Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 11 (1980)

Rubrik: II. Modern timber structures

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

II

Modern Timber Structures

Structures modernes en bois

Moderner Ingenieurholzbau

Leere Seite
Blank page
Page vide

IIa

Entwicklungen im Anwendungsbereich des Baustoffes Holz

Developments in the Application of Wood as a Material

Evolution et domaine d'utilisation du matériau "bois"

KARL MÖHLER
Professor für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen
Universität (TH) Karlsruhe
Karlsruhe, Bundesrepublik Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG
Einfluss der Verbindungstechnik – mechanische Holzverbindungsmittel und Leimverbindungen – auf den Entwurf von Tragkonstruktionen. Berücksichtigung der Transport- und Montagemöglichkeiten beim Entwurf. Holzschalen und Holzbrücken. Verbundbauwerke aus Holz und Stahl.

SUMMARY
Influence of the technology of joining – by mechanical devices and gluing – on the design of structures. Consideration in the design stage of possibilities of transport and assembly. Timber shells and timber bridges. Composite structures of timber and steel.

RESUME
Influence de la technique d'assemblage – soit à l'aide de pièces en bois, soit par collage – sur le projet de structures. Prise en considération des possibilités de transport et de montage, lors du projet. Voiles et ponts en bois. Constructions mixtes.

1. EINLEITUNG

Wenn auf dem 11. Kongreß des IVBH das Thema "Moderner Ingenieurholzbau" zum ersten Male als Hauptthema behandelt wird, so wird damit einer Entwicklung auf einem Teilgebiet des konstruktiven Ingenieurbaues Rechnung getragen, die in verstärktem Maße in den letzten beiden Jahrzehnten weltweit vor sich gegangen ist. Die Anwendungsgebiete von Holzkonstruktionen und ihre Ausführungsarten sind inzwischen so mannigfaltig geworden, daß es nicht möglich ist, in der dem Holzbau gewidmeten Arbeitssitzung eine umfassende Darstellung des gegenwärtigen Standes der modernen Holzbautechnik zu geben. Manche Anwendungsgebiete, wie zum Beispiel der Lehrgerüstbau, der Skelettbau und der Holztafelbau, können nur indirekt behandelt werden.

Das Holz als natürlicher Baustoff,von den Menschen seit je für Bauwerke aller Art verwendet, hatte in den letzten 100 Jahren mit der Schaffung der künstlichen Baustoffe Stahl und Beton seine Bedeutung für Baukonstruktionen größerer Spannweite und höherer Belastung in zunehmendem Maße verloren. So verschwand es zuerst weitgehend aus dem Brückenbau und Großhallenbau, schließlich auch bei Hallen mit Stützweiten unter 30 m.Im Wohnungsbau blieb vorwiegend nur noch das Gebiet der Dachstühle als Domäne des Holzes übrig, während hölzerne Wohnungsdecken und -wände im Hinblick auf die Brennbarkeit des Holzes und seine Gefährdung durch Feuchteeinflüsse, teilweise auch aus wirtschaftlichen Gründen durch Stahlbetondecken mannigfacher Bauart und durch Mauerwerkswände ersetzt wurden. Nur unmittelbar nach dem 2. Weltkrieg, als die künstlichen Baustoffe Stahl und Stahlbeton nicht mehr unbegrenzt zur Verfügung standen, war das Holz als Baustoff wieder sehr begehrt und die Holzknappheit zwang zu Konstruktionen, die gegenüber den früher üblichen Zimmermannsbauweisen eine ingenieurmäßige Berechnung und Ausnutzung der Holzquerschnitte erlaubten, was in erster Linie durch vertiefte Kenntnisse der mechanischen Festigkeitseigenschaften und des Formänderungsverhaltens des Holzes und durch die Erforschung der Verbindungstechnik möglich war. Andererseits erkannte man die bauphysikalischen Vorteile der Holzbauweisen und fand Mittel und Wege, ihre Anfälligkeit gegen Pilze und Insekten durch baulichen und chemischen Holzschutz praktisch auszuschalten. Inzwischen hatte die Leimbautechnik durch die Schaffung witterungsbeständiger Kunstharzleime die Verleimung tragender Holzbauteile ermöglicht, wozu im letzten Jahrzehnt eine Reihe plattenförmiger Holzwerkstoffe, wie Furnierplatten, Holzspanplatten und Holzfaserplatten hinzu kam, die, ebenfalls mit feuchtigkeitsbeständigem Bindemittel hergestellt, sich in besonderem Maße für Verbundkonstruktionen aus Vollholz und holzhaltigen Plattenwerkstoffen eignen.

Eine besondere Möglichkeit von den durch die verfügbaren Stammdurchmesser begrenzten Rechteckquerschnitten des Vollholzes abzugehen, bot die Fertigung von Brettschichtholz. Dieser,aus waagrecht übereinander geleimten Einzelbrettern bestehende Holzwerkstoff,kann als Rechteckquerschnitt in praktisch beliebiger Länge und Höhe hergestellt werden. Breiten über 20 cm erfordern einen zusätzlichen Aufwand, der aber grundsätzlich keine Beschränkung bedeutet. Die Möglichkeit gekrümmte Bauteile herzustellen und die Querschnittshöhe über die Trägerlänge veränderlich zu machen, geben dem Statiker und Konstrukteur ideale Möglichkeiten den Baustoff Holz auch für große Tragwerke optimal auszunutzen.

In welchem Maße gerade die Leimtechnik in den letzten 10 Jahren zur Anwendung von Ingenieurholzkonstruktionen auf verschiedenen Gebieten geführt hat, geht nicht nur aus einzelnen Paradebeispielen weitgespannter Hallen und Brücken hervor, viel eingehender zeigt die Zunahme fertiggestellter Leimbauteile wie Binder, Stützen, Wand- und Deckenelemente sowie Schalungsträger, bezogen auf den Fertigungsstand des Jahres 1967, in welchem Maße der Holzleimbau zugenommen hat (Bild 1).

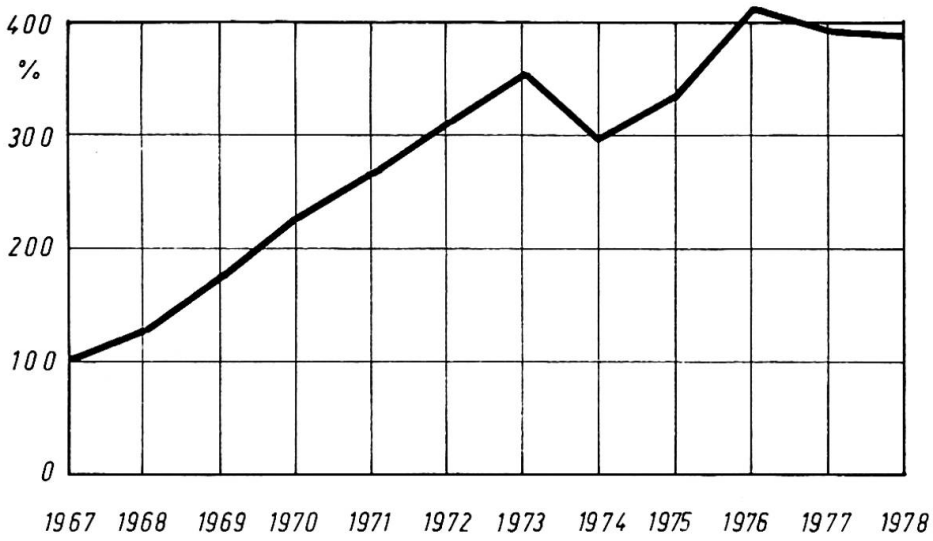


Bild 1: Zunahme der Leimbauteile in der Bundesrepublik Deutschland von 1967 bis 1978

Dadurch wurden zwar teilweise die Konstruktionen mit mechanischen Holzverbindungsmitteln, die nach dem Kriege beim Wiederaufbau vorwiegend zur Anwendung kamen, abgelöst, überwiegend waren es aber nach 1967 zusätzliche Bauaufgaben, die dem Holzbau zufielen. Der gleiche Trend, wenn auch in einzelnen Ländern verschieden, läßt sich aus einer Statistik der Glulam entnehmen, in der praktisch alle westeuropäischen Länder erfaßt sind. Danach ergaben sich in der Bundesrepublik Deutschland und in den skandinavischen Ländern ähnliche Entwicklungen, wie sie aus Bild 1 hervorgehen.

Die anstehenden Aufgaben im Wohnungsbau, vor allem im Fertighausbau, im Industriebau und Sportstättenbau sowie im Brückenbau auf dem Sektor Fußgängerbrücken haben Entwicklungen hervorgerufen, die in erster Linie die Verbindungstechnik vorangetrieben haben, wobei die Montagetechnik unter Ausnutzung der neuzeitlichen Möglichkeiten bei größeren Bauaufgaben sich zusätzliche ebenfalls auf Entwurf und Konstruktion ausgewirkt hat. Im Gagensatz zu dem etwa vor 1960 liegenden Zeitraum ist dabei in besonderem Maße zu beachten, daß die Arbeitslöhne im Vergleich zu den Materialkosten in weit höherem Maße anstiegen als es in den Jahren davor der Fall war. Dies führte dazu, daß auch im Holzbau die Möglichkeit einer mechanisierten Fertigung bei der Entwicklung neuer Holzbauweisen eine beondere Rolle spielte.

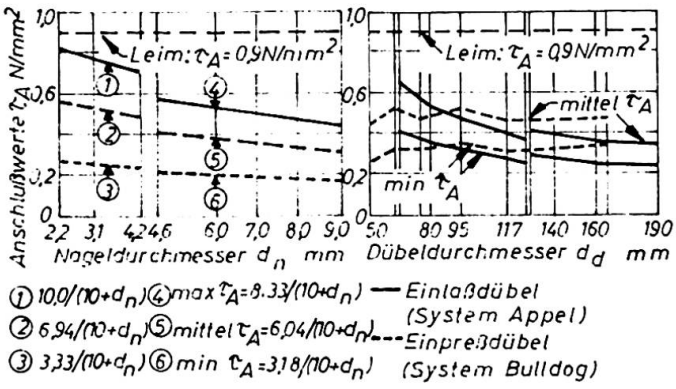
2. EINFLUSS DER VERBINDUNGSTECHNIK AUF DEN ENTWURF DER TRAGKONSTRUKTION

2.1 Allgemeine Hinweise

Der Holzbau mit seinen ursprünglich stark begrenzten Stabprofilen - Brett, Bohle und Kantholz - hat schon frühzeitig mannigfache Verbindungsmöglichkeiten angewendet, die aber als sogenannte zimmermannsmäßige Verbindungen mit Ausnahme des Versatzes für den Ingenieurholzbau nicht geeignet waren. Dagegen haben die in den zwanziger Jahren entwickelten Dübelverbindungen als Einlaß- oder Einpreßdübel und die in den dreißiger Jahren auf Tragkraft und Verformungsverhalten untersuchten Nagelverbindungen die Möglichkeit zu zuverlässigen und berechenbaren Verbindungen von Fachwerkstäben und von Einzelstäben miteinander gegeben, die lange Zeit die Bauarten von Fachwerkträgern und verdübelten Balken bestimmten. Hier sei nur an die herausragenden Bauwerke wie Großhallen, Sendetürme und Straßenbrücken erinnert, wobei genagelte Träger mit Bretterstegen oder genagelte Bohlenfachwerke für schwere Straßenbrücken und sogar Eisenbahnbrücken bis 50 m Spannweite zur Ausführung kamen (z.B. Rheinbrücke Kehl, [1] und [2]). Während die Dübelbauarten den Einsatz von Fachkräften erforden, sind die Nagelbauarten bei zweckmäßiger konstruktiver Ausarbeitung der Nagelbilder weitgehend von Hilfskräften herstellbar. Bei diesen Bauarten herrschte das parallelgurtige Fachwerk und der parallelgurtige Vollwandbretterträger vor, wobei man auf möglichst einfache gleichmäßige Ausführung der Stabanschlüsse und Stöße besonderen Wert legte.

2.2 Mechanische Holzverbindungsmittel

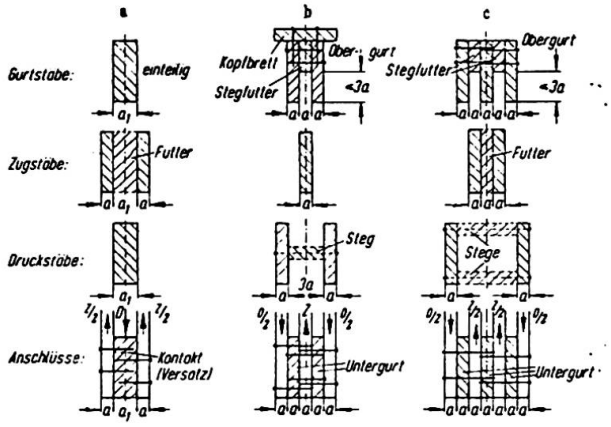
Sowohl bei der Dübel- als auch bei der Nagelbauweise werden die Abmessungen der Wand- und Gurtstäbe weitgehend von den durch die Verbindungsmittel benötigten Anschlußflächen festgelegt, da Knotenplatten, wie sie im Stahlbau üblich sind, aus verschiedenen Gründen kaum in Frage kommen. Der Bedarf an Anschlußfläche wird durch den Anschlußwert τ_A des jeweiligen Verbindungsmittels bestimmt, der sich aus der zulässigen Belastung des Verbindungsmittel zulN und der durch die Mindestabstände festgelegten Anschlußfläche minA zu τ_A = zulN/minA ergibt. Bei Dübeln beträgt er etwa 0,2 bis 0,5 N/mm², bei normalen Nägeln 0,4 bis 0,8 N/mm², wobei die dünnen Nägel ($d_n \leq$ 4,2 mm) die höheren Werte aufweisen (Bild 2). Hierdurch erklärt sich der große Vorteil von Nagel-Brett-Konstruktionen, da dünne Nägel wegen ihrer beschränkten Länge ($l_n \leq 30\ d_n$) nur bei verhältnismäßig dünnen Hölzern anwendbar sind. Durch zwei hintereinander liegende Anschlußflächen lassen sich die aufnehmbaren Anschlußkräfte für einen



Nägel $\boxed{\tau_A = \frac{zul\,N}{min\,A}}$ Dübel

Bild 2: Anschlußwerte τ_A für Nägel und Dübel

Querschnitt zwar auf den doppelten Wert steigern, doch erfordert dies zweischnittige Anschlüsse, die wegen der beschränkten Nagellängen und der komplizierteren Herstellung nicht immer angewandt werden können. Wie aus Bild 3 und 4 hervorgeht, wird die Wahl der Querschnitte ein- und mehrteiliger Gurt- und Füllstäbe in starkem Maße von der Art des Verbindungsmittels beeinflußt.



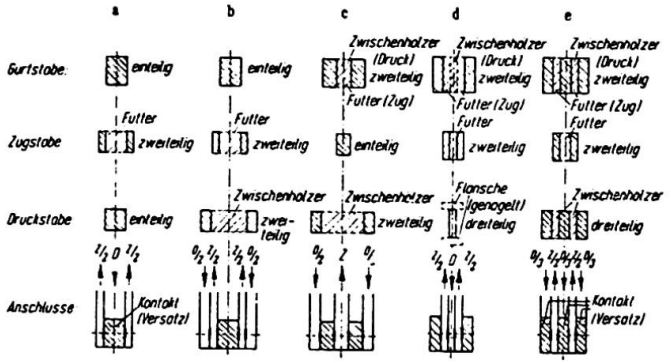


Bild 3: Mehrteilige Querschnitte ein-und mehrteiliger Stäbe für Nagelanschlüsse

Bild 4: Querschnitte ein- und mehrteiliger Stäbe für Dübelanschlüsse

Bei den Dübelverbindungen ergeben sich Schwierigkeiten für das Erreichen des einwandfreien Dübelsitzes bei Einfräsdübeln oder wegen der die aufnehmbare Querpressung überschreitenden Beanspruchung des Holzes beim Einpressen mehrerer übereinander liegender Einpreß-Dübel. Günstigere Verhältnisse liegen bei Stabdübeln vor, die als zylindrische Stahlstifte von 8 bis etwa 30 mm Durchmesser in der Regel ohne Mutter und Gewinde in vorgebohrte Löcher von 0,2 bis 0,5 mm kleinerem Durchmesser eingetrieben werden. Hier lassen sich mehrere Hölzer gleichzeitig durchbohren und damit die Vorteile der Mehrschnittigkeit gesichert ausnutzen. Stabdübel von mehr als ein Meter Länge,die 5 und mehr Hölzer durchdringen, wurden wiederholt bei schweren Holzkonstruktionen mit Erfolg angewendet.

