzlich fanden sich in zwei Fällen heute unzulässige Keilzinken-Lamellenstöße mit sogenannten „Minizinken“ der Länge  $l \leq 7,5$  mm (Abbildung 10), die zum Gesamtversagen der Tragwerke wesentlich beitragen, da der Bruch jeweils von Minizinke zu Minizinke lief und dazwischen ein Schubversagen, in einem Fall begünstigt wiederum durch Ringschäle, eintrat.

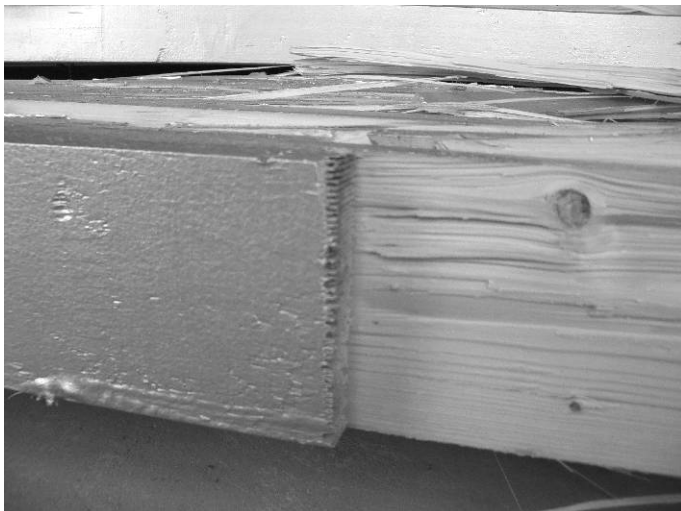


Abbildung 10: Minizinken der Länge  $l \leq 7,5$  mm

Diese Art der Lamellenzinkung wurde allerdings in den 70iger Jahren nur in einem relativ kurzen Zeitraum angewendet, in den 80iger und 90iger Jahren nach den Informationen des Verfasser überhaupt nicht mehr.

Eine wesentliche Schadensursache im Bereich des Brettschichtholzes stellt auf jeden Fall die Verwendung ungeeigneten Klebstoffes dar. Die Untersuchungen nach dem Unglück von Bad Reichenhall aber auch andere wissenschaftlich basierte Untersuchungen [2] sowie die Regelungen der Holzbaubemessungsnormen (spätestens seit DIN 1052:1969) weisen darauf hin, dass Harnstoffharzklebstoffe bei Umgebungsrandbedingungen mit höheren Feuchteeinwirkungen nicht zu verwenden sind. Diese Harnstoffharzklebstoffe sind auch im ausgehärteten Zustand durch Hydrolyse wieder zersetzbar. Je höher das Feuchteangebot, insbesondere tropfbares Wasser, ist und je höher die Temperaturen sind, um so rascher können die Klebstoffugen wesentlich an Festigkeit verlieren. Hinzu kommt, dass bei jahreszeitlich bedingt schwankenden Holzfeuchten die auftretenden Querspannungen infolge der Trocknungsgefälle über die Querschnitte hinweg durch die spröden Harnstoffharzklebstoffugen nicht oder im Vergleich zu anderen Klebstoffen schlechter aufgenommen werden können.

Zusätzlich sind in einigen wenigen Fällen Verklebungsfehler aufgetreten, die nach Auffassung des Verfassers auf eine fehlende Feinabstimmung zwischen Klebstoff, Verklebungsvorgang und Holzart sowie ggfls. Trocknungsfehler zurückzuführen ist. Abbildung 11 zeigt beispielsweise ein delaminierendes Stück Brettschichtholz aus Lärche.



Abbildung 11: Delaminierendes Stück Brettschichtholz aus Lärche

### 3.2 Querzug

Das Holz bezüglich Zug quer zur Faserrichtung nur in sehr geringem Umfang beanspruchbar ist, ist hinreichend bekannt. Fehlende Querzugverstärkungen, insbesondere bei gekrümmten Trägern, sind daher bei den untersuchten Tragwerken eine häufige Schadensursache. Abbildung 5 aus dem Beitrag von Kreuzinger zeigt ein typisches Beispiel.

Querzug entsteht aber auch, wenn durch weit auseinander liegende Verbindungsmittel bzw. Verbindungsmittelgruppen und ein Schwinden des Trägers Querzug indiziert wird. Abbildung 12 zeigt eine entsprechende Situation bei einem Gerbergelenk-Anschluss mit weit auseinander liegenden Verbindungsmittelgruppen.

