

100 Jahre Holzbautechnik

Aus Anlass von „100 Jahre BDZ“ ein geraffter Rückblick (Teil 1)

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug*

Im Rahmen seines 100 jährigen Jubiläums gibt der BDZ ein Buch über „100 Jahre Holzbau und Holzbauforschung in Deutschland“ heraus. „Bauen mit Holz“ bringt vorab einen kurzen Einblick in diese Publikation.

In diesem ersten Teil beschreibt einer der Autoren, Prof. Dr.-Ing. W. Rug, in einem groben Abriß die markanten Stationen der Holzbauentwicklung. Im zweiten Teil wird es um die Holzbauforschung gehen.

Holzbau um 1900

Der harte Wettbewerb zwischen dem über Jahrhunderte bewährten Holzbau und den neuen, aus künstlichen Baustoffen bestehenden Bauweisen, dem Stahl- Mauerwerks- und Stahlbetonbau, hatte im Zeitraum zwischen 1850 und 1900 den Holzbau fast vollständig aus dem Brücken- und Hallenbau verdrängt. Geblieben waren noch Anwendungsbereiche im Wohnbau bei Decken und Dächern und bei Hallen und Brückenbauten mit kleinen Spannweiten sowie im Holzhausbau. Der Anteil der Zimmerarbeiten am Wohnungsbau ging bis auf 10% der Gesamtsumme zurück.

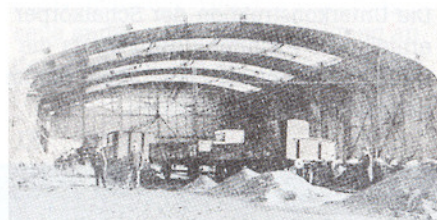


Bild 1: Die historisch dokumentierte Halle in Hetzer-Bauweise „Deutsche Eisenbahnhalle“, Weltausstellung Brüssel 1910, Zweigelenkrahmen mit Zugband, Stützweite: 43 m ! (aus: „Holzleimbau“, C. Müller, Birkhäuser 2000)

Der Rückstand zum Stahlbau, dessen kühne Brücken- und Hallenbauten die zunehmende Leistungsfähigkeit des Baustoffes dokumentierten, wurde immer deutlicher.

Holzbau bis zum Ersten Weltkrieg

Die zimmermannsmäßige Holzbauweise aus Erfahrung, welche die hölzernen Dachkonstruktionen bis ins 20. Jahrhundert hinein beherrschte, wurde ab 1910 etwa durch den sogenannten ingenieurmäßigen Holzbau in steigendem Maße beeinflusst bzw. abgelöst.

Eine der grundlegenden Weiterentwicklungen des Holzbaues, war die Erfindung des Brettschichtholzes durch den Weimarer Hofzimmermeister Otto Hetzer (1846–1911) zu Beginn des 20. Jahrhunderts (**Bild 1**). Die Herstellung von Brettschichtholz erweiterte die konstruktiven Möglichkeiten des Holzbaus entscheidend, da es jetzt möglich war, vom geometrisch begrenzten Vollholzbalken abzugehen. Zu seinen Lizenznehmern gehörten Firmen in Europa und den USA.

Befördert wurde der ingenieurmäßige Holzbau durch die Entwicklung neuer mechanischer Verbindungstechniken

und neuer, mit industriellen Methoden herstellbaren Konstruktionen. Bedeutend waren die Konstruktionsprinzipien nach Stephan, Tuchscherer, Kübler, Sommerfeld, Christoph & Unmack, Cabröl, Müller, Greim, Meltzer oder Kaper, mit denen weitgespannte Fachwerkkonstruktionen entstanden. Auch mit der Zollbau-Lamellen-Bauweise nach Fritz Zollinger (1880– 1945) wurden weitgespannte Flächentragwerke möglich. **Bild 2** zeigt z. B. die nach dem Patent des Baumeisters Stephan im Jahre 1912 gebaute Bahnhofshalle in Kopenhagen. Ein gutes Marktsegment waren Bahnhofsgebäude, weil Holz gegenüber den Abgasen der Dampfloks wesentlich resistenter als Stahl war.

