

Zusammenfassung: Schadensanalyse von Hallentragwerken aus Holz

H.J. Blaß, M. Frese, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Bereich Holzbau und Baukonstruktionen

1 Einleitung

Zu Beginn des Jahres 2006 ereignete sich in Deutschland und auch in den Nachbarländern eine Reihe von Einstürzen teilweise Jahrzehnte alter Dachtragwerke. Die Mehrzahl dieser Tragwerke war aus dem Baustoff Holz errichtet worden und bestand aus Schnittholz, Brettschichtholz oder Holzwerkstoffen mit geklebten oder mechanischen Verbindungen. Obwohl das Versagen der meisten Konstruktionen unter Einwirkung von Schnee geschah, kann eine Überlastung durch eine außergewöhnlich hohe Schneelast oberhalb der charakteristischen Einwirkungen als alleinige Ursache für die meisten Einstürze ausgeschlossen werden. Viele aus der Vergangenheit bekannte Schadensfälle zeigen, dass für das Versagen eines Tragwerks mehrere gleichzeitig wirkende Ursachen verantwortlich sind. Mögliche Ursachen sind: Planungs-, Ausführungs- und Montagefehler; bauphysikalische Fehler; zu hohe Einwirkungen aus Eigen-, Wind- und Schneelasten; ungeeignete Tragkonstruktionen und Ursachen, die im Zusammenhang mit ungenügender Materialqualität, Feuchtigkeitzutritt, klimatischen Einwirkungen und mangelhafter Instandhaltung stehen. Da Schadensfälle der Vergangenheit, die sich in der Bundesrepublik Deutschland ereigneten, bislang noch nicht einer ganzheitlichen statistischen und systematischen Betrachtung unterzogen wurden, wurden in einer ersten Forschungsarbeit Grundlagen für eine solche Betrachtung geschaffen und anschließend in einer zweiten, darauf aufbauenden Arbeit Schadensfälle erfasst, ausgewertet und Schlussfolgerungen gezogen. Diese Zusammenfassung schließt die Ergebnisse beider Forschungsarbeiten ein.

2 Datenerfassung von Schadensfällen

Bauwerke sind i. d. R. aus immer wiederkehrenden Einzelbauteilen zusammengesetzt. Diese wiederum sind mit ähnlichen Konstruktionsprinzipien miteinander verbunden. Insofern sind Bauwerke einer bestimmten Gruppe, hier Hallentragwerke aus Holz, untereinander gut vergleichbar. Das vereinfacht die Datenerfassung und gemeinsame Betrachtung von Schadensfällen. In der Hauptsache wurden Schadensdaten Gutachten von im Holzbau Sachverständigen und Schadensmeldungen (an die Studien- und Gütegemeinschaft Holzleimbau e.V.) entnommen. Es wurde ein System entwickelt, mit dem ein Schadensfall schnell und zuverlässig erfasst werden kann. Speicher für die entsprechenden Datensätze ist eine Excel-Datenbank. Die Darstellung und statistische Auswertung erfolgt mit einem problemorientierten Statistik-Analyse-System. Dieses ist so programmiert, dass ohne nennenswerte Eingriffe auch ein ggf. in Zukunft wachsen-

der Datenbestand ausgewertet werden kann. Nach Abschluss der zweiten Forschungsarbeit umfasste die Datenbank 550 Datensätze.

Die Daten eines Schadensfalls werden mit einem festgelegten Vokabular, bestehend aus Schlagwörtern, eingegeben. Die Systematik zeigt das Baumdiagramm in Bild 2 für eine Auswahl der Schlagwörter. Sie stehen jeweils am Ende der Verzweigungen. Es wird zwischen vier Parametergruppen zur Erfassung der Bauwerks-, Bauteil-, Baustoff- und Schadensdaten sowie Fehlerquellen unterschieden.

