

Prof. Dr.-Ing. Ernst Gaber

## Einige Möglichkeiten für die Beschränkung des Verbrauches von Holz im Bauwesen

Die heute stark zusammengedrängten großen Bauaufgaben unseres Reiches verbrauchen solche Mengen von Baustoffen und Arbeit, daß man mit allen Mitteln darnach trachten muß, den bisher im einzelnen üblichen Verbrauch einzuschränken. Dies empfiehlt bei dem Kapitel Arbeit zunächst eine weitgehende Normung der Bauteile und einen starken Einsatz der Maschinenarbeit. Bei den Baustoffen kann viel durch sorgfältig durchgearbeitete Konstruktionen, durch Auswertung aller Vorzüge der Baustoffe und durch Vermeidung all ihrer Schwächen und Nachteile eingespart werden. Man ist heute darauf angewiesen, seine Baustoffe und Bauteile genau zu erforschen, ihre Eigenschaften genau zahlenmäßig festzulegen und die Kenntnis davon in weiten Kreisen zu verbreiten. In dieser Hinsicht stehen merkwürdigerweise die natürlichen Baustoffe Holz und Stein noch weit hinter den künstlichen Baustoffen Stahl und Zement zurück. Die auf Holz und Stein aufgebauten Gewerbe sind uralt und hängen zum Teil noch an Überlieferungen, welche in der heutigen baustoffknappen Zeit nicht alle mehr berechtigt sind.

Unsere heutigen Bauten verschlingen besonders viel Holz. Im Hochbau geht das Holz meistens in den endgültigen Bestand des Bauwerkes über, während es im Tiefbau in der Regel nur als Hilfsbaustoff verbraucht wird. Es ist zwar dann mehrfach verwendbar, verschwindet aber doch schließlich.

Auf die Dauer ist es nun nicht mehr vertretbar, Jahr für Jahr aus unserem Walde mehr Holz herauszuholen, als in ihm zwächst. Es ist daher verständlich, daß alle verantwortlichen Stellen heute ihre Aufmerksamkeit darauf lenken, wie der Holzverbrauch eingeschränkt werden kann, ohne daß dabei etwas an den Bauaufgaben abgestrichen werden müßte.

Vorweg sei bemerkt, daß an dem heutigen Missstande schon vieles durch Eindämmung der im letzten Jahrzehnt unheimlich gewachsenen Papierflut gebessert werden kann. Man kann die Meinung hören, daß unser Papierverbrauch ohne Schaden für die Allgemeinheit auf weit mehr als die Hälfte abgedrosselt werden kann; das dadurch eingesparte Papierholz wächst dann im Laufe der Jahre zu Bauholz heran und dient dann nützlicheren Zwecken.

Die wirtschaftliche und zeitgemäße Verwendung unserer Nadelhölzer z. B. im Bauwesen verlangt eine genaue Kenntnis der physikalischen und Festigkeitseigenschaften des Holzes, seiner Verbindungsmittel und der aus dem Holz gebauten Konstruktionen. Die Untersuchung des fehlerfreien, astreinen und geradfasrigen Holzes an kleinen Prüfkörpern genügt nicht. Wir sind dazu übergegangen, Rundholz, Bretter, Bohlen und Kanthölzer mit all ihren unvermeidlichen Fehlern wie Asten, Schrägfaser und dergl. zu untersuchen. Bei einer solchen Anlehnung an die Wirklichkeit kann man die Sicherheit gegen Bruch wesentlich herabsetzen und die zulässigen Spannungen auf das wirklich vertretbare Maß steigern, da der Kreis der unbekannten Einflüsse eingeschränkt worden ist. Damit zeigt sich ein Weg, Holz bei allen möglichen Aufgaben zu sparen, indem man es je nach seinen Eigenschaften zu wichtigen oder nebensächlichen Teilen verwendet. Es war uns auf diese Weise z. B. möglich, für jeden beliebigen Zapfdurchmesser und jede beliebige freie Länge von Leitungsmasten aus Tannen- oder Fichtenrundholz den Spitzenzug anzugeben, bei dem der Mast zu Bruch geht. Je nach der Bedeutung der Leitung kann man nun die erforderliche Bruchsicherheit mit 3, 4 und mehr annehmen und damit unmittelbar den zulässigen Spitzenzug für jeden Mast finden. Beschränkt man bei weniger gefährdeten Leitungen die Bruchsicherheit, so schränkt man dadurch den Holzverbrauch ein.