Holzbau zwischen 1918 und 1939

Der große Eisen- und Stahlverbrauch während der Kriegsjahre 1914 bis 1918 und die Energieknappheit führte im Bauwesen zwangsläufig zu einer häufigeren Verwendung von Holz. Nun konnte die Holzbauweise ihre Leistungsfähigkeit beim Bau von weitgespannten Fachwerken beweisen. Es bewährten sich die zwischen 1910 und 1925 von den einzelnen Holzbauunternehmen neu entwickelten Ring- und Scheibendübel bzw. die neuen Stab- und Rohr-



Bild 2: Bahnsteighallen des Hauptbahnhofs in Kopenhagen von 1912. Die hölzernen Binder sind hier auf eiserne Stützen aufgesetzt und überdecken in sechs Schiffen und zwei kleinen Seitenbauten die etwas über 130 m breite Halle (aus: Freitragende Holzbauten, C. Kersten, Springer Verlag, Berlin 1921)

* Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug hat eine Professur im Fachbereich Holztechnik/ Fachgebiet Holzbau an der Fachhochschule Eberswalde



Bild 3: Funkturm in Mühlacker, 1933/34 von der Siemens Bauunion GmbH gebaut. Höhe: 190 m. Zerstört 1945. (aus: „bauen mit holz“ 8/1992)

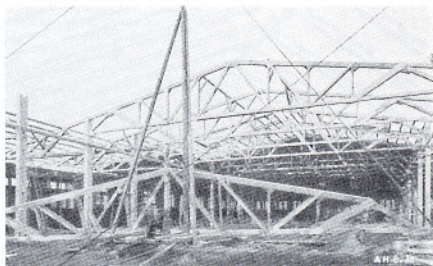


Bild 4: Binder für die Erweiterung der Messehalle 4 der Technischen Messe Leipzig aus Bohlen und Kanthölzern, Spannweite 20 m, mit zwei Seitenschiffen von 10 m. Entw. und Ausf.: Fa. Dr. Seidel, Leipzig 1936 (aus: „Holz-Nagelbau“, Schrift 6 der Reichsarbeitsgemeinschaft Holz, W. Stoy, F. Fonrobert, Berlin 1943)

1927 hielt ein bis dahin technisch noch nicht kultiviertes Verbindungsmittel Einzug in die Holztragwerke: der Nagel. Zu verdanken war dies Wilhelm Stoy (1887-1958), der durch grundlegende Versuche nachwies, welche Möglichkeiten in der Nagelverbindung steckten. Damit stand ein Verbindungsmittel zur Verfügung, für das der Zimmermeister keine Lizenz erwerben musste. Die Herstellung von Brett- und Kantholzfachwerkbindern war damit möglich. Dr. Erich Seidel (1900-1966) baute die ersten Kantholzbinder mit Nägeln (**Bild 4**).

Die grundlegenden Untersuchungen zur Entwicklung von genagelten Holzträgern (als genagelter Vollwand- oder Fachwerkträger) von Prof. Gaber (1881-1952) an der TH Karlsruhe befähigten die Holzbauer Holzbrücken für hohe Verkehrslasten für Spannweiten bis 60 m herzustellen. **Bild 5** zeigt einen Teil einer Brücke im Bereich einer Schifffahrtsthroughfahrt mit einer Spannweite von 50 m. Außerhalb der Schifffahrtsthroughfahrt wurden genagelte Vollwandträger mit Spannweiten von 21 m verwendet.

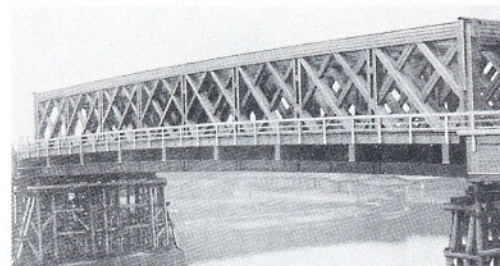


Bild 5: Die 50 m Schifffahrtsöffnung der Rheinbrücke Kehl. Entwurf: Prof. Gaber, Karlsruhe, 1940 (aus: „Deutscher Zimmermeister“ 14/1955)

Seit der Entwicklung neuer Kunstharzklebstoffe nutzten verschiedene Firmen auch die Klebtechnik zur Herstellung von Verbindungspunkten für hohe Beanspruchungen und zur Entwicklung materialsparender und möglichst stahlfreier Konstruktionen.