Die Bauwerksparameter sollen Antworten auf folgende Fragen ermöglichen: Woher stammen die Daten, in welchen Regionen Deutschlands befinden sich die Bauwerke, wann sind sie errichtet worden und welche Nutzung war vorherrschend? Die Bauteil- und Baustoffparameter stehen im Gegensatz dazu im direkten Zusammenhang mit einem Schaden. Sie geben Auskunft darüber, welche Tragsysteme, Bauteile und Baustoffe betroffen waren. In Bild 1 sind einige Schlagwörter für betroffene Bauteile verdeutlicht. Mit den Schadensparametern wird das Schadensbild näher beschrieben. Von zentraler Bedeutung ist dabei der so genannte Initialschaden. Er kennzeichnet die Beendigung der Fähigkeit eines Bauteils, eine geforderte Funktion hinsichtlich der Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit oder hinsichtlich des Aussehens uneingeschränkt zu erfüllen. Von besonderer Bedeutung sind Initialschäden wie Risse in Faserrichtung, Schubbruch und Zugbruch, weil dadurch die Festigkeitswerte von Holz (-werkstoffen) bei Traggliedern in Bauteilgröße unter Beweis gestellt werden. Diese von Labormethoden unabhängige Perspektive kann Stärken aber auch Schwächen von Baustoffen im Gesamtzusammenhang Bauwerk - Belastungsgeschichte verdeutlichen. Zahlreichen Schadensbeschreibungen kann eine Beurteilung der Standsicherheit entnommen werden. Auch diese wurde erfasst.

Es wurden 12 Fehlerquellen definiert. Bauphysik und Konstruktion sind, obwohl deren Ursprung bereits in der Planung liegt, wegen ihrer großen Bedeutung eine eigene Quelle. Aus demselben Grund ist die Materialqualität, die eigentlich der Ausführung bei der Herstellung unterzuordnen wäre, auch eine eigene Fehlerquelle. Die Fehlerquellen Planung, Bauphysik und Konstruktion betreffen dann die Bauwerksplanung, Ausführung und Montage die Arbeiten der ausführenden Baufirmen und Materialqualität den Hersteller (fast ausnahmslos) von Brettschichtholz. Insofern lassen sich Fehlerquellen am Bau beteiligten Personengruppen, die unterschiedliche Funktionen innehaben, teilweise zuordnen.

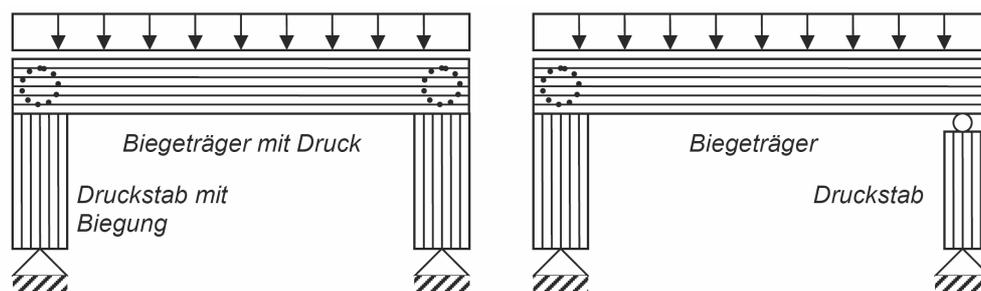


Bild 1 Beispiele von Schlagwörtern für betroffene Bauteile

Die Fehlerquellen Feuchtigkeit, Insekten und Klimawechsel sind holzspezifische kritische Einwirkungen. Schwinden oder Quellen ist eine holzphysikalische Gesetzmäßigkeit, die nur zusammen mit anderen Quellen, vor allem Konstruktion, angegeben wird.

