

Ergänzende Erläuterungen für Bauten im Bestand

1 Einleitung

In den allgemeinen Anforderungen der Landesbauordnungen wird nicht nur für den Neubau baulicher Anlagen die Einhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung gefordert, sondern dies gilt auch für die vorübergehenden Bemessungssituationen Änderung und Instandhaltung und damit auch für die Instandsetzung von bestehenden baulichen Anlagen.

Weiterhin wird gefordert, dass die von der obersten Bauaufsichtsbehörde eingeführten Technischen Baubestimmungen zu beachten sind. Die einzuhaltenen Technischen Baubestimmungen beinhalten oftmals nur Regeln für die Errichtung neuer Bauten. Dies erscheint unverhältnismäßig, da inzwischen das Bauvolumen im Bereich der Erhaltung, Instandsetzung und Modernisierung der bestehenden Bausubstanz bei etwa 60% des Gesamtbauvolumens liegt. In Zukunft wird das Bauen im Bestand noch weiter an Bedeutung zunehmen (PEIL 2003).

Werden durch Umnutzung eines Gebäudes oder durch die Beseitigung von Bauschäden Eingriffe in die historische Bausubstanz notwendig, so sind die in diesem Zusammenhang stehenden statischen Nachweise nach den bauaufsichtlichen Regeln zu führen. Gerade bei historischen Holzkonstruktionen ergeben sich bei der Anwendung der bauaufsichtlichen Regeln allerdings häufig Unklarheiten. Ziel dieses Abschnitts ist die Präzisierung der DIN 1052 mit ergänzenden Hinweisen, welche die Belange der Erhaltung, Instandsetzung und Modernisierung älterer Holzkonstruktionen berücksichtigen. Damit soll ein Beitrag zur realistischen Beurteilung

der Standsicherheit alter Holzbauten geleistet werden.

Dieser Abschnitt der Erläuterungen zur DIN 1052 stellt eine Kurzfassung des Forschungsberichts: „Ergänzung bzw. Präzisierung der für die Nachweisführung zur Stand- und Tragsicherheit sowie Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen in der Altbausubstanz maßgebenden Abschnitte der DIN 1052: August 2004“ von K. LIßNER und W. RUG dar. (Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München, www.dgfh.de).

2 Literaturzusammenstellung

Seit Mitte der achtziger Jahre sind in Deutschland verschiedene Aspekte der Beurteilung und Bewertung von Holzbauteilen im Altbau untersucht worden. Eine Übersicht über die wichtigste Literatur auf den betreffenden Gebieten gibt die Tabelle 1. Neben teilweise sehr ausführlichen Beschreibungen von Bauzustandsuntersuchungen an historischen Holzkonstruktionen gibt es eine Reihe von Veröffentlichungen, die sich mit speziellen Prüfmethoden für die zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Ermittlung der Holzeigenschaften beschäftigen. Untersuchungen zur Festigkeit von altem Holz haben zweifelsfrei gezeigt, dass zwischen altem, teilweise vor mehreren Jahrhunderten verbautem Holz und neuem Bauholz kein systematischer Unterschied im Hinblick auf die Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaften besteht, sofern das Holz nicht durch Pilze, Insekten oder Überlastungen geschädigt ist. Dies ermöglicht grundsätzlich eine Festigkeitssortierung des Altholzes unter Anwendung der Sortierkriterien für neues Holz.

Tabelle 1. Auswertung der Literatur zum Stand der Entwicklung auf dem Gebiet der Nachweisführung zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen im Altbau

Teilgebiet			Autor	Inhalt	
Bauzustandsuntersuchungen und -bewertungen an historischen Holzkonstruktionen			MÖNCK/ UND ERLER 2004	■	
			LIßNER UND RUG 2000	■	
			GÖRLACHER 1999	■	
			ERLER 1997	■	
			BONAMINI 1995	●	
			RUG UND SEEMANN 1991	●	
			RUG UND KRÜGER 1989	●	
Ermittlung von Baustoffkennwerten	Allgemein		WINTER UND HELD 1996	●	
			KOTHE 1987 a,b	●	
			STECK UND GÖRLACHER 1987	●	
	Art	Verfahren		KOTHE 1987 b	●
				GÖRLACHER 1992	■
				ANONYMUS 1993	●
				HASENSTAB UND KRAUSE 2002	●
				GÖRLACHER 1987	●
				GÖRLACHER 1999	■
zerstörungsfrei	Ultraschall/Schallausbreitung				
		Pilodyn			

	zerstörungs- arm	Bohrkernverfahren	RUG UND SEEMANN 1989 a	■
			RUG UND SEEMANN 1988	■
		Bohrwiderstandsmessung	GÖRLACHER UND HÄTTICH 1992	■
			RUG UND HELD 1995	■
			RINN 1993	●
			GÖRLACHER/HÄTTICH	■
			EHLBECK UND GÖRLACHER 1990	●
Untersuchungen zur Altholzfestigkeit und Altholztragfähigkeit	ungeschädigtes Altholz	EHLBECK UND GÖRLACHER 1988	●	
		EHLBECK UND GÖRLACHER 1990, 1992	■	
		RUG UND SEEMANN 1988	●	
		RUG UND SEEMANN 1989 b	■	
		TICHELMANN UND GRIMMINGER 1993	■	
		NIER 1994	■	
	geschädigtes Altholz	KOTHE 1998	●	
		EHLBECK UND GÖRLACHER 1992	●	
Festigkeitsortierung des verbauten Holzes		RUG 1998	●	
		TICHELMANN UND GRIMMINGER 1993	■	
		EHLBECK UND GÖRLACHER 1992	●	
Untersuchung zum Trag- verhalten von Konstruktio- nen und wirklichkeitsnahe Modellbil- dung bei statischen Be- rechnungen	Dachkonstruktionen	BLAß, FALK UND GÖRLACHER 1997	■	
		KRAFT 1998	■	
		HAUER, SEIM UND WENZEL 1996	■	
		GÖRLACHER, KROMER UND EHLBECK 1996	■	
		GEROLD 1996	■	
	Deckenkonstruktionen	GÖRLACHER UND KROMER 1992 b	●	
		GÖRLACHER UND KROMER 1993	●	
		BENNINGHOVEN 1985	●	
		HOFFMANN 1980	●	
Untersuchungen zum Trag- verhalten von Zimmer- mannsmäßigen Verbindun- gen	Allgemein	EHLBECK UND KROMER 1995	■	
		EHLBECK UND HÄTTICH 1987	●	
		BORRMANN 1989	●	
		HEIMESHOFF UND KÖHLER 1989	■	
	Versatz	GÖRLACHER UND KROMER 1992 c	■	
		HEIMESHOFF, SCHELLING UND REYER 1988	■	
	Zapfen	HEIMESHOFF, SCHELLING UND REYER 1988	■	
	Holznägel	BLAß, ERNST UND WERNER 1999	■	
		KESSEL UND AUGUSTIN 1994	■	
		EHLBECK UND HÄTTICH 1987	●	
	Blatt	HEIMESHOFF, SCHELLING UND REYER 1988	■	
		REYER UND SCHMITDT 1989	■	
		GÖRLACHER ET AL. 1992	■	
Nachweise Bauteile im Altbau	GZ Tragfähigkeit	GÖRLACHER 1995	■	
	GZ Gebrauchstauglichkeit	GÖRLACHER 1995	■	
Nachweise Verbindungen im Altbau	GZ Tragfähigkeit	GÖRLACHER 1995	■	
		BLAß, FALK UND GÖRLACHER 1999	■	
	GZ Gebrauchstauglichkeit	GÖRLACHER 1995	■	
Instandsetzung und Verstärkung von Bauteilen		MÖNCK UND ERLER 2004	●	
		LISNER UND RUG 2000	●	
		GÖRLACHER 1999	●	
		ERLER 1987	●	
		GÖRLACHER KROMER UND EHLBECK 1997	●	
		UZIELLI 1995	●	

■ umfangreiche Informationen ● wesentliche Informationen

Die Tragfähigkeit von zimmermannsmäßigen Holzverbindungen wurde in den letzten Jahren im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben untersucht, so dass für viele Fälle ein Bemessungsverfahren zur Verfügung steht.

Untersuchungen zum Tragverhalten von historischen Holzkonstruktionen und zur wirklichkeitsnahen Modellierung zeigen, dass sowohl mit vereinfachten Rechenmodellen als auch mit modernen Rechenverfahren (Stabwerksprogrammen) eine historische Holzkonstruktion zuverlässig berechnet und bemessen werden kann. Dabei kommt jedoch noch mehr als bei einer neuen Konstruktion der richtigen Modellierung, insbesondere der Berücksichtigung von Nachgiebigkeiten in den Verbindungen und Auflagern, eine besondere Bedeutung zu.

3 Die Bemessung historischer Holzkonstruktionen auf der Grundlage bauaufsichtlicher Bestimmungen

Ausgangspunkt der Arbeit des Tragwerksplaners bei der Bewertung der Bausubstanz, ihrer Erhaltungsmöglichkeit und der Prüfung auf die Notwendigkeit einer Instandsetzung ist die allgemeine Überprüfung der statisch-konstruktiven Funktionsfähigkeit der eingebauten Bauteile. Grundsätzlich kann dies nach dem in Bild 1 dargestelltem Ablaufschema erfolgen.

DIN 1052 gilt sinngemäß auch für Bauten im Bestand, soweit in den speziellen Normen nichts anderes bestimmt ist (siehe 1(5)).

Will man die Beanspruchbarkeit von Holzbauteilen und -verbindungen in Altbauten beurteilen, so sind die für die Nachweisführung notwendigen Eingangsgrößen wie charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte zu ermitteln. Es ist also zunächst festzustellen, in welche Sortier- bzw. Festigkeitsklasse das verbaute Holz eingeordnet werden kann. Grundlage hierfür ist die in der Liste der Technischen Baubestimmungen enthaltene DIN 4074. Mit der Aufnahme der Sortiervorschrift DIN 4074 als Produktnorm in die Bauregelliste A gilt das nach den in der DIN 4074-1 und DIN 4074-5 festgelegten Kriterien sortierte Nadel- und Laubholz als geregeltes Bauprodukt.