Kriegswirtschaft

Nachdem im Jahre 1937 eine Richtlinie über die Einsparung von Baustoffen gültig wurde, die den Baustoff Holz einbezog, erfolgte 1938 die Zwangsbewirtschaftung durch Einsetzung eines Generalbevollmächtigten für die Bauwirtschaft, der den kontingentierten Verbrauch aller wichtigen Baustoffe zu überwachen hatte. Damit wurde die Anwendung von Holz auf die kriegswichtigen Anwendungsbereiche gelenkt. Die ausdrückliche Anwendungsempfehlung der Richtlinien des Deutschen Amtes für Roh- und Werkstoffe zur Anwendung des Holzes bei Hallenbindern und landwirtschaftlichen Bauten führte gleichzeitig zu intensiven Forschungen zum sparsameren Holzeinsatz.

Zur Gleichschaltung aller auf dem Gebiet des Holzbaus tätigen Firmen wurde 1941 die Stelle eines Bevollmächtigten für Holzbau geschaffen. Damit wurde der Holzbau bis zum Ende des Krieges den Erfordernissen der Kriegswirtschaft

dübelverbindungen, mit denen Hallen bis 60 m Spannweite errichtet wurden. Auch Zimmermeister bauten nun weitgespannte Hallen.

Der Aufbau von Großfunktensendern erforderte möglichst hohe Sendeanlagen aus nichtmetallischen Werkstoffen. Der Holzbau stellte sich diesen Anforderungen und baute zwischen 1925 und 1935 Funktürme in Höhen zwischen 70 und 190 m (**Bild 3**).

Parallel zu dieser Entwicklung errang der Holzhausbau in der Siedlungsbewegung nach dem Ersten Weltkrieg eine hohe, moderne Qualität, was aber nur durch völlig neue Hausentwicklungen unter Mitwirkung der bekanntesten Architekten möglich wurde. Ein Beispiel ist die Holzhaussiedlung Dresden-Hellerau, produziert von den Deutschen Werkstätten Hellerau nach Entwürfen des Architekten Karl Mosch (1873-1933). Trotzdem erreichte der Holzhausbau keine marktrelevante Renaissance.

High-Tech-Holz für den Hallenbau

HOLZLEIMBAU
DERIX

HOLZLEIMBAU
**POPPENSIEKER
DERIX**

W. u. J. Derix GmbH & Co.
Holzleimbau
Dam 63, 41372 Niederkrüchten
Tel. (0 21 63) 89 88-0, Fax (0 21 63) 89 88-87
info@derix.de

Poppensieker & Derix GmbH & Co. KG
Holzleimbau
Industriestraße 24, 49492 Westerkappeln-Velpe
Tel. (0 54 56) 93 03-0, Fax (0 54 56) 93 03-30
info@poppensieker-derix.de



Bild 6: Auch kriegswichtig: Feuerwachturm, 32 m hoch, Rundholz mit Bolzen, Stahllaschen, Geka-Dübel, Baujahr 1941 (aus: „Der Bau von Feuerwehrtürmen aus Rundholz“, P. Zimmermann, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1944)

unterworfen. Primäres Ziel war es, den hohen Bedarf an Baracken, Betonschalungen, Behelfsbrücken und anderen kriegswichtigen Bauten zu decken (Bild 6).

Nachkriegszeit und Wirtschaftswunder

Für den Wiederaufbau wurde ein Holzbedarf von ca. 200 Mill. Festmetern errechnet. In den Nachkriegsjahren betrug der Einschlag jährlich etwa 30 Mill. Festmeter. 65 Mill. Festmeter wurden aber benötigt. Enorm war auch der Brennholzverbrauch, allein im Winter 1946/47 wurden 9 Mill. Festmeter Holz verbrannt.

