

- /2/ Untersuchungen zur Bewertung des Holzschutzmittelschaumverfahrens/*Janke, F.* – In: Holztechnologie. – Leipzig 30 (1989) 5. – S. 271–272
- /3/ Holzschutzmittelschaumverfahren – technologische Erfahrungen und arbeitshygienische Bewertung/*Kluck, R.* – In: Bauzeitung. – Berlin 41 (1987) 3. – S. 133–134

- /4/ Merkblatt für den Umgang mit chromhaltigen Holzschutzmitteln. – Hrsg. Industrieverband Bauchemie und Holzschutzmittel e. V.
- /5/ Untersuchungen zur Entwicklung eines modifizierten chemischen Holzschutzverfahrens auf der Basis salzförmiger Holzschutzmittel zum tiefenwirksamen Nachschutz von feuerhemmend vorbehandelten Holzbauteilen/*Pollex, K.*

– 1988. – Leipzig, Techn. Hochsch., Fachingenieur-Abschlußarbeit

- /6/ WP 276 391 DD. Vorrichtung zur Holzschutzmittelschaumerzeugung für verbaute Hölzer
- /7/ WP 114 775 DD. Holzschutzverfahren, insbesondere für verbaute Hölzer

Holzbau – Tradition mit Trend

Von der Zimmerei zum Ingenieurholzbau (Teil 1)

Dr.-Ing. Wolfgang Rug

Recontie – Ingenieurbüro Holz GmbH, Berlin

Vorsitzender des Fachausschusses Ingenieurholzbau

Dipl.-Ing. Jens-Christoph Böttger

Frankfurt (Main)

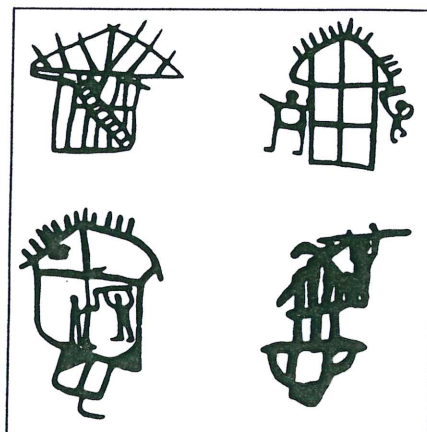
Seit der Mensch baut, benutzt er Holz als Baumaterial. Holz war über lange Zeit der einzige Baustoff, der eine ausreichende Druck-, Zug- bzw. Biegefestigkeit aufwies. Holzkonstruktionen bestimmten über Jahrtausende die Architektur und Bautechnik in vielen Bereichen, so u. a. beim Bau von Häusern, Kultbauten, bei der Befestigung von Wegen bzw. Straßen oder der Überbrückung von Flüssen (Bild 1).

Die ersten Holzbauten waren Zelte und Hütten mit dünnen, meist unbearbeiteten Hölzern als Stützgerüst, das mit Binsen, Stroh, Fell und Teppichen abgedeckt oder mit Lehm bestrichen wurde. Zeltartige Hütten gab es schon vor etwa 30 000 Jahren.

In seinen Anfängen war der Holzbau auf die Möglichkeit der Verwendung weitgehend naturbelassener Bauelemente beschränkt. Jahrhundertelange Erfahrungen im Umgang mit dem Baustoff Holz prägten das konstruktive Denken des Menschen, der schon mit den einfachsten Werkzeugen in der Lage war, Holz zu profilieren, zu verbinden und die durch das gewachsene Holz begrenzte Spannweite durch bewährte Konstruktionsprinzipien zu überwinden.

Der zimmermannsmäßige Holzbau erreichte im Mittelalter, beim Richten von Dachkonstruktionen, Decken, Fachwerkbauten und Brücken eine handwerkliche Vollendung, die wir an den erhaltenen Zeugnissen dieser Epoche immer wieder bewundern.

