

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

Band: 11 (1980)

Artikel: Entwicklungen im Anwendungsbereich des Baustoffes Holz

Autor: Möhler, Karl

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-11188>

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: 05.02.2026

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



Ila

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 Ingenieurbauwes 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 Feuchteinflüsse, 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 Holzfasernplatten 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).

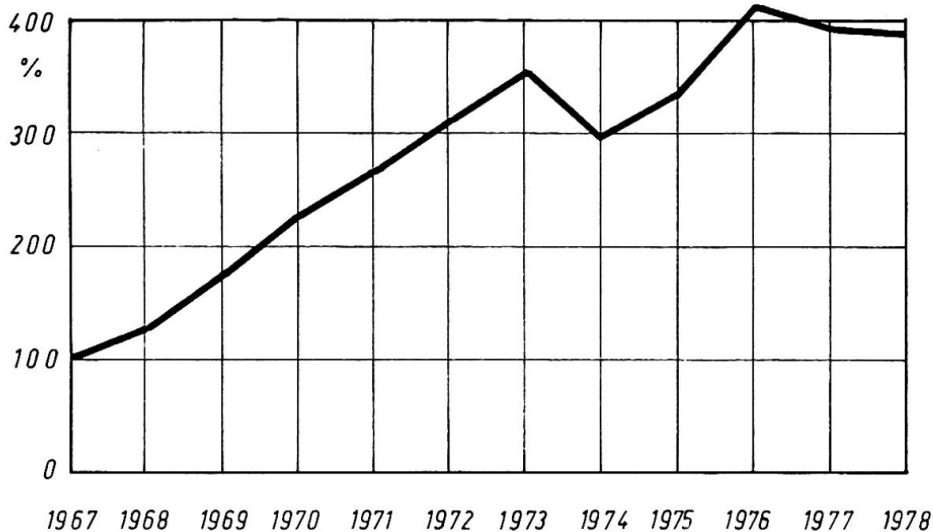


Bild 1: Zunahme der Leimbauteile in der Bundesrepublik Deutschland von 1967 bis 1978

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 Gegensatz 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 besondere Rolle spielte.



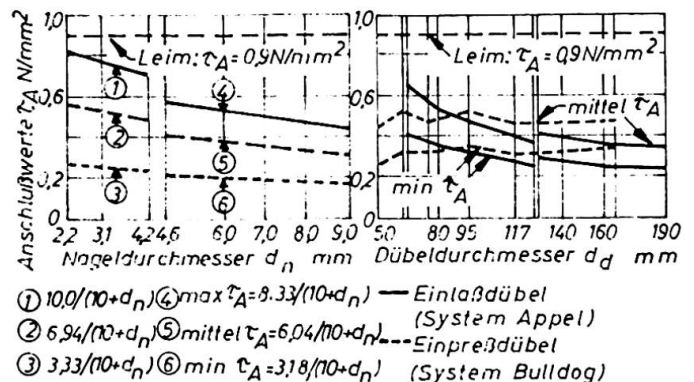
2. EINFLUSS DER VERBINDUNGSTECHNIK AUF DEN ENTWURF DER TRAGKONSTRUKTION

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, Sendtürme 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 erfordern, 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 Holzverbindungsmitel

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 Verbindungsmittels zu N und der durch die Mindestabstände festgelegten Anschlußfläche $\min A$ zu $\tau_A = \frac{zul N}{\min A}$ ergibt. Bei Dübeln beträgt er etwa 0,2 bis 0,5 N/mm^2 , bei normalen Nägeln 0,4 bis 0,8 N/mm^2 , 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

$$\tau_A = \frac{zul N}{\min A}$$

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.