Günstigere Lösungen werden mit Nagelverbindungen erreicht, bei denen Holz und Stahlbleche miteinander verbunden werden, wobei bei Blechdicken ab 2 mm die Löcher vorgebohrt, bei 1 bis 1,5 mm Blechdicke Blech und Holz gemeinsam durchschlagen werden können. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit auch mit dünnen und verhältnismäßig kurzen Nägeln mehrschnittige Verbindungen herzustellen. Vorteilhaft sind Verbindungen mit in Holzschlitze eingeführten Knotenblechen oder Blechlaschen. Bei Bindern für Hausdächer und bei Hallenbindern geringer Stützweite können zweckmäßig Nagelplatten angewendet werden, deren aus dem Blech einseitig ausgestanzte Nägel oder Krallen in einem Arbeitsgang eingepreßt werden. Die Nagelplatten übernehmen dabei die Funktion der Knotenbleche oder Stoßlaschen und werden Zug-, Druck- oder Scherspannungen unterworfen, die jeweils von den maßgebenden Nettoquerschnitten aufgenommen werden müssen. Die Ausstanzungen selbst übertragen dabei die in den Berührungsflächen zwischen Holz und Stahl auftretenden Scher-

kräfte. Im Gegensatz zu den in Bild 3 und 4 dargestellten unterschiedlichen Querschnitten der Gurt- und Füllstäbe werden bei Nagelplatten als Verbindungsmittel für sämtliche Stäbe einteilige, in einer Ebene liegende Stabquerschnitte benötigt. Der Anschlußwert der gebräuchlichsten Nagelplatten schwankt je nach dem Winkel zwischen Kraft-und Faserrichtung und Kraft- und Plattenrichtung etwa zwischen 0,5 und 1,2 N/mm^2.

Nagelplatten besonderer Art sind die Menigplatten, bei denen zweiseitig angespitzte Drahtstifte von 1,6 mm Durchmesser in einer Kunststoffschicht im 10 mm Raster eingebettet, in die beiden sich überdeckenden Holzflächen eingepreßt werden. Ihr Anschlußwert beträgt bei faserparallelem Kraftangriff 1,0 N/mm^2 und sinkt mit zunehmendem Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung linear auf 0,75 N/mm^2 bei Querbeanspruchung ab. Für die Stabquerschnitte sind hier die in Bild 4 dargestellten Verhältnisse maßgebend. Schließlich können auch gelochte Bleche und Stahlblechformteile mittels Nägel verwendet werden, bei denen aber stets die Blechflächen auf den Holzaußenseiten liegen und somit nur eine einschnittige Nagelung möglich ist. Die verschiedenen Holzverbindungsmittel sind in [3] ausführlich behandelt.

Mechanische Holzverbinder der beschriebenen Art werden vorzugsweise für Stabanschlüsse bei Fachwerken, für Stöße von Stäben und für die kontinuierliche Verbindung von Einzelteilen zusammengesetzter Querschnitte verwendet. Bei Vollwandrahmen aus Brettschichtholz lassen sich Dübel und Stabdübel auch für die Eckverbindung von Stiel und Riegel einsetzen, vor allem, wenn die Verbindung als Montageverbindung auf der Baustelle hergestellt werden muß. Die Wahl der Bindersysteme und der Stabquerschnitte, ob ein-, zwei- oder mehrteilig, hängt, wie oben dargelegt, weitgehend vom Verbindungsmittel ab.

2.2 Leimverbindungen

Bei geleimten Bauteilen muß man unterscheiden zwischen der Leimverbindung der einzelnen Hölzer und Trägerteile und der Verbindung der Leimbauteile selbst untereinander, die in der Regel unter Zuhilfenahme von mechanischen Verbindungsmitteln, meist Dübeln oder Stabdübeln erfolgt. Neben dem bereits erwähnten Brettschichtholz, dessen Einzellamellen durch Keilzinkung praktisch beliebige Länge haben können, gibt es eine Reihe leichter und schwerer Leimbauweisen in Form von Gitterträgern mit steigenden und fallenden Vollholzstreben, die durch kleinflächige Zinken in die Nuten der Gurte eingeleimt sind (Bild 5), Stegträgern mit ebenem oder gewelltem Sperrholzsteg, der keilförmig in die Vollholzgurte eingeleimt ist (Bild 6) und I-Trägern,

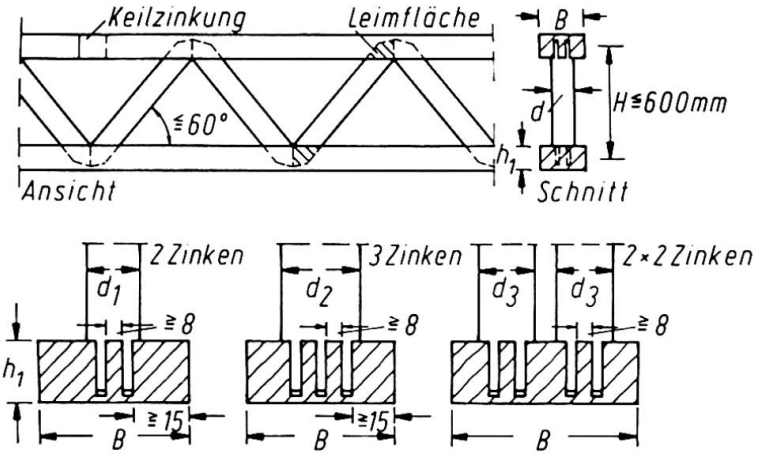


Bild 5: DSB-Träger (Geleimter Gitterträger)

deren Stege aus zwei oder mehr sich kreuzenden Brettlagen bestehen, an welche die aus einzelnen Brettlagen bestehenden Gurte mittels Nagelpreßleimung angeschlossen sind (Bild 7). Auch hier lassen sich durch Keilzinkung der Gurte und Stege praktisch beliebig lange Tragteile fertigen.

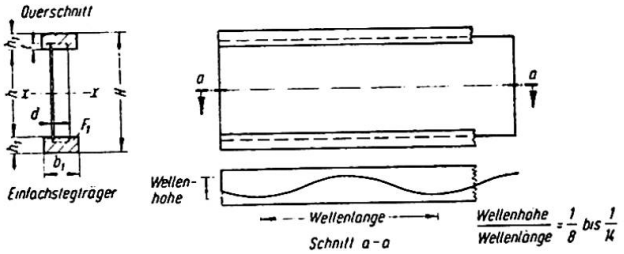


Bild 6: Wellsteg-Träger

Wie bereits erwähnt, können aus Brettschichtholz Tragglieder mit geraden, schrägen oder gekrümmten Kanten hergestellt werden, wobei aber die Anisotropie des Holzes und die mechanischen Festigkeits- und Verformungseigenschaften der Leimverbindung die Formgebung im Hinblick auf die aufnehmbaren Schnittkräfte in ausschlaggebender Weise beeinflußen. So müssen bestimmte Krümmungsverhältnisse in bezug auf die einzelne Brettlamelle und auf die ganze Trägerhöhe eingehalten werden, um die Tragsicherheit gefährdende Spannungszustände zu vermeiden (Bild 8). Das gleiche gilt für den Neigungswinkel zwischen Trägerrand und Stabachse, wenn wie üblich die Holzfasern nicht parallel zum Trägerrand verlaufen. Starke Querschnittsschwankungen wie bei Auflagerausklinkungen oder Trägerdurchbrüchen erfordern besondere Nachweise oder Verstärkungsmaßnahmen (Bild 9).

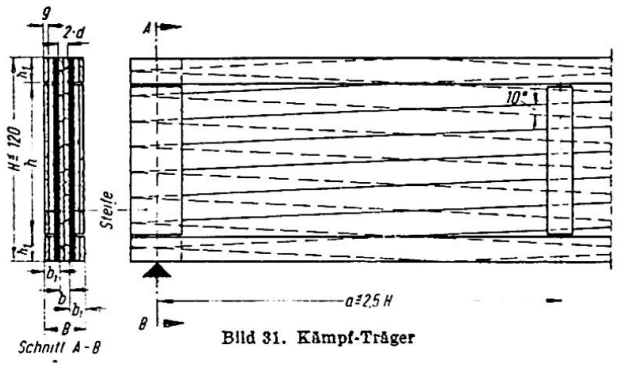


Bild 7: Kämpf-Träger (I-Träger) mit Brettersteg)

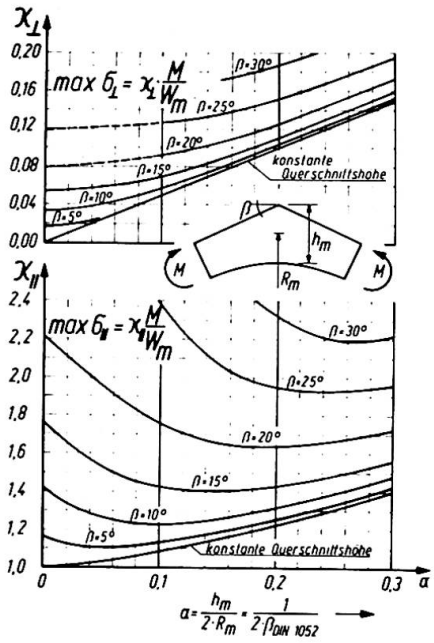


Bild 8: Maximale Quer- und Längsspannungen im Firstquerschnitt von Satteldachträgern

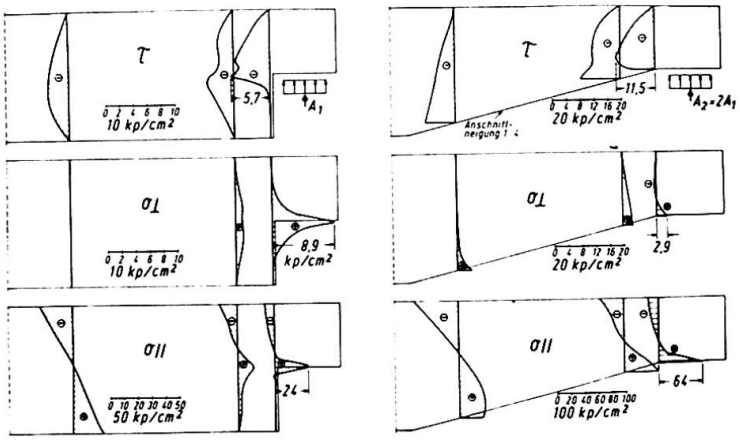


Bild 9: Spannungsverteilungen in ausgeklinkten Brettschichtträgern

Letzten Endes ist bei all diesen Gefahrenpunkten die geringe Querzugfestigkeit des Holzes und der Leimfuge, oft im Zusammenwirken mit der geringen Schubfestigkeit längs der Faser, für die Formgebung geleimter Tragkonstruktionen maßgebend. Da, wie Schadensfälle immer wieder gezeigt haben, die Formbeständigkeit und Standsicherheit von Brettschichtkonstruktionen weitgehend von der Formgebung abhängt, wurden zu diesen Fragen in den letzten Jahren umfangreiche Versuche und theoretische Untersuchungen durchgeführt. Ihre Ergebnisse werden in den Bemessungsvorschriften, die sich zur Zeit in mehreren Ländern in Neubearbeitung befinden, ihren Niederschlag finden. Auch die in Angriff genommene ISO-Norm: Holzkonstruktionen, Berechnung und Ausführung, enthält, wie an anderer Stelle ausgeführt wird, hierzu entsprechende Bemessungsvorschläge.

3. EINFLUSS DER TRANSPORTMÖGLICHKEITEN UND DER MONTAGETECHNIK AUF DEN ENTWURF

3.1 Transport

Holzbauteile, vor allem geleimte, werden im Werk vorgefertigt und bei einfachen Konstruktionen als Ganzes zur Baustelle gebracht und montiert. Bei größeren Tragkonstruktionen, vorwiegend bei Rahmen und Zwei- oder Dreigelenkbögen, können die Transportmöglichkeiten einen wesentlichen Einfluß auf die Wahl des Tragsystems und auf die Ausführung der Einzelteile haben. Hiernach richten sich z.B. Länge und Höhe der zu transportierenden Einzelteile und die Lage und Ausführungsart der Baustellenstöße, während infolge der geringen Rohwichte des Holzes in der Regel das Gewicht der Einzelteile selbst keine Beschränkungen beim Transport verursacht. Bei parallelgurtigen oder konischen Bauteilen müssen die Höhen- und Breitenbeschränkungen bei Bahn- oder Straßentransporten beachtet werden, während bei Bogenteilen das Stichmaß bei den möglichen Transportlängen von 40 bis 60 m Beschränkungen unterworfen sein kann (Bild 10).

Bild 10: Straßentransport von 32 m langen Kastenträgern mit Sperrholzstegen

3.2 Montage

In ähnlicher Weise wie beim Transport können die an der Baustelle verfügbaren oder zu beschaffenden Montagetechniken die Wahl des Tragsystems, die Anzahl und Größe der zu montierenden Teile und die Anordnung von Stößen und Gelenken beeinflußen. Der Montageablauf sollte daher bereits beim Entwurf und bei der Fertigung der Teile bekannt sein. Montageplanung und Montagestatik sollten bei größeren Holzbauwerken in der Hand des Entwerfenden liegen, da nur bei genauer Kenntnis der gesamten Konstruktion und der angewandten Verbindungstechnik zuverlässig montiert werden kann. Da Holzbauteile nicht zuletzt wegen ihres geringen Gewichtes gegen Schrägstellungen und Windeinwirkungen besonders empfindlich sind, ist auf eine ausreichende Aussteifung der Einzelteile und des Gesamtsystems zu achten.

Der im Verhältnis zum E-Modul längs der Faser geringe Schubmodul des Holzes begünstigt das Kippen von schlanken Einzelbauteilen, die nicht durch Verbände, Gabellagerung an den Enden oder andere der Torsionsneigung entgegenwirkende Maßnahmen gesichert sind. Aus diesem Grunde sind beim Verladen und Montieren von Einzelträgern entsprechende Vorkehrungen zur Vermeidung von Überbeanspruchungen, die leicht zur Zerstörung der Bauteile und zu Unfällen führen können, vorzusehen. Durch geschickte Planung der Montage kann man diese Gefahren vermeiden, indem man z.B. die Gesamtkonstruktion so vorsieht, daß Träger, Rahmen oder Bogenbinder mindestens paarweise montiert werden können, wobei oft schon anstelle von Montageverbänden die endgültigen Verbände in den Zwischenfeldern eingebaut werden können. Mit Erfolg hat man gerade bei weitgespannten, hohen Bogenhallen, die ja meist als Dreigelenksysteme ausgebildet werden, zwei oder mehrere Binderfelder von halber Bogenlänge mit Verbänden und mit der Dachhaut bereits am Boden montiert, die Binderfelder über die Auflagergelenke hochgedreht und im Scheitel behelfsmäßig solange gehalten oder abgestützt, bis sie mit der anderen Bogenhälfte verbunden werden konnten. Bild 11 zeigt das Montieren eines ganzen Trägerfeldes, das am Boden zusammengebaut, in einem Arbeitsgang auf die bereits erstellten Fertigteilstützen aufgelegt wird. Vor allem bei weitgespannten Tragwerken müssen die Verbindungsmittel für Montagestöße und Gelenke so gewählt werden, daß die verfügbaren Montagemöglichkeiten problemlos angewendet werden können. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit den Montagevorgang mit allen Beteiligten bereits im Anfangsstadium des Entwurfes festzulegen.

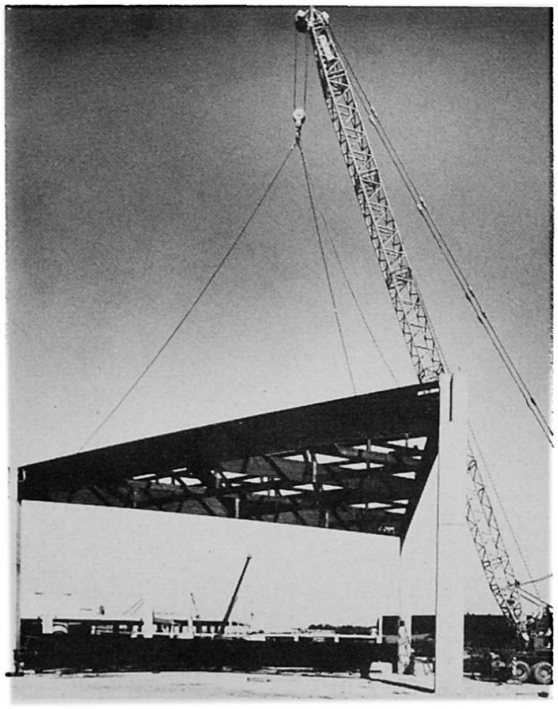


Bild 11: Montage eines dreieckförmigen Trägerfeldes von 28 m Seitenlänge mittels Autokran

Schließlich müssen die Teile beim Transport und bei der Montage gegen Beschädigungen gesichert und vor unmittelbarer und zu langer Einwirkung von Feuchtigkeit, Feuchtewechseln und unter Umständen auch vor Sonneneinstrahlung geschützt werden, da vor allem die bei geringer Holzfeuchtigkeit hergestellten Leimbauteile und Holzwerkstoffplatten sonst Verformungen und Rißbildungen erleiden können, die die erforderliche Gebrauchsfähigkeit und die erwartete Dauerhaftigkeit herabsetzen.