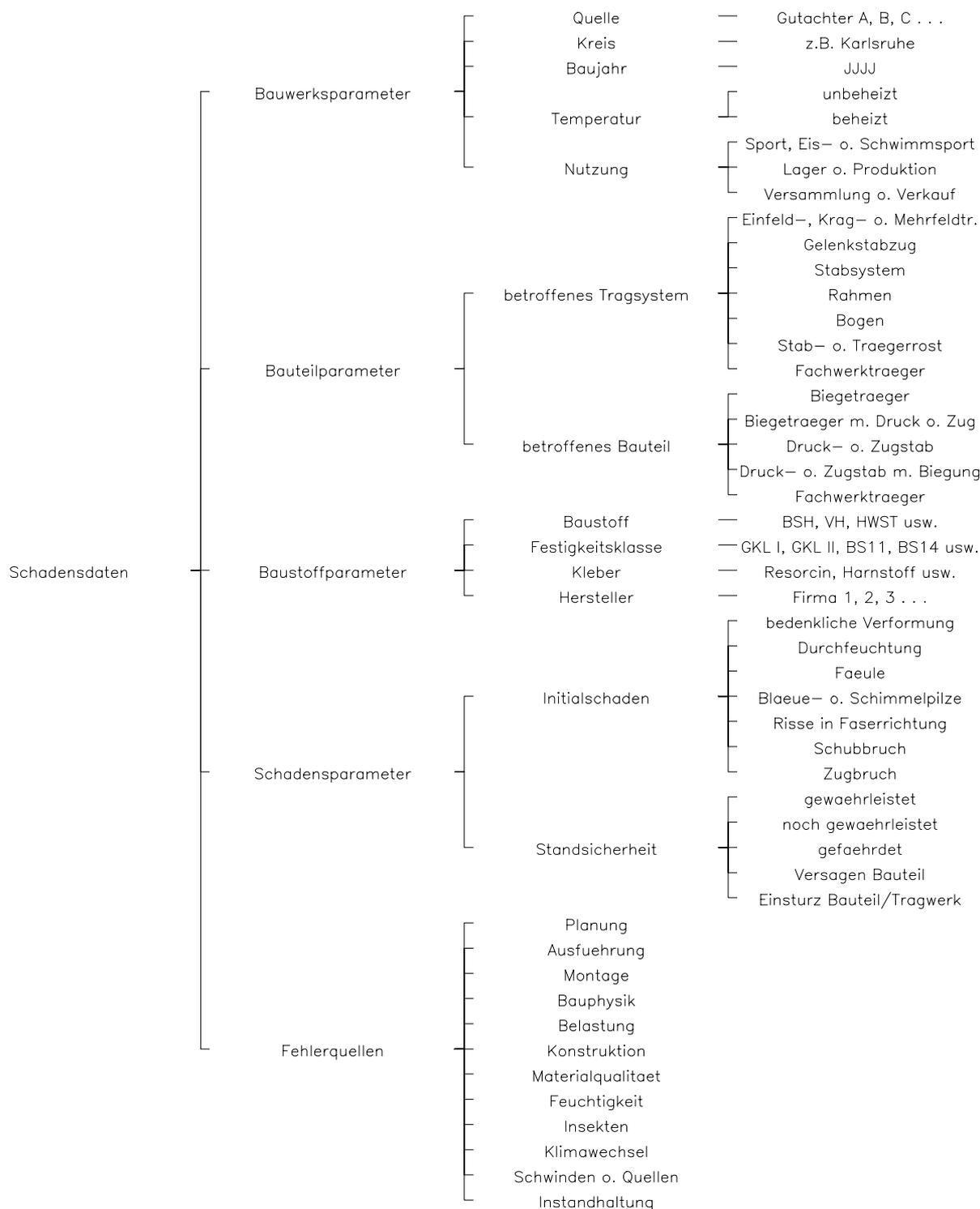


Bild 2 Parametergruppen, Fehlerquellen und Auswahl von Schlagwörtern

3 Beschreibung der Bauwerke und der Schäden

Auslösendes Moment für die Begutachtung eines Bauwerks und die Anfertigung einer Schadensbeschreibung durch einen Sachverständigen oder Berichtersteller ist in den meisten Fällen die Sorge eines Verantwortlichen um die Standsicherheit des Bauwerks, für den Werterhalt und für die uneingeschränkte Nutzung. Vor diesem Hintergrund müssen die analysierten Daten gesehen werden: Sie spiegeln kein repräsentatives Bild aller Hallentragwerke aus Holz wider. Diejenigen Bauwerke, die aufgrund ihrer ausgereiften und materialgerechten Planung, vorbildlichen Ausführung und sachgerechten Nutzung keinen Anlass zur Sorge geben, finden keinen Eingang in den Datenbestand. Diese Tatsache führt zu der Überlegung, warum beispielsweise manche Nutzungen, Tragsysteme oder Bauteile mehr, weniger oder gar nicht in der Statistik vertreten sind. Da aber keine statistischen Vergleichswerte über die Gesamtheit aller Hallentragwerke aus Holz angegeben werden, ist ein vorsichtiger und kritischer Umgang mit den Daten geboten.