Nach den Sortiernormen DIN 4074-1 und DIN 4074-5 ist es möglich, das Schnittholz visuell oder maschinell zu sortieren. Die Gruppen der Nadel- und Laubhölzer werden nach genormten Kriterien visuell (d. h. durch Inaugenscheinnahme) sortiert. Bei visueller Sortierung wird das Holz in Sortierklassen eingeteilt, womit zunächst noch keine Aussagen über dessen Festigkeit gemacht werden kann. Die Sortiernorm selbst kann somit für alle Nadel- bzw. Laubhölzer angewendet werden. Erst die Zuordnung der Sortierklassen zu den Festigkeitsklassen nach Tabelle F.6 für bestimmte Nadelhölzer bzw. Tabelle F.8 für bestimmte Laubhöl-

zer ermöglicht eine Verwendung der Hölzer für eine Berechnung und Bemessung nach DIN 1052.

Bei Anwendung der maschinellen Sortierung mit einer zugelassenen Sortiermaschine erhält man Holz, welches direkt in bestimmte Festigkeitsklassen eingeordnet werden kann.

Bei der Sortierung des Holzes nach der Tragfähigkeit gemäß DIN 4074-1 für Nadel-schnittholz und gemäß DIN 4074-5 für Laub-schnittholz in bestehenden Holzkonstruktionen stößt man auf eine Reihe von Schwierigkeiten und Problemen, die eine Einhaltung der Regeln nicht ohne weiteres gewährleisten. Folgende Punkte sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- Die Sortiernormen sind ausschließlich ausgerichtet auf Schnittholz. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wurden aber häufig die Decken- und Dachkonstruktionen der historischen Bauten aus handbehauenen Balken und Kanthölzern gefertigt.
- Eine visuelle Sortierung darf nur von geschulten Fachkräften durchgeführt werden. Die Schulung ist auf Nachfrage gegenüber der Bauaufsichtsbehörde nachzuweisen. Diese Voraussetzung wird, wenn eine visuelle Sortierung von Holz in Altbauten durchgeführt wird, in der Regel nicht erfüllt. Es gibt bisher keine speziellen Qualifizierungen für die visuelle Sortierung von Holz im Altbau.
- Ist das Holzbauteil nicht vollständig einsehbar, ist in der Regel eine visuelle Überprüfung der Anforderungen an die Ästigkeit, Faserneigung, Markröhre, Jahrringbreite, Risse, Baumkante, Krümmung usw. nicht möglich.
- Eine maschinelle Sortierung in Festigkeitsklassen darf nur von geeigneten Betrieben und nur mit einer Sortiermaschine sortiert werden, die von einer dafür anerkannten Stelle nach DIN 4074-3 geprüft worden ist. Für eine maschinelle Sortierung muss das Holz ausgebaut werden. Eine maschinelle Sortierung von verbautem Holz im Altbau ist derzeit nicht möglich, da es hierfür keine anerkannten Verfahren für die maschinelle Sortierung gibt.
- Das nach Tragfähigkeit sortierte Holz muss nach DIN 4074 Teil 1 oder DIN 4074 Teil 5 vom Hersteller mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) nach der Übereinstimmungszeichenverordnung der Länder gekennzeichnet werden. Diese Regel ist eine wesentliche Voraussetzung für die Aufnahme von Vollholz als geregeltes Bauprodukt in die Bauregelliste A. Eine Umsetzung dieser Regel bei der Sortierung von Hölzern im Altbau wird zurzeit nicht praktiziert und ist auch nicht praktikabel.
- Die Sortierkriterien sind nach DIN 4074 auf eine mittlere Holzfeuchte von 20% bezogen. Bei Altbauten wird dieser Wert in vielen Fällen unterschritten, d. h. eine Verminderung der Querschnittsflächen wird bei normaler weiterer Nutzung des Gebäudes nicht auftreten.



Bild 1. Ablaufschema zur Prüfung der Funktionsfähigkeit von Holzkonstruktionen in Altbauten nach BECKER und TICHELMANN (1997) sowie LISNER und RUG (2000)

In wie weit dies den in DIN 1052 festgelegten Materialfaktor beeinflusst und u. U. zur Erschließung von Sicherheitsreserven führt, wurde bisher nicht untersucht.

Während die Zuordnung der alten Hölzer in entsprechende Sortierklassen gelingt, ist eine nachträgliche Zuordnung von historischen Brettschichthölzern in die heutigen Klassen kaum möglich. Die heutigen Qualitätsanforderungen an die Brettlamellen, die Klebstoffe und an die Nachweise zur Eignung des Herstellers zum Verkleben von Brettschichtholz sind auf die Bedingungen früherer Produktion von Brettschichtholz nicht übertragbar. Für Holzkonstruktionen aus historischem Brettschichtholz (z. B. Bauteile der Hetzer AG, Weimar, der Fa. Christoph Unmack AG, Niesky oder der Kübler AG, Stuttgart) sind damit in jedem Einzelfall spezielle Untersuchungen zur Festigkeit und Tragfähigkeit der Bauteile erforderlich.

DIN 1052 regelt auch die Berechnung von historischen Holzverbindungen wie Versätze, Zapfen und Holznägel bis 30 mm Nageldurchmesser. Sind Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln aus Stahl/Eisen ausgeführt, so muss bei der Berechnung ihrer Tragfähigkeit die Stahlqualität bekannt sein. Seit Einführung des Flusstahles für rohe Schrauben im Jahre 1934 (DIN 1050) kann hierfür die Festigkeit der Stahlgüte S235 angenommen werden. Die Bewertung von Stahlgüten von Verbindungsmitteln aus der frühen Entwicklung des Stahlbaues ist schwierig, da die technischen Kennwerte starken Schwankungen unterliegen. Hilfreich sind hier spezielle Untersuchungen für jeden Einzelfall. Die neuen vereinheitlichten Grundlagen für die Bemessung von stiftförmigen Verbindungen, aber auch für Dübel besonderer Bauart sind für Verbindungen von Holzkonstruktionen im Altbau durchaus von Vorteil, da sie die Berücksichtigung differenzierter Baustoffwerte erlauben. Voraussetzung ist die zuverlässige Bestimmung der maßgebenden Baustoffwerte im eingebauten Zustand.

Konstruktionen in Altbauten unterliegen über ihre teilweise sehr lange Nutzungszeit den unterschiedlichsten Beanspruchungen. Langandauernde Belastungen führten zu Kriechverformungen, Überlastungen verursachten Brüche, langandauernde Feuchte förderte tierischen oder pflanzlichen Befall der Holzsubstanz, Eingriffe der Nutzer in das Tragwerk veränderten das ursprüngliche statische System, langzeitige Temperatureinwirkung oder aggressive Medien veränderten die Holzstruktur, Brände und Bombenabwürfe schädigten die Konstruktion, Baumängel aus der Entstehungszeit führten zu Überbeanspruchungen oder frühere unsachgemäße Instandsetzungen schädigten die Konstruktionen. Daraus ergibt sich, dass Altbaukonstruktionen in den seltensten Fällen den Regeln der Norm entsprechen und in jedem Einzelfall

zusätzliche Untersuchungen zum Bauzustand, der Art und dem Umfang der Baumängel und Bauschäden sowie den Schadensursachen notwendig werden. Ohne diese zusätzlichen Untersuchungen kann keine fachkundige Entscheidung zu der Erhaltungsfähigkeit der Konstruktionen und der Instandsetzungsstrategie gefällt werden.

Je nach Bedeutung des einzelnen Bauteils für das Tragverhalten der gesamten Konstruktion und zusätzlicher denkmalschutzrechtlicher Anforderungen ergeben sich differenzierte Fragen, die im Rahmen der Beurteilung der Standsicherheit, Trag- und Nutzungsfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit von Holzbauteilen in Altbauten zu klären sind.

Bei Konstruktionen im Altbau geht es nicht um den freien Entwurf von Bauteilen, sondern in erster Linie um die Bewertung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von verbauten Bauteilen im Hinblick auf ihre weitere Nutzung. Bedingt durch die Nutzungsgeschichte einer bestehenden Konstruktion sind zusätzliche Prüfungen und Untersuchungen notwendig. Es gilt in jedem Fall sorgfältig zu prüfen, ob die Eingangsgrößen in die Berechnung (wie z.B. Lastannahmen, Festigkeitsklasse, Festigkeit, Tragfähigkeit der Verbindung, vorhandene Querschnittsmaße, Einhaltung von Randabständen und Mindestquerschnitten, notwendige Abminderungen oder Erhöhungen der Tragfähigkeit) im vorliegenden Fall zutreffend sind. Der Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit schließt deshalb zusätzliche Untersuchungen zum tatsächlichen Kraftfluss und dem real vorliegenden statischen System sowie aus der zukünftigen Nutzung resultierenden statischen Anforderungen ein.

Das Bild 2 gibt einen Überblick über die Komplexität des Untersuchungsspektrums.

So müssen die vom Tragwerksplaner getroffenen Annahmen vor Ort genau analysiert werden. Der Tragwerksplaner hat in jedem Fall eine genaue geometrische Erfassung der wesentlichen Bauteile und Verbindungen selbst vorzunehmen und diese zeichnerisch zu dokumentieren. Liegen Bestandsunterlagen vor, so muss er diese sorgfältig prüfen und gegebenenfalls ergänzen. Unerlässlich ist hierbei die Feststellung der Struktur des Lastabtrages mit den maßgebenden Verbindungen und Aussteifungen sowie den einflussgebenden Verformungen. Besonders wichtig ist dabei auch die Festlegung der in realistischer Näherung anzunehmenden statischen Systeme und der maßgebenden Beanspruchungen bzw. Belastungen.

Erst nach einer genaueren in-situ-Prüfung der verbauten Holzqualitäten und einflussgebenden Baumängel/ Bauschäden kann die Trag- und Funktionsfähigkeit der Altholzbauteile mit den vordringlich auf Neubauten ausgerichteten Technischen Baubestimmungen rechnerisch nachgewiesen werden.