Der sparsamste Holzverbrauch war nunmehr ein Gebot der Stunde. Sowohl bei der Wiederherstellung der zerstörten Gebäude, beim Neubau, im Industriebau, als auch im Brückenbau zur temporären Wiederherstellung von wichtigen Brückenverbindungen wurde wieder auf Holzkonstruktionen zurückgegriffen.

Dachkonstruktionen wurden in Rundholz oder nur mit sägestreiftem Holz gebaut, Hausbauweisen im Hinblick auf

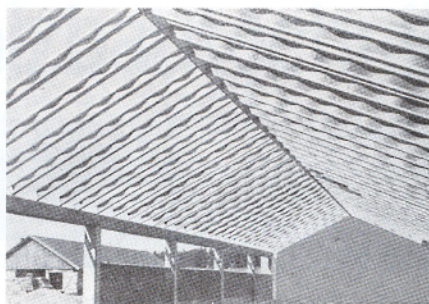


Bild 7: Wellstegträger, Entwickler: Hanns Hess, Grafrath 1957 (aus: „Deutscher Zimmermeister“, 20/1957)

eine Materialeinsparung weiterentwickelt, Deckenbalken durch materialsparende Balken ersetzt.

Durch die Nutzung der Verklebung bei materialsparenden Konstruktionen entstanden neue Bauweisen, wie z. B. die Dreieck-Strebenbauart und der Wellstegträger (Bild 7). Ihre Bedeutung schwand, als infolge der steigenden Löhne der Arbeitsaufwand zum Wirtschaftlichkeitskriterium wurde.

Die BS-Holz-Verwendung nahm von bescheidensten Mengen, ca. 5000 m³ 1951, ihren stetigen, bis heute ungebrochenen Erfolgskurs mit jährlich steigenden Produktionsmengen auf.

Aus verschiedenen Holzbranchen kommend, legten einige Pioniere in den sechziger Jahren die Grundlagen für die schnell wachsende „hölzerne“ Fertighausindustrie.

Aufgrund der kriegsbedingten Brandängste blieben dem breiten Zimmerhandwerk bald nach dem Kriege nur noch die Dachstühle, abnehmende Holztreppen, abnehmender Landwirtschaftsbau und Betonschalungsbau.

Die Nagel- und Dübelbinder wurden von der neuen „amerikanischen“ Nagelplatten-Bauweise rasch verdrängt.

Stagnation

Schon vor der großen Wirtschaftskrise 1973 begann das Zimmerhandwerk notgedrungen den Trockenbau in sein Leistungsspektrum aufzunehmen.

Bis auf die Etablierung der Spanplatte im Holzbau, des exzessiven, chemischen

Schutzes von Holz und den weiter steigenden Erfolgen von BS-Holz- und NP-Konstruktionen ist Gewichtiges nicht zu vermerken.

Aufbruch

Anfang der achtziger Jahre ging erst zaghaft ein Ruck durch die Holzbaubranche, der schnell an Kraft und Dynamik gewann. Auf allen Ebenen von Forschung, Materialentwicklung, Fertigungsrationalisierung, Anwendungstechnik und Marketing setzte eine bis heute anhaltende Innovationsflut ein. Der „Sprung“ von dem bis zum II. Weltkrieg bereits grundsätzlich erreichten technischen Vermögen bis zu dem heute wesentlich erweiterten, anwendungstechnisch noch längst nicht ausgeschöpften Potenzial, kann in Kürze nicht dargelegt werden. Der nächste Abschnitt macht den Fortschritt deutlich.

Holzbau heute

Ingenieurholzkonstruktionen werden heute in fast allen Bereichen des Bauens angewendet. Besonders die intensive Entwicklung der Holzklebetechniken bei Holzwerkstoffen und Holzwerkstoffen hat die Konkurrenzfähigkeit der Holzkonstruktionen gegenüber Konstruktionen aus Stahl und Beton entscheidend verbessert. Welche Entwicklung hier zurückgelegt wurde, beweist z. B. die heutige Produktion von Brettschichtholz in Deutschland von ca. 700 000 m³ pro Jahr im Jahr 2001 (1955: 5000 m³).