In ähnlicher Weise wurde auch die Biegefestigkeit und Schubfestigkeit an größeren Rundhölzern ermittelt.

Es ist selbstverständlich, daß die an den Bauhölzern gefundenen Festigkeitswerte erheblich unter denen des fehlerfreien Holzes liegen, denn sie leiden unter den Asten, schrägem Faserverlauf und dergl.

Für die zimmermannsmäßige Verbindung von Hölzern zu Konstruktionen und Tragwerke stehen in der Regel zur Verfügung:

Der Leim, der Nagel, der Schraubenbolzen, der Einfäßdübel und der Fräsdübel. Der gewöhnliche Lederleim oder Caseinleim scheidet im allgemeinen aus, da er im Laufe der Zeit durch die Feuchtigkeit der Luft Festigkeit verliert. Es gibt aber heute wasserbeständige Leime, wie die zahlreichen Kunstharzleime, welche auch bei Wasserkalagerung auf die Dauer einen erheblichen Teil ihrer Festigkeit behahren. Hier sei darauf hingewiesen, daß die meist übliche Prüfung der Leimfestigkeit zu kleine Werte ergibt, da die Prüfkörper aus Holz unsymmetrisch sind und sich beim Versuche verbiegen. Eine Abhilfe ist nach unserer Übung leicht möglich. Die miteinander verleimten Hölzer müssen durch Klemmbolzen oder Nägel dauernd zusammengehalten werden. Nägel und Leim wirken aber nicht gleichzeitig, so daß die Tragkraft der Bolzen und Nägel nicht miteingerechnet werden darf. Der Leim überträgt die Kräfte nur an die Oberfläche der verbundenen Hölzer und wirkt nicht in ihrer Tiefe. Die Leimverbindung geht bei richtiger Ausbildung und Ausschaltung der Verbiegung in der Regel zu Bruch durch Überwinden der Schubfestigkeit des Holzes längs der Faser. Damit ist die zulässige Spannung in der Leimfläche aber begrenzt durch die zulässige Holzschubspannung längs der Faser.

Zimmermannsmäßige Verbindungen sind bei hoch beanspruchten Bauteilen nur z. T. am Platze. Der dabei häufig angewandte Schraubenbolzen hat zwar eine ausreichende Tragkraft, aber keine genügende Steifigkeit und scheidet daher als alleiniges Verbindungsmitel im modernen Holzbau aus. Er verschlingt viel Stahl und ist fast jedes Mal wegen seiner eigenen Länge besonders anzufertigen, also auch teuer.

Man löst ihn mit Vorteil in Nägel auf. Die Nägel haben aber eine Berührungsfläche zwischen Stahl und Holz, die ein Mehrfaches ist wie beim gleich schweren Bolzen. Da die Tragkraft und die Steifigkeit von der Größe der Berührungsfläche zwischen Stahl und Holz abhängen, ist also die Tragkraft der Nägel auch ein Mehrfaches des Bolzens. Verwendet man für eine gegebene Belastung anstelle des Bolzens Nägel, so kann man also mit einem geringen Bruchteil des Stahlauwandes auskommen. Die Auflösung des Bolzens in Nägel erhöht daneben aber auch die Steifigkeit der Holzverbindung, welche fast auf die der Leimverbindung steigt.