Anhand der Auswertung der 550 Schadensfälle in insgesamt 428 Hallentragwerken sind folgende Ergebnisse festzustellen: Das Baujahr der geschädigten Hallen reicht von 1912 bis 2006. Ihre Standorte, fast ausschließlich in den alten Bundesländern Deutschlands, sind weit und dicht gestreut (Bild 3). Besonders häufig sind Sport-, Lager- und Produktionshallen von Schäden betroffen. In der Hauptsache werden Schäden an biegebeanspruchten Ein- und Mehrfeldträgern sowie Rahmen beobachtet. In den meisten Fällen bestehen diese aus Brettschichtholz der Güteklassen I, II und der Brettschichtholzklasse BS14. Das Brettschichtholz wurde von über 39 namentlich unterschiedlichen Herstellern produziert. Schadenshäufungen im Zusammenhang mit bestimmten Herstellern sind auszuschließen.

70 % der Schäden sind Risse in Faserrichtung. Schubbrüche, Fäule und Zugbrüche machen jeweils etwa 5 % der Schäden aus. Die übrigen 15 % betreffen die Gebrauchstauglichkeit sowie das Aussehen und stehen damit nicht im Zusammenhang mit der Standsicherheit. Den gutachtlichen Bewertungen zufolge ist die Standsicherheit von einem Viertel der untersuchten Bauwerke oder Bauteile gefährdet. Bei einem weiteren Viertel waren Einstürze und Versagen zu beklagen. Bei einem knappen Viertel ist die Standsicherheit gewährleistet. Für den Rest lagen keine Angaben vor. Es gibt deutliche Anzeichen für eine Häufung der Schadensfälle in den Monaten Januar bis März. Schäden aufgrund von Holz zerstörenden Pilzen sind rückläufig; diese positive Tendenz steht sehr wahrscheinlich im Zusammenhang mit erfolgreicher Aufklärungsarbeit zum baulichen Holzschutz.

In der Hauptsache werden Schäden im Zusammenhang mit Konstruktionen gesehen, bei denen vor allem Querspannungen auftreten. Weiter sind Klimawechsel von großer Bedeutung für Risse in Faserrichtung. Von mäßiger Bedeutung sind richtungsabhängiges Schwinden oder Quellen ganzer Querschnitte und Fehlerquellen bezüglich der Belastung, Materialqualität, Planung, Bauphysik und Ausführung. Eine untergeord-

nete Rolle spielen ungünstige Einflüsse aus Montage, Feuchtigkeit und Instandhaltung. Dass Insekten einen schädlichen Einfluss auf Bauteile ausgeübt hätten, ist in keinem Fall der 550 analysierten Schäden dokumentiert.