Die Verbindungsmöglichkeiten haben sich seit 1980 mindestens vervierfacht.

Mit Bogen-, Kuppel-, oder Rippen-, bzw. Netzwerkstrukturen lassen sich heute im Hallenbau Spannweiten bis 160 m realisieren. Projektstudien zeigen, dass bei Verwendung von Netzwerkuppeln Spannweiten bis 250 m möglich sind. Bei Sonderbauwerken wird vielfach wieder vermehrt mit Holz gebaut (Bilder 8 und 9=). Brücken in Holz gewinnen an Bedeutung.

Im Holzhausbau hat sich die

Fertighausindustrie von den „Katalog-Häusern“ weg zu höherer Individualisierung und Flexibilisierung entwickelt. Zusätzlich gewann das Zimmerhandwerk mit eigenen Entwicklungen einen etwa gleich großen Hausbau-Marktanteil hinzu. Die Zulieferindustrie hat mit einer beachtlichen Entwicklungsleistung für die Abdeckung fast beliebiger bauphysikalischer Anforderungsprofile mit Holz-Lösungen gesorgt.

EDV gestützte Planung, Arbeitsvorbereitung und Maschinensteuerung haben ab etwa 1980 rasant Einzug in den Holzbau gehalten. CNC-Fertigung ist allgegenwärtig, von der Treppe bis zum Abbund größtformatiger, dreiachsig gekrümmter BS-Hölzer oder von individuellen Holztafeln. Weitgehende Vormontage und ausgetüftelte Baustellenmontage ergänzen sich zu höchster Effizienz.

Der Holzbau hat seine ökologischen Vorzüge technisch nachgewiesen und dokumentiert. Seine althergebrachten und die neu hinzu gewonnenen gestalterischen Qualitäten durch sorgsame Herstellung, schonende Montage und vielfältiges Finish sind hoch kultiviert.

Normung

In Deutschland war die Deutsche Reichsbahn an der ersten Normung des Holzbaues maßgeblich beteiligt. Die in der ersten „Stahlbau-Euphorie“ entstandenen Bahnsteigdächer, Lok- und Wagenhallen aus Stahl korrodierten infolge der schwefeligen Abgase der Dampflokomotiven stark und mussten manchmal schon nach kurzer Standzeit wieder abgerissen werden. Aufgrund des geringeren Unterhaltungsaufwandes baute man im Eisenbahnhochbau wieder mit Holz. Die „Vorläufigen Bestimmungen für Holztragwerke“ der Deutschen Reichsbahn, im Jahre 1926 amtlich eingeführt, waren der erste Holzbaustandard in Deutschland überhaupt, aus dem dann 1933 die erste DIN 1052 „Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Holz im Hochbau“ entwickelt wurde.

Schon 1938 folgte eine Novellierung und 1940 bereits die dritte Ausgabe. Man mag daran die damalige Entwicklungsgeschwindigkeit ablesen. Die Ausgaben 1953, 1969 und 1988 stellen bis auf die grundsätzlichen Innovationen „Nagelplatten“ und „Holztafeln“ jeweils Präzisierungen der vorherigen Ausgabe dar. Der Eurocode 5, ENV 1995, setzte 1995 die erste Zäsur hin zur EU-Normung. Grundsätzlich neu ist die durchgängige Verfassung nach dem probabilistischen Sicherheitssystem.

ENV 1995 wird auch die Brandschutzbemessung (Teil 2) und die Holzbrücken (Teil 3) integrieren. EDIN 1052-2000 folgt den Grundzügen von ENV 1995, stellt jedoch im Detail einen deutschen Sonderweg dar.