Die Holzbauten vergangener Epochen legen Zeugnis ab vom Können der Zimmerleute, die diese Bauwerke bis weit in das 19. Jahrhundert hinein ohne statische Berechnung und nur mit ihrem empirischen handwerklichen Wissen errichteten (Bild 2). So beweisen z. B. die historischen Fachwerkbauten durch ihre lange Nutzungsfähigkeit und Standzeit, ihre hervorragende konstruktive Durchbildung und ornamentale Wirkung, daß unter Beachtung der spezifischen Besonderheiten des Baustoffes Holz dauerhafte Holzbauten mit hoher ästhetischer Ausstrahlung entstehen können. Die zimmermannsmäßigen Konstruktionen waren allerdings sehr materialaufwendige Tragwerke, die aus der Erfahrung heraus dimensioniert wurden. Deshalb wurden schon ab dem 16. Jahrhundert neue holzsparende Konstruktionsprinzipien entwickelt, mit denen die Bauaufgaben in der Zeit der beginnenden industriellen Revolution wirtschaftlicher realisiert werden konnten.



1 Felsmalerei von Valcamonica
(Menschen der Jungsteinzeit 4500–1800 v. u. Z.
beim Bau von zweistöckigen Häusern)

Diese Entwicklung kennzeichnet gleichzeitig den Übergang vom handwerklich-empirischen zum ingenieurmäßigen Holzbau, der sich wegen der schnellen technischen Entwicklung und des immer stärker werdenden Warenverkehrs zuerst im Holzbrückenbau vollzog.

Im Vergleich zur Errichtung von Steinbrü-

cken konnten mit Holzbrücken Bauzeit und Kosten eingespart werden. Bogen- und später Fachwerkbrücken mit Spannweiten von 20...60 m waren in dieser Zeit keine Seltenheit.

Mit der Entwicklung der analytischen Statik durch *Navier* (1785–1836) und *Karl Culmann* (1821–1881) in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts war es möglich, die immer noch auf empirischem Wege entworfenen Konstruktionen zu berechnen. Dazu war es aber erforderlich, daß die inneren Beanspruchungen mit den Festigkeiten verglichen wurden. Schon im 18. Jahrhundert begann man mit der Untersuchung der Materialfestigkeiten. Als *Karl Culmann* im Jahre 1851 nach einer Analyse der amerikanischen Holzbrücken seine Fachwerktheorie entwickelte, griff er auf erste Veröffentlichungen über die Festigkeit von gebräuchlichen Bauhölzern und Empfehlungen für Sicherheitskoeffizienten zurück. /9/

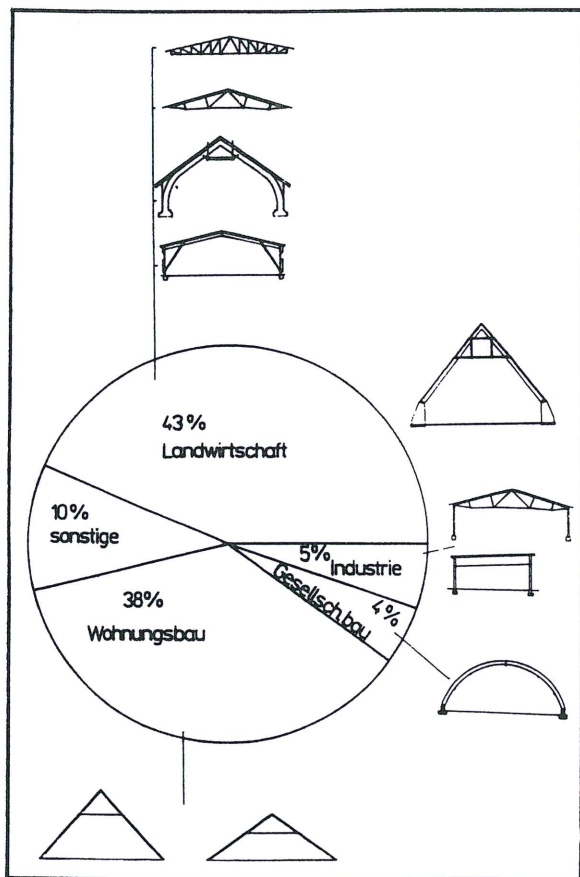
Obwohl der Holzbau den sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelnden Stahlbau konstruktiv befruchtete, wurde er aufgrund seiner stagnierenden Entwicklung besonders bei den in ihrer Tragfähigkeit unzureichenden zimmermannsmäßigen Verbindungen zunehmend aus bewährten Anwendungsbereichen verdrängt. Weitgespannte Brücken- und Dachkonstruktionen baute man gegen Ende des 19. Jahrhunderts kaum noch in Holz. Diese Entwicklung war mit einem beträchtlichen Verlust der Kenntnisse auf dem Gebiet der konstruktiven und ingenieurtheoretischen Grundlagen des Holzbaues verbunden. Holzbaumeister von Format gab es überhaupt nicht mehr. /10/