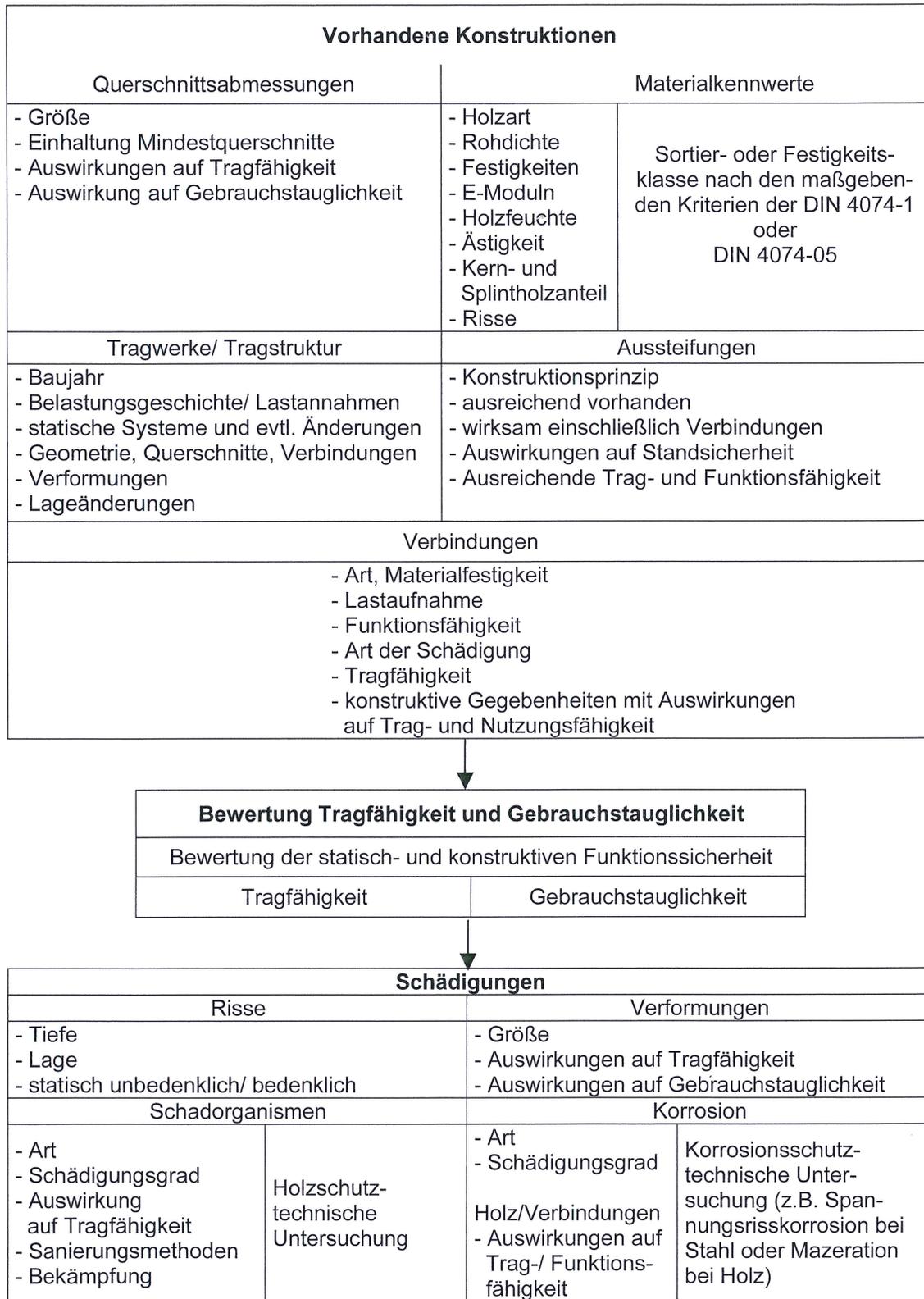


Bild 2. Einzelaspekte für die Beurteilung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen in Altbauten

Grundsätzlich muss ebenfalls geprüft werden, welche Anforderungen aus den Normen nicht eingehalten werden können. Dies erfordert eine Standsicherheitsuntersuchung zum Zeitpunkt vor einer notwendigen Sanierung und Instandsetzung sowie eine Untersuchung unter Berücksichtigung künftiger Nutzeranforderungen. Danach kann ein fundiertes Standsicherheitskonzept entwickelt werden, welches Vorschläge für Instandsetzungen, Entlastungen, Verstärkungen, Veränderung der vorhandenen Tragstrukturen oder auch die begründete Abweichung von Neubausicherheiten und -grenzverformungen enthält.

Die statische Untersuchung wird im Allgemeinen stufenweise durchgeführt. Über erste grobe Näherungen wird ein erstes Gefühl über die Hauptbeanspruchungen am Tragwerk entwickelt und im Folgenden wird der Tragwerksplaner die Berechnung verfeinern, um ein immer realistischeres Bild vom Tragvermögen und der Standsicherheit der Konstruktion zu erhalten.

Dabei verführt die schnelle Verfügbarkeit von Rechenprogrammen zu vorschnellen Schlüssen. Glaubt man den Zahlenwerten, so wird man in vielen Fällen feststellen, dass die Konstruktion nicht mehr standsicher ist und manchmal auch schon eingestürzt sein müsste. Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass die rechnerische Modellbildung nicht mit dem realen Zustand der Konstruktion übereinstimmt, denn die historische Konstruktion hat trotz Schädigungen Jahrhunderte überlebt - ein Hinweis, dass die durchgeführte Modellbildung falsch ist, weil die Annahmen zur Tragstruktur, zur Wirkung der Nachgiebigkeit der Verbindungen, des Lastabtrages der Verbindungen, zur Veränderung der historischen Tragstruktur infolge von Eingriffen, von Lastumlagerungen und von den Schädigungen nicht gründlich genug getroffen wurden.

4 Der Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Holzbauteilen in Altbaukonstruktionen

4.1 Klassifizierung des ungeschädigten Holzes

Werden die Festigkeitswerte nach DIN 1052 bei einem Standsicherheitsnachweis verwendet, müssen die Hölzer den Anforderungen nach DIN 4074 genügen. Andernfalls ist eine ausreichende Zuverlässigkeit der Holzkonstruktion nicht gewährleistet. Da, wie bereits erwähnt wurde, zwischen altem, bereits eingebautem Holz und neuem Bauholz bezüglich der Materialeigenschaften prinzipiell kein Unterschied besteht, liegt es auf der Hand, dass eine Festigkeitssortierung für altes Holz ebenfalls durchzuführen ist. Eine solche Sortierung wurde vor dem Einbau in früherer Zeit durch die Zimmerleute durchgeführt, sie lässt sich aber weder nachvollziehen noch verallgemeinern, so dass nur die

Möglichkeit bleibt, moderne Sortierregeln (DIN 4074) auf altes Holz zu übertragen. Dabei stößt man zwangsläufig auf Schwierigkeiten, da nicht alle Sortierregeln auf Holz im eingebauten Zustand anwendbar sind, weil das Holz nicht von allen Seiten zugänglich ist. Andererseits hat man aber den Vorteil, dass man die Sortierung auf die Stellen hoher Beanspruchung konzentrieren kann, wodurch sich der Arbeitsaufwand erheblich reduziert. Nicht alle Sortiermerkmale nach DIN 4074 beeinflussen gleichermaßen die Tragfähigkeit, so dass es gerechtfertigt erscheint, die einzelnen Kriterien für eine Anwendung auf altes, eingebautes Konstruktionsholz zu modifizieren. Durch diese Modifizierung bewegt man sich außerhalb einer bauaufsichtlich eingeführten Norm, was nur durch entsprechend sorgfältige Vorgehensweise gerechtfertigt sein kann.

Alle Sortiermerkmale und Sortierkriterien sind in DIN 4074 ausführlich beschrieben und sollten dem Ingenieur, der für die Standsicherheit einer alten Holzkonstruktion verantwortlich ist, bekannt sein. Im Folgenden werden diese Kriterien kurz aufgeführt und vor allem auf ihre Anwendung in Bezug auf altes Konstruktionsholz untersucht.

Äste

Maßgebend bei Ästen in Kanthölzern ist der kleinste sichtbare Durchmesser des größten Astes. Teilt man diesen Durchmesser durch die zugehörige Querschnittsbreite, erhält man die Ästigkeit. Die Ästigkeit darf bei S 7 bis $3/5$, bei S 10 bis $2/5$ und bei S 13 bis $1/5$ betragen.

Die Ästigkeit hat einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit, so dass diese Kriterien uneingeschränkt auch auf altes Konstruktionsholz übertragen werden müssen, um bei Anwendung der Festigkeitswerte der Klassen C16, C24 und C30 ausreichende Zuverlässigkeit zu garantieren.

Der Aufwand für diese Untersuchung lässt sich jedoch erheblich reduzieren, wenn man sich auf die Bauteile mit hoch beanspruchten Bereichen beschränkt, also jene Bereiche, in denen die Bemessungswerte der Spannungen die Bemessungsfestigkeitswerte erreichen.

Es wird nicht in allen Fällen möglich sein, alle Bauteile entsprechend zu untersuchen, da sie vielfach durch Wand-, Decken- oder Fußbodenbekleidungen nicht zugänglich sind. Hier bedarf es einer Extrapolation der sichtbaren Holzqualität (Äste) auf nicht sichtbare Bereiche. Diese Extrapolation ist denkbar, da innerhalb eines Holzbauteils, bedingt durch den natürlichen Baumwuchs, gewisse Regelmäßigkeiten vorhanden sind, und man bei alten Konstruktionen in der Regel davon ausgehen kann, dass die verwendeten Hölzer die gleiche Herkunft haben und somit annähernd vergleichbare Eigenschaften aufweisen. Es wird jedoch empfohlen, solche Extrapolationen auf Hölzer der Sortierklasse S 10 und darunter zu beschränken. Sollen Hölzer der Sortierklasse S 13 zugeordnet werden, sind diese im gesamten maßgebenden Be-

reich zu untersuchen, wobei zumindest teilweise Freilegungen der Hölzer unerlässlich sind.

Für Äste in Brettern, Bohlen oder Latten gelten andere Sortierkriterien bezüglich der Ästigkeit, die jedoch für alte Holzkonstruktionen, die im Wesentlichen aus tragenden Kanthölzern bestehen, wenig relevant sind. Hier wird bei Bedarf auf die Norm verwiesen.