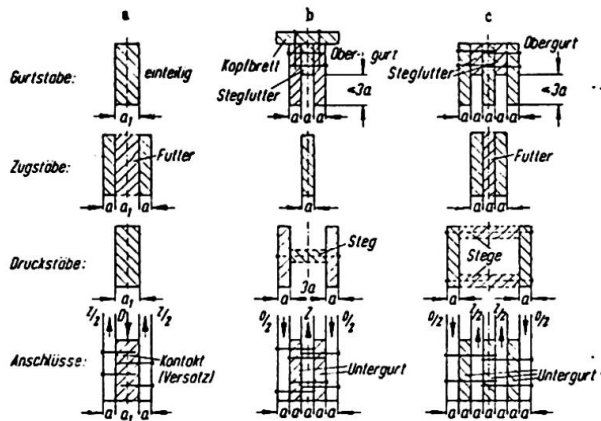


Bild 3: Mehrteilige Querschnitte ein- und mehrteiliger Stäbe für Nagelanschlüsse

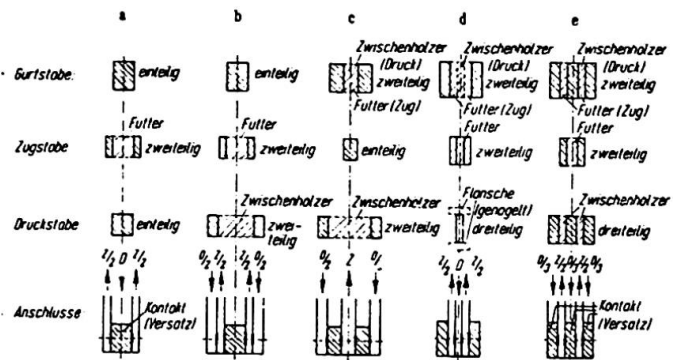


Bild 4: Querschnitte ein- und mehrteiliger Stäbe für Dübelanschlüsse

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/mm².

Nagelplatten besonderer Art sind die Menigplatten, bei denen zwei-seitig 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/mm² und sinkt mit zunehmendem Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung linear auf 0,75 N/mm² 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,

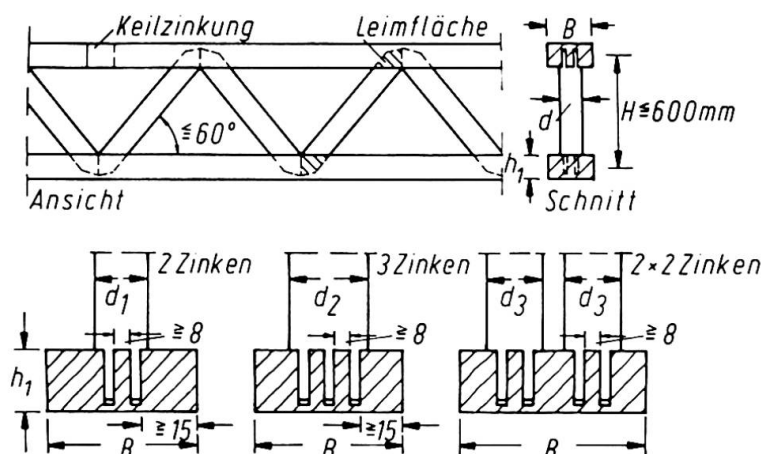


Bild 5: DSB-Träger (Geleimter Gitterträger)

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.

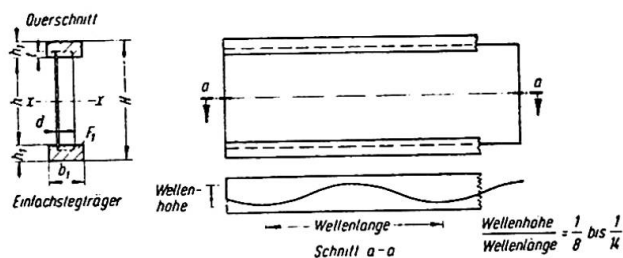


Bild 6: Wellsteg-Träger

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

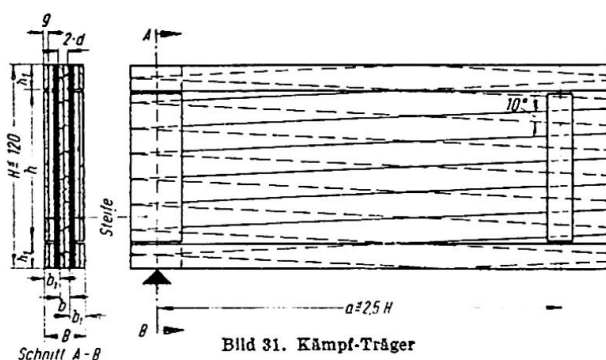


Bild 7: Kämpf-Träger (I-Träger) mit Brettersteg

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).