Erst die einsetzende Stahlverknappung in Deutschland im Verlauf des ersten Weltkrieges förderte die Rückbesinnung auf die konstruktiven Möglichkeiten des Baustoffes Holz.

Durch effektivere Verbindungstechniken, ra-

2 Rathaus Vacha/Rhön
(erbaut 1613)





tionellere Herstellungsverfahren und Konstruktionsprinzipien sowie die einsetzende wissenschaftliche Fundierung erlebte der Ingenieurholzbau eine Weiterentwicklung in neuer Qualität.

Eine der grundlegenden Ideen, die dem Holzbau zu einem erneuten Aufschwung verhalf, war die Entwicklung der Holzklebebauweise (auch als Brettschichtbauweise bezeichnet) zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

Die Entwicklung zahlreicher neuer Verbindungsmittel, wie moderner Dübel und Nägel, und die wissenschaftliche Erforschung ihrer Tragfähigkeit bei Konstruktionen durch *Otto Graf* und *Wilhelm Stoy* förderte die Leistungsfähigkeit des Holzbaues in den 30er Jahren in Deutschland. Holz wurde wieder für die Errichtung von Lagerbauten, Flugzeug-, Ausstellungs-, Fest- und Fahrzeughallen eingesetzt. Die begonnene wissenschaftliche Durchdringung, gefördert von namhaften deutschen Forschern, führte zur ersten Holzbaunorm.

1925 veröfentlichte die Deutsche Reichsbahn die „Vorläufigen Bestimmungen für Holztragwerke“, aus denen 1933 die 1. Fassung der DIN 1052 entstand.

In den letzten 30 Jahren ist international ein starker Aufschwung des Ingenieurholzbau zu beobachten, der verbunden war mit einer umfassenden Industrialisierung der Fertigung und der Erprobung bzw. Anwendung eines breiten Spektrums konstruktiver Lösungen.

Ingenieurholzkonstruktionen werden heute in fast allen Bereichen des Bauens angewendet. Besonders die intensive Entwicklung der Holzklebebauweise hat die Konkurrenzfähigkeit der Holzkonstruktionen gegenüber Konstruktionen aus Stahl und Beton entscheidend verbessert.

Auf dem Gebiet der ehemaligen DDR verlief die Entwicklung im Holzbau anders als im westlichen Teil Deutschlands oder in anderen westeuropäischen Ländern. Auf der Grundlage einer traditionell starken Bindung des Holzbaues an nur zwei Anwendungsgebiete wie den Landwirtschafts- und Wohnungsbau blieb das Sortiment an Holzkonstruktionen sehr eingeeengt (siehe /1/, /2/, /11/ und Bild 3).

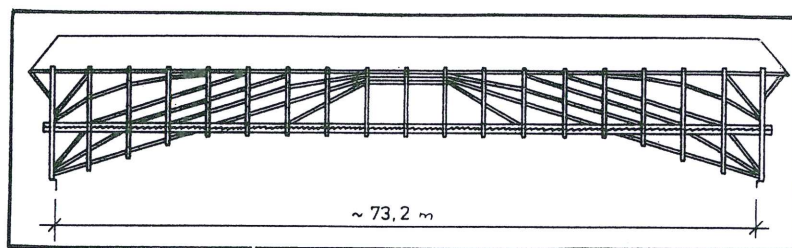
Gleichzeitig führte diese Entwicklung zu einer starken Spezialisierung der Fertigungsstätten, wobei der Grad der Vereinheitlichung der Konstruktionsprinzipien im Sinne einer maximalen Holzeinsparung immer weiter getrieben wurde. /1/

Zum Beispiel führte eine vorrangige Orientierung auf die Erfüllung eines Massenbe-

darfs an Dachkonstruktionen für die Landwirtschaft zu einigen Besonderheiten in der Entwicklung von Dachtragwerken, sowohl in der traditionellen Nagelbauweise als auch in der modernen Klebebauweise (siehe auch /1/ und /11/). Mit Nagelbindern wurden bis 1989 jährlich an die 2,7 Mill. m² und mit stahlunterspannten Brettschichtbindern etwa 380...400 Tm² errichtet.

