

Anwendung von Ingenieurholzkonstruktionen im Industriebau

Dipl.-Ing. Wolfgang Rug, KDT,
Dipl.-Ing. Wolfgang Kreißig, KDT,
Bauakademie der DDR, Institut für Industriebau

Ingenieurholzkonstruktionen werden heute in fast allen Baubereichen angewendet. In den RGW-Ländern, besonders in der UdSSR, soll in den nächsten Jahren der Einsatz geklebter Konstruktionen im Vergleich zum Gesamtvolumen des Industriebaus auf 30 bis 40 % ansteigen. Es ist vorgesehen, die Produktion geklebter Holzkonstruktionen um das 6fache zu erhöhen. Damit folgt die UdSSR einem schon seit einigen Jahren anhaltenden internationalen Trend.

Dieser internationalen Entwicklung ging eine intensive Forschungsarbeit zum Baustoff und seiner optimalen Verwendung für Baukonstruktionen bei gleichzeitiger Rationalisierung und Automatisierung der Fertigungsprozesse voraus.

Nicht nur bei den Holzklebekonstruktionen, sondern auch bei den weiterentwickelten Nagelbauweisen ist ein hoher technischer Entwicklungsstand feststellbar.

Die internationale Holzbauforschung richtet gegenwärtig ihre Bemühungen auf die weitere Veredlung des Roh- und Werkstoffes Holz. Dabei konzentriert man sich auf die Entwicklung materialsparender Konstruktionen, Verbindungsmittel und auf die verstärkte Nutzung von Holzwerkstoffen sowie auf die Verbesserung der Berechnungs- und Bemessungsvorschriften.

Der vorliegende Beitrag ist eine Kurzfassung einer umfassenden Analyse zum internationalen Entwicklungsstand bei der Verwendung von Ingenieurholzkonstruktionen im Industriebau [1]. Diese Analyse bildet den Ausgangspunkt für die Intensivierung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit in der DDR zur stärkeren Nutzung von Holz für Konstruktionen im Industriebau, speziell zur Substitution von Stahlkonstruktionen in der chemischen Industrie.

Ökonomische Aspekte zur Verwendung von Ingenieurholzkonstruktionen

Der organische Rohstoff Holz ist bereits ein vollständiger Baustoff. Seine Reproduktion kann durch eine intensive und ökologisch verantwortungsvolle Forstwirtschaft gesichert werden. Die werkstoffgerechte Verwendung des Holzes in Konstruktionen hat aufgrund der spezifischen Besonderheiten des Baustoffs energieökonomische Vorteile. Diese Vorteile treten in allen Bearbeitungs-, Verwendungs- bzw. Nutzungsphasen auf. Der Energieaufwand für die Gewinnung, Verarbeitung, Verwendung, Erhaltung sowie für die Wiederverwendung liegt unter denen vergleichbarer Konstruktionen aus Stahl und Beton.

Zum Vergleich wurde der Energieaufwand für den Bau einer 2200 m² großen Halle bestimmt. Die Angaben berücksichtigen den Energieaufwand für die Gewinnung, den Transport und die Verarbeitung der Baustoffe sowie für den Transport und die Montage der Bauteile. Setzt man den Gesamtenergieaufwand für eine Halle in Holzbauweise (Stützen und Dachbinder aus Brettschichtholz, Dach- und Wandelemente aus Sperrholz) gleich 100 %, so erfordert eine Hallenkonstruktion in

— Mauerwerk mit Holzdach	170 %
— Stahlbauweise	210 %
— Beton	270 %
— Aluminium	320 %

Der in Bild 1 dargestellte Aufwand an Heizenergie eines Gebäudes in Holzbauweise gegenüber dem für ein Gebäude aus Gasbetonfertigteilen geht auf Berechnungen des Bauforschungsinstitutes Prag in der ČSSR zurück und bezieht sich auf 1 m² Gebäudefläche (GF).