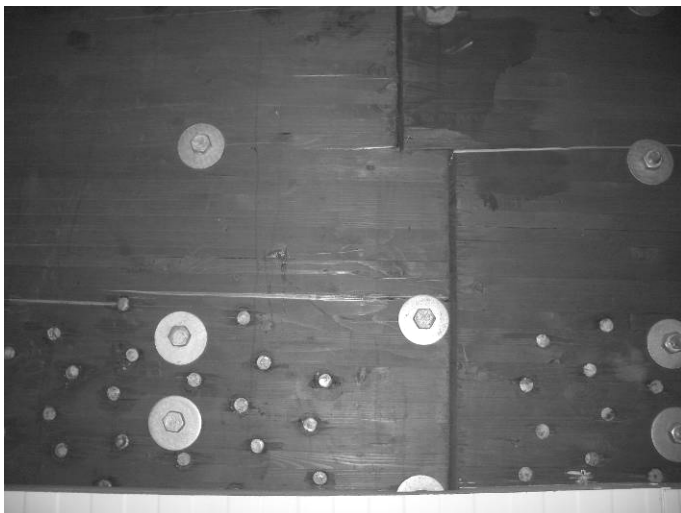


Abbildung 12: Gerbergelenk-Anschluss mit weit auseinander liegenden Verbindungsmittelgruppen

Im Wesentlichen liegen also Klebefehler und Ringschäle als Holzfehler vor. Positiv auffallend war, dass keinerlei Befall mit holzerstörenden Insekten oder Befall durch holzerstörende Pilze festgestellt wurde. Allenfalls war geringfügiger, oberflächlicher Schimmelpilzbefall ohne Beeinträchtigung der Holzfestigkeit zu beobachten.

### 3.3 Ausführungsfehler und nachträgliche Umbaumaßnahmen

Bei allen durchgeführten Untersuchungen war die hohe Quote erstaunlich, bei der eine Abweichung der tatsächlichen Bauausführung von den geprüften statischen Unterlagen oder anderen geprüften Ausführungsunterlagen festzustellen waren. Besonders zu nennen sind fehlende oder fehlerhafte Aussteifungen (z. B. bei Nagelplatten oder Nagelbinderkonstruktionen), zusätzliche und unregelmäßige baukonstruktive Einbauten, angehängte Lasten (wie z. B. Turngeräte) oder nachträglich angebrachte, nicht zusätzlich nachgewiesene Durchbrüche, schlechtestenfalls mit der Kettensäge eingebracht.

Umnutzungen können in beiden Richtungen zu Klimaveränderungen führen. Eine langjährig, als offene Lagerhalle mit einer Brettschichtholzkonstruktion, die nach Jahrzehnten zur Ausstellungshalle umgebaut wird und in den besonders kritischen Wintermonaten erstmalig geheizt wird, erfährt z. B. eine deutliche Reduzierung der Holzfeuchten, die dann in Verbindung mit Zwang aus Einbauten oder anderen Verbindungsmittelgruppen zu Schwindrissen und infolge der Schwindrissen zu weiterem Schub- oder Quersugversagen führen können. Im Gegensatz dazu, können spätere Feuchteerhöhung ebenso zu einer dauerhaften Schädigung der Holzkonstruktion führen, wenn – wie zuvor erwähnt – für feuchtere Bereiche unzulässige Klebstoffe wie Harnstoffharz verwendet wurden.

Eine ebenso häufiger auftretende Schadensursache ist das spätere Aufbringen von Gründächern oder andere Veränderungen der Dachlasten, die rechnerisch nicht vollständig oder gar nicht nachgewiesen werden. Bei Gründächern ist besonders zu beachten, dass diese im wassergesättigten Zustand zu beurteilen sind, und dass der Wasserabfluss bei diesen Dächern meist deutlich verringert ist.

### 3.4 Klima

Wie bereits vorstehend erwähnt, sind Klimaänderungen teilweise schädlich. Bei den Klima-beanspruchungen sind zu unterscheiden:

- Dauerhaft, sehr trockene Randbedingungen  
Diese Situation lag beispielsweise in diesem Winter vor. In vielen Konstruktionen stellten sich Holzfeuchten deutlich unter 8 % ein, da der lange und sehr kalte Winter in beheizten Räumen zu sehr niedrigen und dauerhaft vorhandenen relativen Luftfeuchten geführt hat. Durch die sehr starke Austrocknung der Holzquerschnitte wurden wiederum infolge Zwang und/oder des Trocknungsgefälles Quersugrisse induziert.

Große Schwankungen der Holzfeuchten

Konstruktionen, insbesondere mit großvolumigen Querschnitten sind offensichtlich besonders dann gefährdet, wenn durch die jeweiligen Nutzungen temporär erhöhte Feuchten und temporär sehr niedrige Feuchteniveaus erreicht werden. Das klassische Beispiel dafür sind die Eissporthallen, die mit häufig ungedämmten Dächern im Sommer sehr stark austrocknen. In den Übergangszeiten stellen sich hingegen infolge der einströmenden und sich in der Halle abkühlenden Warmluft Feuchteniveaus deutlich oberhalb einer relativen Luftfeuchte von 80 % ein. Die sich damit im halbjährlichen Rhythmus ändernden Holzfeuchten führen zu einer fortschreitenden Rissbildung, wie sie an verschiedenen Eissporthallen beobachtet wurde, die nun schon über einen längeren Zeitraum ingenieurtechnisch begleitet wurden.