4. HOLZSCHALEN

Im Gegensatz zu Holzhallen traditioneller Bauart, die in der Regel aus zahlreichen stabförmigen Tragelementen wie Sparren, Pfetten, Binder und Stützen zusammengesetzt sind, handelt es sich bei den Schalen um flächenhafte Traggebilde von verhältnismäßig geringer Konstruktionshöhe, deren Mittelflächen gekrümmt sind. Ihre Oberflächen tragen unmittelbar die Dachhaut. Sie können aus Holzwerkstofflagen oder gekreuzten Brett- oder Bohlenlagen bestehen. Bei größeren Stützweiten wird aber oft eine Sandwichkonstruktion erforderlich, deren tragender Kern aus Rippenhölzern besteht, wenn nicht von vornherein für die Tragkonstruktion gerade, gekrümmte oder polygonartig angeordnete und sich kreuzende Stäbe als eigentliche Tragglieder gewählt werden. Holzschalen verschiedenster Form und Ausführung wurden in den letzten Jahren in verschiedenen Ländern errichtet, obwohl die Herstellungskosten bei geringen Spannweiten diejenigen einer normalen Holzkonstruktion oft weit übertreffen und in diesem Anwendungsgebiet kaum eine Kostenersparnis gegenüber Schalentragwerken aus Stahlbeton erreicht werden kann. Anders liegen die Verhältnisse bei sehr großen Spannweiten, bei denen das geringe Eigengewicht des Holzes ausschlaggebend wird und kostengünstige Lösungen ermöglicht.

4.1 Einsinnig gekrümmte Schalen (Tonnenschalen)

Schalen in Tonnenform können als Querschnitt einen Kreisbogen (Zylinderschalen), eine Parabel oder Ellipse haben. Ausschlaggebend für die Bemessung ist das Verhältnis Breite zu Länge. Lange Schalen können nach der Balkenanalogie, kurze Schalen müssen nach der exakten Theorie der anisotropen Schalen bemessen werden. Tonnenschalen als Zylinderschalen unter Verwendung von Furnierplatten wurden in neuerer Zeit vorwiegend in USA errichtet, wobei man meist mehrere gleiche Einzelschalen zu einer Schalenreihe zusammengefaßt hat. Bei grösseren Spannweiten oder bei höheren Anforderungen an die Wärmedämmung wird man vorteilhaft die Schale doppelwandig ausbilden, wobei es aber erforderlich ist, die beiden Beplankungen ausreichend schubfest zu verbinden, um beide zum Tragen heranzuziehen. Dies geschieht in der Regel durch einen Rippenrost, dessen gekrümmte Querrippen aus Brettschichtholz hergestellt werden, während die Längsrippen aus normalem Kantholz bestehen können. Schließlich können Tonnenschalen auch aus einzelnen rautenförmig angeordneten Stabzügen mit verhältnismäßig engen Abständen hergestellt werden, die die meist leichte Dachhaut tragen.

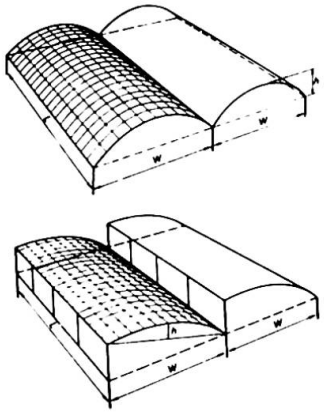


Bild 12: Kreiszylinderschalen

4.2 Doppelt gekrümmte Schalen

Doppelt gekrümmte Schalen weisen im allgemeinen ein höheres Tragverhalten und eine größere Beulsteifigkeit als einsinnig gekrümmte Schalen auf. Aus der Vielzahl der doppelt gekrümmten Flächen eignen sich nur solche für den Holzschalenbau, die sich durch eine Schar von Geraden darstellen lassen, wie z.B. die HP-Schalen und die Konoidschalen. Da bei der HP-Schale die sich kreuzenden Brettlagen bei gleichförmiger Belastung nur Normalkräfte erhalten und die Randbalken bei diesem Lastfall ebenfalls nur durch Normalkräfte beansprucht werden, ist diese Form wiederholt für größere Schalenbauwerke aus Holz angewandt worden. Eine HP-Schalenkonstruktion, die ein Hallenbad von 3800 m^2 Grundfläche überspannt, ist in [4] beschrieben.

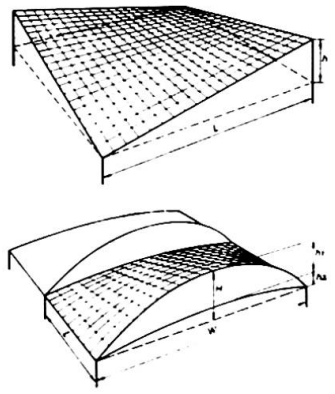


Bild 13: HP- und Konoidschalen

4.3 Kuppelschalen und Gewölbekuppeln

Schon in früheren Jahren wurden Kuppelbauten mit kreisförmigem Grundriß meist als Rippenkuppeln in Holzbauweise in verhältnismässig großen Abmessungen gebaut. Die Rippen bestehen dabei aus gekrümmten Brettschichtträgern, die unten auf Stützen ruhen, die durch einen Zugring verbunden sind. Im Scheitel ist ein Druckring erforderlich, an den die einzelnen Rippen die Horizontalkraft abgeben. Zwischen den einzelnen Rippen sind waagrecht verlaufende Pfetten aus Kantholz angeordnet, die die Dachhaut tragen. In dieser Bauweise wurden bereits mehrere Bauwerke mit bis zu 100 m Durchmesser ausgeführt.

Wesentliche Einsparungen an Kosten für die aufwendigen Rippenträger sind möglich, wenn eine Kugelkalotte bildende Schalenfläche durch sich kreuzende Stabzüge gebildet wird, die selbst wieder Dreiecke bilden. Hier kommt es natürlich darauf an, für die Stabanschlüsse möglichst einfache Knotenpunktslösungen zu finden, was meist durch zweckmäßige Stahlformteile geschieht. Die größte bisher bekannt gewordene Konstruktion nach diesem System stellt die Stadionüberdachung der Northern Arizona University in USA dar, die einen Durchmesser von 153 m und eine Kuppelhöhe von 18,16 m aufweist. Sie überdeckt eine Fläche von 18395 m^2.

Eine Schalenkonstruktion besonderer Art stellt die Gitterschale der Multihalle in Mannheim dar, die als schalenartiger Lattenrost eine unregelmäßig begrenzte Fläche von 4700 m^2 mit Spannweiten bis zu 60 m überdeckt und als räumlich gekrümmtes Stabrosttragwerk ausgebildet ist. Die Stäbe 5 x 5 cm, in ebenem Zustand in gleichmaschigen, orthogonalen Raster von 50 x 50 cm in zwei bis vier Lagen ausgelegt, bilden nach dem Hochziehen die unregelmäßig gekrümmte Schalenfläche, wobei sich die Quadrate zu Rauten mit 70 bis 110° verschoben haben. In die endgültige Lage gebracht, wurden die Knotenpunkte durch Bolzen verpreßt, wobei zur Erhaltung des Klemmdruckes bis zu drei Tellerfedern je Bolzen eingebaut wurden. Die Form der Schale ist so gewählt, daß bei vertikaler Gleichlast nur Druckkräfte auftreten. Die für die Bemessung des Tragwerkes ausschlaggebenden ein-

seitigen Schnee- und Windlasten müssen durch die Biegesteifigkeit des mehrlagigen Lattenrostes und durch diagonal zu den Rauten verlaufende Zugseile aufgenommen werden. Die architektonisch gelungene Lösung einer sich der Umgebung anpassenden Form eines Bauwerks hatte hier zu einer interessanten technischen Ausführung geführt, die nicht nur bei der Bemessung und konstruktiven Ausbildung des Tragwerkes besondere Probleme ergab, sondern bei der auch die Aufrechterhaltung der Form und der Tragsicherheit zusätzliche und kostspielige Maßnahmen erforderlich gemacht hat und noch laufend macht[5].

5. HOLZBRÜCKEN UND HOLZSTEGE

5.1 Allgemeine Überlegungen

Der Baustoff Holz ist seit Ende des 19. Jahrhunderts aus dem Gebiet des Brückenbaues bekanntlich stark verdrängt worden. Heute bestehen die meisten Brücken aus Stahl, Stahlbeton oder Spannbeton. Noch vor wenigen Jahrzehnten wurden Dauerbrücken nur selten aus Holz erstellt und nur bei kurzlebigen Behelfs- und Förderbrücken wurde das Holz - besonders wegen seines geringen Gewichtes und der leichten Bearbeitbarkeit - in verstärktem Maße verwendet. Die oft gegen die Anwendung des Baustoffes Holz für Brückenbauwerke vorgebrachten Bedenken wegen der unzureichenden Festigkeitseigenschaften und der kurzen Lebensdauer im Freien sind nicht zutreffend. Die hohe Tragsicherheit und Steifigkeit und die lange Lebensdauer konstruktiv und holzschutztechnisch einwandfrei erstellter Holzbrücken kann durch eine Reihe von über 200 Jahre alten Bauwerken in vielen Ländern nachgewiesen werden. Es liegt in der Natur der Sache, daß Holzbrücken mit größeren Spannweiten in erster Linie für Straßenbrücken mit leichterem Verkehr und für Fußgängerbrücken geeignet sind. Hier können das witterungsbeständig verleimte Brettschichtholz und die neuzeitlichen Holzschutzverfahren mit Erfolg angewendet werden. Nach [6] sind in den Staatsforsten der USA allein 7500 Holzbrücken im Gebrauch und jährlich werden zahlreiche hinzugebaut, auch die Eisenbahnen haben dort mehr als 2500 km Holzbrücken und Holzstege in ihren Dienst gestellt.

5.2 Fahr- und Gehbahnen von Holzbrücken

Die Brückenfahr- und Gehbahnen, die in erster Linie die Aufgabe haben, die Verkehrslasten auf die Hauptträger (bei obenliegender Fahrbahn) oder auf die Längsträger und Querträger (bei unten liegender Fahrbahn) zu übertragen, bestanden früher meist aus quer zur Brückenlängsrichtung liegenden einfachen oder doppelten Bohlenbelägen, die zusätzlich durch 2 bis 4 cm dicke Verschleißhölzer geschützt waren. Bei größeren Spannweiten und damit größeren Trägerhöhen ergab sich die Notwendigkeit, den Tragbelag auch als Wind- und Knickverband auszubilden, da vor allem bei verhältnismäßig schmalen Fußgängerbrücken die Seitensteifigkeit des Haupttragwerks und des unteren Windverbandes allein nicht ausreichend war. Verlegt man die beiden Tragschichten kreuzweise und befestigt sie entsprechend auf den Rändern oder den Rödelbalken, so erhält man einen waagrecht liegenden verbretterten Träger, der die waagrechten Lasten übernehmen kann. Die Kreuzlage mit $\alpha = 65^{0}$ ergibt eine verhältnismäßig günstige Lastverteilung, so daß Einzellasten meist ohne Erhöhung der Gesamtdicke des Fahrbahnbelages aufgenommen wer-

den können (Bild 14). Der Winkel von 65° zwischen Brückenlängsachse und Belag wurde nach [1] durch Versuche in natürlicher Größe als optimal festgestellt. Die zweifache Aufgabe, senkrechte und horizontale Lasten aufzunehmen, die der Fahr- und Gehbelag auch bei untenliegender Fahrbahn zu erfüllen hat, kann in diesem Falle durch einen waagrecht liegenden Brettschichtträger übernommen werden, wie aus Bild 15 hervorgeht. Der Aussteifungsträger muß an seinen Enden und in entsprechend verteilten Zwischenpunkten fest mit den Widerlagern und den Zwischenabstützungen verbunden sein. Bei obenliegender Fahr- oder Gehbahn wird man die Brettlamellen senkrecht zur Brückenlängsachse anordnen. Die Berechnung und konstruktive Ausbildung derartiger Fahrbahntafeln ist in [6] besprochen, wobei allerdings auf die Funktion als horizontaler Aussteifungsträger nicht eingegangen ist. Die Notwendigkeit, das Oberflächenwasser möglichst rasch und ohne gefährliche Durchfeuchtung der Unterkonstruktion abzuleiten, läßt sich durch Bohlenbeläge meist nicht zufriedenstellend lösen. Durch zwischen den Bohlen belassene Fugen kann zwar das Wasser rasch ablaufen und die Luft die Holzteile mit Ausnahme der Auflagerflächen bestreichen. An diesen Stellen wird aber oft, auch bei sorgfältigem Holzschutz, im Laufe der Jahre eine Schädigung des Holzes einsetzen. Man hat daher schon früh auf hölzernen Brücken Asphaltbeläge aufgebracht, die sich aber im großen und ganzen auf Bohlenbelägen nicht bewährt haben. Bessere Ergebnisse werden erzielt, wenn anstelle der Bohlen Furnierplatten oder Spanplatten mit witterungsbeständiger Verleimung eingesetzt werden. Ausführungen dieser Art sind in [7] beschrieben.

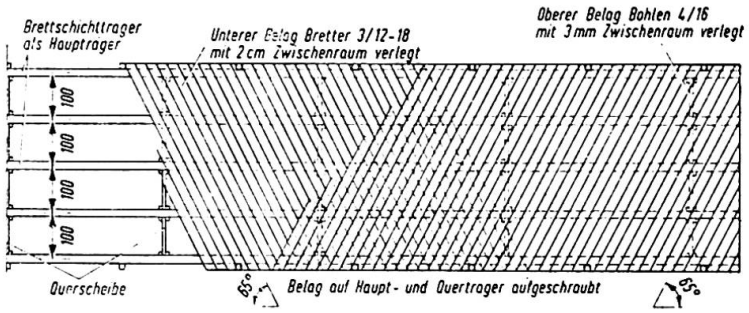


Bild 14: Doppelter Tragbelag in Kreuzlage

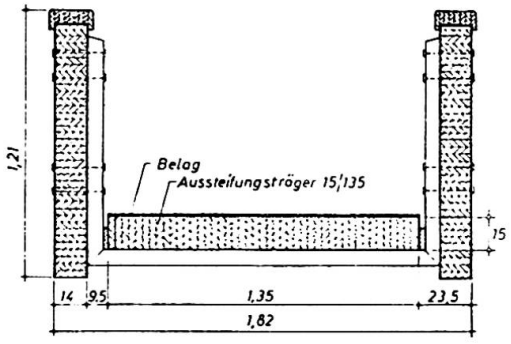


Bild 15: Brettschichtträger als Fahrbahn und als Horizontalaussteifung

Fahr- und Gehbahnen hölzerner Brücken können heute so berechnet und ausgeführt werden, daß sie ihre Funktionen der Aufnahme der vertikalen und horizontalen Lasten und des Oberflächenschutzes der Unterkonstruktion sicher übernehmen und eine lange Lebensdauer des Bauwerks sicherstellen können.

5.3 Straßenbrücken

In den letzten 10 Jahren wurden wiederholt Straßenbrücken als Dauerbrücken oder Behelfsbrücken errichtet, die bei Stützweiten bis 50 m nicht nur technisch einwandfreie Bauwerke darstellen, sondern die auch in architektonischer Hinsicht in den meisten Fällen sich besonders gut in das Landschaftsbild einfügen. Während bei Brettschichtbauweisen in der Regel der gerade, über zwei oder mehr Felder durchlaufende Träger oder bei Talübergängen der Bogenträger (siehe Bild 16) vorherrscht, werden Nagelbauweisen vorwiegend für

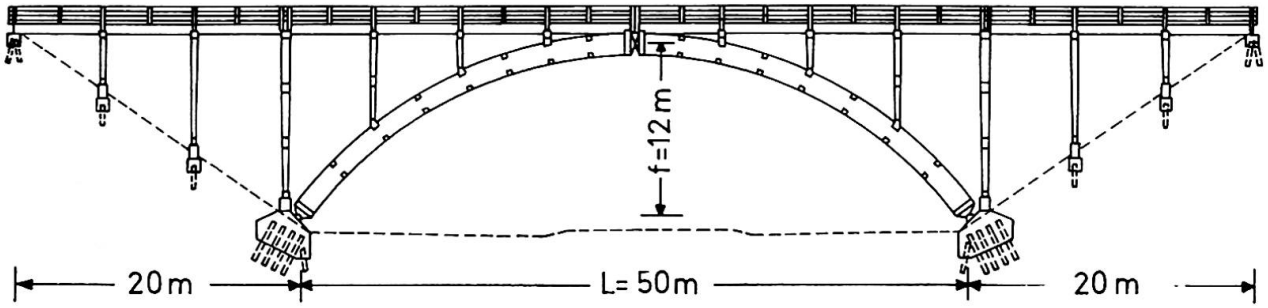


Bild 16: Straßenbrücke in South Dokata (USA)

Behelfs- und Förderbrücken bevorzugt. Als Beispiele können die Autobahnbrücke in South Dokata und die Behelfsbrücke bei den Olympiabauten München [8] genannt werden. Günstig sind Brücken mit oben liegender Fahrbahn, die als Trägerrostbrücken ausgebildet werden können, wodurch eine praktisch gleichmäßige Beanspruchung der Einzelträger erreicht wird und komplizierte Anschlüsse der Querträger und der Querverbände vermieden werden.