Das gleiche Stahlgewicht bei 10 cm Länge haben:

	Stück	Durchmesser	Leibungsfläche
		cm	cm <sup>2</sup>
Bolzen . . . . .	1	3	30
Hohlbolzen 0,3 cm dick	1	9	90

	Stück	Durchmesser	Leibungsfläche
		cm	cm <sup>2</sup>
Stahlstifte . . . . .	9	1	90
Nägel . . . . .	100	0,3	300

Die gleiche Kraft P braucht

		Stahlgewicht
entweder 6 Bolzen	$\varnothing = 3 \text{ cm}$	1
oder 2 Hohlbolzen	$\varnothing = 0,3 \text{ cm}$	$1/3$
oder 18 Stahlstifte	$\varnothing = 1 \text{ cm}$	$1/3$
oder 60 Nägel	$\varnothing = 0,3 \text{ cm}$	$1/10$

Die Verbindung mit Nägeln hat die größte Steifigkeit, die aus Bolzen aber die kleinste.

Die Nagelverbindung wird nach unseren Versuchen bei wiederholter Belastung nicht weicher, sondern steifer. Deswegen ist es auch möglich, Nägel bei Holzkonstruktionen zu verwenden, welche bewegte Lasten, wie z. B. bei Brücken, zu tragen haben. Während sich der Nagel bei langsam ansteigender, ruhender Belastung allmählich verbiegt, ist bei bewegter Last und häufigem Lastwechsel ein Bruch des Nagels zu befürchten. Der Nagel wirkt ähnlich wie der Leim über die ganze Fläche, dazu aber noch in der Tiefe der Hölzer. Im allgemeinen kann man auf 1 qcm einschnittige Verbindung 7–8 kg/qcm Last übertragen. Zahlreiche Versuche haben genaue Unterlagen über die zulässige Belastung eins- und zweischnittiger Nägel im Hoch- und Brückenbau geschaffen. Die Tragkraft eines Nagels ist proportional dem Quadrat seines Durchmessers und praktisch unabhängig von der Dicke der miteinander zu verbindenden Hölzer. Das gleiche Gesetz gilt auch für den vorhin erwähnten Schraubenbolzen. Die Nagelverbindung wird verbessert, wenn man die überschreitenden Nagelenden kurz und quer zur Holzfaser umschlägt. Die Rostgefahr des Nagels wurde bisher überschätzt. Der Klemmdruck der verdrängten Holzfasern wirkt schon günstig, aber davon abgesehen gibt es heute Mittel genug, den Nagel durch vorheriges Eintauchen in geeignete Flüssigkeiten vor Rost zu bewahren. Zahlreichen Holzschutzmitteln kann man zudem Chrom zusehen, das den Stahl ebenfalls schützt.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ersetzt man bei großer Kraftübertragung den größeren Teil der Nägel durch den neuartigen Einpresßdübel „das Krallenband“ (Hersteller und Lieferer: Maschinenfabrik W. Pfommer, Karlsruhe, Germstraße 35/37). Aus einem 9 cm breiten und 1,5 cm dicken Stahlblech sind immer auf 9 cm Länge 9 Löcher herausgestanzt, an deren Umfang ein bogenförmig gekrümmtes Zahnpaar nach der einen und ein gleiches Zahnpaar nach der anderen Seite steht. Die Einzeldübel können zu einem beliebig langen Band vereinigt werden. Da sich bei diesem neuartigen und billigen Einpresßdübel die Zähne ähnlich wie die Leime und die Nägel über die genaue Fläche gleichmäßig verteilen, wird es möglich, auf kleiner Verbindungsfläche große Kräfte zu übertragen. Man spart also bei Bindern oder Fachwerken erheblich an Holz, da die Stäbe kürzer bleiben als dort, wo man Vorhölzer, Futter und dergl. braucht. Die miteinander verbundenen Hölzer müssen natürlich durch Nägel oder einige Schraubenbolzen dauernd zusammengeklemmt werden, die als tragend mitgerechnet werden. Man kann aber die Anzahl der Schraubenbolzen erheblich einschränken, da man nicht zu jedem Einzeldübel oder zu jedem Dübelpaar einen Bolzen benötigt. Ihr Abstand, und daher auch ihre Anzahl ist nur von der Dicke der miteinander zu verbindenden Hölzer abhängig. Je dicker sie sind, desto weiterem Abstand darf man nehmen. Bei kleineren Holzdicken sind die Bolzen entbehrlich und können durch Nägel ersetzt werden. Ähnlich wie die Nägel hat sich dieses Krallenband auch bei dynamischer Belastung, also auch beim Brückenbau bewährt. Ein 9 cm langer Einzeldübel kann mit 750 kg im Hoch- und Brückenbau belastet werden. Da der Dübel gleichzeitig mit den Bolzen oder Nägeln wirkt, dürfen im Hochbau diese in die zulässige Belastung der Verbindung miteingerechnet werden. Im Brückenbau empfiehlt es sich, nur einen Teil der für die Klemmwirkung nötigen Bolzen oder Nägel bei der Rechnung zu berücksichtigen. Die große Steifigkeit dieses Einpresßdübels macht sich besonders günstig bei mehrteiligen Druckstäben bemerkbar, bei denen das wirksame Trägheitsmoment um die stofffreie