Die erste DIN 1074 „Holzbrücken“ gab es erstaunlicherweise 1930 vor der er-

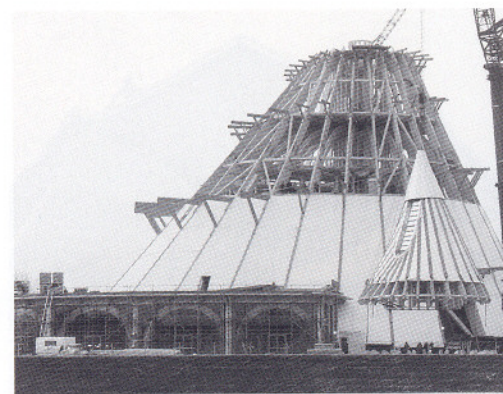


Bild 8: Exzentrische Formen, hier beim BUGA-Turm Magdeburg. Auch große Dimensionen sind heute wirtschaftlich leistbar (aus: „bauen mit holz“ 3/1999)

sten DIN 1052 (1933). Die Ausgaben von 1941 und 1991 regeln hauptsächlich Abweichungen zu DIN 1052.

Nadelschnittholz, DIN 4074, wurde erstmals erst 1939 genormt. Die Ausgabe von 1958 galt bis 1991. Diesjährig

UNSERE PLANUNG IST DIE GRUNDLAGE



Werk Burg
Tuchmacherweg 1 39288 Burg
Tel: 03921 9300-0 Fax: -50

Werk Husum
Industriestraße 24 25813 Husum
Tel: 04841 972-0 Fax: -70

**ING.-HOLZBAU
SCHNOOR**

Herstellungswerk für Dach- und Wandkonstruktionen, Holzbauelemente und Gebäudehüllen
www.schnoor.de

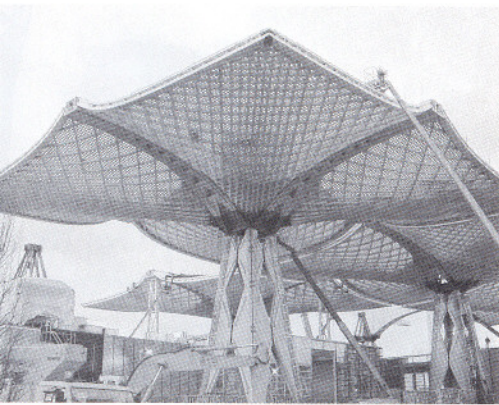


Bild 9: Expo-Dach Hannover. Zehn quadratische Schirme in Holz-Rippenbauweise überdecken 16.000 m². (aus: „bauen mit holz“ 2/2000)

erscheint die vierte Ausgabe. 1991 wurde die maschinelle Holzsortierung, 2003 die neuartigen Festigkeitsplatten eingebracht.

BDZ und Holzbautechnik

Seit 1870 gab es Bestrebungen der Zimmerer, eine wirkungsvolle Standesvertretung zu schaffen, die sich um die Modernisierung des Holzbaugewerbes bemühen und gegen Bestrebungen zur systematischen Ausschaltung des Holzbaus in den Baupolizeiverordnungen wenden sollte. Im Jahre 1903 gelang die Gründung des reichsweiten Bundes Deutscher Zimmermeister (BDZ), der sich neben den anstehenden standesrechtlichen und politischen Fragen eindeutig in Punkt 7 seiner Gründungssatzung „... zur allseitigen Belebung des Sinnes für die Holzbauweise im deutsche Volke, Förderung dieser Bauart durch Einflußnahme auf die Presse, auf Bauordnungen und Verdingungsvorschriften, durch Baustoff- und Konstruktionsprüfungen (Brandproben) ...“ bekannte.

1910 gründete der BDZ eine spezielle „Technische Kommission zur Förderung der Holzbauweisen“. Die Gründung verfolgte den Zweck, den Zimmerermeistern durch die Erstellung von Gutachten, Konstruktionszeichnungen und von statischen Berechnungen mit Rat und Tat zur Seite zu stehen. Gleichzeitig sollte sie sich der Erforschung des Holzes als Baustoff sowie der Förderung der Holzbauweise widmen. Die Erarbeitung des BDZ-Hausbau-Systems „Holzständerbauweise“ um 1930 war eine

Sonderleistung. Später wurde diese Einrichtung in ein „Technisches Büro“ umgewandelt, welches Aufgaben der Tragwerks- und Ausführungsplanung durchführte und somit die Einführung der neuartigen Techniken in den Zimmereien voran brachte. Während des Dritten Reiches, der BDZ war als Reichsinnungsverband ind Berlin „zentralisiert“, leistete das „TB“, personell bestens ausgestattet, kriegswichtig unterstützt, hochkarätige technische Entwicklungsarbeit.