5.4 Fußgängerbrücken

Bei den Fußgängerbrücken, die aus mannigfachen Gründen heute oft bevorzugt in Holzbauweise hergestellt werden, lassen sich mit Brettschicht- oder Fachwerkträgern üblicher Ausführung die infrage kommenden Lasten aufnehmen, wobei Längen bis zu 40 m keine Schwierigkeiten bereiten. Hier werden bei größeren Stützweiten oft Träger mit Auskragungen oder rahmenartige Ausführungen, Bogenträger mit angehängter Gehbahn oder seilverspannte Systeme bevorzugt, da in den meisten Fällen besondere Anforderungen an das architektonische Aussehen gestellt werden. Ausführungsbeispiele von Fußgängerbrücken aus Holz sind in der Fachliteratur der letzten Jahre in großem Umfange behandelt. Hier sei nur auf die Fußgängerbrücke bei Aalborg (Dänemark) von 51 m freier Stützweite hingewiesen, deren Hauptträger als Sperrholzkastenträger ausgebildet sind.

6. VERBUNDBAUWERKE AUS HOLZ UND STAHL ODER ALUMINIUM

Der wichtigste Verbundbaustoff für Holzkonstruktionen ist Stahl, zu dem neuerdings auch das Aluminium in Ausnahmefällen hinzukommt. Wie bei der Verbindungstechnik dargelegt, wird neben Bolzen, Schrauben, Nägeln und Dübeln aus Stahl heute eine große Anzahl von verzinkten Stahlblechen und Blechformteilen verwendet, wobei man für die Ver-

bindungen normaler Dachkonstruktionen oft mit Blechdicken von 1 bis 2 mm auskommt. Bei größeren Trägeranschlüssen, Gelenken und Auflagerpunkten weitgespannter Binder muß man zu normalen Stahlprofilen übergehen oder die Formteile als Schweißkonstruktionen ausbilden. Hierbei übernimmt der Stahl die Funktion eines Hilfsbaustoffes, während die eigentliche Tragkonstruktion aus Holz besteht. Die hohe Zugfestigkeit von Stahl und Stahlseilen und die neuzeitliche Verbindungsmöglichkeit zwischen Stahl und Holz, z.B. durch Stabdübel, Stahlblech-Holznagelung und einseitige Dübelbauarten, haben die Stahl-Holz-Verbundbauweisen wesentlich gefördert. So hat man schon immer Zugbänder bei Rahmen oder Bogen aus Rundstahl, Profilstahl oder Stahlseilen hergestellt und beim Howe'schen Träger Zugvertikale aus Stahl verwendet. Bei neueren Konstruktionen werden oft Stahlverbände eingebaut und im Freien liegende korrossionsgeschützte Stahllängsträger mit im Gebäudeinneren liegenden Holzträgern kombiniert. Ebenso ist die Seilabspannung von hölzernen Hauptträgern an Stahl- oder Holzpylonen nicht nur bei Brücken, sondern auch bei Hallen, Tribünen oder Eisstadien ein oft und gerne angewandtes Konstruktionsprinzip. Die Unterspannung, schon früh zur Tragkrafterhöhung einfacher Vollhölzer bei Unterzügen und Brükkenträgern angewandt, läßt sich mit Vorteil auch bei Gelenkstabzügen mit Vollholz- oder Fachwerkträgern anwenden. Hochbeanspruchte, geknickte Zuggurte können bei Fachwerken aus Stahl ausgeführt werden, während die Druckgurte und die Druckdiagonalen aus Holz bestehen. Ausführungen mit in ausgefräste Nuten von Vollholz- oder Brettschichtholzträgern eingeleimten Stahlbewehrungen ohne und mit Vorspannung haben bisher außer einigen wenigen Versuchsausführungen noch keine praktische Bedeutung im Holzbau erlangt.

LITERATURVERZEICHNIS

1 Gaber, E.: Genagelte Straßenbrücke 1. Klasse aus Holz, Bautechnik 1941, S. 277/86

2 Gaber, E.: Bahnbrücke von 30 m Stützweite aus Brettern und Nägeln. Die Technik 1947, S. 153/56

3 Möhler, K., Natterer u.a.: Holzbauatlas. Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München 1978

4 Möhler, K.: Hallenbad Sindelfingen (Bundesrepublik Deutschland). IABSE Structures C-6/78, S.4/5

5 Wenzel, F., Frese B.: Schalenförmiges Holzgitterdach. Bauen mit Holz, 1969, S. 265/68

6 McCutcheon W.J., Tuomi R.L.: Design Procedure for glued-laminated bridge decks. Forest Products Journal 1973, Nr. 6, S. 36/42

7 Spindler: Gehbahnen aus Gußasphalt bei hölzernen Brükken. Bauen mit Holz 1975, Nr. 7, S. 341/44

8 Möhler, K.: Behelfsbrücken aus Holz. Schweizer Archiv 1972, Heft 6, S. 187/96

Leere Seite
Blank page
Page vide

IIb

Baustoff Holz – Erkenntnisse und Entwicklungen im technologischen Bereich und in den Verbindungen

Timber Technology and Assembling – Present State of Knowledge and Future Developments

Bois et assemblages – Etat actuel des connaissances et développements futurs

E. GEHRI
Dipl.-Ing.
Eidgenössische Technische Hochschule
Zürich, Schweiz

ZUSAMMENFASSUNG
Die im Vergleich zu anderen Baustoffen hohe Leistungsfähigkeit des Holzes für tragende Elemente wird aufgezeigt. Die Vielfalt von Holzarten und Holzwerkstoffen erschwert eine systematische Darstellung der Einsatzmöglichkeiten. Auf Lücken in den technologischen Erkenntnissen wird hingewiesen. Zudem werden die wichtigsten Kriterien für die Entwicklung leistungsfähiger Verbindungsarten zusammengestellt.

SUMMARY
The article shows that timber has, compared with other structural materials, a high efficiency. The great variety of wood species and of wood derivates impedes a systematic review of their possibilities and application. The report points out unsolved problems of our technological knowledge and draws up the main criteria for the development of connections with high efficiency.

RESUME
L'article montre la haute efficacité du bois pour des éléments porteurs. La grande variété des essences et des dérivés en bois rend difficile une représentation systématique des possibilités d'emploi. Le rapport indique les lacunes dans les connaissances technologiques actuelles et énonce les critères principaux pour le développement de moyens d'assemblage efficaces.

1. BEDEUTUNG DER HOLZTECHNOLOGIE

1.1 Rohstoff Holz

Holz zählt zu den ältesten Baustoffen, deren sich die Menschheit bediente. Während auf allen Baustoffsektoren mit viel technischem und finanziellem Aufwand eine Verbreiterung des Angebotes hinsichtlich Baustoffeigenschaften angestrebt wurde, z. B. beim Stahl durch die laufende Entwicklung neuer Stähle, sei es mit hohen Festigkeitseigenschaften oder mit besonderen korrosionsträgen Eigenschaften wie die wetterfesten Stähle, besitzt der Holzbauer von Natur aus eine erstaunlich breite Palette von Holzarten mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften hinsichtlich Dichte, Festigkeit, Dauerhaftigkeit usw. Allerdings wird immer noch erst eine erschreckend kleine Anzahl von Holzarten bautechnisch genutzt, dafür einige Holzarten besonders forciert, was aus ökologischen Gründen unerwünscht ist. Hier wird artenreicher Mischwald den Monokulturen vorgezogen.

Wie gross die Spanne zwischen den einzelnen Holzarten ist, zeigen die nachfolgenden Zahlen (Tabelle 1):

Holzart	Darrdichte [kg/m^3]	$E_{d\parallel}$ [kN/mm^2] w≈15%	$\sigma_{d\parallel}$ [N/mm^2]
Balsa	130	2,6	8
Kiefer	460	11	45
Eiche	650	12	50
Pockholz	1230	13	105

Tabelle 1 Mittlere Werte für Druckfestigkeit und E-Modul

Aber auch innerhalb derselben Holzart sind starke Variationen möglich, z. B. für Fichte (picea excelsa) variiert die Darrdichte zwischen 0,26 und 0,62 g/cm^3. Bekanntlich besteht eine ausgeprägte Proportionalität zwischen Darrdichte und mechanischen Eigenschaften. Die starke Variation der Festigkeiten wird in der Regel als Nachteil betrachtet, da für die Bemessung untere gesicherte Werte eingesetzt werden müssen. Meines Erachtens ist es Aufgabe der Holzwirtschaft, durch geeignete Sortierungskriterien diese Eigenschaften positiv auszunützen.

Ein weiterer, wesentlicher Punkt ist die vollständige Verwertung der Holzmasse des gefällten Baumes. Heute ist dies technisch weitgehend möglich durch die Weiterverwertung von Schwarten und kleineren Durchmessern zu Span- und Faserplatten, aber auch hier ist ein Gleichgewicht in den verschiedenen Einsatzarten des Holzes erforderlich.

Erwünscht sind Untersuchungen über den Einsatz von für den Holzbau nichttraditionellen Holzarten, dies um eine vollständige Nutzung des natürlichen, artenreichen Waldes zu fördern.

1.2 Holzverarbeitung

Generell ist die geringste Zerlegung des gewachsenen Holzes anzustreben. Dadurch werden die guten, natürlichen Eigenschaften der Holzstruktur möglichst erhalten. Man erhält somit durch Sägeeinschnitt Kanthölzer. Für grössere Bauteile genügen die eingeschnittenen Abmessungen nicht mehr, so dass deren Zusammensetzung erforderlich wird. Sie kann mittels mechanischer Verbindungsmittel oder mittels Leimung erfolgen.

Die heutigen Verleimungstechniken für Brettschichtholz verlangen relativ geringe Lamellenstärken. Durch Sägeeinschnitt und Hobeln entstehen grosser Verarbeitungsaufwand und Verlust an unzerlegtem Holz (unabhängig von der allfälligen Weiterverwendung dieser Abfälle zum Beispiel für Spanplatten). Zudem sind die erforderlichen Anlagen raum- und kostenintensiv. Die grösseren Presszeiten verhindern eine grössere Produktivität. Die Entwicklung von Verfahren zur kostengünstigeren Herstellung von Brettschichtholz ist deshalb erwünscht. Anlagen mit kontinuierlicher Herstellung von verleimten Trägern stehen noch in den Anfängen. Der Schritt zur Produktion von Halbzeug (Schichtholz mit normierten Querschnitten und Längen) und dessen Lagerhaltung ist noch kaum durchgeführt. Eine Kombination von Mass- und Lagerherstellung wäre sinnvoll.

Die Herstellung von Span- und Faserplatten wurde von Anfang an industriell betrieben. Grosse, weitgehend automatisierte Anlagen stellen normierte Produkte (bezüglich Qualität und Abmessungen) her. Für die Verarbeitung von eigenen Abfällen in integrierten Betrieben können Kleinanlagen trotzdem interessant werden. Die Produktion kann sich auf Einzelprodukte mit spezifischen Abmessungen beschränken, die meist wieder in den Endprodukten Wiederverwendung finden. Vorteile können sein: eine vollständige Verwertung des Holzes, Wegfall von Lager- und Transportkosten für die Abfälle, so dass auch weniger wirtschaftlich arbeitende Kleinanlagen gesamthaft gesehen gerechtfertigt sind.

1.3 Verbindungstechnik

Die Verbindungstechnik hat einen entscheidenden Einfluss auf die Einsatzmöglichkeiten des Holzes. Die früheren Holzverbindungen verlangten eine handwerkliche Verarbeitung, die heute wirtschaftlich nicht mehr tragbar ist. Die zum Teil mehrhundertjährigen Holzbauten sind Zeugen für die Güte dieser handwerklichen Verbindungstechnik.

Wohl lassen sich einige traditionelle Holzverbindungen (Versatz, Verdübelung mit hölzernen Rechteckdübeln) mechanisieren, finden jedoch wegen des geringen Wirkungsgrades nur noch in untergeordneten Bauteilen Verwendung. Der heutige hohe Stand der Verbindungstechnik wurde ermöglicht durch die Leime, insbesondere durch die Kunstharzleime sowie die mechanischen Verbindungsmittel aus Stahl.

Für die optimale Verwertung der Holzerzeugung wirkt sich nachteilig aus, dass diese Verbindungstechniken weitgehend auf die Nadelhölzer - wie Fichte, Kiefer, Föhre, Douglasie - ausgerichtet wurden. Dadurch werden auch wieder diese Holzarten bevorzugt, da sie im Verbund mit dieser Verbindungstechnik zu erprobten und wirtschaftlichen Bauten führen.

Von Bedeutung ist deshalb die Erweiterung unserer Kenntnisse in Bezug auf geeignete Verbindungen für andere, bisher weniger gebräuchliche Holzarten. Veröffentlichungen von Ergebnissen auf diesem Gebiete sind deshalb besonders erwünscht. Dabei genügt es nicht, die Eignung auf Grund von labormässigen Prüfungen festzustellen; erst mit dem Vorliegen geeigneter industrieller Herstellungsprozesse ist dieses Ziel erreicht.

Ein derartiges Problem stellen zum Beispiel die Keilzinkenverbindungen dar. Bekannt seit rund 40 Jahren, sind erst im letzten Jahrzehnt bedeutende Fortschritte zu einer wirtschaftlicheren, industriellen Fertigung von Keilzinkenstössen für Brettlamellen gemacht worden. Diese Entwicklung orientiert sich jedoch einseitig auf die Eigenschaften der üblicherweise für Brettschichtholz verwendeten Nadelholzarten. Versuche mittels Buchenholzlamellen zeigten die Notwendigkeit, diese Technologie den spezifischen Erfordernissen dieser Holzart anzupassen, um auch hier eine wirtschaftliche Anwendung gewährleisten zu können.

Auf dem Gebiete der Verbindungstechnik sind besonders erwünscht neuere Entwicklungen:

- mit vielseitigem Anwendungsbereich, insbesondere auch für verschiedene Holzarten
- für einfache, sichere Anwendung, ohne besondere Anforderungen bezüglich Berechnung, Ausführung und Güte des Holzes
- die eine stärkere Automatisierung bzw. eine rationelle industrielle Fertigung ermöglichen.

1.4 Holzschutz

Ein allgemeiner, vollständiger Schutz ist trotz der hohen natürlichen Dauerhaftigkeit vieler Holzarten nicht möglich. Dies ist aber auch nicht für die anderen Baustoffe wie Stahl oder Beton der Fall. Als besonders resistent haben sich z. B. Bongossi, Quebracho, Teak und Eiche erwiesen, aber auch andere Holzarten können unter gewissen Bedingungen sehr hohe Lebensdauern erreichen. Entscheidend hierfür sind Art und Grad der Einwirkung. Schematisch ist dies in Tabelle 2 dargestellt.

Einwirkung	Auswirkung	Schutzmassnahmen
Pilze	Verfärbung	geeignete Holzarten konstruktive Massnahmen chemischer Holzschutz
	Zerstörung	
Insekten (Käfer, Termiten)		
Meerwasserschädlinge		
Hohe Temperaturen		
Witterung	Verfärbung Oberflächenzerstörung Dimensionsänderung	Oberflächenbehandlung Quellungsvergütung
Chemisch (Laugen, Säuren, Elektrolyte)	Verfärbung Zerstörung	geeignete Holzarten Beschichtung
Mechanisch	Zerstörung	geeignete Holzarten konstruktive Massnahmen

Tabelle 2 Schematischer Ueberblick über Einwirkungen und mögliche Schutzmassnahmen nach [1].