Faserneigung

Die Faserneigung wird berechnet aus der Abweichung der Fasern von der Bauteillängsachse (in Prozent). Dabei bleiben örtliche Faserabweichungen z.B. infolge von Ästen unberücksichtigt. Die Faserneigung wird nach Augenschein, Schwindrisen oder mit Hilfe eines geeigneten Ritzgerätes bestimmt. Die Faserneigung darf bei S 7 bis 16%, bei S 10 bis 12% und bei S 13 bis 7% betragen. Diese Bedingungen können bei altem Konstruktionsholz, das mit dem Breitteil aus dem Stamm herausgearbeitet wurde, wodurch die Bauteillängsachse im Wesentlichen mit der Faserrichtung identisch ist, in der Regel vorausgesetzt werden. Trotzdem wäre es auch hier empfehlenswert, die Anforderungen an die Sortierklasse S 13 zumindest stichprobenartig nachzuweisen.

Markröhre

Die Markröhre ist für Kanthölzer S7 und S10 zulässig. Bei Kanthölzern der Sortierklasse S13 mit einer Breite über 120 mm ist sie ebenfalls zulässig. Da in historischen Holzkonstruktionen für tragende Bauteile oftmals größere Querschnitte eingesetzt wurden, ist dieses Kriterium in der Regel nicht maßgebend.

Jahringbreite

Die Jahringbreite wird in radialer Richtung gemessen, wobei bei Schnitthölzern, die Mark enthalten, was bei altem Konstruktionsholz die Regel ist, ein Bereich von 25 mm ausgehend von der Markröhre außer Betracht bleibt.

Jahringbreiten dürfen bei S 7 und S 10 bis 6 mm bei S 13 bis 4 mm betragen.

Jahringbreiten über 6 mm sind bei Fichte oder Tanne selten, insbesondere in den weiter von der Markröhre entfernten Bereichen. Somit erscheint eine Überprüfung dieser Anforderungen für S 7 oder S 10 nicht erforderlich, zumal bei altem Konstruktionsholz, bedingt durch den Einschnitt, die engeren Jahrringe in den Randbereichen liegen, die z.B. bei Biegeträgern am höchsten beansprucht sind. Soll Holz der Sortierklasse S 13 zugeordnet werden, ist die entsprechende Jahringbreite nachzuweisen, wenn nicht ein geeigneter Nachweis über entsprechend hohe Rohdichte vorliegt.

Da der Nachweis der Jahringbreite in der Regel nicht über das Hirnholz des Balkens erfolgen kann, da dieses nicht zugänglich ist, muss die Jahringbreite entweder anhand eines Bohrkernes oder z.B. mit Hilfe der Bohrwiderstandsmessung ermittelt werden.

Risse

Schwindrisse werden als auf die Querschnittsseiten projizierte Risstiefen definiert. Dabei bleiben Risse mit einer Länge bis $\frac{1}{4}$ der Schnittholzlänge, maximal 1 m, unberücksichtigt. Schwindrisse sind zulässig bis $\frac{3}{5}$ bei S 7, bis $\frac{1}{2}$ bei S 10 und $\frac{2}{5}$ bei S 13. Werden diese Grenzwerte nicht überschritten, kann man davon ausgehen, dass die in DIN 1052 festgelegten Festigkeitswerte, insbesondere die Schubfestigkeit, ausreichend gegeben sind. Findet man in einer alten Holzkonstruktion Kanthölzer mit größeren Risstiefen vor, so sind sie als Reduzierung des Querschnittes im Tragfähigkeitsnachweis für Schub bzw. Querkzug entsprechend zu berücksichtigen.

Baumkante

Für alle Sortierklassen sind maximal zulässige Größen der Baumkante angegeben. Werden diese Forderungen eingehalten, brauchen sie als Querschnittsschwächung nicht berücksichtigt zu werden. Baumkanten reduzieren also nicht die eigentliche Festigkeit, sondern den statischen Querschnitt, mit dem die Spannungen berechnet werden. Dies wird auch deutlich bei der Annahme der Festigkeitswerte von Rundholz, das ringsum eine Baumkante besitzt: hierbei dürfen die charakteristischen Biege- Druck- und Zugfestigkeiten sogar um 20 % höher angesetzt werden als bei Kantholz. Hierbei darf selbstverständlich nur der vorhandene Kreisquerschnitt des Rundholzes in Rechnung gestellt werden.

Altes Konstruktionsholz weist oftmals, bedingt durch die Herstellung, sehr ausgeprägte Baumkanten auf und erfüllt somit die Anforderungen in vielen Fällen nicht. Trotzdem können für diese Hölzer aus den bereits erwähnten Gründen die entsprechenden Festigkeitswerte nach DIN 1052 verwendet werden, wobei dann die Querschnittsschwächungen infolge der Baumkanten zu berücksichtigen sind.

Es ist im Einzelfall denkbar, die Biege- Druck- und Zugfestigkeiten um 20 % zu erhöhen, wenn Querschnitte vorliegen, die in der Zug- bzw. Druckzone nicht bearbeitet sind, die Fasern ungeschädigt durchgehen und somit der Querschnitt näherungsweise als Rundholz betrachtet werden kann.

Krümmung

Krümmungen (Längskrümmung, Verdrehung, Querkrümmung) sind an neuem Bauholz zu ermitteln und stellen ein Kriterium für die Einordnung in Sortierklassen dar. Da sich Krümmungen eher auf die Gebrauchstauglichkeit der Hölzer als auf deren Tragfähigkeit auswirken, ist es nicht notwendig, dieses Kriterium auf bereits eingebautes Holz zu übertragen. Hierbei kann im Einzelfall für die entsprechenden Bauteile entschieden werden, ob sie trotz Krümmungen ihre Gebrauchstauglichkeit erfüllen. Sollten knickgefährdete Bauteile (Stützen, Pfosten oder Obergurte von Biegeträgern) übermäßige Krümmungen aufweisen, ist dies bei der statischen Berechnung, gegebenenfalls nach Theorie II. Ordnung, zu berücksichtigen.

Verfärbungen

Verfärbungen (Veränderung der natürlichen Holzfarbe) kann auf Pilzbefall hindeuten. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Pilzbefall ohne Einfluss auf die Tragfähigkeit z. B. durch Bläue- oder Schimmelpilze, und Befall durch holzerstörende Pilze, der im Untersuchungsschritt 'Schadensfeststellung' zu lokalisieren ist.

Druckholz

Druckholz, als Reaktion im lebenden Baum auf äußere Beanspruchung gebildet, hat in mäßigem Umfang kaum Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften. Da Druckholz wegen des ausgeprägten Längsschwindverhaltens jedoch bei Trocknung erhebliche Krümmungen des Schnittholzes verursachen kann, sind für Bauholz Sortierkriterien in DIN 4074 festgelegt. Es erscheint jedoch nicht notwendig, diese Kriterien für bereits eingebautes Holz einzuhalten, da es bereits seine Ausgleichsfeuchte erreicht hat und somit keine nennenswerten Quell- oder Schwindverformungen mehr zu erwarten sind, sofern gewährleistet ist, dass das vorhandene Umgebungsklima auch in Zukunft erhalten bleibt.

Insektenfraß

Während die DIN 4074 lediglich auf Fraßgänge von Frischholzinsekten hinweist und hierfür für alle Sortierklassen Fraßgänge bis 2 mm zulässt, weist altes Konstruktionsholz oftmals Befall durch Larven des Hausbockkäfers oder durch Anobien auf. Dieser Befall schwächt den tragenden Querschnitt, so dass die Ausdehnung des Befalls im Untersuchungsschritt 'Schadensfeststellung' ermittelt werden muss. Für den nicht befallenen Restquerschnitt sind dann die hier zusammengestellten Sortiermerkmale einzuhalten. Bei nachweislich abgestorbenem Befall kann auf ein Entfernen der befallenen Bereiche in der Regel verzichtet werden, wenn der tragende Restquerschnitt ausreichend zuverlässig bezüglich seiner Tragfähigkeit beurteilt werden kann.

Sonstige Merkmale

Unter sonstige Merkmale fallen nach DIN 4074 alle Unregelmäßigen im Baustoff Holz, die einen Einfluss auf die Tragfähigkeit haben. Darunter können im weiteren Sinne auch Schädigungen des Holzes in bestehenden Holzkonstruktionen gesehen werden. Im folgenden Abschnitt werden diese Schäden beschrieben und bewertet.

4.2 Bewertung des Einflusses von Schädigungen auf die Festigkeit und Tragfähigkeit von Holzbauteilen

4.2.1 Schädigungen durch Insekten und Pilze

Biotische Schädigungen werden durch holzerstörende Insekten und holzerstörende Pilze verursacht. Je nach Art und Umfang der Schädigung führt dies zu einer Auflösung der Holzstruktur und damit zur Verminderung der Festigkeit bis zum vollständigen Verlust der Festigkeit bzw. Tragfähigkeit.

Die Larven holzerstörender Insekten verursachen durch ihre Fraßtätigkeit eine Zerlegung der Holzsubstanz. Dabei verliert das Holz seine Festigkeit. Zu den wichtigsten Holzzerstörern gehören der Hausbock und der Gewöhnliche Nagekäfer. Häufig sind sie beide im Altbau anzutreffen. Larven des Hausbocks zernagen bevorzugt das Splintholz. Beim Hausbock bleibt die äußere Holzschicht stehen und erst durch weitere Untersuchungen wird die Schädigung sichtbar.

Der gemeine Nagekäfer bevorzugt zwar das Splintholz, er kann aber auch den gesamten Querschnitt schädigen.

Hinsichtlich einer schädigenden Wirkung sind noch der Troitzkopf und der Splintholzkäfer von Bedeutung (LISNER und RUG 2000).

Pilze bauen die Zellwandsubstanz (Zellulose) des Holzes ab. Dadurch verliert das Holz an Festigkeit und die Dichte des Holzes vermindert sich. Die verbleibende Holzsubstanz färbt sich braun oder weiß und bricht würfelartig bzw. fasrig auseinander. Eine derartige Schädigung wird durch den Echten Hausschwamm, den Braunen Keller- und Warzenschwamm und den Weißen Porenschwamm hervorgerufen. Auch wenn noch keine Schädigung durch Braunfäule und vollständige Destruktion visuell erkennbar ist, kann die Festigkeit schon wesentlich vermindert sein.

Eine sehr gefährliche Schädigung verursachen Blättlinge. Sie sind vor allem für Innenfäule verantwortlich. Nicht entdeckte Kernfäuleschäden haben schon zu Einstürzen ganzer Deckenkonstruktionen geführt.