Besonders beim Einsatz von Holzkonstruktionen in der chemischen Industrie wird der Erhaltungsaufwand zu einem entscheidenden volkswirtschaftlichen Kriterium, denn er beträgt nur rd. 20 % des Aufwandes, der bei gleicher Standzeit für eine Stahlkonstruktion betrieben werden muß.

Ingenieurholzkonstruktionen vereinen in sich viele Vorteile, z. B. die Möglichkeit der industriellen Vorfertigung, einen geringen Bau- und Montageaufwand infolge eines günstigen Verhältnisses der Festigkeit zur Dichte des Konstruktionsmaterials, kurze Montagezeiten bei konsequenter Vorfertigung des kompletten Gebäudes; weiterhin einen geringen Erhaltungsaufwand infolge hoher Beständigkeit gegen aggressive Medien und bei hohen Anforderungen an die mikroklimatische Umwelt (reine Räume) sowie eine gute Brandstabilität. Aufgrund der relativ großen Freizügigkeit bei der Gestaltung und Dimensionierung lassen sie sich auch als individuelle Baulösung, z. B. für die Rekonstruktion von Industriebauten, wirtschaftlich herstellen und montieren. Besonders Holzklebekonstruktionen erfüllen die Forderungen des Industriebaus nach Wirtschaftlichkeit, Zweckmäßigkeit, Lebensdauer und konstruktiver Variabilität im Hinblick auf neue bzw. sich verändernde nutzertechnologische Forderungen.

Das günstige Verhältnis der Festigkeit zur Dichte drückt sich in einem günstigeren Eigengewicht von Holzklebekonstruktionen gegenüber Stahlkonstruktionen (40–60 %) bzw. Stahl- und Spannbetonkonstruktionen (15–20 %) aus. Dadurch entstehen Kostenvorteile beim bautechnischen Aufwand.

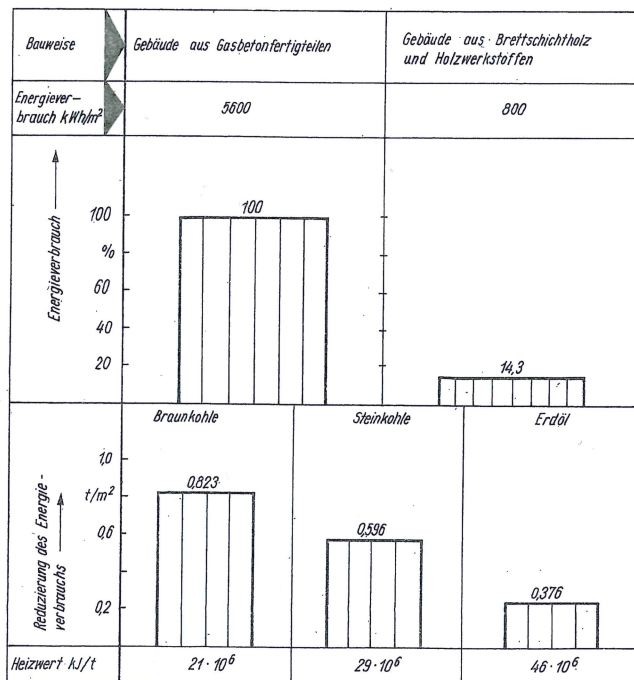
International werden für die Industrie komplett vorgefertigte Industriebauhallen angeboten.

Dabei gilt als Faustregel, daß mit steigender Spannweite der Halle die Holzklebebauweise gegenüber der Stahl- oder Spannbetonbauweise kostengünstiger wird.

Nach sowjetischen Untersuchungen sind die Baukosten, bezogen auf den Gesamtaufwand, bei Spannweiten über 40 m um 20 % niedriger als die für vergleichbare Stahlkonstruktionen.