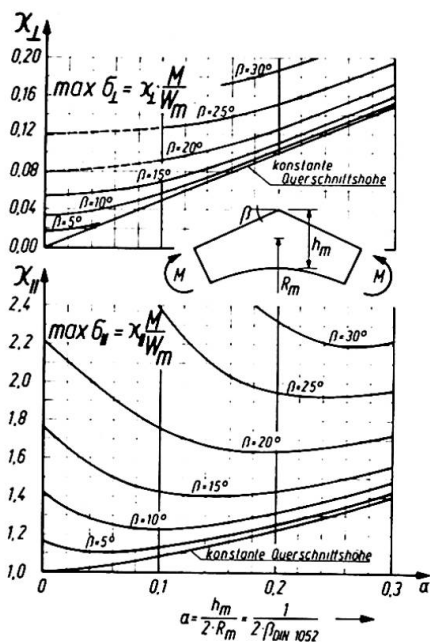


Bild 8: Maximale Quer- und Längsspannungen im Firstquerschnitt von Satteldachträgern

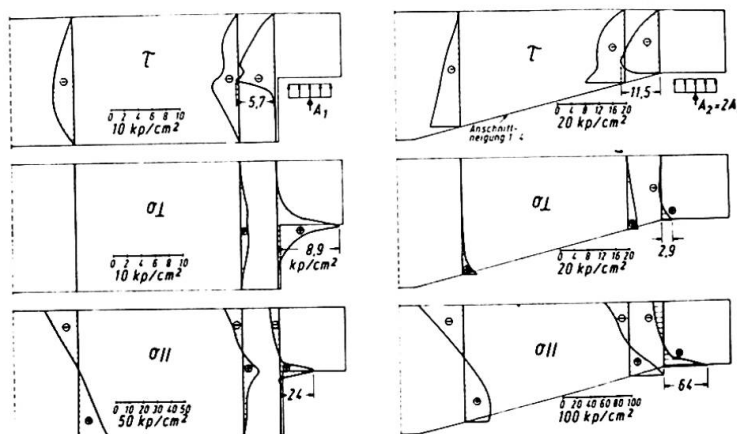


Bild 9: Spannungsverteilungen in ausgeklinkten Brettschichtträgern

Letzten Endes ist bei all diesen Gefahrenpunkten die geringe Querkzugfestigkeit 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, Gabel- lage- rung 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 Dreigelenkssysteme 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.

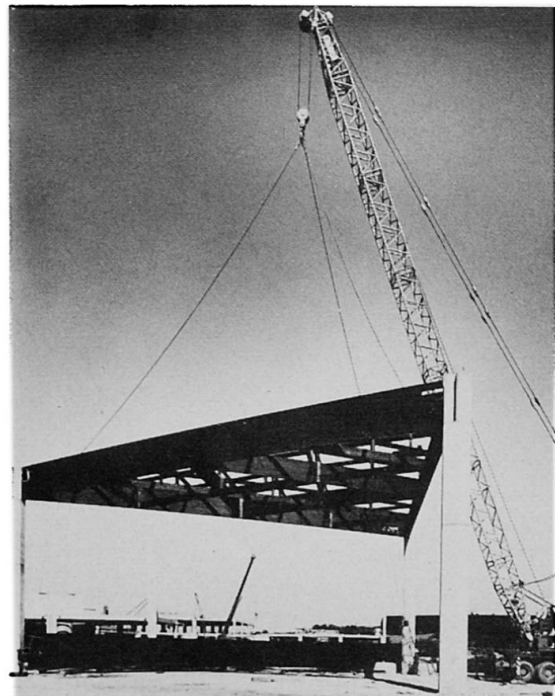


Bild 11: Montage eines dreieckförmigen Trägerfeldes von 28 m Seitenlänge mittels Autokran



Schließlich müssen die Teile beim Transport und bei der Montage gegen Beschädigungen gesichert und vor unmittelbarer und zu langer Einwirkung von Feuchtigkeit, Feuchtwechseln 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 Schalentragerwerken 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 Balkenalogie, 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

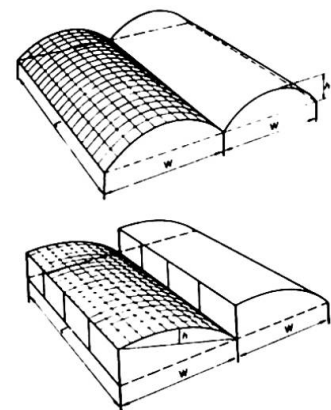


Bild 12: Kreiszylinderschalen

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.

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 m² Grundfläche überspannt, ist in [4] beschrieben.