Die besondere Gefährlichkeit der holzerstörenden Pilze ergibt sich auch daraus, dass sie bei idealen Entwicklungsbedingungen (etwa 20 % bis 70 % Holzfeuchte und Temperaturen zwischen 20°C bis 35°C) nur wenige Monate benötigen, um die Holzsubstanz vollständig zu zerstören. Da die Sporen dieser Schädlinge sich überall in der Umgebung ausbreiten, besteht eine besondere Gefahr des Wiederbefalls bei idealen Wachstumsbedingungen. Deshalb ist nach jeder Sanierung eine dauerhaft trockene Einbaulage des verbauten Holzes sicherzustellen.

4.2.2 Korrosion von Holz

Aggressive Stoffe in Form von Säuren, Basen und Salzen können die Holzsubstanz an der Querschnittsoberfläche angreifen und auflösen. Die Auflösung der Holzstruktur führt zur Verminderung der Festigkeit. Trotz einer relativ sehr hohen Widerstandsfähigkeit des Holzes gegenüber aggressiven Stoffen kann es in Abhängigkeit von der Dauer der Einwirkung, der Aggressivität der angreifenden Stoffe, der Querschnittsgröße und den klimatischen Bedingungen zu korrosiven Schädigungen kommen.

Bei den meisten Chemikalien in fester, flüssiger oder gasförmiger Form nimmt die Korrosionswirkung mit der Zeit ab und es erfolgt nur eine Zerstö-

zung im oberflächennahen Bereich. Die Zerstörung in diesen Bereichen führt zu einem Festigkeitsverlust, der im Vergleich zu den ungeschädigten Querschnittsbereichen erheblich sein kann (LIßNER und RUG 2000).

Beim Angriff bestimmter Salze, z. B. durch eine sehr intensive Behandlung des Holzes mit Holzschutz- oder Feuerschutzmitteln, kann es zu einer typischen Auffaserung der äußeren Holzstruktur (wollige Struktur) kommen. Diese wird auch als Mazeration bezeichnet. Festgestellt wurden hier Schädigungstiefen bis 6 mm (SCHWAR 2000 und SCHWAR 2004).

Es wird empfohlen, den geschädigten Randbereich exakt zu ermitteln und vom statisch nutzbaren Querschnitt abzuziehen. In aller Regel handelt es sich um eine Schädigung am Querschnittsrand von etwa 10 mm. In bestimmten Ausnahmefällen geht die Schädigung bis maximal 20 mm (siehe ERLER 2000 sowie MÖNCK und ERLER 2004).

4.2.3 Temperatureinflüsse auf Holz

Wirkt auf eine Holzkonstruktion eine ständige Erwärmung von über 60° C ein, so führt dies zu einem Abbau der Zellulose. Dieser Vorgang ist mit einer Verminderung der Holzfestigkeit, aber auch des Elastizitätsmoduls verbunden. Bei sehr langer Dauer und hoher Intensität (z. B. in Eisengießereien und Glashütten) kann es sogar zur vollständigen Auflösung der Holzstruktur kommen. Kommen dann noch schweflige Gase hinzu, wird die Holzsubstanz zusätzlich angegriffen (RUG 1998).

4.2.4 Mechanische Schädigungen des Holzes

Mechanische Schädigungen des Holzes werden durch statische Überbeanspruchungen (Überlastungen), dynamische Überbeanspruchungen (Schwingungen, Erschütterungen, Explosionen) und unvorhergesehene Beanspruchungen aus der Nutzung (Anprall, Brand, Explosion) verursacht. Als Folge kann es zu Festigkeitseinbußen, Rissen, Formänderungen, Brüchen im Verbindungsbereich oder unzulässigen Querschnittsschwächungen und Materialermüdungen kommen.

4.2.5 Untersuchungsmethoden

Bedingt durch die Vielzahl von Schädigungsmöglichkeiten kann an dieser Stelle kein vollständiger Überblick über die zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden gegeben werden. Es wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Die visuelle Untersuchung ist nach wie vor die wichtigste Methode, um unmittelbar sichtbare Schäden zu finden, zu quantifizieren und zu bewerten. Sie muss allen anderen Untersuchungen vorangehen und kann in vielen Fällen auch ausreichend sein.

Sind Bauteile nicht unmittelbar zugänglich oder werden im Innern von Holzbauteilen Schädigungen vermutet, sind geeignete Messverfahren einzusetzen. So können mit Hilfe der Bohrwiderstandsmes-

sung, der Bohrkernentnahme oder mit Hilfe von Endoskopen nicht unmittelbar sichtbare Bereiche einer visuellen Beurteilung zugänglich gemacht werden. Aber auch mechanisch-manuelle Methoden wie Abbeilen oder das mechanische Eindringen in das Holz mittels spitzer Gegenstände (Nägel, Schraubenzieher) sind geeignet, Schädigungen unterhalb der Holzoberfläche zu orten.

Ziel dieser Untersuchung ist es, Holz mit nicht mehr ausreichender Tragfähigkeit zu erkennen und auszusortieren.

4.3 Ermittlung von weiteren Kennwerten an Holzbauteilen im Altbau

Eine zuverlässige Ermittlung von weiteren Kennwerten wie Rohdichte und Elastizitätsmodul bietet in Kombination mit der Einhaltung der visuellen Sortierkriterien nach DIN 4074 die Möglichkeit, das verbaute Altholz in gewisser Weise „maschinell“ zu sortieren und somit Festigkeitsprofile anzuwenden zu können, die bei einer rein visuellen Sortierung nicht erreichbar sind. Diese Verfahren sind jedoch bauaufsichtlich nicht eingeführt und es existieren keine eindeutigen Zuordnungsregeln, aus denen ein bestimmtes Festigkeitsprofil abgeleitet werden könnte. Trotzdem können diese Verfahren im Einzelfall unter besonderer Zustimmung der Baurechtsbehörde von erfahrenen Holz Sachverständigen angewandt werden. Der Vollständigkeit halber werden die Möglichkeiten an dieser Stelle kurz erläutert.

Mit der **Rohdichte** lässt sich die Holzstruktur des fehlerfreien Holzes beschreiben, sie ist also eine wichtige Kenngröße zur Beurteilung der Holzqualität. Die Rohdichte allein kann jedoch nicht zur Beurteilung der Festigkeit herangezogen werden, sondern sie muss stets im Zusammenhang mit den so genannten Holzfehlern, insbesondere der Ästigkeit, gesehen werden. Sie kann daher nur als Ergänzung zur visuellen Sortierung verwendet werden.

Die Rohdichte kann direkt an Proben, die aus dem zu untersuchenden Holz entnommen werden, ermittelt werden. Dabei eignen sich besonders Bohrkern, die einfach und schnell entnommen werden können. Indirekte Methoden wie Eindring-, Auszieh- oder Bohrwiderstandsmessungen sind ebenfalls möglich.

Aufgrund der hohen Korrelation des **Elastizitätsmoduls** mit den Festigkeitseigenschaften Biege-Druck- und Zugfestigkeit ist der Elastizitätsmodul hervorragend geeignet, um Bauholz mit hohen Festigkeiten zuverlässig zu klassifizieren. Hier eignen sich Methoden, bei denen aus der Durchbiegung von Bauteilen unter definierten Belastungen der Elastizitätsmodul mit Hilfe der Biegetheorie berechnet wird (statische Methode). Der Elastizitätsmodul lässt sich aber auch aus der Laufzeit von Schallwellen ermitteln, die durch einen Ultraschallimpuls oder durch ein einmaliges Anschlagen mit

einem Hammer erzeugt werden ermittelt (dynamische Methode).

Bestimmung der Holzfeuchte

Um eine alte Holzkonstruktion hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit beurteilen zu können, ist die Ermittlung der Holzfeuchte an ausgewählten Stellen unerlässlich. Dies hat mehrere Gründe, von denen hier die wichtigsten kurz dargestellt werden:

- Fast alle Festigkeitseigenschaften des Holzes hängen von der Holzfeuchte ab. Folgerichtig können auch festigkeitsrelevante Parameter, die zur Abschätzung der Tragfähigkeit herangezogen werden, von der Holzfeuchte abhängen. Dies bedeutet, dass bei allen Eindringverfahren zur Ermittlung der Rohdichte oder bei der Bestimmung des Elastizitätsmoduls zumindest stichprobenartig die Holzfeuchte zu ermitteln ist.
- Durch Feuchteänderungen im Holz entstehen Quell- bzw. Schwindverformungen, die sich ungünstig auf das Trag- und insbesondere auf das Verformungsverhalten einer Holzkonstruktion auswirken können. So können z. B. durch Schwindverformungen in Anschlüssen, die passgenau ausgeführt sind, Klaffungen oder durch Quellverformungen Zwängungen entstehen. Weiterhin ist beim Austrocknen des Holzes, bedingt durch unterschiedliche Quell- und Schwindmaße radial und tangential zu den Jahrringen, mit Schwindrissen zu rechnen. Zur realistischen Abschätzung feuchtebedingter Verformungen ist daher eine Ermittlung der aktuellen Holzfeuchte erforderlich. Dies trifft insbesondere auch auf neu eingebaute Hölzer zu, die in der Regel eine andere Holzfeuchte als die bereits eingebauten Hölzer aufweisen.
- Der Widerstand des Holzes gegen Pilzbefall und in gewissem Ausmaß auch gegen Insektenbefall hängt ebenfalls von der Holzfeuchte ab.
- Da die Holzfeuchte von dem das Holz umgebenden Klima (Temperatur, relative Luftfeuchte) abhängt, ergibt sich die Möglichkeit, aus einem Vergleich der aktuellen Holzfeuchte mit der Temperatur und der relativen Luftfeuchte Rückschlüsse auf Unregelmäßigkeiten im Bauwerk zu ziehen: liegt die Holzfeuchte deutlich über der aus dem Umgebungsklima zu erwartenden Ausgleichsholzfeuchte, so ist damit zu rechnen, dass Wasser Zugang zum Holz gefunden hat. Hierbei sind die Ursachen unbedingt zu bestimmen und zu beseitigen. Es kann sich dabei um freies Wasser (undichte Dächer oder Wasserrohre, schlecht abgedichtete Nasszellen) oder aber um indirekt aus Mauern eingedrungenes Wasser (aufsteigende Feuchte) handeln. Kondensation von Wasserdampf infolge fehlender bzw. falsch angeordneter Dampfsperren kann ebenfalls der Grund für hohe Holzfeuchten sein.