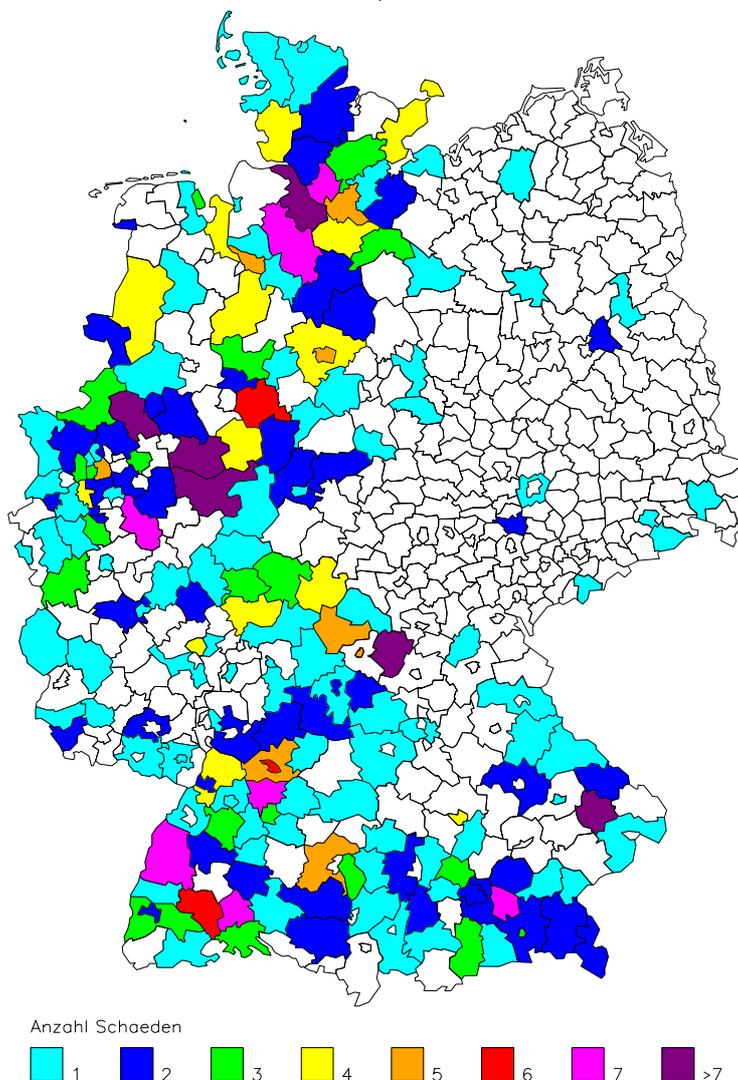


Bild 3 Anzahl der Initialschäden je (Land-)Kreis bzw. kreisfreie Stadt

4 Schlussfolgerungen

Aus der Perspektive nach der Schadensanalyse lassen sich Konsequenzen ableiten, die erstens sich allgemein für die Planung, Konstruktion und den Unterhalt von Holzkonstruktionen ergeben könnten, zweitens den bauaufsichtlichen Zusammenhang und drittens weitere Forschungsaktivitäten betreffen.

Planung, Konstruktion und Unterhalt

- Viele Ursachen für Schäden haben ihren Ursprung in der Planung und stehen sehr häufig im Zusammenhang mit der Konstruktion, der bezüglich Entwurf, Berechnung und Detaillierung zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Dem kann mit einer

Verbesserung der Qualität von Ausbildung, von Planung und auch von Normung begegnet werden.