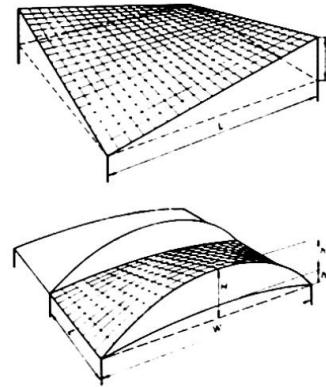


Bild 13: HP- und Konoidschalen

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 m².

Eine Schalenkonstruktion besonderer Art stellt die Gitterschale der Multihalle in Mannheim dar, die als schalenartiger Lattenrost eine unregelmäßig begrenzte Fläche von 4700 m² 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 Brett-schichtholz 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 $\alpha = 65^\circ$ 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 fest-

gestellt. Die zweifache Aufgabe, senkrechte und horizontale Lasten aufzunehmen, die der Fahr- und Gehbelag auch bei untenliegenden der 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 oberliegender 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.

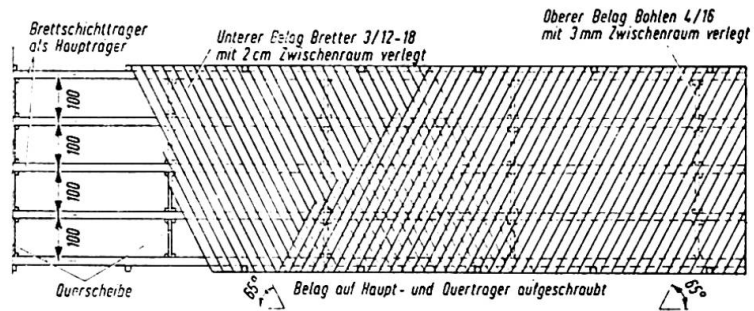


Bild 14: Doppelter Tragbelag in Kreuzlage

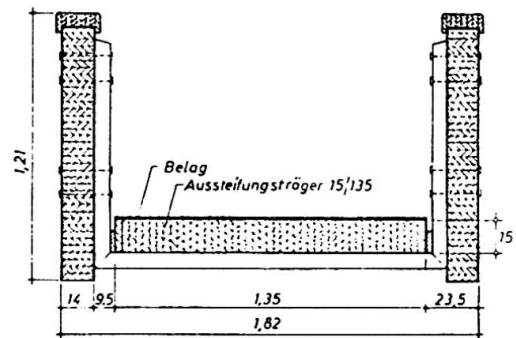


Bild 15: Brettschichtträger als Fahrbahn und als Horizontaltaussteifung

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 Brett-schichtbauweisen in der Regel der gerade, über zwei oder mehr Fel-der durchlaufende Träger oder bei Talübergängen der Bogenträger (siehe Bild 16) vorherrscht, werden Nagelbauweisen vorwiegend für

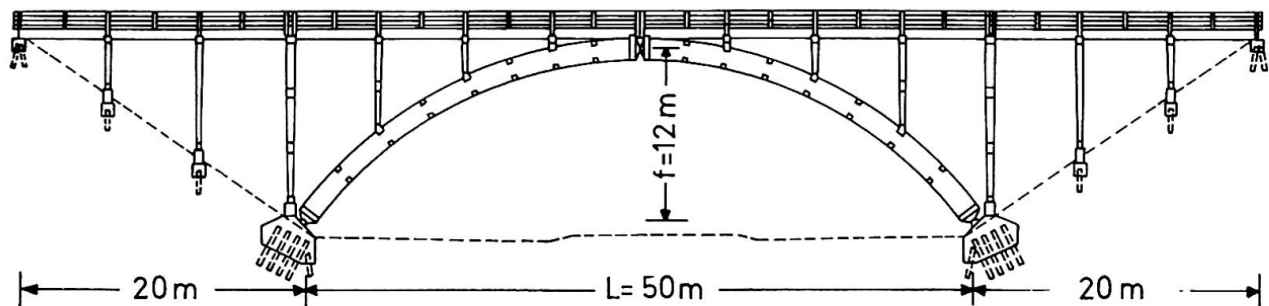


Bild 16: Straßenbrücke in South Dokata (USA)

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 Umfang 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 korrosionsgeschützte 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 Eisstadion ein oft und gerne angewandtes Konstruktionsprinzip. Die Unterspannung, schon früh zur Tragkraftherhöhung einfacher Vollhölzer bei Unterzügen und Brückenträgern 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 Brücken. 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