Achse nahe an den theoretischen Wert herankommt. Es bedeutet eine große Ersparnis an Arbeit, Stahl und Holz, wenn man mit dem 100 g schweren Blehdübel eine Kraft von 750 kg aufnehmen kann.

Die bekannten Fräsdübel aus Holz oder Metall haben eine gute Tragkraft und geben der Verbindung ausreichende Steifigkeit, verlangen aber sorgfältige Arbeit und meist zu jedem Dübel oder Dübelpaar einen Schraubenbolzen, sind also teuer. Die Schraubenbolzen verschlingen viel Stahl und sind außerdem meist nach Länge besonders anzufertigen. Ihre Beschaffung ist also kostspielig und zeitraubend. Man wird daher in heutiger Zeit bei dem großen Stahlmangel und den knappen Bauzeiten oft lieber zu den vorhin beschriebenen Verbindungsmittern Leim, Nägel und Einpresßdübel greifen, bei deren Verwendung ohne Zweifel ganz erheblich an Bauholz eingespart werden kann.

Zu der so erzielbaren Ersparnis an Holz und Stahl tritt aber auch eine weitere bedeutende Ersparnis an Bauholz, wenn man bei größeren Biegeträgern oder bei Fachwerken an Stelle der bisher üblichen Bretter, Böhlen oder Kanthölzer seine Träger so zusammensetzt, daß an den wenig beanspruchten Querschnittsteilen wenig und weniger wertvolles und an den hoch beanspruchten Querschnittsteilen viel und hochwertigeres Holz ist. An Stelle des rechteckigen Balkens tritt mit Vorteil der Hohlbalken, der zwei Gurten aus je einem quadratischen Kantholz hat. Zwei außen auf die Kanthölzer aufgelegte, auf die ganze Länge durchgehende oder gestoßene Bretter, die mit den Kanthölzern durch Leim, Nägel oder Einpresßdübel verbunden werden, bilden den Steg. Auf den Balken aufgenagelte, waagerechte Gurtbretter, zweckmäßig von der gleichen Dicke wie die Stegbretter, steigern das Widerstandsmoment ohne große Kosten ganz erheblich. So entsteht ein Tragwerk, das in der Nähe seiner neutralen Faser einen Hohlraum aus Luft besitzt und dessen Trägerhöhe ohne Schwierigkeit auf 60 cm und mehr gesteigert wird. Man schafft sich so einen billigen und leichten Ersatz für gewalzte Stahlträger, welcher diesen nicht nur in ihrer Tragkraft, sondern auch in ihrer Steifigkeit gleichwertig ist. Bei der großen Trägerhöhe kommt einer richtigen Versteifung des Holzsteges durch aufgelegte Brettstücke quer zur Trägerachse eine große Bedeutung zu.