- Beim Entwurf von Holzkonstruktionen sollten planmäßige Querkzugspannungen möglichst vermieden werden.
- Die Holzfeuchte von Brettschichtholz für beheizte Gebäude sollte der späteren über das Jahr geschätzten Feuchte angepasst werden, i. d. R. 8 bis 12 %.
- Klimawechsel (z.B. die periodische Veränderung der relativen Luftfeuchte) sind für Bauteile aus Brettschichtholz ein grundsätzliches Problem. Da sie nicht vermeidbar sind, sollte darauf geachtet werden, dass nicht noch weitere ungünstige Einflüsse wie direkte Sonneneinstrahlung oder rechnerisch nicht berücksichtigte Querkzugspannungen damit überlagert werden.
- Extreme Temperaturbelastungen, z. B. in Backstuben, Ziegeleien usw., stellen ein erhöhtes Risiko für Risses Schäden in Brettschichtholz dar. Die Verwendung von Brettschichtholz bei extremer Temperaturbelastung sollte daher im Einzelfall kritisch geprüft werden.
- Das Schwinden und Quellen als physikalische Gesetzmäßigkeit des Holzes sollte während des gesamten Prozesses von der Planung bis zur Nutzung des Bauwerks mehr Beachtung finden. Das betrifft vor allem Bauteilbereiche, in denen das freie Schwinden oder Quellen konstruktionsbedingt behindert ist.
- Es kann sinnvoll sein, den Lastfall Holzfeuchte-Änderung mit der Folge von orthotropem Schwinden oder Quellen in der Trägerebene gekrümmter Strukturen aus Brettschichtholz z. B. mit Finite-Elemente-Berechnungen zu untersuchen, um bestmögliche Kenntnisse von Verformungen und Spannungszuständen zu gewinnen.
- Tragende Bauteile sollten so geplant werden, dass sie für Inspektionen und Wartungsarbeiten stets gut zugänglich sind. Die Nachrüstung von Revisionsöffnungen kann zweckmäßig sein.
- Hinsichtlich der Witterungseinflüsse bei Transport und Montage kann für Leimbinder ein Oberflächenschutzsystem sinnvoll sein.
- Als Frühwarnsystem zur Vermeidung von Schäden können insbesondere bei baulichen Anlagen mit großen Spannweiten permanent tätige Überwachungssysteme in Betracht kommen.
- Zu hohe Schneebelastungen können zu Schäden an Dach und Tragstruktur führen. Ist die dem Standsicherheitsnachweis zu Grunde liegende Schneelast erreicht, ist ein Dach zu räumen.
- Brettschichtholz sollte grundsätzlich in seinem ganzheitlichen Zusammenhang gesehen werden, der durch Festigkeitssortierung, Herstellung, Transport, Montage, Planung und Konstruktion sowie holzphysikalische Gegebenheiten gekennzeichnet ist. Diese Zusammengehörigkeit begründet vernetztes Handeln und die Sicht der eigenen Arbeit im Gesamtzusammenhang, bei jedem einzelnen am Bau Beteiligten.

- Die vorangehende Forderung nach ganzheitlicher Sicht, deren Bedeutung mittels der Schadensanalyse nur für Brettschichtholz belegbar ist, ist grundsätzlich auch auf andere Bereiche, die durch ihre verwendeten Bauprodukte oder typischen Bauarten gekennzeichnet sind, übertragbar. Ein weiterer Bereich ist die Nagelplattenbauweise. Hier muss zur Vermeidung von Schäden die Montage durch solche Fachleute erfolgen, die mit den statischen Hintergründen, insbesondere mit dem räumlichen Kraftfluss der Aussteifungs- und Windlasten und den entsprechenden konstruktiven Maßnahmen rundum vertraut sind. Ggf. ist auch der spätere Einbau haustechnischer Anlagen im Dachraum der Nagelplattenbinder in Absprache mit diesen Fachleuten durchzuführen.

Bauaufsichtlicher Zusammenhang

In Übereinstimmung mit neueren Erkenntnissen über die charakteristische Biegefestigkeit von Brettschichtholz sind die Anforderungen an Brett- und Keilzinkenfestigkeiten bei Brettschichtholz anzuheben, um die Versagenswahrscheinlichkeit biegebeanspruchter Bauteile entsprechend zu reduzieren. Über 25 (Biege-)Zugbrüche, hauptsächlich bei Brettschichtholz, sind in dieser Schadenssammlung aktenkundig.

Rückblickende Betrachtungen hinsichtlich der Auswirkungen der neuen Schneelastnorm, hinsichtlich der Querkzugproblematik bei Satteldachträgern und des Einsturzes der Eissporthalle in Bad Reichenhall belegen, dass eine Schadenssammlung und ihre Auswertung die Grundlage bieten, Konsequenzen mit bauaufsichtlichem Hintergrund zu benennen. Es konnte im Einzelnen gezeigt werden:

Bei Hallen, für die heute nach DIN 1055-5:2005 eine um 25 % effektiv höhere Schneelast anzusetzen wäre, gab es in der Vergangenheit doppelt so häufig Formen des Versagens und Einsturzes als bei allen untersuchten Hallen; diese Beobachtung spricht rückwirkend für die baurechtliche Einführung der neuen Schneelastnorm DIN 1055-5:2005.