Weitgehend in den Händen des Konstrukteurs liegt die Wahl der geeigneten Holzart und insbesondere der konstruktive oder der bauliche Holzschutz. Dieser soll stets dem chemischen Holzschutz vorangehen. Wo erforderlich, ist eine Kombination anzustreben. Dabei sind mögliche Nebenwirkungen des chemischen Holzschutzes zu beachten.

2. HOLZ UND HOLZWERKSTOFFE

2.1 Bautechnische Eigenschaften des Schnittholzes

2.11 Generelles

Entsprechend den regional unterschiedlich eingesetzten Holzarten weisen diese stark voneinander abweichende bautechnische Eigenschaften auf. Jedoch allen gemeinsam ist die markante Anisotropie des Holzes, mit besonderer Orientierung längs zur Stammachse. Daraus ergeben sich auch ausserordentlich hohe mechanische Eigenschaften des Holzes in Richtung parallel zur Stammachse oder parallel zur Faser, wie aus Tabelle 3 ersichtlich:

	Kiefer fehlerfrei	Baustahl Fe 360	FE 510	Spannstahl	Alu-Lg.	Kiefer Bauholz
Zugfestigkeit N/mm^2	100	360	510	1400-1600	320-450	40
(Feucht-)Dichte t/m^3	0,5	7,85		7,85	2,7	0,5
Reisslänge km	20	4,7	6,6	18 - 20	12-16,5	8

Tabelle 3 Reisslängen verschiedener Baustoffe

Die Reisslängen des Holzes, ohne Strukturstörungen parallel zur Faser, liegen in der Grössenordnung der Spannstähle und höher als für hochfeste Aluminiumlegierungen.

Bedingt durch Strukturstörungen (Krümmungen, Schrägfaserigkeit, Drehwuchs, Aestigkeit usw.) liegen die für Bauholz nutzbaren Werte wesentlich tiefer, bezogen auf die Dichte immerhin noch höher als für Baustahl Fe 510.

Es liegt am Holzbauer, sich die ausgezeichneten Eigenschaften längs zur Faser nutzbar zu machen.

2.12 Charakteristische mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften werden durch einen Satz von Werten wiedergegeben: $\sigma_{\parallel}$, $\sigma_{\perp}$, τ ; $E_{\parallel}$, $E_{\perp}$, G . Ausgehend von diesen Werten ist es möglich - mit baupraktischer Genauigkeit - die Eigenschaften in beliebiger Richtung zu beschreiben. Die häufigste, zweckmässigste und zugleich generellste Formulierung ist mit der sogenannten Hankinson-Formel gegeben. Eine vergleichende Untersuchung unter Einbezug neuerer, präziserer Ansätze zeigte, dass die Hankinson-Formel nebst genügender Genauigkeit noch andere wesentliche Vorzüge aufweist [2].

Man erhält demnach für beliebige Richtungen folgende, in Abbildung 1 dargestellte, Beziehung.

Zu den eigentlichen Strukturstörungen (können auch als Wuchsstörungen bezeichnet werden) treten noch Störungen infolge der Trocknung des Holzes. Die Trocknung führt sowohl zu Krümmungen und Verwerfungen als auch zu Eigenspannungszuständen. Werden die Schwindverformungen stark behindert, so führen die hohen Schwindspannungen zu Rissen, zu den sogenannten Schwindrissen. Diese treten normalerweise quer zur Faser durch Ueberwinden der Querzugfestigkeit des Holzes auf. Die Querzugfestigkeit grösserer Querschnitte ist deshalb stark herabgesetzt.

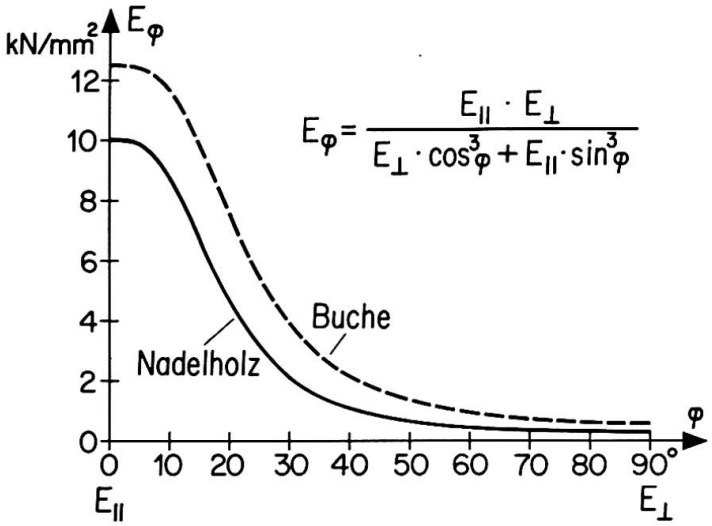


Abb. 1

Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit des Winkels $\varphi = \sphericalangle$ Kraftrichtung zur Faserrichtung

Durch besondere Trocknungsprozesse versucht man diese unerwünschten Folgen der Trocknung herabzusetzen. So können z.B. durch Dämpfen des Holzes vor dem Trocknen diese inneren Spannungen - und somit die Riss- und Verwerfungsanfälligkeit - vermindert werden [3].

2.13 Feuchteänderung

Holz als hygroskopischer Baustoff passt seinen Feuchtegehalt der Umgebungsfeuchtigkeit an. Diese Feuchteänderung führt zu Schwind- und Quellverformungen, die bei der konstruktiven Gestaltung beachtet werden müssen.

Kurzzeitige rasche Aenderungen führen zudem - wegen des langsamen Feuchteausgleiches - zu unterschiedlichem Feuchtegrad über dem Querschnitt. Um die daraus sich ergebenden inneren Spannungen zu vermindern, können hemmende Oberflächenanstriche vorteilhaft sein. Bessere Kenntnisse auf diesem Gebiet können Fehler, aber auch Vorurteile abbauen helfen.

In der Regel treten die Feuchteänderungen an belasteten Bauteilen auf. Damit sind aber auch Kriechverformungen, d.h. irreversible Verformungen verbunden. Dieses Phänomen ist bekannt. Auch die Versuche, durchgeführt an kleinen Querschnitten, bestätigen dies. Bis heute fehlen aber Unterlagen zur rechnerischen Erfassung dieses Phänomens für baupraktische Abmessungen.

2.14 Lastdauer

Der Einfluss der Lastdauer auf die mechanischen Eigenschaften des Holzes ist mindestens seit den Madison-Versuchen bekannt. Auch heute noch wird die Madison-Kurve in den meisten Ländern in dieser oder ähnlicher Form berücksichtigt.

In den letzten Jahren sind ernsthafte Zweifel an der Richtigkeit der Aussage der Madison-Kurve aufgetreten [4]. Dabei wird mit Recht auf den wesentlichen Unterschied zwischen Untersuchungen an strukturfehlerfreien Kleinproben und an solchen an baupraktischen, mit Strukturfehlern behafteten Bauelementen hingewiesen. Die kurzzeitigen Festigkeiten liegen bei letzteren sogar wesentlich unter denjenigen unter Dauerlast für strukturfehlerfreies Holz. Eine direkte Uebertragung der Resultate ist somit nicht gesichert.

Die Untersuchungen sollten auch ausgeweitet werden auf andere Holzarten. Dabei sollte stets auch der gleichzeitige Einfluss von Feuchteänderungen mitbehandelt werden.

2.2 Schichtholz aus Brettern und Furnieren

2.21 Kennzeichnende Unterschiede

Beim Brettschichtholz bestehen die einzelnen Lamellen aus eingesägten Brettern, die künstlich auf die Gebrauchsfeuchte heruntergetrocknet, in den erforderlichen Längen mittels Keilzinkung zusammengesetzt, beidseitig auf enges Toleranzmass gehobelt und kurzfristig danach miteinander verleimt werden. Die Brettstärke variiert i.a. zwischen 15 und 40 mm.

Beim Furnierholz bestehen die einzelnen Lamellen aus Furnieren. Normalerweise wird auf ein Stossen der Furniere verzichtet - die Stösse werden einzig versetzt angeordnet. Ein Hobeln erübrigt sich. Die Furnierlagen werden in der Regel - analog wie Furniersperrholz - heissverleimt. Die Furnierstärke variiert i.a. zwischen 2 und 10 mm [5].

Die Ausbeute von Schichtholz aus der Rundholzmasse ist beim Furnierholz grösser, da Sägeschnitte und Hobeln wegfallen. Diese beträgt über 60 %, während beim Schichtholz in der Regel 40 % erreicht werden. Andererseits ist mit einem grösseren Leimverbrauch (ca. 3- bis 8-fache Fugenzahl) zu rechnen. Die an sich unerwünschte weitgehende Zerlegung des Holzes führt andererseits zu einer Homogenisierung. Die bessere Verteilung der absolut kleineren Strukturstörungen führt zu höheren charakteristischen Festigkeitswerten mit kleineren Streuungen (vgl. Abb. 2).

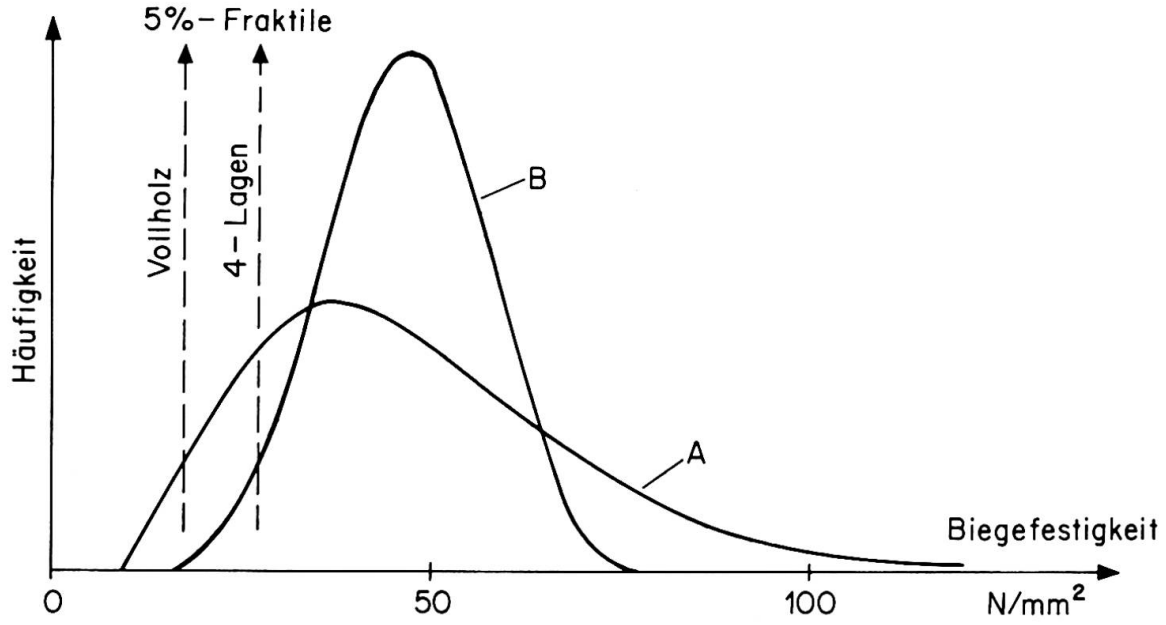


Abb. 2 Theoretische Verbesserung der Festigkeitseigenschaften durch Lamellierung nach [5]
Kurve A: Gemessene Streuung von Bauholz
Kurve B: Abgeleitete Werte für Schichtholz aus 4 Lamellen

Die dünneren Lamellen beim Furnierschichtholz erlauben geringere Krümmungsradien bzw. der Einfluss von Vorkrümmungen und des daraus entstehenden Eigenspannungszustandes haben geringere Bedeutung.

2.22 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften des Schichtholzes sind ausgeglichener. Dies gilt vor allem für die Elastizitätsmoduli, $E_{\parallel}$ und $E_{\perp}$. Für die Zugfestigkeiten ist - zumindest beim Brettschichtholz - diese Wirkung nicht so ausgeprägt, da weder eine direkte Korrelation von $E_{\parallel}$ und $\sigma_{z\parallel}$ (vgl. Abb. 3) (grössere Streuungen) noch ein wesentlicher plastischer Ausgleich auf Zug (vgl. Abb. 4) vorhanden sind.

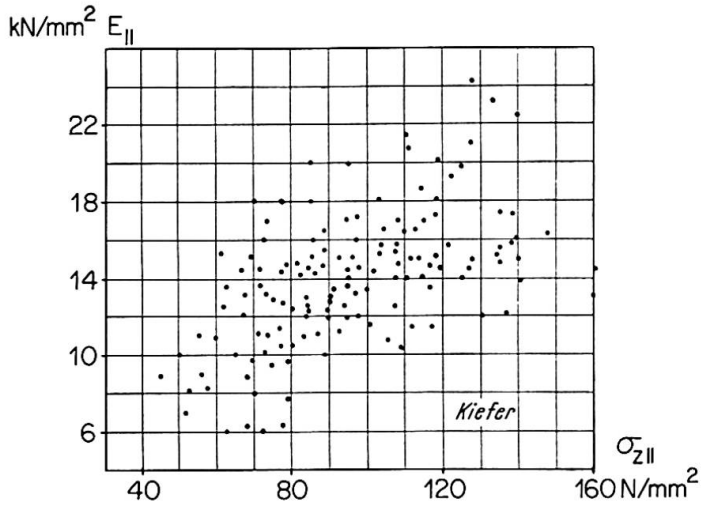


Abb. 3 Zugfestigkeit in Abhängigkeit vom E-Modul bei Kiefer nach [6]

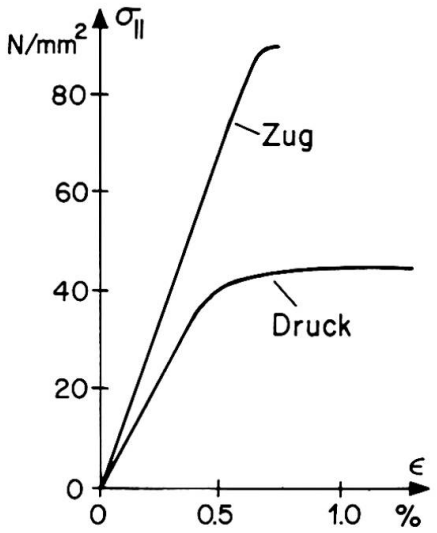


Abb. 4 Spannungs-Dehnungs-Diagramm für Fichte

Der Lamellierungseffekt auf Zug dürfte deshalb in der Praxis wesentlich geringer sein als die theoretischen Ansätze. Die in British Standard CP 112 angegebenen Werte, die auf theoretischen Untersuchungen beruhen [7], dürften deshalb kaum erreicht werden und zu falschen Schlüssen führen.

Bei Trägern mit Biegebeanspruchungen wirken sich nur die Eigenschaften der äusseren Lamellen (Randlamellen) aus, d.h. nur jeweils 3 bis 4 Lamellen. Der zweckmässigen Festigkeitssortierung und der Anordnung der Holzlamellen höherer Festigkeit in den Aussenzonen kommt deshalb eine entscheidendere Bedeutung zu. Eine eingehendere Darstellung dieses Problems unter Beachtung der grossen Streuung der Festigkeitseigenschaften (in Funktion der Dichte und der Strukturstörungen) und der normalerweise vorhandenen Keilzinkungen ist für die optimale Ausnutzung des Holzes von Bedeutung. Theoretische Abhandlungen über solche hybride Querschnitte ohne entsprechende Absicherung durch Versuche ergeben noch keine Grundlage.

2.23 Variable Querschnitte

Für die Herstellung variabler Querschnitte bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten (vgl. Abb. 5):

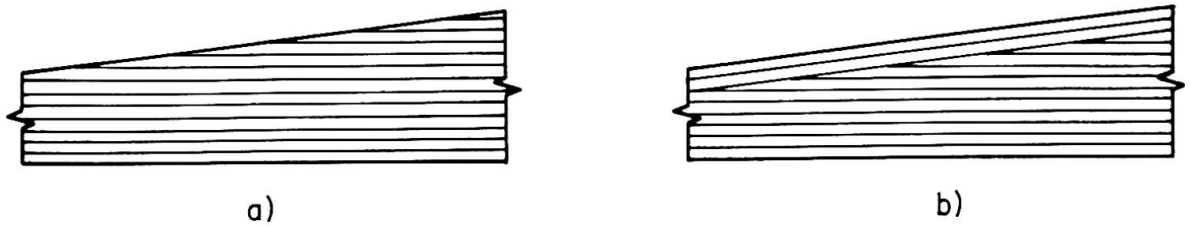
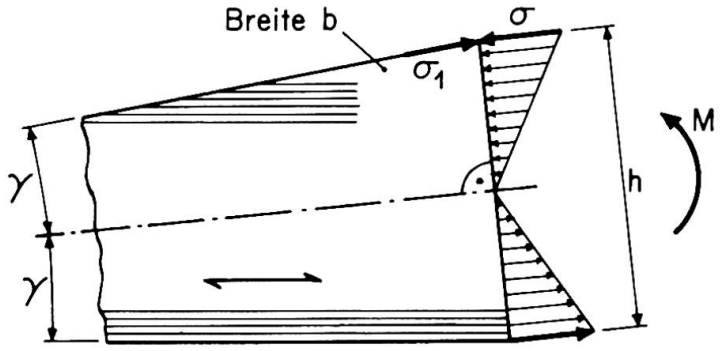


Abb. 5

a) alle Lamellen parallel gerichtet b) Aussenlamellen stets parallel zum Rand

Die Lösung b) stellt festigkeitsmässig die günstigste Anordnung dar, wird aber wegen der teureren Fertigung (zwei Arbeitsgänge erforderlich) selten angewendet.