Neue Technologien – Neue Tragwerke

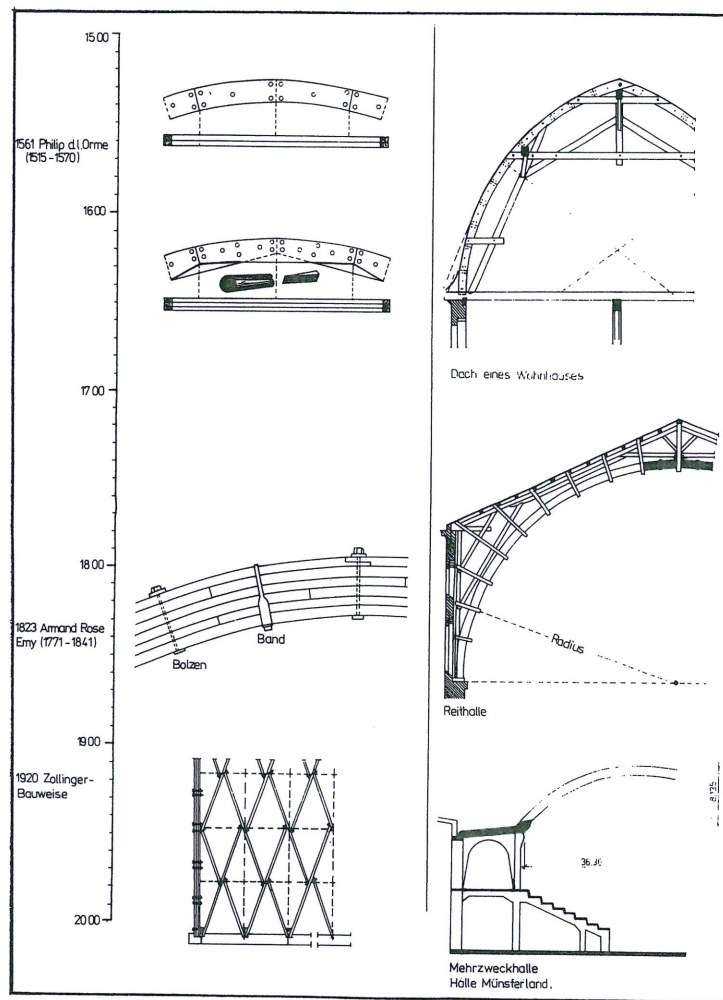
Während Holz in den herkömmlichen Konstruktionsformen der Kahlbalken-, Sparren- und Pfettendächer seine Position bis heute behaupten konnte, war dieser Baustoff seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bei Ingenieur- und Zweckbauten sowie bei öf-