Die bis heute auffällig ausgeprägte Querkzugproblematik bei Satteldachträgern führte schließlich zu der Überlegung, dass die Wechselwirkung zwischen Holzfeuchteänderungen und der Schwindungs- und Quellungsanisotropie in der Ebene gekrümmter Brettschichtholz-Trägerbereiche schädliche Querkzug- und Schubspannungen zur Folge haben kann. Vor allem Zwangsspannungen infolge behinderter Verformungen und Eigenspannungen beim Schwinden oder Quellen kombinierter aufgebauter Brettschichtholzträger sind hier denkbar. Solche Effekte werden bislang nicht bei der Bemessung berücksichtigt. Ob und wie sie ggf. normativ zu berücksichtigen sind, muss erörtert werden.

Zum einen waren seit den 1970er Jahren Erkenntnisse über die nachteilige Verwendung von Harnstoffharzklebstoffen bei Feuchteanreicherung an den Brettschichtholz-

bauteilen allgemein zugänglich, zum anderen ließ sich in DIN 18036-1¹ (hinsichtlich der Vermeidung von Unebenheiten auf der Eisfläche durch abtropfendes und gefrierendes Kondenswasser) die Gefahr der Feuchteanreicherung an der Tragkonstruktion und der Decke von Eissporthallen ablesen; in einigen Eissporthallen wurde eine Feuchteanreicherung an tragenden Bauteilen aus Brettschichtholz infolge Kondensation tatsächlich beobachtet. Die Verknüpfung dieser beiden Informationen, die aufgrund der technischen Sachlage und der Datenlage dieser Schadensanalyse nahe liegend ist, fand im Hinblick auf die Benennung des Gefahrenpotenzials, das von mit Harnstoffharzklebstoffen hergestelltem Brettschichtholz in Eissporthallen ausgehen kann, offensichtlich nicht statt. Die nach dem Einsturz bauaufsichtlich angeordnete bundesweite Überprüfung hölzerner Eissporthallen stellt – auch angesichts der Ergebnisse dieser Schadensanalyse – nach wie vor und diesbezüglich den entscheidenden bauaufsichtlichen Handlungsbedarf dar. Die gegenwärtige Datenlage dieser Schadensanalyse gibt keine Hinweise darauf, dass darüber hinaus bauaufsichtlicher Handlungsbedarf (z.B. im Sinne von gezielten Überprüfungen) hinsichtlich der Verwendung von Brettschichtholz in Hallen mit erhöhter Feuchtebelastung besteht.

Forschung

- Die Wechselwirkung zwischen Holzfeuchte-Änderungen und der Schwindungs- bzw. Quellungsanisotropie in der Trägerebene gekrümmter Brettschichtholz-Bauteile ist grundsätzlich zu klären. Voruntersuchungen zeigen, dass durch diese Wechselwirkung schädliche Querkzug- und Schubspannungen sehr wahrscheinlich mitbegründet sind, die bei der Bemessung bislang unberücksichtigt bleiben. Es sind numerische und ggf. experimentelle Untersuchungen erforderlich, um genaue Kenntnis von den wahren Spannungszuständen zu erlangen.
- Der Einfluss der Größe des Schub beanspruchten Volumens auf die Schubfestigkeit von Brettschichtholz sollte untersucht werden. Die Annahme, dass sich ein großes Volumen ungünstig auf die Schubfestigkeit auswirken kann, lässt sich anhand von Schadensfällen mit Schubversagen nicht widerlegen: 19 Brettschichtholzträger hatten am Auflager Trägerhöhen zwischen 650 und 2400 mm.
- Gerade statisch unbestimmte Zwei- und Dreifeldträger (ohne Vouten) aus Brettschichtholz sind hinsichtlich des Biegeversagens über den inneren Stützungen unauffällig. Numerische Voruntersuchungen und Hinweise im Schrifttum zeigen, dass die Versagenswahrscheinlichkeit solcher Träger deutlich geringer ist als diejenige von vergleichbaren Einfeldträgern. Um eine höhere charakteristische Biegefestigkeit experimentell abzusichern, sind noch vergleichende Biegeversuche an Ein- und Zweifeldträgern aus Brettschichtholz wünschenswert.

¹ DIN 18036-1:1980-05 Eissportanlagen; Hallen für den Eissport; Grundlagen für Planung und Bau