Bei größeren Spannweiten mit hohen Belastungen verwendet man mit Vorteil an Stelle des Holzbalkens den I-Balken mit einem einheitlichen Steg aus zwei sich unter einem rechten Winkel kreuzenden und miteinander vernagelten Bretterlagern. Die Ober- und Untergurt dieses Steges bestehen aus je zwei lotrechten Gurtböhlen, verstärkt durch waagrecht aufgelegte Gurtbretter. Durch die Gurtbretter kann man wie beim Stahlbau das Widerstandsmoment genau der örtlichen Beanspruchung anpassen; man kann also das Widerstandsmoment des Balkens auf die größten Biegemomente abstimmen. Man verwendet als Verbindungsmitte wieder zweckmäßig wasserfesten Leim oder Nägel oder Einpresßdübel. Für den Anschluß der Gurtbretter an die Gurtböhlen genügen fast immer Nägel, während man für den Anschluß der Gurtböhlen an den Steg mit Vorteil das Krallenband verwendet, da dabei die Zahl der Nägel wesentlich eingeschränkt wird. Auch diese, für große Stützweiten und Belastungen besonders zweckmäßige Trägerform muß durch zahlreiche Aussteifungen, vor allen Dingen in den Auflagern und dort, wo Einzellasten angreifen, in ihrer Form gesichert werden.

Es bereitet keine Schwierigkeiten, mit solchen zusammengesetzten I-Trägern aus Holz auch die größten Walzträger oder große genietete oder geschweißte vollwandige Stahlträger zu ersetzen, da sie ebenso wohl in bezug auf Tragkraft als auch auf Steifigkeit gleichwertig sind. In manchen Fällen ist die gegenüber dem Stahlbau erzielbare Gewichtersparnis von Bedeutung.

Man kann zu den Stegen der Hohlbalken und der I-Träger gewöhnliche Bretter nehmen, ohne dabei ästige oder schrägfaserige Ware ängstlich anzuschließen. Es ist zweckmäßig, im mittleren Teil der Träger solche Gurtböhlen und Gurtbretter zu nehmen, welche wenig Astre und guten Faserverlauf haben, damit ihre Zugfestigkeit groß ist. Fast alle von

u.s geprüften Träger wurden in der gezogenen Holzgurt im Holz zerrissen.

In der Versuchsanstalt für Holz, Stein, Eisen, an der Technischen Hochschule Karlsruhe (Prüfraum Gaber) sind in den letzten Jahren Versuche an solchen neuartigen Trägern, Hohlballen und I-Trägern aus gewöhnlichen sägerauhen Brettern mit beliebigen Asten und Schrägfaser, durchgeführt worden, bei denen der wasserfeste Leim, die Nägel und der Einpressdübel "das Krallenband" erprobt wurden. Die Träger mit einer Stützweite bis zu 15 m wurden statisch und dynamisch belastet. Alle drei Verbindungsmittel haben sich dabei bewährt. Die Zerstörung wurde in der Regel eingeleitet durch einen Ast in der am stärksten gezogenen Gurtplatte. Durch diese natürlichen Holzfehler wie Ast, Schrägfaser, werden die in den Holzkonstruktionen erreichbaren Biegefestigkeiten des Nadelholzes in der Regel kaum 200 kg/qcm erreichen. Bei einer zulässigen Biegespannung von 100 kg/qcm im Hochbau besteht also noch eine genügende Bruchsicherheit. Im Brückenbau freilich wird man mit Rücksicht auf die bewegten und stoßweise einwirkenden Lasten die zulässige Biegespannung mit Vorteil auf 65 kg/qcm herabsetzen.