Im Falle a) werden somit bewusst Schnitte schräg zur Faser in Kauf genommen. Wie unter 2.12 dargestellt, muss damit aber eine Verminderung der Tragfähigkeit in Kauf genommen werden. Da die Längsspannungen im Randbereich parallel zum Rand verlaufen, kann das Problem als Kraftrichtung schräg zur Faser behandelt werden (vgl. Abb. 6):



$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} \qquad \sigma_1 = \frac{\sigma}{\cos\gamma}$$

Bedingung nach Abschnitt 2.12

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{\cos\gamma} \leqslant \sigma_\varphi \quad \text{mit } \varphi = 2\gamma$$

und σ_φ nach Fig. 7 in [8]

Abb. 6

Demnach sind Schräganschnitte auf Zug bedeutend gefährlicher als auf Druck (vgl. Fig. 7 in [8]; c_φ - Verlauf für Zug und Druck). Für Nadelholz führen bereits 1:10 angeschnittene Lamellen bei Zugbeanspruchung zu einer Festigkeitseinbusse von rund 30 %. Ohne entsprechende Reduktion dürften somit solche Anschnitte nicht toleriert werden.

2.24 Gekrümmte Querschnitte

Die Möglichkeit freier Formgebung führt zu häufiger Anwendung gekrümmter Bauelemente. Bei parabel- oder kreisförmig geformten Bogentragwerken sind die Krümmungsradien in der Regel so gross, dass die Eigenspannung aus der Vorkrümmung der Lamellen vernachlässigt werden kann. Erst bei kleineren Krümmungsradien muss dieser Einfluss gesondert untersucht werden. Bei gekrümmten Elementen sind demnach gegenüber den geraden Elementen folgende Einflüsse zusätzlich zu beachten:

- die Spannungen sind nicht mehr linear sondern hyperbolisch über den Querschnitt verteilt
- aus Gleichgewichtsgründen treten senkrecht zur Elementachse Kräfte auf, die Spannungen quer zur Faserrichtung bewirken

die während der Herstellung vorgekrümmten Lamellen weisen hohe Biegespannungen auf, die nur geringfügig durch Kriechen des Holzes abgebaut werden (vgl. [9], Abb. 27 und 28 sowie [10], Bild 24).

Neuere Untersuchungen zeigen, dass der letzte Einfluss bisher unterschätzt wurde [11]. In Abbildung 7 sind vergleichsweise auch die früheren Ansätze wiedergegeben.

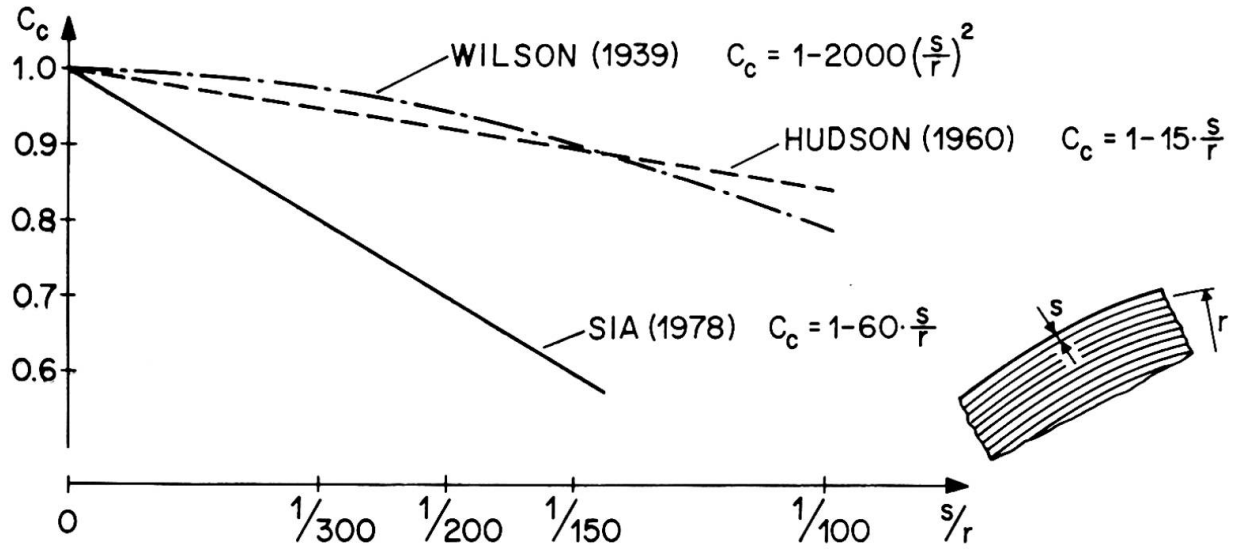


Abb. 7 Einfluss der Vorkrümmung

Weitere Untersuchungen zur Absicherung dieses Einflusses sind erwünscht. Die stärkere Abminderung wirkt sich allerdings nur dort aus, wo am Aussenrand durch äussere Kräfte Zugbeanspruchungen auftreten, denen sich die Biegezugspannungen aus der Vorkrümmung überlagern. Am Innenrand können bei Druckbeanspruchungen durch das Plastifizierungsvermögen des Holzes auf Druck (vgl. Abb. 4) die Eigenspannungen aus Vorkrümmung wesentlich abgebaut werden, so dass diese dann die Tragfähigkeit kaum beeinflussen.

Bei stärkerer Krümmung und höheren Trägern treten nicht mehr vernachlässigbare radiale Spannungen (quer zur Faserrichtung) auf. Die Radialspannungen können beim Rechteckquerschnitt mit guter Näherung durch folgende Beziehung angegeben werden:

$$\sigma_{\perp,max} = \sigma_{\parallel,max} \cdot \frac{H}{4R}$$

wobei H die Trägerhöhe und R den Krümmungsradius bedeuten.

Im Falle von Satteldachträgern treten die Radialspannungen als Querzugspannungen auf. Wegen der geringen Querzugfestigkeit - insbesondere der für Schichtholz verwendeten Nadelholzarten - kann die Biegetragfähigkeit nicht ausgenützt werden. Vorteile können hier bieten: Verwendung von Laubholzarten mit höherer Querzugfestigkeit, wie z.B. Buche; die Querarmierung des Schichtholzes.

2.25 Querarmierung

Die geringere Festigkeit des Holzes quer zur Faserrichtung erschwert gewisse Konstruktionen. Der Gedanke liegt deshalb nahe, durch die Querarmierung (analog der

Stahleinlagen im Beton, vgl. Abb. 8a) oder durch eine Querabsperrung (analog dem Sperrholz, vgl. Abb. 8b) die Eigenschaften in Querrichtung zu verbessern.

Abb. 8

a) eingeleimte Schraubenbolzen oder Holzzapfen

b) beidseitig aufgeleimtes Furnier oder Furniersperrholz

Zum Teil wurden für Reparaturzwecke Schraubenbolzen in Löchern mit Spiel eingezogen und vorgespannt. Da die Vorspannung durch Feuchteänderungen und Kriechen des Holzes abgebaut wird, kann hier nicht von einer Querarmierung, sondern nur von einer Verbolzung gesprochen werden. Die Querarmierung, aus passend eingeleimten Stahlstäben (meist Gewindestäbe) oder aus Holzstäben hoher Festigkeit, soll über den ganzen Bereich eine sichere Haftung gewährleisten.

Die Quereigenschaften können näherungsweise bestimmt werden zu:

$$E_{\perp,id} \approx \frac{A_{Holz} \cdot E_{\perp} + A_{Armierung} \cdot E_{Armierung}}{\Sigma A}$$

In der Regel dürfte somit der Einsatz von Holzstäben für die Querarmierung genügen, mit dem Vorteil einfacher Ausführung und sicherer Verleimung.

Die Absperrung im Bereich von Rahmenecken kann sinnvoll mittels aufgeleimter Furniere oder einer dreischichtigen Furnierplatte [12] erreicht werden. Die Absperrung kann auch nur zur Verminderung des Aufreissens des Holzes eingesetzt werden. Günstige Ergebnisse sind für die Absperrung von Schwellenholz bekannt geworden [13].

Weitere Einsatzmöglichkeiten der Querarmierung des Holzes sind auch bei knappen Auflagerungsverhältnissen von Brettschichtträgern bekannt geworden [14].

Erweiterte Untersuchungen in diesem Bereich und damit gewonnene praktische Erfahrungen sind für einen vermehrten Einsatz der Querarmierung erwünscht. Dadurch könnten bisherige Schwachstellen wie Rahmenecken, gekrümmte Bereiche mit Querzug, optimal verstärkt werden.

2.3 Sperrholz aus Brettern und Furnieren

2.31 Aufbau

Heute steht eine Vielfalt von Produkten zur Verfügung. Als wichtigste Variablen treten Schichtenaufbau und Holzarten auf.

In der Regel werden die Schichten kreuzweise angeordnet. Die Schichtstärke der Furniere beträgt zwischen 1,5 und 8 mm (dünnere Schichten von weniger als 0,5 mm wurden früher im Flugzeugbau eingesetzt).

Eine besondere Abart von Brettsperrholz stellen die Kämpfplatten dar. Durch geringe gegenseitige Verdrehung von 3 oder mehr 15 bis 20 mm starken Brettlagen werden Schubfestigkeit und Querfestigkeit erhöht ohne wesentliche Beeinträchtigung der Eigenschaften längs.

Der Aufbau von Furniersperrholz kann erfolgen mit unterschiedlicher Schichtstärke sowie mit ungleichmässigen Anteilen in Längs- und Querrichtung. Zudem können die Holzarten und Holzgüten schichtweise variieren. Die Festigkeit der Leimverbindung ist bei den heute verwendeten Leimen derart hoch, dass sie kaum noch als Kriterium herangezogen werden kann. Für die Leimwahl sind somit die Einsatzbedingungen (Feuchte, Nässe) massgebend.

2.32 Mechanische Eigenschaften

Mit Ausnahme der Flugzeugsperrhölzer mit vielen dünnen Schichten und entsprechend hohem Anteil an Leimfugen, kann in der Regel der verfestigende Einfluss der Leimschichten vernachlässigt werden.

Bei normierten Produkten (Holzart, Aufbau, Holzgüte, Leim) können die mechanischen Eigenschaften auf Grund laufender Standardversuche festgelegt werden. Für die häufig anzutreffenden anderen Fälle liegen meist praktisch ungenügend gesicherte Unterlagen vor. Auf Grund der besser bekannten Eigenschaften der Furniere und einzelner Versuche können ausgehend vom Aufbau der Platte die mechanischen Eigenschaften dennoch ermittelt werden. Die theoretischen Ansätze zur Darstellung der mechanischen Eigenschaften liegen vor [15][16].

Zum Teil erfolgen die Angaben bezogen auf die Querschnitte der Furniere in Längs- bzw. Querrichtung (z.B. in den USA), zum Teil wird als Bezugsquerschnitt die volle Plattenstärke (z.B. in Europa) verwendet. Beide Möglichkeiten weisen Vorteile und Nachteile auf. Für den praktischen Gebrauch dürfte letztere Methode einfacher sein.

2.33 Bedeutung des Sperrholzes

Das Sperrholz - als erstes industriell hergestelltes plattenförmiges Produkt - wurde früher vielfach für Zwecke eingesetzt, die heute wirtschaftlicher durch Spanplatten erfüllt werden.

Heute gilt es, die ausgezeichneten Festigkeiten des Sperrholzes bezüglich Schub, besser auszunützen. Durch die Absperrwirkung wird die Schubfestigkeit - gegenüber derjenigen des Schnittholzes parallel zur Faser - um das 3- bis 5-fache erhöht. Sperrholz sollte deshalb dort eingesetzt werden, wo hohe Schubkräfte zu übertragen sind, z.B. bei Biegeträgern mit Sperrholzstegen.

In solchen Bauelementen treten meist kombinierte Beanspruchungen in den Stegen auf: Normalspannungen aus Biegung und Schubspannungen aus Querkräften. Bisher fehlen gesicherte Festigkeitskriterien für derartige kombinierte Beanspruchungen.

2.4 Span- und Faserplatten

2.41 Plattenarten

Heute besteht eine ausserordentlich grosse Vielfalt von plattenförmigen Holzprodukten. Unterschiedliche Art der Zerkleinerung, Aufbau, Verdichtung und Leimzugabe führen zu Produkten mit grosser Variation der mechanischen Eigenschaften. Zwischen den frei Hauptarten: Waferboard/Strandboard, Spanplatten und Faserplat-

ist ein fliessender Uebergang vorhanden. Einer stärkeren Anwendung in Tragwerken mit ständiger Beanspruchung steht das ungünstige Kriechverhalten entgegen. Vorzugsweise werden deshalb solche Elemente für Windscheiben und andere kurzzeitig beanspruchte Bauteile eingesetzt.

2.42 Wafer- und Strandboard

Waferboard ist ein plattenförmiger Holzwerkstoff, der aus relativ quadratischen, grossflächigen Holzspänen besteht, während Strandboard aus schmalen, streifenartigen Holzspänen gefertigt wird, wobei die Späne gerichtet eingestreut werden können. Durch unterschiedliche Spanorientierung zwischen Deck- und Mittellagen um jeweils 90°, kann ein dem Furnierholz ähnliches Produkt erzeugt werden, mit bezogen auf die Rohdichte nur halb so hohen Festigkeiten wie das Furnierholz. Im Vergleich zu den konventionellen Spanplatten weisen jedoch die sog. "Strukturplatten" wesentlich höhere Biege- und Schubfestigkeiten auf, so dass grössere Einsatzmöglichkeiten für tragende Elemente bestehen [17][18][19].

2.43 Spanplatten

Die aus laufenden Gütekontrollen ermittelten mechanischen Eigenschaften zeigen je nach Aufbau und Verdichtung der Decklagen unterschiedliche Werte, wobei jedoch generell mit zunehmender Plattendicke sowohl Elastizitätsmasse als auch Festigkeitswerte abnehmen.

Die Elastizitätsmasse variieren zwischen 1000 und 4000 N/mm^2 und die Zug- und Druckfestigkeiten in Plattenebene zwischen 5 und 15 N/mm^2. Die Biegefestigkeit senkrecht zur Plattenebene liegt infolge der Verdichtung der Aussenbereiche etwas höher (8 bis 20 N/mm^2). Diese Werte stellen jedoch nur Kurzzeitwerte dar. Bei langfristig beanspruchten Bauteilen aus Spanplatten ist sowohl ein starker Abfall an Festigkeit als auch infolge Kriechen eine starke Zunahme der Verformungen feststellbar. Mit steigender Feuchte und/oder Feuchteänderung treten obige Einflüsse verstärkt auf.

Der Einsatz von Spanplatten sollte deshalb auf Tragelemente mit vorwiegend kurzfristiger Beanspruchung und geringer Feuchteänderung (notfalls durch geeigneten Oberflächenschutz zu gewährleisten) beschränkt bleiben. Die Publikation positiver und negativer Erfahrungen mit dem Einsatz von Spanplatten für tragende Elemente ist erwünscht.

2.44 Faserplatten

Für tragende Funktion kommen nur harte (Rohdichte 800 kg/m^3) und mittelharte Faserplatten (Rohdichte zwischen 350 und 800 kg/m^3) in Frage. Mittelharte Faserplatten weisen ähnliche mechanische Eigenschaften wie Spanplatten gleicher Rohdichte auf. Hartfaserplatten, die jedoch nur mit geringen Plattenstärken hergestellt werden, weisen höhere Werte auf. Analog den Spanplatten ist auch hier der Einfluss der Lastdauer und der Feuchte von entscheidender Bedeutung.

3. VERBINDUNGEN

3.1 Bedeutung für den Holzbau

Durch den Einschnitt gewinnt man aus dem Stammholz stets gerade Elemente. Anderweitige Formen müssen durch Zusammensetzen einzelner im Ausgangszustand gerader Teile erzeugt werden. Der Verbindung der einzelnen Teile und somit den Verbin-

dungsmitteln kommt demnach eine ausserordentliche Bedeutung zu.