1945 untersagten die Besatzungsmächte dem Bund Deutscher Zimmermeister, wie allen Reichsinnungsverbänden, jegliche Tätigkeit. Erst mit Gründung der Bundesrepublik im Jahre 1949 begann wieder das berufsständische Verbandsleben, als der Bund Deutscher Zimmermeister dem neu gegründeten Zentralverband des Deutschen Baugewerbes beitrug.

Der „Technische Ausschuss“ des BDZ konnte die Arbeit des „TB“ mangels Personal nicht fortsetzen, arbeitete jedoch aktiv in den Gremien von Forschung und Normung mit. Erst in den achtziger Jahren leistete sich der BDZ ein bescheidenes „Referat Technik“. Mit der Entwicklung der „Holzrahmenbauweise“ gelang der erfolgreiche Markteinstieg der Zimmerer in den Holzhausbau, mit der von KfV ein Qualitätssprung im Holzbau. Heute sind an das Referat einige spezialisierte Interessen- und Qualitätsgemeinschaften des Zimmerhandwerks angebunden.

Holzbau-Verbündete

Wichtig für die Verbreitung der neuesten Erkenntnisse aus Forschung und Praxis waren Fachgremien, die einmal die Forscher zum Meinungsstreit zusammenführten und andererseits den Forschungstransfer bündelten. 1929 widmeten Forstleute des Deutschen Forstvereins und Ingenieure des Vereins Deutscher Ingenieure ihre gemeinsame Hauptversammlung den technischen Fragen der Holzverwendung. Weil man die ungelösten Fragen der Holzverwendung schneller lösen wollte, gründete 1931 der Verein Deutscher In-

genieure gemeinsam mit dem Deutschen Forstverein den Fachausschuss für Holzfragen, der durch Holztagungen und Mitteilungen (seit 1932) und Forschungsberichte (seit 1935) regen Anklang in der Fachwelt fand und der Vorbildliches für die Verbreitung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse der Holzbauforschung getan hat.

1941 schlossen sich alle an der Holzbewirtschaftung und Holzforschung beteiligten Reichsbehörden zum Reichsausschuss Holz zusammen, der für die Organisation und Betreuung der zukünftigen Holzforschung 1942 aus dem Fachausschuss für Holzfragen heraus die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung gründete.

Ein wichtiges Bindeglied in der Propagierung des Holzbaus und seiner Möglichkeiten, aber besonders in der Abwehr unlauteren Wettbewerbs, war die Anfang der dreißiger Jahre gegründete Arbeitsgemeinschaft Holz.

In veränderter Konstellation, mit den Hauptzielen Marketing und Fachberatung, wurde die Arbeitsgemeinschaft Holz 1953 neuerlich gegründet. Bis zu ihrer Insolvenz im Jahre 2002 hatte sie sich ihrer Aufgabe in hervorragender Weise verschrieben.

Auf Initiative von DGfH, ArgeHolz und BDZ wurde der Arbeitskreis Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) gegründet, mit dessen Hilfe viele Innovationen zur Marktreife befördert wurden. Während der letzten drei Jahrzehnte explodierte die Verbandslandschaft geradezu. Für fast jede Diversifizierung des Holzbaus gibt es heute mindestens einen Verband, in manchen Sparten auch mehrere.

Ausblick

Der uralte Baustoff Holz hat es immer noch in sich und man mag es nicht glauben, trotz aller Fortschritte in Forschung und Entwicklung insbesondere auf dem Gebiet der Verbesserung des Materials und der Verbindungstechniken, ist sein Leistungspotential bei weitem noch nicht ausgeschöpft.