Es ist klar, daß man für solche zusammengesetzte Hohlballen oder I-Träger weit weniger Bauholz braucht als für Kanthölzer oder verdübelte Balken. Sie bieten die Möglichkeit weniger gutes Holz an untergeordneter und gutes Holz an ausgefeilter Stelle zu verwenden, also das Bauholz richtig auszunutzen.

Die Anwendung der Konstruktion und Bauerfahrung des Stahlbaues auf den Holzbau bringt einen großen Fortschritt im modernen Holzbau und bewirkt eine wesentliche Ersparnis an Stahl und an Holz unter Steigerung der Tragkraft und der Steifigkeit dieser Holzbauwerke des Hoch- und Tiefbaues. Um diese aber auch auf die Dauer und bei Bauten, die im Freien stehen, zu gewährleisten, ist es nötig, genau wie im Stahlbau die Träger durch Anstrich e sowohl bei der Herstellung als auch später im Betriebe zu schützen. Holz ist im Gegensatz zu Stahl nicht nur durch die Witterung, sondern auch durch tierische und pflanzliche Schädlinge gefährdet. Wir haben aber von unserer

hochentwickelten chemischen Industrie heute wirksame Schutzmittel zur Behandlung des trockenen und des feuchten Holzes durch Tränkung, Schutzanstriche u. ä. zur Verfügung. Im übrigen wird man auch nach dem Vorbild der zum Teil gut erhaltenen alten Holzbrücken in Süddeutschland, Österreich und der Schweiz mehr als bisher die Holzbrücken verschalen und vor der Witterung schützen. Bei der Auswertung dieser neuen Trägerformen im Hoch- und Brückenbau bietet sich eine vorzügliche Gelegenheit zu erfolgreicher Zusammenarbeit zwischen Ingenieur und Architekt.

Der natürliche Baustoff Holz hat sich allmählich wieder die Stellung im Bauwesen erobert, die ihm dank seiner guten Eigenschaften zukommt. Die Zeiten des wahllosen Holzverbrauches aber sind für lange vorbei. Gerade weil man erkannt hat, welche hervorragenden Eigenschaften unser Bauholz hat, ist man verpflichtet, es im Hoch- und Tiefbau so anzuwenden, daß diese Eigenschaften auch zur vollen Geltung kommen. In vielen Fällen kann man Balken und Kanthölzer durch Schwarten, Bretter oder Bohlen ersetzen. Durch Ast stark fehlerhafte Hölzer sind absolut vollwertig, wenn man sie in die gedrückten Teile der Konstruktion einbaut. Der Stahlbau hat im Laufe seiner Entwicklung Querschnittsformen ausgebildet, die allen Festigkeits-eigenschaften seines Werkstoffes angepaßt wurden. Daß ein Gleichtes auch beim Holzbau möglich ist, haben obige Zeilen nachgewiesen. Es ist freilich nötig, daß diese Möglichkeiten nicht nur beim Ingenieurholzbau ausgenutzt werden, sondern daß allmählich auch das Zimmergewerbe, auch der kleinste Zimmermeister auf dem Lande, dieser fortgeschrittenen Bauweise sich zuwendet. Ausschlaggebend kann eine Ersparnis nur dort sein, wo am meisten Holz verbraucht wird, das ist aber beim kleinen Hausbau. Unseren Gewerbeschulen und Innungen fällt die wichtige Aufgabe zu, die an den einzelnen Forschungsstätten im Reich gefundenen Erkenntnisse in der großen Masse der Gewerbetreibenden zu verbreiten. Wenn alle diese Fortschritte im Holzbau täglich angewandt werden, können wir die große Fülle der Bauaufgaben der nächsten Jahre bewältigen und doch allmählich unseren Holzeinschlag im deutschen Wald wieder mit dem jährlichen Zuwachs an Holz in Einklang bringen.