Bei den anderen Baustoffen bestehen weniger Schwierigkeiten. Stahl kann dank seinen ausgezeichneten Plastizifizierungseigenschaften weitgehend umgeformt werden, entweder kalt durch Abkanten, Pressen, Rollformen oder durch örtliche Erwärmung mittels Wärmekeilen. Auch bei den Betonkonstruktionen kann dank der Giessfähigkeit des Betons eine unbeschränkte Formgebung erreicht werden.

Ohne geeignete und wirtschaftliche Verbindungen wäre demnach Holz nur für untergeordnete Zwecke einsetzbar.

3.2 Problematik der Holzverbindungen

Die vollständige Stossverbindung - im Stahlbau durch einen Schweissstoss einfach und überall realisierbar - ist im Holzbau kaum durchführbar. Entsprechende Untersuchungen [20] mittels Stirnflächenverleimungen laufen zwar, ein praktischer Einsatz ist jedoch kaum ersichtlich. Am nächsten kommen noch verzahnte Verbindungen [21].

Minizinken (mit Zinkenlängen um 7,5 mm und Flankenneigungen von 1:8) sind bereits praktisch erprobt und werden für die industrielle Keilzinkung von Brettlamellen für Schichtholz eingesetzt. Deren Einsatz beschränkte sich aber auf Nadelhölzer geringer Dichte ($r_0 \cong 0{,}4$ bis $0{,}5$ g/cm^3).

Für grössere Querschnitte und andere Holzarten kommen eher die grösseren Verzahnungen mit Längen zwischen 20 und 60 mm in Frage. Wie labormässig durchgeführte Keilzinkungen zeigen, können spezifische Beanspruchungen von über 80 N/mm^2 bezogen auf den Bruttoquerschnitt übertragen werden. Allerdings fehlen noch für industriell gefertigte Keilzinkungen entsprechende Untersuchungen. Bei allen mechanischen Verbindungen erfolgt die Kraftübertragung durch Ueberlappung. Bei einfacher Ueberlappung ergeben sich bei den grösseren Querschnittsabmessungen entsprechend hohe Exzentrizitäten, die zu einem starken Abfall des Wirkungsgrades führen.

Zu diesen einfachen Stossverbindungen (Stossebene $\perp$ zur Faserrichtung) kommen jedoch häufig schräge Anschlüsse, d.h. solche mit Kraftrichtungen schräg zur Faser vor. Diese weisen wie nach 2.12 zu erwarten ist, bei einfacher Ueberlappung noch einen geringeren Wirkungsgrad auf.

Verbesserungen sind möglich und zu erzielen durch:

- kleinere Anschluss-Stärken (durch Unterteilung des Querschnittes oder durch mehrschnittige Verbindungen); dadurch Verkleinerung der Exzentrizitäten und zugleich kleinere Anschlusslängen,
- lokale Verbesserung der Holzeigenschaften, z.B. durch Querarmierung, Absperrung usw.,
- Verbindungsarten, z.B. bei Fachwerkknoten, die die Kräfte vorwiegend längs zur Faser einleiten.

Grundlegende Arbeiten in diesen Bereichen erlauben die zielgerichtete Entwicklung von Verbindungsmitteln mit hohem Wirkungsgrad.

3.3 Leimverbindungen

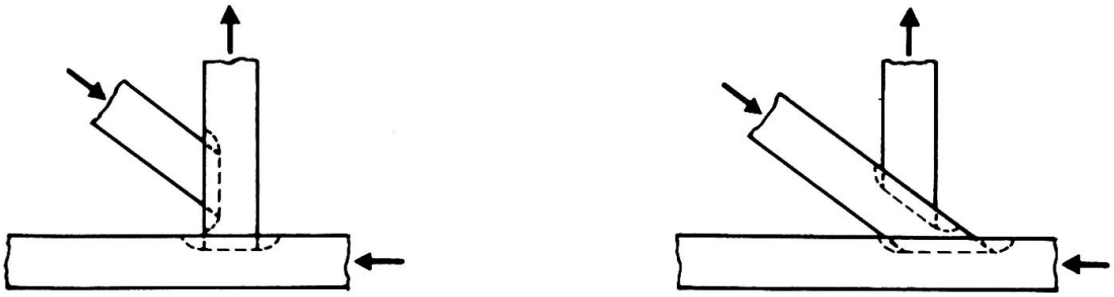
Sieht man von der flächenhaften Verleimung der einzelnen Lamellen und Furniere ab

(siehe unter 2.2 und 2.3), so verbleiben noch folgende geleimte Verbindungen:

- überlappte, geleimte Stösse (geleimte Laschenverbindungen)
- Stossverbindungen mittels Schäftung oder Keilzinken.

Die geleimte Laschenverbindung eignet sich nur für geringe Querschnitte und Laschenabmessungen. Werden Stäbe schräg durch Ueberlappung angeschlossen, so treten bei Feuchteänderungen infolge unterschiedlichem Schwinden bzw. Quellen der miteinander verleimten Hölzer Eigenspannungen auf, die bei grösseren Anschlussflächen bzw. grösseren Querschnittsabmessungen zur Zerstörung der Leimfuge führen können. Da geleimte Laschenverbindungen für biegesteife Montagestösse von Brettschichtholzbögen häufig eingesetzt werden, sind gesicherte Angaben über die Festigkeit solcher Verbindungen erwünscht. Allzu oft wird die starke Abminderung der Scherfestigkeit mit zunehmender Fläche bzw. Länge des Anschlusses ausser Acht gelassen.

Stossverbindungen mittels Schäftung oder Keilzinken grösserer Bauteile aus Schnittholz und insbesondere aus Brettschichtholz haben sich als durchführbar erwiesen [22]. Problematisch ist die Erfassung der Tragfähigkeit von Stössen unter einem Winkel. Gewisse Ansätze liegen vor [23][24], jedoch ist eine eingehendere Betrachtung unter Einbezug von Holzarten mit höherer Querzugfestigkeit erwünscht. Ein Beispiel für die geschickte Ausnützung des in 2.12 dargestellten Unterschiedes zwischen Schrägzug und Schrägdruck ist für Keilzinkenanschlüsse von Fachwerkstäben in [25] wiedergegeben (vgl. auch Abb. 9).



a) korrekte Ausführung: Anschlüsse auf Druck und Schub beansprucht

b) schlechte Ausführung: Pfostenanschluss führt zu Zugbeanspruchung schräg zur Faser

Abb. 9 Vergleich zweier möglicher Anschlussarten

Allerdings werden bei dieser Lösung grössere Stabexzentrizitäten in Kauf genommen.

3.4 Verbindungen mit eingelassenen und eingetriebenen Teilen

Nagel- und Bolzenverbindungen einerseits und Dübelverbindungen andererseits sind immer noch die klassischen Verbindungsarten, die sowohl für die Vorfabrikation als auch auf Montage vielseitig eingesetzt werden.

Die Dübelverbindungen blicken auf eine bereits vor rund 40 Jahren abgeschlossene Entwicklung zurück. Eine Weiterentwicklung der eingelassenen oder eingepressten Dübel ist nicht erkennbar. Diese Verbindungen weisen zudem einen tiefen Wirkungsgrad auf; trotzdem werden sie immer noch häufig angewendet. Deren Eignung für Nadelholzarten ist bekannt. Für andere Holzarten liegen nur ungenügende Untersuchungen vor.

Die Wirkungsweise von Nägeln und Bolzen (Schraubenbolzen und Stabdübel) in Scherverbindungen ist vergleichbar, d.h. in beiden Fällen liegen stabförmige, auf Biegung beanspruchte Teile vor. Massgebend ist die Biegesteifigkeit, die Seilwirkung dürfte insbesondere bei grösserer Lastdauer weitgehend vernachlässigt werden. Die Tragfähigkeit wird abgesehen von den geometrischen Verhältnissen (Stabdurchmesser bezogen auf die Holzstärken) beeinflusst durch:

- Materialfestigkeit (Fliessgrenze der Nägel und Dübel; Druckfestigkeit des Holzes)
- Formgebung der Stäbe (neben den glattschaftigen Nägeln kommen auch Gewinde- und Rillennägel zur Anwendung, insbesondere wenn Austrocknung möglich ist)
- Notwendigkeit des Vorbohrens für grössere Nageldurchmesser (Angabe der Grenzen für verschiedene Holzarten, insbesondere im Hinblick auf den Einsatz vom Nagelautomaten).

In der Regel werden die Verbindungen nur unter kurzfristiger Beanspruchung geprüft. Als Kriterium für die Festlegung der zulässigen Beanspruchung werden die Traglast und die Verschieblichkeit benutzt. Diese Festlegung ist nicht unbedingt sinnvoll, da die zulässige Verschieblichkeit i.a. aus der Nutzung sich ergibt, also in der Regel kein Sicherheitskriterium darstellt.

Bisher fehlt noch eine einheitliche Darstellung des Tragverhaltens stabförmiger Verbindungsmittel, in der die verschiedenen Einflussfaktoren direkt eingehen.

3.5 Spezialverbindungen

Bei der grossen Bedeutung der Verbindungen für den wirtschaftlichen Einsatz des Holzes ist die laufende Entwicklung von Spezialverbindungen nicht erstaunlich. Zum Teil haben diese Verbinder einen grossen Anwendungsbereich gefunden, wie z.B. die verschiedensten Arten von Nagelplatten, z.T. werden sie für spezifische Zwecke individuell entworfen. Es kann - im Rahmen dieses Berichtes - nicht auf die Vielzahl dieser Produkte eingegangen werden. Entscheidender Faktor für die Durchsetzung ist - neben der technisch sauberen Lösung der Aufgabe - die Möglichkeit einer Rationalisierung, wobei dieser Effekt sowohl in der Bemessung als auch in der Herstellung zum Tragen kommen sollte.

3.6 Kriterien für die Entwicklung neuer Verbindungen

Die wichtigsten Kriterien sind:

A - Hoher Wirkungsgrad der Verbindungen: Die Verbindung soll eine hohe Ausnutzung der natürlichen Festigkeit des Holzes ermöglichen und geringe Verformungen aufweisen (für die Bemessung soll die Tragfähigkeit und nicht die Gebrauchsfähigkeit massgebend werden). Solche Verbindungen können nur durch ein Minimum an Exzentrizitäten, an Kraftumlenkungen und an Beanspruchungen quer oder schräg zur Faser erreicht werden.

B - Rationelle Fertigung: Die Verbindung soll kostengünstig herstellbar sein. Damit dieser Effekt bereits ab geringen Mengen wirksam wird, dürfen hierfür keine zu umfangreichen und teuren Spezialanlagen erforderlich sein. Notfalls sollte die Verbindung auch mit einfacheren Mitteln noch herstellbar sein (z.B. bei Montageverbindungen).

C - Sichere Ausführung: Entscheidend ist eine hohe Zuverlässigkeit der Verbindung. Diese sollte durch entsprechende einfache Kontrollen rasch überprüfbar

sein, z.B. durch eine visuelle Kontrolle. Die Verbindung muss auch eine dem verwendeten Holz entsprechende Dauerhaftigkeit besitzen. Bei Einsatz in Schnittholzkonstruktionen sollte auch eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Feuchteänderungen (z.B. nachträgliche Austrocknung) vorhanden sein.

D - Vielseitiger Verwendungsbereich: Von Interesse ist die Anwendbarkeit für unterschiedliche Abmessungen und für einen grösseren Querschnitts- und Kraftbereich.

E - Geringe Anforderungen bez. Holzqualität: Von besonderem Interesse ist die Anwendbarkeit von Holz unterschiedlicher Festigkeit, bzw. dass keine zu strengen Anforderungen an die Holzqualität im Verbindungsbereich gestellt werden. Die Verbindung sollte für verschiedene Holzarten einsetzbar oder zumindest leicht anpassbar sein.

F - Aesthetische Anforderungen: Die vermehrte Zurschaustellung der Tragkonstruktion verlangt ästhetisch saubere Verbindungen.

Selbstverständlich vermag eine Verbindungsart nur jeweils einem Teil obiger Kriterien genügen. Durch eine systematische Darstellung der Anforderungen und der hierzu jeweiligen Lösungsmöglichkeiten lassen sich Kombinationen herleiten, die zu wesentlich leistungsfähigeren Verbindungsarten führen können. Die Erprobung, Anpassung an rationelle Herstellungsmethoden und schliesslich die Typisierung solcher Verbindungen verlangt nebst guter Kenntnisse der Holzeigenschaften auch einen gewissen Pioniergeist.

Es ist zu hoffen, dass neue Verbindungsarten, die weitgehend obige Kriterien erfüllen, im Rahmen des Kongresses vorgestellt werden können.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] WILLEITNER, H.: Holzschutz. Holzbautaschenbuch, 7. Aufl. W. Ernst & Sohn Berlin, 1974

[2] GEHRI, E./STEURER, A.: Holzfestigkeit bei Beanspruchung schräg zur Faser. Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Bull. 7/2, 1979

[3] GONET, B.: Der Einfluss des Dämpfens auf die Eigenschaften von Rotbuchenholz. Holztechnologie 14, S. 70 - 72

[4] MADSEN, B.: Duration of load tests for dry lumber in bending. Forest Products Journal, Vol. 23, No. 2, S. 21 - 28

[5] FPL press-lam process: fast, efficient conversion of logs into structural parts. Forest Products Journal, Vol. 22, No. 11

[6] SCHAEFER, W.: Die Zugfestigkeit lamellierter Stäbe. Holz als Roh- und Werkstoff, Jg. 10, H. 1, S. 15 - 18

[7] - : Grade stresses for structural laminated timber. Ministry of Technology. Forest Products Research, Bulletin No. 53

[8] GEHRI, E./GASSER H.H.: Timber construction. IABSE Surveys S-7/78

[9] ROS, M.: Ergebnisse der Belastungsversuche in Arth-Goldau an einem einstieligen Versuchsbinder der Kreisdirektion Luzern der SBB. Bericht Nr. 152 der EMPA, 1945

[10] EGNER, K.: Festigkeit von aus kunstharzverleimten Brettern zusammengesetzten, geraden und gebogenen Balken. Holz als Roh- und Werkstoff, Jg. 4, S. 49 - 64

[11] GEHRI, E.: Betrachtungen zum Tragverhalten gekrümmter Brettschichtträger konstanten Querschnittes. Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Bull. 4/2, 1976

[12] - : Reithalle und Ställe. Bauen mit Holz, S. 426, 1972

[13] - : Capping of heavy timbers provides control of checking and splitting. Forest Products Journal, No. 1, S. 9, 1970

[14] - : Messehallen Nürnberg-Langwasser. Bauen mit Holz, S. 372 - 375, 1972

[15] KEYLWERTH, R.: Die anisotrope Elastizität des Holzes und der Lagenhölzer. VDI-Forschungsheft 430, Düsseldorf 1951

[16] - : Wood handbook - wood as an engineering material. U.S. Department of Agriculture. Forest Products Laboratory. Agriculture Handbook, No. 72, Chapter 11, 1974

[17] HUNT, M.O.: Structural particleboard: a new construction panel product. Forestry & Natural Resources, 1977

[18] CARROLL, M.N.: Growth of waferboard in Canada. Forest Products Journal, No. 11, S. 26 - 30, 1976

[19] MOELTNER, H.G.: Waferboard and Strandboard Holz als Roh- und Werkstoff, S. 353, 1976

[20] SCHAEFFER,R.E./GILLESPIE,R.H.: Improving end-to-end grain butt joint gluing of white pine. Forest Products Journal, No. 6, S. 39 - 43, 1970

[21] MARIAN, J.-E.: Das Keilzinken von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff, S 41 - 45, 1968

[22] SCHOLZ, G.: Hölzernes Hängedach über dem Ausstellungspavillon der Bundesgartenschau in Dortmund. Detail-Zeitschrift für Architektur & Baudetails

[23] KOLB, H.: Festigkeitsuntersuchungen an gestossenen und gekrümmten Teilen aus Brettschichtholz. Bauen mit Holz, S. 323 - 334, 1969

[24] BLUMER/FLUEHMANN/GEHRI/KAEMPF/WIRZ: Bemessung und Ausführung von Brettschicht-Konstruktionen. Schweiz. Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Weinfelden, 1976

[25] HOYLE/STRICKLER/ADAMS: A finger joint connected wood truss system. Forest Products Journal, No. 8, S. 17 - 26, 1973

IIc

Progress in Codes and Standards for Timber Construction

Progrès dans les normes et recommandations pour la construction en bois

Fortschritte in Baunormen und Empfehlungen für den Holzbau

J.G. SUNLEY
Director
Timber Research and Development Association
High Wycombe, Bucks, England

SUMMARY
In recent years, and currently, great efforts are being made to create a foundation for internationally agreed uniform structural design codes for all materials based on so-called "limit state methods". This Paper gives some of the background which has led to these developments along with an indication of some of the proposals which are likely to be included in timber codes and some of the outstanding research problems which need to be done to enable this to be carried out satisfactorily. It should be emphasized that because of current discussions taking place many changes and amendments are likely before this Paper is considered.