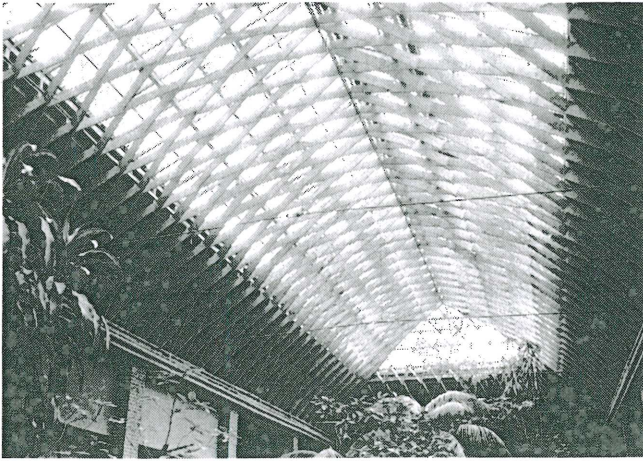


4 Brücke über den Rhein bei Reichenau 1756/57 von *Johann Grubmann* (1707–1771) errichtet

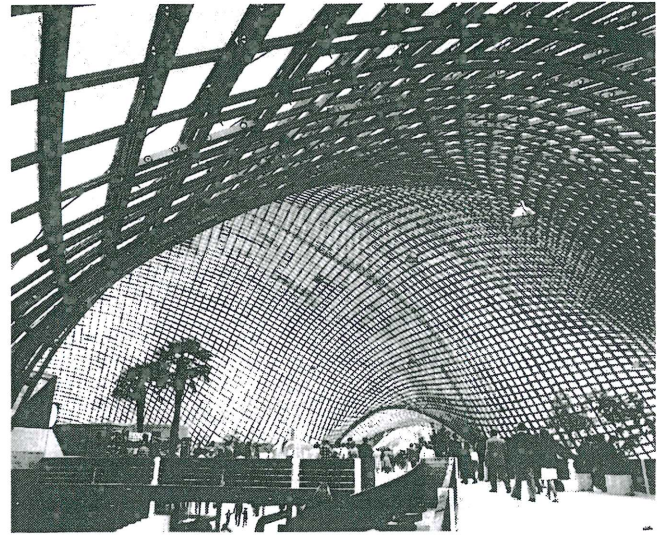
3 Anteil von Holzkonstruktionen nach Einsatzbereichen in der ehemaligen DDR (1988)

5 Entwicklung holzsparender Konstruktionsprinzipien





6 Zollingerdach (Baujahr 1925/26)
Leipziger Zoologischer Garten
7 Multihalle Mannheim (Baujahr 1975)



fentlichen Bauaufgaben einer zunehmenden Konkurrenz anfangs durch Gußeisen, später Stahl, Stahl- und Spannbeton ausgesetzt, die nach und nach seinen Einsatz einschränkten. Durch intensive Forschungen, insbesondere nach dem 2. Weltkrieg, auf den Gebieten der Konstruktion und Theorie, des Brandschutzes und des Holzschutzes ist die Akzeptanz von Holz als Konstruktionsmaterial wieder gesichert.

Neue technologische Entwicklungen, wie die maschinelle Herstellung des Keilzinkenstoßes und der Lagenverklebung mit entsprechenden Freiheiten der Formgebung, kamen den Bestrebungen von Architekten und Ingenieuren nach neuen gestalterischen und konstruktiven Ausdrucksmöglichkeiten entgegen.

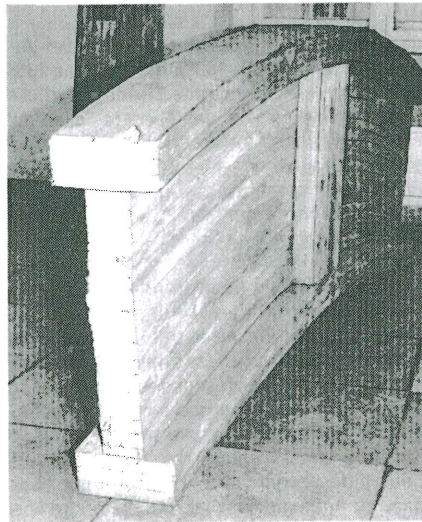
Es sollen im weiteren einzelne Entwicklungslinien aus der konstruktiv-ingenieurmäßigen Sicht umrissen werden.

Bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts waren die gebräuchlichsten Tragwerke zur Erzielung größerer Spannweiten die Hänge- und Sprengwerke. Diese basierten auf Intuition, Erfahrung und modellhafter Anschauung. Glanzvollste Höhepunkte dieser Konstruktionsart bilden die Brückenbauten der Schweizer Baumeister *Hans Ulrich Grubenmann* (1709–1783) und *Johann Grubenmann* (1707–1771) (Bild 4).