Die Holzfeuchte kann mit den seit vielen Jahren bewährten Holzfeuchtemessgeräten, die in der Regel auf dem Prinzip der Messung des elektrischen Widerstandes beruhen, für die oben beschriebenen Anwendungen hinreichend genau ermittelt werden. Dabei sind die Bedienungsanweisungen für die einzelnen Geräte (Einstellung der Holzarten, Temperaturkompensation) zu beachten. Zur Bestimmung der Holzfeuchte an eingebautem Konstruktionsholz sind Elektroden, die mehrere Zentimeter ins Holz eingerammt werden können, besonders geeignet, da man dadurch auch Aufschluss über die Feuchteverteilung im Inneren der Holzquerschnitte erhält. Dies ist wichtig, um zu entscheiden, ob eine hohe Holzfeuchte nur oberflächlich vorliegt, was auf einen einmaligen, kurzen Wasserzutritt hindeutet und im wesentlichen ohne Bedeutung ist, oder ob sich die hohe Holzfeuchte auch in das Innere fortsetzt und somit bei der weiteren Planung zu beachten ist.

Die Bestimmung der Holzfeuchte kann auch über eine Bestimmung mittels Darrmethode an entnommenen Bohrkernen erfolgen.

4.4 Besonderheiten der Nachweise zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

4.4.1 Allgemeines

Eine historische Holzkonstruktion muss unter Beachtung der geplanten Restnutzungsdauer und ihrer Instandsetzungskosten mit kalkulierbarer (annehmbarer) Wahrscheinlichkeit die geforderten Gebrauchseigenschaften gewährleisten. Sie hat mit angemessener Zuverlässigkeit den möglichen Einwirkungen und Einflüssen, die während ihrer Restnutzungsdauer auftreten können, standzuhalten. Daraus ergibt sich die Forderung, dass generell die Beanspruchbarkeit der tragenden Konstruktionsteile und ihrer Verbindungen größer als die maximal mögliche Beanspruchung sein muss (Grenzzustand der Tragfähigkeit). Außerdem darf während der gesamten Nutzung kein Zustand entstehen, bei dem die festgelegten Bedingungen für die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr erfüllt sind (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit).

4.4.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Prinzipiell unterscheidet sich das Vorgehen beim Nachweis der Tragfähigkeit nicht von dem bei neuen Konstruktionen. Allerdings werden die Eingangsgrößen (wie zum Beispiel Lastannahmen, mögliche Lastreduzierungen, Sortier- und Festigkeitsklasse, tatsächliche Festigkeit und Tragfähigkeit des Bauteiles und der Verbindungen, Randabstände, Querschnittsreduzierungen, notwendige Abminderungen oder mögliche Erhöhungen der Tragfähigkeit) nicht frei gewählt, sondern sie sind durch den Bauzustand des Bauwerkes vorgegeben. Der Vorteil dabei ist, dass die Eigenschaften der Konstruktion durch genaue Untersuchungen zuverlässig bestimmt werden können. Andererseits

ergibt sich die Notwendigkeit einer umfassenden und fachkundigen Untersuchung aus der Forderung nach Einhaltung der Technischen Baubestimmungen. Auf die Schließung der Sicherheitslücken ist dabei besonderes Augenmerk zu legen.

Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind unbedingt einzuhalten. Überschreitungen der Beanspruchungsfähigkeit der Bauteile und Verbindungen (wie zum Beispiel in Höhe von 25% in WTA 2002 empfohlen) sind nicht zu tolerieren. Auch der pauschale Hinweis auf Sicherheitsreserven, weil historische Holzkonstruktionen in aller Regel überdimensioniert sind, ist dabei nicht stichhaltig. Ob zusätzliche Sicherheiten genutzt werden können, kann nur für jeden Einzelfall fachkundig festgestellt werden. Bisher gibt es hierzu aber keine grundlegenden Untersuchungen.

4.4.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Werden über die gesamte Nutzungszeit bestimmte Grenzwerte der Verformungen oder Schwingungen eingehalten, so ist die Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1052, Abschnitt 9 gewährleistet. Der Nachweis der Einhaltung von Grenzwerten für die Durchbiegung ist allerdings nicht mehr zwingend vorgeschrieben. In der früheren Ausgabe der DIN 1052 mussten die Grenzwerte eingehalten werden. Dies erforderte bei Holzbalkendecken, bei denen etwa ab einer Schlankheit l/h von 20 die Einhaltung der Durchbiegungsgrenzwerte für die Bemessung maßgebend wurde, sehr oft teure Verstärkungsmaßnahmen. Ob die in früheren Zeiten festgelegten Grenzwerte überhaupt sinnvoll sind, ist unter Fachleuten umstritten (SCHEER, PASTERNAK und HOFMEISTER 1998). Neue Vorschläge gibt es hier noch nicht.

Schon Anfang der neunziger Jahre wurde durch einzelne Bauaufsichtsbehörden per Erlass (z. B. in Berlin) die zulässige Grenzverformung unter Gesamtlast für Balken ohne Überhöhung von $l/300$ auf $l/200$ erhöht. Dies stellte eine wesentliche Erleichterung zur Einsparung von Verstärkungen dar. Da nun in der neuen DIN 1052 die vorgeschlagenen Grenzwerte nicht mehr zwingend einzuhalten sind, können sie mit dem Bauherren vereinbart werden. Hierüber sollte eine zivilrechtliche Vereinbarung geschlossen werden, um späteren Streitigkeiten vorzubeugen.

Für den Altbau und die Denkmalpflege ergibt sich daraus ein Vorteil. Jetzt ist es möglich, zwischen den am Bau Beteiligten denkmalgerechte Lösungen ohne notwendige Verstärkungen auszuhandeln.

5 Nachweis der Tragfähigkeit historischer Holzverbindungen

Holzverbindungen in historischen Holzkonstruktionen sind oftmals als zimmermannsmäßige Holzverbindungen, z. B. als Versätze, Blatt- oder Zapfenverbindungen mit Holznägeln oder als Schwalbenschwanzverbindungen ausgebildet. Im Folgenden wird kurz auf deren Berechnung und Besonderheiten eingegangen.

Versatzverbindungen

Der Versatz stellt einen auch im modernen Ingenieurholzbau häufig verwendeten Anschluss eines Druckstabes dar, der unter einem spitzen Winkel auf einen zweiten Stab trifft. Die Ermittlung der Beanspruchbarkeit eines Versatzes kann nach DIN 1052 Abschnitt 15 berechnet werden. Oft wird jedoch festgestellt, dass die Versätze in historischen Holzkonstruktionen nach einer rechnerischen Überprüfung nicht ausreichend tragfähig sind. Dies erstaunt umso mehr, da in vielen Fällen die Versätze mehrere hundert Jahre überlebt haben, ohne Schäden durch Überlastung zu zeigen.

Aufgrund umfangreicher experimenteller Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass unter bestimmten Voraussetzungen Versätze deutlich tragfähiger sein können, als unter Zugrundelegung der Festigkeitswerte nach DIN 1052 zu erwarten wäre. Dies hat im Wesentlichen zwei Ursachen:

- Scherspannungen im Vorholz eines Versatzes liegen, insbesondere bei historischen Hölzern, oftmals nicht in einer Ebene mit den im Holz auftretenden Schwindrissen. Dies bedeutet, dass die für Vollholz festgelegten rechnerischen Scherfestigkeiten, die ein Vorhandensein von Schwindrissen von bis zu 50% berücksichtigen, für diese Fälle weit auf der sicheren Seite liegen. Für den Nachweis des Vorholzes bei Versätzen kann bei nachgewiesener Rissfreiheit im Bereich des Vorholzes mit einer charakteristischen Schubfestigkeit von $4,8 \text{ N/mm}^2$ gerechnet werden. Die in der Fachliteratur empfohlene Bedingung nach Einhaltung einer konstruktiven Vorholzlänge bei Versätzen von mindestens 200 mm muss bei trockenem und rissefreiem Holz nicht eingehalten werden.
- Druckspannungen in der Stirnfläche des Versatzes liegen häufig in einem Bereich, der weitgehend frei von Ästen ist und somit lokal eine bessere Sortierklasse (z.B. S 13) aufweist, als die Strebe bzw. das Gutholz (z.B. S 10). Dadurch können in diesem Bereich die Druckfestigkeiten für C30 anstelle von C24 genutzt werden. Wenn weiterhin gezeigt werden kann, dass das Holz in diesem Bereich neben einer geringen Ästigkeit auch eine relativ hohe Rohdichte aufweist, können noch höhere Druckfestigkeiten unterstellt werden. Es konnte gezeigt werden, dass bei einer Roh-

dichte über 450 kg/m^3 bei gleichzeitigem Fehlen von Ästen die Druckfestigkeiten der Festigkeitsklasse C40 für den Tragfähigkeitsnachweis angesetzt werden können.

Selbstverständlich darf ein Versatz, bei dem hohe Spannungen auftreten, weder durch Pilz- noch durch Insektenbefall geschwächt sein.

Blatt- und Zapfenverbindungen mit Holznägeln

Über Jahrhunderte sicherte man zimmermannsmäßige Holzverbindungen, vor allem Zapfen- und Blattverbindungen, mit Holznägeln aus Eichen-, Eschen-, Kiefern- oder Fichtenholz. Maßgebend für das Tragvermögen eines Holznagels ist der Biege- und Lochleibungsfestigkeit der Holzbauteile wird im Allgemeinen nicht ausgenutzt.

In DIN 1052, Abschnitt 15 ist ein Bemessungsansatz angegeben, gültig für eine Scherfuge, für ein- und zweischnittig beanspruchte Holznägel aus Eichenholz. Die Berechnung gilt nur für die genannten Voraussetzungen.

Die Anwendung der Bemessungsgleichungen ist nur bei gutem Passsitz der Verbindung und des Verbindungsmittels (keine klaffende Fuge) und bei ungeschädigtem Holz gegeben.

Für querkraftbeanspruchte **Zapfenverbindungen** kann die Tragfähigkeit ebenfalls nach 15.2 berechnet werden. Die Tragfähigkeit von Zapfen ist rechnerisch von der Schubfestigkeit des Holzes abhängig, obwohl wie bei einer Ausklinkung auch Querspannungen auftreten, die durch entsprechende Beiwerte berücksichtigt werden.