RESUME
De grands efforts ont été accomplis ces dernières années — et le sont encore actuellement — pour établir le fondement d'un règlement de construction international pour tous les matériaux, qui soit basé sur la "méthode aux états-limites". Ce rapport en mentionne quelques aspects et énumère quelques propositions susceptibles d'être incorporées dans les normes de construction en bois. Certains travaux de recherche sont encore nécessaires pour réaliser cette norme. Il y a lieu de souligner que de nombreux changements et corrections se produiront avant le congrès.

ZUSAMMENFASSUNG
Dieser Bericht erläutert die bisherige Entwicklung und erwähnt einige Vorschläge, die in künftigen Holzbaunormen berücksichtigt werden sollten. Zugleich werden noch offene Forschungsprobleme aufgezeigt. Infolge der laufenden Diskussionen sind noch vor dem Kongress in Wien Änderungen und Anpassungen zu erwarten.

1. BACKGROUND

In most countries it has been convenient in the past to consider the design of timber structures in four stages:

- assumed loading
- design stresses for the materials (usually based on some form of testing materials)
- methods of analysis
- required performance (e.g. how much deflection should be permitted)

The various structural codes in most countries have not been concerned with loading. This is usually covered by other codes independent of the various materials. Until recently most of these codes were based on the assumption that loads could be defined precisely by values which would not be exceeded in practice. More recently, they have become based on measurements, particularly the natural loads such as wind and snow, and have been subjected to statistical analysis.

In addition, most codes have only contained limited information on design analysis of structures and it has been assumed that generally acceptable principles of structural engineering would be followed. Design has only been mentioned when modifications have been necessary to account for particular characteristics of materials or when the design is preculiar to one material. In these instances modification factors are usually given in the relevant codes.

Timber codes were therefore chiefly concerned with laying down permissible stresses for timber and plywood and various jointing devices and giving modification factors to enable these to be adjusted to particular design situations.

For example, the first edition of a timber design code in the United Kingdom was published in 1952 (called CP 112 'Structural Use of Timber'). This code was based on the use of notional loads given in another code applicable to all materials. With timber the required safety was obtained by limiting the design stresses to values which were approximately one fifth of the ultimate strength of the constitutent materials. In fact, two design stresses of 5.5 and 6.9 N/mm^2 respectively were laid down for two groups of species of similar quality. It is interesting to understand how these stresses were derived. They were based on a study of current experience up to that date. The sizes of members used in various constructions were found by survey and by using the assumed code loading and normal simple structural design Stresses were then derived which the timbers were obviously capable of sustaining. A similar action was taken with regard to the derivation of deflection limits, which are usually limited to a fraction of the total span, e.g. L/300. Until about 1965 no allowances were made for variations either in load or the material itself. Most North American and Western European codes followed a similar process. Generally, the Nordic codes were a little more advanced and in fact a 'partial factor code' was introduced in Denmark at a very early stage.

2. VARIABILITY IN MATERIALS

In the 1960's some attempt was made in many codes to make allowance for the real behaviour of timber by taking into account its natural variability. This was done by using the measured distribution of various strength properties and using a minimum calculated value (say 1 or 5%) as a starting point before the

application of safety factors to these values. (Distributions were assumed to be 'normal' or occasionally 'log-normal'). Safety factors of the order of three were quite common! In recent years there has been a move to derive design stresses from tests on full sized graded material. Generally, non-parametric methods of analysis (e.g. 3-parameter - Weibull) have been found appropriate.

3. VARIABILITY IN LOADING

A combination of assumed load and design stresses determine what size of members will be used in a construction. Hence, it is impossible to separate these two variables in consideration of drafting suitable design codes. For example, it was found in a survey carried out 10 years ago that some countries have twice the design floor loads of others and at the same time are using stresses about twice as high also. Hence, they arrived at similar designs whereas a consideration of loading alone would have led one to believe their values were twice that of another country.

It is very apparent that many loadings cannot be defined with great precision and some loads are easier to estimate than others. Thus, dead or permanent loads such as weights of building materials show variations which are generally less than those due to the climate. e.g. wind and snow loads.

However, statistical information on climatic loading is available and it is now possible to predict at any required probability level the maximum wind load likely to occur on a building during its assumed life, which is often taken as 50/60 years. A statistical approach has therefore been adopted in current revisions of many national and ISO wind loading codes. Such information is not yet available (and may be very difficult to obtain), for imposed loads caused by the type of occupancy and storage and therefore it may be some considerable time before it is possible to specify these loadings in true statistical manner. Other considerations are that dead loads will generally show less variation than live ones and that the extremes of loading caused by people, snow and wind, are unlikely to occur simultaneously.

It is therefore fairly easy to see that the safety of a structure (or the probability of it failing) depends on both the variations in applied loading which are likely to occur and on variations in material from which they are constructed. Good design seeks a balance between allowing adequately for the load which might occur, whilst keeping the amount of material in the structure to a minimum by trying to ensure an acceptable consistent risk of failure throughout the whole structure.

4. LIMIT STATE DESIGN

Some confusion exists between the definition of 'limit state design' and the introduction of probabilistic methods. It happens that both methods are being brought to the forefront simultaneously and many of the suggested changes due to statistical methods are being attributed to limit state design. Generally, limit state design is nothing to do with the particular safety method being considered and can be just as appropriately applied to full statistical methods or the 'partial co-efficient' safety load factor methods currently being suggested. Limit state design is purely a systematic treatment and a somewhat theoretical clarification of the subjects rather than any new ideas in the subjects.

A limit state design is reached when a structure becomes unfit for its intended use. There can be a number of reasons why a structure becomes unfit for use and each one of these is termed a 'limit state'. The most important limit states in timber design are those of ultimate collapse and excessive deformation.

Other confusing problems have been caused by the fact that attempts have been made to draft model codes purely for the use of code writers, and practitioners in design have assumed that the codes have been written for their use and tend to complain about their complication.

In considering the progress in codes and standards for timber it is convenient to divide the subject into three areas:

- the obtaining of necessary research information to permit sensible harmonisation of codes and standards
- the development of acceptable test methods to enable the material properties to be obtained satisfactorily, linked with agreed methods of sampling and evaluation of 'characteristic' values
- the development of an international design code of timber engineering, including material properties, safety concepts and design methods (whenever these are peculiar to timber).

5. HARMONISATION

More international harmonisation through international standards and regional directives (EEC, CMEA) is inevitable. In some respects this will represent a major step forward, in others it will offer short term disadvantages to their particular materials, and in other cases it probably will not matter apart from obtaining a neat and tidy solution. In the latter cases, it is important that the cost of design is not added to or the final results will be found unacceptable.

The increasing cost of research makes international co-operation highly desirable to obtain maximum benefit from the world research resources available. Generally, testing standards are desirable since they cut the cost of testing and particularly avoid repeat testing in different countries.

Sometimes it can be a local or national short term disadvantage to harmonise regulations, since they can reduce technical barriers where a country has more to lose than gain. This is why ultimate initial harmonisation is more likely to occur on a regional level since they have the power to remove trade obstacles. Both EEC in Western Europe and CMEA in Eastern Europe regarding the removal of trade obstacles by having similar building codes and safety systems as a prime object.

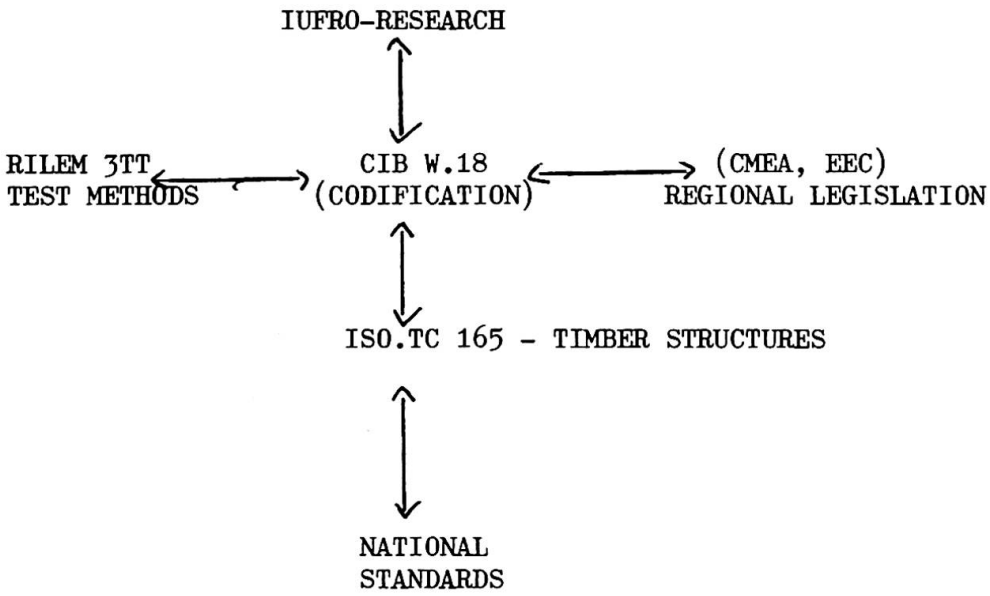
6. THE WORK OF CIB W.18 'TIMBER STRUCTURES'

CIB W.18 'Timber Structures' was reformed in 1973 with the following terms of reference:

> "To study and highlight the major differences between the relevant national design codes and standards and suggest ways in which the future development of these codes and standards might take place in order to minimise or eliminate these differences."

CIB W.18 is constituted by leading timber research and code engineers from most Western, Northern European and Northern American countries, with some representation from other countries such as Poland, Australia, South Africa, etc. It has emerged at the right time as a leading Forum in the world on timber structures to provide maximum assistance for harmonisation of codes and standards and in this work has been recognised by ISO, ECE and EEC as a major Forum and to provide them with drafts and to assist them with the harmonisation of Building Regulations and Structural Codes.

The diagram below illustrates the relationships CIB W.18 has with these other organisations.



The work of CIB W.18 is implemented in three main ways:

- as an independent group of timber engineering experts who publish their own recommendations through CIB so the rest of the world is aware of their views and of recommended ways of dealing with timber in structural codes.
- by ensuring that the recommendations of CIB W.18 are made available to the appropriate organisations who wish to use them (e.g. ISO, ECE, EEC, etc.). Also to ensure that the recommendations are correctly used, members are encouraged to take part in the activities of these organisations.
- individual members are able to report back to their national organisations and encourage the adoption of CIB agreements and recommendations.

CIB W.18 has completed a fourth draft of a CIB code which, with suitable editing, could link in with other structural codes on any sensible safety system. Appendix 1 gives a list of chapter contents for the fourth draft CIB code.

7. TIMBER ENGINEERING RESEARCH

In drafting a CIB code and considering its application alongside other materials, many research gaps have been identified. For this reason CIB W.18 has forged links with IUFRO Division 5.02 'Timber Engineering'. This is a worldwide organisation concerned with timber engineering research.

In the development of suitable timber engineering codes and in particular the CIB code, it has become apparent that if timber is to remain competitive with other materials a large amount of information is necessary on timber properties, etc. For example:

- in new codes it is essential to be able to estimate 5% minimum or 'characteristic strengths' of materials. To be able to do this, much data is necessary and methods of analysis have to be developed. For this reason the IUFRO Timber Engineering Group has been co-ordinating and encouraging work which has been carried out in many countries in deriving timber strength properties on a logical basis.

Other points which have to be considered are concerned with timber's response under long term loading and moisture content. In previous codes fairly high factors of safety have been used and these have included factors for effects of long term loading and moisture content. Recent information would indicate these factors are too large and put timber in a bad competitive position with other materials. If realistic timber codes are to emerge more information on the true long term loading factors and how these have been affected by moisture content is essential. The IUFRO Engineering Group is again co-ordinating work in this field.

Modern methods of limit state design tend to separate loading and the necessary factors to be considered from the material resistance side. If all materials are to be dealt with in a similar fashion with regard to loading, it is essential that the material resistance side is adequately dealt with. Other research work necessary to accommodate these problems is to consider how far the strength of timber is affected by size. Currently, fairly large 'depth effects' are assumed in timber design. Here again if an accurate estimate of the resistance of timber to loading is to result, realistic information on depth or volume effects is essential. Similar problems also occur with the stability of various timber and timber-based beams (plybox, plyweb, etc.).

Timber grading is an important subject which still needs further consideration. Timber requires a different philosophy in this respect from most other constructional materials. Most other structural materials are manufactured products (e.g. concrete, steel, masonry, aluminium, etc.). Timber, however, grows as trees and one has to accept the natural products which emerge. The logical way of dealing with such a natural product and overcome some of its variability, is to divide it into grades. With structural timber this is called stress grading. It is obvious that a balance between number of grades and some reduction in natural variability has to be achieved. Therefore, it is inevitable that there will be much consideration of stress grading as a way of utilising such a natural product. This is also why stress grading machines for selecting timber of required strength value may offer much potential for the future.

The ECE Timber Committee has recently made a significant contribution to harmonising grading and encouraging international trade by the publication of stress grading rules.

8. TEST METHODS

There is a small committee, which is a joint committee of RILEM 3TT Timber and CIB W.18, which is chaired by Dr. Kuipers from the Netherlands, which is trying to agree test methods for timber engineering properties. Subjects under which

agreement has already been reached are concerned with testing solid timber, testing timber joints and methods for structural plywood. It is obvious that agreed test methods are essential as the necessary base in the development of structural codes, since the properties which emerge are affected by the strength of the timber. It is now necessary to develop realistic sampling techniques and methods of analysing the test results so that acceptable characteristic strength values are obtained.

9. TIMBER STRUCTURAL RESEARCH

There is still a large amount of timber structural research necessary. For example, it has recently been found in the United States that they feel their estimates of design strengths of timber are too high and yet when they test their structures they are very conservative. This means there is a considerable amount of work done on the prediction of structural strength in the form of complete structures, that is in the structural design field. It is obvious this work should be concentrated on the major timber structural items of floor, wall and roof construction.

10. CONCLUSIONS

Although a natural material whose use has evolved over the centuries, timber is nevertheless a material fully capable of meeting all modern requirements.

Research is necessary, but is taking place, which should enable timber to find its correct place alongside other structural materials as limit state design loads are developed.

The main organisation carrying out harmonisation work on Structural Timber Design Codes is CIB W.18 'Timber Structures'. Their links with ISO and Regional Standardisation Organisations should enable substantial progress to be made in Modern Safety Concepts.

Briefly, a fourth draft of an internationally agreed CIB Timber Code has been drafted and is now being considered by ISO.

The CIB is supported by Stress Grading Rules developed by the ECE Timber Committee.

Internationally agreed test methods for solid timber, plywood and timber joints have been agreed by a joint RILEM/CIB Committee. Research is in progress which will enable material resistance effects to be better understood in such matters as long term loading, moisture and size effects.

APPENDIX 1 (List of chapter headings for the fourth draft CIB code)

1. INTRODUCTION
   1.1 Scope
   1.2 Conditions for the validity of this document
   1.3 Units
   1.4 Notations
   1.5 Definitions

2. BASIC ASSUMPTIONS
   2.1 Characteristic values
   2.2 Climate classes
   2.3 Load-duration classes

3. BASIC DESIGN RULES

4. REQUIREMENTS FOR MATERIALS
   4.0 General
   4.1 Solid structural timber
   4.2 Finger jointed structural timber
   4.3 Glued laminated timber
   4.4 Wood-based sheet materials

5. DESIGN OF BASIC MEMBERS
   5.1 Solid timber members
   5.2 Glued laminated members

6. MECHANICAL FASTENERS
   6.0 General
   6.1 Joints with mechanical fasteners
   6.2 Glued joints

7. DESIGN OF COMPONENTS AND SPECIAL STRUCTURES
   7.1 Glued components
   7.2 Mechanically jointed components
   7.3 Trusses

8. CONSTRUCTION
   8.0 General
   8.1 Materials
   8.2 Machining
   8.3 Joints
   8.4 Assembly
   8.5 Transportation and erection
   8.6 Surface treatment

Annex 7A: Mechanically jointed beams and columns with I-, T- or box cross-sections

Annex 7B: Spaced columns wuth nailed or glued packs or battens

Annex 7C: Lattice columns with glued or nailed joints

Current list of CIB W.18 Technical Papers