Bereits im 16. Jahrhundert wurde die Bogenform, deren statische Vorteile beim Überspannen von Öffnungen und Räumen bereits auf antiken Erfahrungen fußen, für den Holzbau aufgenommen. Hierbei stellt sich als entscheidende Frage die Technologie der Formgebung. Erste Versuche dazu gehen auf *Philibert de l'Orme* (1515–1577) zurück (Bild 5). Seine Vorschläge wurden von *David Gilly* (1748–1808) und *Carl Gotthart Langhans* (1732–1808) aufgegriffen und fanden als Bohlen-sparrendach im 18. Jahrhundert vielfältige Anwendung.

Ausgehend von dieser Idee, die Biegemomente und Normalkräfte durch wechselweise Überdeckung von aufrecht stehenden, nach Schablone geschnittenen Bohlen zu übertragen, entwickelte der Zimmermeister *Zollinger* aus Merseburg das erste hölzerne Flächentragwerk. Seine Rautenlamellen-schale wurde als patentierte Zollinger-Bauweise bis 40 m Spannweite als industrielles Serienerzeugnis bis in die 40er Jahre ausgeführt (Bilder 5 und 6).

Schwierigkeiten der rechnerisch-statischen Beherrschung dieser Schalen und Imperfektionen in der vor allem unter technologischem Gesichtspunkt gestalteten Verbindung der Einzelstäbe (Außermittigkeiten, Schlupf) setzten der weiteren Anwendung Grenzen. Neuerlich wird eine Wiederbelebung dieser Konstruktionsart durch Forscher in der BRD angestrebt. /3/ Als bisher eindrucksvollste Leistung, die technologische, konstruktive und gestalterische Möglichkeiten filigraner Holzstrukturen auslotet, ist die Multihalle in Mannheim anzusehen (Bild 7).



8 Hetzerträger (Teil eines Bogenbinders der ehemaligen Produktionshalle der Firma Hetzer in Weimar – Standort Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar)

9 Bahnhofshalle in Stockholm (Baujahr 1925/Konstruktionsprinzip Hetzer)

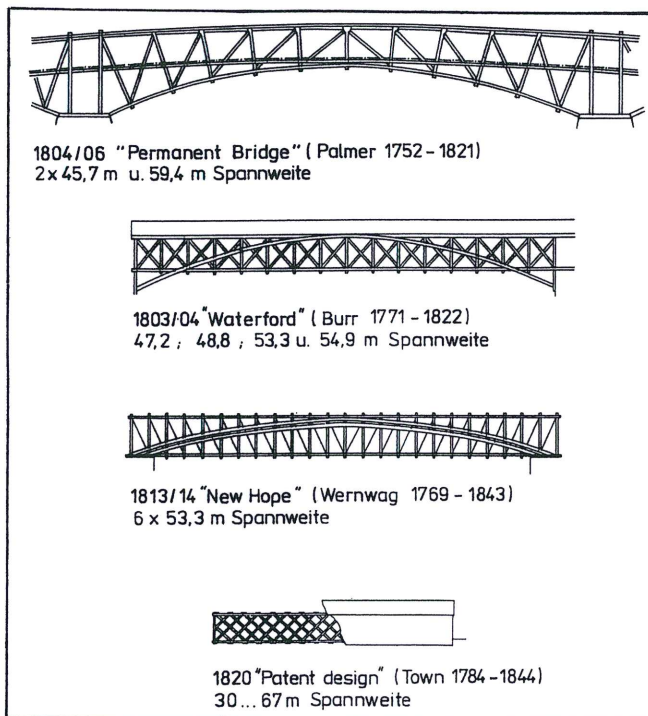


Dieser Ausstellungsbau, Ergebnis jahrelanger Forschungsarbeiten im Institut für leichte Flächentragwerke der TU Stuttgart unter *Frei Otto*, bestehend aus einem orthogonalen Lattenrost aus amerikanischer Hamlockpine von 50 × 50 mm und einer Maschengröße von 500 × 500 mm, weist über einer freien Grundrißentwicklung Spannweiten bis zu 80 m auf. /11/ Die Bewegung der Tragwerkskrümmung im Wechsel von konvexen und konkaven Formen ist durch die transparente Dachhaut voll erlebbar.