Abbildung 13: Umfangreiche Rissbildung in einer Eissporthalle BJ. 1990

Zur Klärung von Schadensursachen und zur Festlegung von Sanierungsmaßnahmen auch in anderen Hallen als Eishallen sind nach unserer Überzeugung längerfristige Klimamessungen erforderlich.

Ebenso auffällig waren teilweise kleinere Schadensbereiche, die durch Luftheizungen oder intensive Sonneneinstrahlung über Oberlichter verursacht werden können. Hier entstehen temporär und partiell sehr trockene Querschnitte, die dann wiederum Rissbildungen verursachen.

### 3.5 Bauunterhalt

Ein Gebäude ist ein komplexes technisches Gebilde, dass ebenso wie alle „Maschinen“ einer intensiven Wartung und Instandhaltung bedarf. Diese Tatsache wird bis heute von vielen Betreibern und Gebäudeeigentümern signifikant unterschätzt. Es beginnt bei der regelmäßigen Überprüfung von Dacheinläufen (insbesondere bei Gründächern und Flachdächern), der Reinigung von Regenrinnen und der Überprüfung der Dachhaut, um sicherzustellen, dass durch Niederschläge keine regelmäßige Befeuchtung stattfindet. In einigen Fällen wurden hier teilweise jahrzehntelange Versäumnisse angetroffen.

Letztendlich gehört auch das rechtzeitige Freiräumen von übermäßig anfallendem Schnee zu den Unterhaltungsmaßnahmen. Bei sehr starkem Schneefall sollte frühzeitiger eine regelmäßige Kontrolle der tatsächlich vorhandenen Dachlasten einsetzen. Bezüglich des Unterhalts sind auch hier insbesondere Eishallen zu nennen. Durch die Wärmeabgabe der Konstruktion gegenüber der kalten Eisfläche unterkühlen große Teile der Dachkonstruktion (in Abhängigkeit vom Abstand zur Eisfläche) und es bildet sich an der Konstruktion Tauwasser. In einigen Fällen konnten an den Trägerkonstruktionen erhebliche Eisbildungen festgestellt werden (Abbildung 14).



Abbildung 14: Eisbildung am Untergurt oberhalb der Eisfläche

Durch diese ständigen intensiven Feuchtwechsel ist eine nachhaltige Schädigung der Holzkonstruktion, insbesondere dann, wenn es sich um Holzwerkstoffplatten als Gurte von Kastenträgern handelt, unvermeidbar.

In anderen Hallen (Turnhallen, Schwimmbäder) konnte festgestellt werden, dass schlecht zugängliche Bereiche in Gebäuden bzw. Konstruktionen praktisch nicht inspiziert werden und dort die vorgenannten Mängel sich besonders stark auswirken können.

## 4 Zusammenfassung

Bedingt durch die Unglücke und Schadensfälle zu Beginn des Jahres 2006 wurden zwischenzeitlich bereits eine Vielzahl von Gebäuden mit weit gespannten Tragwerken (insbesondere Holztragwerken) untersucht. Es zeigte sich dabei, dass von Planung und Errichtung über die Werkstoffe bis hin zu Wartung und Instandhaltung der Gebäude teilweise ein erhebliches Defizit besteht. Die Fälle, bei denen Tragwerke angetroffen wurden, an denen keinerlei Beanstandungen vorlagen, waren leider in erheblicher Minderheit.



Abbildung 15: Schadensfreie Pflanzenhalle

Durch die zwischenzeitlich erfolgten Erlasse zur zwangsweisen Untersuchung von Eissport-hallen und den bei einigen Gebäudebetreibern angelaufenen, routinemäßigen Untersuchungen ist zu erwarten, dass sich in Zukunft der Datenbestand noch deutlich erhöht. Dieser sollte sorgfältig ausgewertet werden und die erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden. Diese sind mit den beteiligten Verkehrskreisen selbstverständlich zu diskutieren.

Die Holzbaubranche ist dazu aufgerufen, an dieser Datensammlung möglichst intensiv mit-zuwirken. Letztendlich ist dies auch eine Chance zur Verbreiterung der Wissensbasis, zur Vermeidung zukünftiger Fehler und Schäden und zur Erhöhung der Qualität der gebauten Umwelt.

## 5 Literatur

- [1] Schmidt, H.J. et al.: Überdachung der Eislaufhalle Bad - Reichenhall. Ausstellung Holzbau Konstruktionen der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Düsseldorf als Sonderdruck aus Zeitschrift detail 6/1974
- [2] Raknes, E.: Durability of structural wood adhesives after 30 years ageing. Holz als Roh- und Werkstoff 55 (1997) 83-90. Springer Verlag, 1997