Zugbeanspruchte Zapfenverbindungen müssen mit einem Holznagel gesichert sein und können dann ebenfalls nach DIN 1052 berechnet werden.

Verbindungen mit Schwalbenschwanzblatt

Schwalbenschwanzblätter gehören zu den frühmittelalterlichen Holzverbindungen, ausgeführt bei Kopfband- und Strebenanschlüssen, insbesondere bei historischen Holzkonstruktionen des 11. bis 16. Jahrhunderts. Bei gutem Passsitz können kurzzeitig wirkende Zugkräfte, z. B. aus Windbeanspruchung, aufgenommen werden. Die Aufnahme von Zugkräften ist möglich, wenn sich in den gegenläufig geneigten Flanken Druckkräfte aufbauen können. Sie beanspruchen das Holz in der Blattsasse im Winkel zur Faser (siehe Bild 3).

Die von GÖRLACHER (1999) auf der Grundlage von Versuchen (GÖRLACHER ET AL. 1992) angegebenen Bemessungsgrundlagen sind nur für kurzzeitig wirkende Zugkräfte (KLED kurz) anzuwenden, da es durch unvermeidliche Feuchteänderungen unter ständiger Last zu einem allmählichen Herausziehen des Blattes aus der Blattsasse kommen kann. Der Nachweis lautet für den Fall der kurzzeitig wirkenden Belastung:

$$F_k = \min \begin{cases} 0,13 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{1-k} \\ 0,13 \cdot \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{k} \end{cases}$$

mit

F_k charakteristische Tragfähigkeit in kN

a halbe Einbindetiefe des Brettes rechtwinklig zu Faserrichtung des Hauptträgers in mm

$$k = \frac{\tan(\gamma_2 + \varphi) - \frac{1}{\tan \alpha}}{\tan(\gamma_1 + \varphi) + \tan(\gamma_2 + \varphi)}$$

mit

γ_1, γ_2 Winkel zwischen der Längsachse des Nebenträgers und den Flanken des Blattes, wobei γ_2 auf der Seite des spitzen Anschlusswinkels anzusetzen ist

φ Reibungswinkel zwischen Blatt und Blattsasse ($\varphi = 15^\circ$)

Weitere Angaben zu zimmermannsmäßigen Holzverbindungen finden sich in HEIMESHOF und KÖHLER (1989).

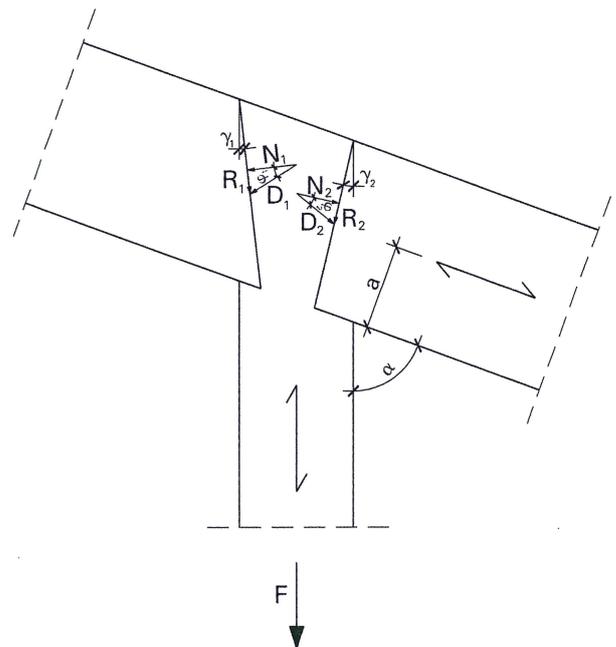


Bild 3. Reaktionskräfte innerhalb der Blattverbindung bei Zugbeanspruchung nach GÖRLACHER (1999)

Verbindungen aus Eisen und Stahl

Stahlverbindungsmittel und Stahlbauteile aus der Zeit ab 1925 lassen sich den einschlägigen Baustoffnormen des Stahlbaus zuordnen. Die Stahlgüte entspricht im Wesentlichen der heutigen Güte S235 nach DIN EN 10025. Bei älteren Verbindungsmitteln aus der frühen Zeit des Stahlbaus bestehen die Eisenteile häufig aus Puddelstahl. Dieser streut sehr stark in seinen Eigenschaften, da die chemische Zusammensetzung nicht einheitlich ist. Stahlteile aus Puddelstahl haben eine weitaus niedrigere Festigkeit (BUÇAK und MANG 1998). Im Einzelnen kann man Rückschlüsse auf die Festigkeit ziehen, indem eine chemische Analyse des Eisens an Mikroproben erfolgt. Derartige Untersuchungen können nur von Speziallabors

durchgeführt werden. Besser ist die Entnahme von Kleinzugproben (siehe FREY 1999 oder KÄPPLEIN und WILGOSCH-FREY 2001) und eine direkte Messung der Zugfestigkeit. Dies ist aber bei den Eisenverbindungen im Holzbau selten möglich.

Enthalten die Verbindungen Stahlverbindungsmitel, so sind diese in der Regel korrosionsgeschützt in denjenigen Bereichen, in denen sie vom Holz umschlossen werden. Dagegen ist mit Stahlkorrosion für die dem unmittelbaren Angriff korrosionsfördernder Medien ausgesetzten Teile - sichtbare Schraubenenden, Unterlegscheiben u. a. - zu rechnen. Besondere Aufmerksamkeit verdient die Spannungsrissskorrosion, die bei bestimmten aggressiven Stoffen auftritt und die zur interkristallinen Zerstörung des Stahlgefüges führt. Dies kann zum plötzlichen Versagen statisch beanspruchter Stahlteile schon bei geringer Beanspruchung führen (LIßNER und RUG 2000).

Weitere Verbindungen

In den letzten 100 Jahren wurden die vielfältigsten ingenieurmäßigen Verbindungen entwickelt und erprobt (RUG 2003). Nur ein Teil der bestehenden Systeme wurde in frühere Normfassungen der DIN 1052 übernommen. Man muss aber davon ausgehen, dass die bauaufsichtlich geregelten Verbindungsmittel in den allermeisten Fällen angewendet wurden. Vor der Einführung der DIN 1052 waren die Firmen bzw. Patentinhaber verantwortlich für die Bestimmung der Tragfähigkeiten. Hier ist die Fachliteratur zu Rate zu ziehen. Nachfolgend wird ausschließlich auf die bauaufsichtlich geregelten Verbindungen eingegangen.

Dübel besonderer Bauart

Für die in den alten Fassungen der DIN 1052 enthaltenen Dübel besonderer Bauart finden sich auch in der neuen Normfassung Bemessungsregeln. Neu ist, dass die charakteristische Tragfähigkeit für Dübel besonderer Bauart jetzt aus dem Anteil des Dübels selbst und dem Bolzen berechnet wird, während in der früheren Norm die gesamte übertragbare Belastung angegeben war. Entspricht der Typ des Dübels, das Material des Dübels und die geometrischen Bedingungen den Forderungen der neuen Norm, so können diese nach diesen neuen Berechnungsgrundlagen nachgewiesen werden. Die Stahlgüte des Bolzens darf dann als St 37 (S235) angenommen werden. Vorgefundene Korrosion ist hinsichtlich ihres Einflusses auf die Trag- und Funktionsfähigkeit gesondert zu bewerten.

Für andere in der Vergangenheit verwendete Dübel besonderer Bauart kann der Nachweis nach der alten Norm geführt werden. Die zulässigen Beanspruchungen waren in Tabellen angegeben und können daraus entnommen werden. Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit sollte als der 2,1-fache zulässige Wert angenommen werden.

6 Literaturverzeichnis

ANONYMUS 1993: Möglichkeiten und Grenzen der Holzsortierung mit Ultraschall. Bautechnik (1993) H. 11, S. 700-701

BECKER, K. UND TICHELMANN, C. 1997: Ablaufschema für Sanierungsbauten- erarbeitet vom AA13 „Erhaltung alter Bausubstanz“ der DGfH München

BLASS, H.J., FALK, V.C. UND GÖRLACHER, R. 1997: Statische Modellierung hölzerner Dachtragsysteme am Beispiel des Dachwerks der katholischen Kirche in Kirchdorf/Brigachtal, SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1995, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

BLAß, H.J., FALK, V. UND GÖRLACHER, R. 1999: Statische Modellierung der Nachgiebigkeit historischer Holzverbindungen, In: SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1996, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1999

BLAß, H.J., ERNST, M. UND WERNER, H. 1999: Verbindungen mit Holzstiften. Bauen mit Holz 101 H 10, S. 45-52

BENNINGHOVEN, H. 1985: Trägerrostberechnung als Beitrag zur Fachwerkhausstatik. Bauen mit Holz 87, S. 842-846

BONAMINI, G. 1995: Instandsetzung von Holzkonstruktionen- Bauzustandsanalyse, Holzbauwerke nach EC 5, Informationsdienst Holz, Step 2, Fachverlag Holz, Düsseldorf.