Ausgehend von den statischen Vorteilen der Bogenform, entwickelte der französische Militärbaumeister *Emy* (1771–1849) Bogentragwerke aus übereinanderliegenden Lamellen unter Ausnutzung der Elastizität von dünnen Einzelbrettern (Bild 5). Damit hatte er den Vorteil, daß erheblich weniger Verschnitt bei seinen Konstruktionen auftrat als bei den de l'Ormeschen Bögen. Aber Schlupf der Verbindungsmittel und Schwinden des Holzes setzten auch dieser Anwendung Grenzen.

Diese Konstruktionsprinzipien für Bogentragwerke wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts weiterentwickelt, so u. a. von den Baumeistern *Stephan* und *Melzer*.

Ein umfassender Durchbruch wurde auf dieser Strecke erst mit der industriellen Verklebung von Holzlagen durch den Zimmermeister *Otto Hetzer* (1846–1911) aus Weimar erzielt (Bild 8). Mit dieser Erfindung wurde man unabhängig von den gewachsenen Dimensionen des Holzes, gewann die Möglichkeit der Krümmung und Erzeugung statisch günstiger Profile (Bild 9). Seitdem sind die ge-



klebten Zwei- und Dreigelenkbogenkonstruktionen die technologisch einfachsten Holzkonstruktionen für große Spannweiten, die von größeren Holzbaufirmen bis 100 m Spannweite serienmäßig angeboten werden. Die Klebtechnik in der relativ freien Wahl der Dimensionen und Möglichkeit der Formgebung gestattet die Anwendung des Baustoffes Holz für weitgespannte Tragwerke. Insbesondere die sprunghaft gestiegenen statischen Anforderungen an Brückenbauten durch den Eisenbahnbau führten zur Entwicklung von neuen ingenieurmäßigen Konstruktionsprinzipien und der analytischen Statik.

Die Fachwerkträger mit gebogenem Untergurt von *Thimothy Palmer* (1711–1821), die Bogenfachwerkträger von *Theodor Burr* (1771–1822) und *Lewis Wernwag* (1769–1845) und die aus schwachen Schnitthölzern konstruierten Latten-Fachwerke von *Ithil Town* (1784–1844) zählen zu den bekanntesten Systemen zu Beginn des 19. Jahrhunderts (Bild 10).

Ab 1875 löste der anfänglich nur zur Verstärkung der Bogenträger angewendete Fachwerkträger das Bogentragwerk ab. *Stephan Hermann Long* (1784–1864) entwickelte 1830 das weitmaschige Fachwerk, das von *William Howe* um 1840 durch die Verwendung eiserner Zugstangen anstelle der hölzernen weiterentwickelt wurde. Dadurch verbesserte sich die Tragfähigkeit wesentlich. Die eisernen Zugstangen erhielten eine Vorspannung, so daß sämtliche Diagonalen auf Druck beansprucht wurden (Bild 11).

Bis 1891 wurden mit der Entstehung des amerikanischen Eisenbahnnetzes Holzbrücken in einer Gesamtlänge von 4 240 km errichtet, davon waren 200 km Brücken mit Spannweiten über 30 m, die nach dem Prinzip von Howe konstruiert waren.

Auch in Europa wurden zahlreiche Brücken nach dem Howeschen Prinzip errichtet (Bild 11). /6/

Die kühnste Leistung im Brückenbau des 19. Jahrhunderts vollbrachte der aus Thürin-

10 Eisenbahnbrücken in den USA zu Beginn des 19. Jahrhunderts

gen stammende Brückeningenieur *John August Roebling* (1806–1869), der 1850 bis 1855 eine 250 m weit gespannte Eisenbahnbrücke über die Schlucht bei den Niagara-Fällen mit Holzfachwerken, die an Kabeln und Schrägseilen aufgehängt waren, errichtete. Die Brücke war zweigeschossig, oben fuhr die Eisenbahn und unten die Straßenfahrzeuge. Sie hat 42 Jahre lang ihre Dienste getan, bis schließlich die wachsenden Eisenbahnlasten ihr Tragvermögen überforderten. /12/

Nachdem der Kräfteverlauf und die Beanspruchung der Einzelstäbe im Fachwerk beherrschbar und zuverlässig berechenbar waren sowie über Holzfestigkeiten ausreichend Versuche vorlagen, ergab sich als entscheidender Ansatzpunkt für die weitere Entwicklung die Untersuchung der Holzverbindungen. Jede renommierte Holzbaufirma hatte dazu zu Anfang dieses Jahrhunderts ihre spezifische patentierte Entwicklung. Bekannt blieben *Kübler*, *Appel*, *Bulldog*, *Greim* u. a. Mit diesen durch amtliche Prüfstellen zugelassenen Holzverbindern konnten Holzbauten in völlig neuer Größenordnung als Fachwerkssysteme gebaut werden.

Daß die damit umrissene Problemstellung bis heute ein lohnendes Forschungsgebiet ist, zeigt die jüngere Entwicklung des Ingenieurholzbaues (siehe /3/, /4/).

Insbesondere von ingenieurmäßigen Überlegungen ausgehend, wird Holz zunehmend für Bauaufgaben mit extremen Spannweiten eingesetzt. Ausschlaggebend dafür sind die günstigen Relationen von Masse zu Festigkeit und Tragfähigkeit zu Preis. So wurde in Zilina (Slowakei) eine Sporthalle mit 105 m Spannweite als Rippenkugel ausgeführt (Bild 12). In den USA wurde ein System für



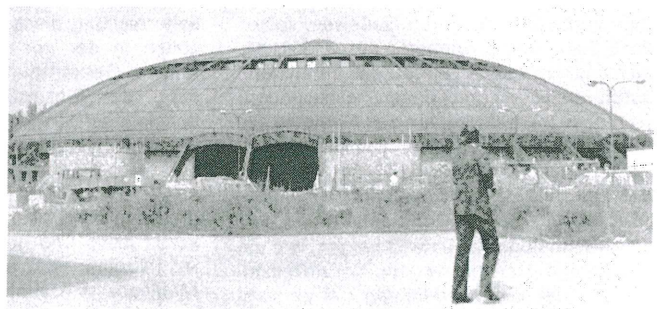
Bild 11a: Zeichnung zum Patent von Howe (1846)



Bild 11b: Eisenbahnbrücke über die Elbe bei Wittenberge (System Howe), 1850 errichtet, Spannweite 52,4 m.

11 Fachwerkkonstruktion nach Howe. Zeichnung zum Patent Howe. Eisenbahnbrücke über die Elbe bei Wittenberge

12 Mehrzweckhalle Zilina (ČSFR, Baujahr 1984)

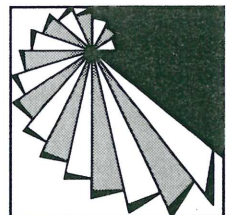


Stabnetzskuppeln entwickelt und bis 160 m Spannweite realisiert. Als von der Kubatur her größtes Holzdach ist die Hängeschale der Recycling-Anlage der Rinter AG in Wien anzusehen, die aus um einen 67 m hohen Zentralpylon radial angeordneten Hängegliedern mit einer Einzellänge von je 105 m besteht.

Eisenwarenmesse in Köln

Die Internationale Eisenwarenmesse – Werkzeug, Schloß und Beschlag, Bau- und Heimwerkerbedarf – stößt in neue Dimensionen vor. Die kommende Veranstaltung vom 3. bis zum 6. März 1991 in Köln wird mit 176 000 m² nicht nur flächenmäßig die bisher größte sein, sie nimmt auch der Beteiligung nach mit voraussichtlich

2250 Arbeitern einen der ganz vorderen Plätze unter den Messen in Europa ein. Mit ihrem Angebot ist die Kölner Fachmesse bereits seit Jahren die Pilotveranstaltung mit globaler Ausstrahlung. Dies gilt bisher vor allem für die Sektoren Werkzeug und Sicherheit, ab 1991 werden auch die Schwerpunktbereiche in den Bau- und Heimwerker-Hallen Weltgeltung erreichen.



**INTERNATIONALE
EISENWARENMESSA KÖLN**
Werkzeug · Schloß + Beschlag
Bau- und Heimwerkerbedarf

3. – 6. MÄRZ 1991