BORRMANN, M. 1989: Baugeschichtliche Anmerkungen zu Knotenpunkten und Verbindungsmitteln alter Holzkonstruktionen, SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1988, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1989

BUCAK, Ö.; MANG, F. 1998: Erfahrungen mit alten Stahlkonstruktionen. Stahlbau (1998) H. 1, S. 46-60

EHLBECK, J. UND GÖRLACHER, R. 1988: Erste Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an altem Konstruktionsholz, In: SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1987, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988

EHLBECK, J. UND HÄTTICH, R. 1987: Über die Erforschung des Trag- und Verformungsverhaltens von Knotenpunkten und Verbindungsmitteln alter Holzkonstruktionen, SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1986, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1987

- EHLBECK, J. UND GÖRLACHER, R. 1990: Bohrwiderstandsmessungen an eingebautem Konstruktionsholz, In: SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1989, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1990
- EHLBECK, J. UND HÄTTICH, R. 1990: Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von ein- und zweischnittig beanspruchten Holznägeln, In: SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1989, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- EHLBECK, J. UND GÖRLACHER, R. 1990: Zur Problematik bei der Beurteilung der Tragfähigkeit von altem Konstruktionsholz. Bauen mit Holz 92,
- EHLBECK, J. UND GÖRLACHER, R. 1992: Zur Problematik bei der Beurteilung von altem Konstruktionsvollholz, Holzbau- Statik- Aktuell, Ausgabe Juli 1992/2, Arge Holz, Düsseldorf
- EHLBECK, J. UND KROMER, M. 1995: Zimmermannsmässige Holzverbindungen, Holzbauwerke nach EC 5, Infodienst Holz, Step 1, Fachverlag Holz, Düsseldorf 1995
- ERLER, K. 1997: Alte Holzbauwerke – Beurteilen und Sanierungen, Berlin 1997
- ERLER K. 1998: Korrosion von Vollholz und Brett-schichtholz. Bautechnik (1998) H. 8, S. 530-538
- ERLER, K. 2000: Chemische Korrosion von Holz und Holzverbindungen, Forschungsbericht T2916, IRB- Verlag Stuttgart 2000
- FREY, A. 1999: Ermittlung der Werkstoffkenngrößen alter Stähle an kleinen Proben, In: SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1996, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- GEROLD, U. 1996: Pirna, Niedere Burgstrasse 3, Zur Tragkonstruktion des Dachwerks. SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1993, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1996
- GÖRLACHER, R. 1987: Zerstörungsfreie Prüfung von Holz: ein in-situ-Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte. Holz als Roh- und Werkstoff 45, S. 273-278
- GÖRLACHER, R. 1991: Non- Destructive Testing of Wood: Measuring Drilling Resistance, In: 1991 International Timber Engineering Conference, Proceedings
- GÖRLACHER, R. ET AL. 1992a: Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von zugbeanspruchten Blattverbindungen in historischen Holzkonstruktionen. SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1990, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- GÖRLACHER, R. UND KROMER, M. 1992b: Ermittlung von Spannungen in einem Bauteil. Bauen mit Holz 94, S. 912-918
- GÖRLACHER, R. UND KROMER, M. 1992c: Tragfähigkeit von Versatzanschlüssen in historischen Holzkonstruktionen. Holzbau- Statik- Aktuell, Ausgabe Juli 1992/2, Arge Holz Düsseldorf
- GÖRLACHER, R. UND HÄTTICH, R. 1992: Die Bohrwiderstandsmessung, Holzbau-Statik-Aktuell, Ausgabe Juli 1992/2, Arge Holz, Düsseldorf
- GÖRLACHER, R. 1992e: Bestimmung des Elastizitätsmoduls, Holzbau- Statik- Aktuell, Ausgabe Juli 1992/2, Arge Holz, Düsseldorf
- GÖRLACHER, R. UND KROMER, M. 1993: Die Untersuchung der Holzkonstruktion über der Kirche im Schloss Schwerin. SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1991, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- GÖRLACHER, R. 1995: Zum Tragfähigkeitsnachweis bei alten Holzkonstruktionen, Holzbauwerke nach EC 5, Infodienst Holz, Step 3, Fachverlag Holz, Düsseldorf 1995
- GÖRLACHER, R., KROMER, M. UND EHLBECK, J. 1995: Dachtragwerk der Klosterkirche in Kircheim / Ries. Bauen mit Holz 97, S. 209–213
- GÖRLACHER, R., KROMER, M. UND EHLBECK, J. 1997: Behutsame Instandsetzung und Verstärkungsmaßnahmen von historischen Holzkonstruktionen, In: SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1994, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- GÖRLACHER, R. 1999: Historische Holztragwerke; Untersuchen, Berechnen und Instandsetzen. Sonderforschungsbereich 315 Universität Karlsruhe (TH), ISBN 3-9345540-01-5
- HASENSTAB, A. UND KRAUSE, M. 2002: Hohlstellen-ortung in Holzbalken mit dem Ultraschallverfahren, In: DGZfP- Jahrestagung 2002, Tagungsmaterial
- HAUER, M., SEIM, W. UND WENZEL, F. 1996: Wirklichkeitsnahe Simulation des Tragverhaltens alter Dachstühle, SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1993, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

- HEIMESHOFF, B., SCHELLING, W. UND REYER, E. 1988: Zimmermannsmäßige Holzverbindungen, EGH Bericht München 1988
- HEIMESHOFF, B. UND KÖHLER, N. 1989: Untersuchung über das Tragverhalten von zimmermannsmäßigen Verbindungen, Forschungsbericht T2189, IRB Verlag Stuttgart 1989
- HELD, H.; WINTER, K. 1995: Bohren, Proben und Impulse – Moderne Methoden zur Bestimmung der Holzfestigkeit. Bausanierung 9/95
- HOFFMANN, F. 1980: Statik von Fachwerkbauten, In: Deutsche Bauzeitung (1980), S. 413-416
- KÄPPLEIN, R. UND FREY-WILGOSCH A. 2001: Historische Eisen- und Stahlkonstruktionen, Untersuchen, Berechnen, Instandsetzen, Sonderforschungsbereich 315 Universität Karlsruhe 2001
- KESSEL, M. H. 1990: Untersuchungen über das Tragverhalten von Verbindungen mit Eichenholznägeln. Bauen mit Holz 92, S. 246-250
- KESSEL, M. H. UND AUGUSTIN, R. 1994: Untersuchung der Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit Holznägeln. Bauen mit Holz 96, S. 484-487
- KOTHE, E. 1987a.: Moderne zerstörungsarme Prüfmethoden zur Beurteilung verbauten Holzes. Internationale Holzbautagung, Teil 1, Bauforschung Baupraxis Heft 204, Berlin 1987
- KOTHE E. 1987b: Anwendung moderner Diagnoseverfahren als Grundlage der Projektierung bei der Rekonstruktion von Holztragwerken. Wiss. Zeitschrift der TU Dresden (1987) H. 5, S. 181-184
- KOTHE E. 1988: Auswirkung von Holzschäden durch Pilze und Insekten auf die Standsicherheit von Holzbauwerken- eine Bestandsaufnahme. Bautechnik (1998) H. 8, S. 552-558
- KRAFT, S. 1998: Statisch-konstruktive Untersuchungen gezimmerter Dachtragwerke in Pirna, SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1995, Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- LIßNER, K. UND RUG, W. 2000: Holzbausanie rung – Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2000
- MÖNCK, W. UND ERLER, K. 2004: Schäden an Holzkonstruktionen. 4. bearbeitete Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin 2004
- NIER, J. 1994: Experimentelle Festigkeitsuntersuchungen an alten Bauhölzern und daraus abgeleiteten Erkenntnisse zur Tragfähigkeitsbeurteilung, Dissertation, Technische Hochschule Leipzig, 1994
- PEIL, U. 2003: Lebensdauererlängerung von Bauwerken mit Hilfe von Bauwerksüberwachung. Bautechnik (2003) H. 9, S. 614-630
- REYER, E. UND SCHMIDT, M. 1989: Zum Tragverhalten zimmermannsmäßiger Holzverbindungen. Bauen mit Holz 91, S. 493-499
- RINN, F. 1993: Gucken, Klopfen, bohren, zerstörungsfreie Bohrwiderstandsmessung als Teil der ingenieurtechnischen Untersuchung. Bausubstanz (1993) H. 5, S. 49-52
- RUG, W. UND SEEMANN, A. 1988: Festigkeit von Altholz. Holztechnologie (1988), H. 4, S. 186-190
- RUG, W. UND SEEMANN, A. 1989a: Festigkeit von Altholz. Bauen mit Holz 91, S. 696-699
- RUG, W. UND SEEMANN, A. 1989b: Ermittlung von Festigkeitswerten an alten Holzkonstruktionen. Holztechnologie, Leipzig, 30(1989)2, S. 69-73
- RUG, W. UND KRÜGER, K. 1989c: Erhaltung alter Holztragwerke. Bauen mit Holz 91, S. 610-616
- RUG, W. UND SEEMANN, A. 1991: Analysis of the Structural State of Repair, Preservation and Repair of Historic Timber Loadbearing Structures, in: International Timber Engineering Conference London 1991
- RUG, W.; HELD, H. 1995: Die Bohrwiderstandsuntersuchung; Teil 1: Bauzeitung 49(1995)4, S. 50-52 und 49(1995)5, S. 58-59.
- RUG, W. 1998: Instandsetzung des Holztragwerks einer historischen Glashütte. Bautechnik 75(1998)8, S. 559-565
- SCHEER, J., PASTERNAK, H. UND HOFMEISTER, M. 1998: Durchbiegungsbeschränkungen in Normen- ein kritischer Vergleich. Festschrift Joachim Lindner IRB- Verlag, Stuttgart 1998
- SCHWAR, A. 2000: Mazeration als Erscheinungsform chemischer Korrosion an verbautem Holz, Auslösende Faktoren, Mechanismen. Bautechnik (2000) H. 7, S. 478- 483
- SCHWAR, A. 2004: Schadhafte Dachstuhlholzer infolge Fehlanwendung von Holz- und Flammschutzmitteln- Auswirkungen auf die Bauteilsicherheit, In: 18. Holzbauseminar 2004 in Cottbus, Tagungsmaterial, www.holzbau-statik.de

STECK, G. UND GÖRLACHER, R. 1987: Methoden der zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Prüfung von Bauholz- eine Literaturlauswertung, In: SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1986, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

TICHELMANN, K. UND GRIMMINGER, U. 1993: Zerstörungsfreie Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von Konstruktionsholz durch Ultraschall-Laufzeitmessung. Bautechnik (1993) H. 4, S. 218-224

UZIELLI, G.L. 1995: Instandsetzung von Holzkonstruktionen- Reparatur und Verstärkung, Holzbauwerke nach EC 5, Infodienst Holz, Step 3, Fachverlag Holz, Düsseldorf 1995

WINTER, K. UND HELD, H. 1996: In-situ-Prüfverfahren für verbautes Holz. Bauzeitung 50(1996)11, S. 48-51

WTA 2000: Merkblatt E-8-8-00/D: Fachwerkinstandsetzung nach WTA VIII: Tragverhalten von Fachwerkgebäuden, WTA, Zürich 2000

H.J. Blaß J.Ehlbeck H.Kreuzinger G.Steck

Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08

Entwurf, Berechnung und Bemessung
von Holzbauwerken

2. Auflage inkl. Originaltext der Norm

März 2005

Herausgeber:



DGfH innovations- und Service GmbH, München