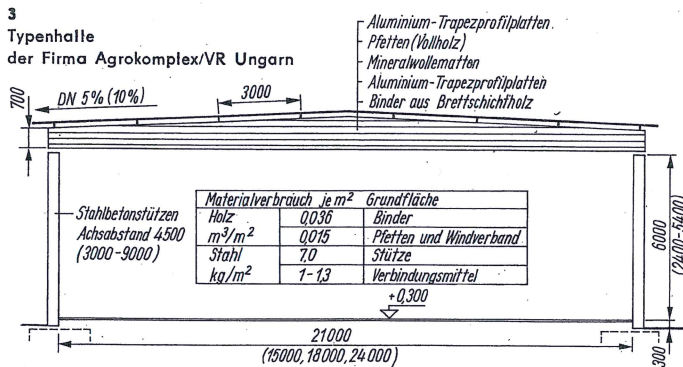
Diese Untersuchungen werden auch durch westeuropäische Erfahrungen bestätigt. So lagen 1973 die Preise für Hallenkonstruktionen mindestens um 8–15 %, in Einzelfällen um 20 % niedriger als die für vergleichbare Konstruktionen aus anderen Baustoffen.

1 Aufwand an Heizenergie für ein Gebäude in Holzbauweise im Vergleich zu einem Gebäude mit Gasbetonfertigteilen je m² Gebäudefläche



Tragwerksarten	Statische Systeme	Bild	Allgemeine konstruktive Parameter			Holzverbrauch der Träger in m ³ /100 m ² GF
			Achsabstand m	Spannweite m	Trägerhöhe m	
Balkentragwerke	Einfeldträger	Kragträger 0°...10° DN 	4-10	10-30	$\frac{L}{10}$	
		Träger auf 2 Stützen II Gurt 0° DN 	4-10	10-35	$H = \frac{L}{13} \dots \frac{L}{17}$ (b = 10...20)	2-4,8 (L = 15-25 m; AA = 5-7,5 m; b ≤ 20 cm)
		geneigte Obergurte 3°...15° DN 	4-10	10-35	$H_1 = \frac{L}{22} \dots \frac{L}{26}$ $H_2 = \frac{L}{14} \dots \frac{L}{16}$ (b = 15...20)	2,2-4 (L = 15-25 m; AA = 6,25 m; b ≤ 14-20 cm)
		geneigte Ober- und Untergurte 5°...12° DN 	4-10	10-35	$H_1 = \frac{L}{30}$ $H_2 = \frac{L}{15}$	2,4-4,8 (L = 15-30 m; AA = 5-7,5 m; b ≤ 20 cm)
		geneigte Ober- und Untergurte mit oder ohne Zugband 10°...16° DN 	4-10	15-30	$H = \frac{L}{20}$	
		Dreigelenksträger 12°...20° DN 	4-10	20-50	$H = \frac{L}{35}$	2-4 (L = 17,5-40 m; AA = 5-7,5 m; b ≤ 20 cm)
	Mehrfeldträger	Mehrgelenksträger 	18-40	3,6-12	$H = \frac{L}{35}$	3,6-7,5 ¹⁾ ; 3,3-6,1 ²⁾
		Zweifeldträger 	5-7,5	7,5-17,5	$H \geq \frac{L}{18} \dots \frac{L}{16}$ (b ≤ 10...20)	1,1-2,8 (b ≤ 10...20 cm)
			5-7,5	7,5-17,5	$H \geq \frac{L}{14} \dots \frac{L}{20}$ (b ≤ 10...20)	1-2,4 (b ≤ 10...20 cm)
		Dreifeldträger 	5-7,5	5-12,5	$H \geq \frac{L}{14} \dots \frac{L}{20}$ (b ≤ 10...20)	0,7-1,8 (b ≤ 10...20 cm)
			5-7,5	7,5-17,5	$H \geq \frac{L}{14} \dots \frac{L}{20}$ (b ≤ 10...20)	1-2,5 (b ≤ 10...20 cm)
Rahmentragwerke	Einfeldrahmen	Zweigelenkrahmen f 0°...16° DN 	4-10	15-60	$H = \frac{L}{23}$	3-3,7 (L = 15-25 m; AA = 5-7,5 m; b ≤ 20 cm)
		Dreigelenkrahmen f 0°...60° DN 	4-10	15-60	$H_1 = \frac{L}{25}$ $H_2 = \frac{L}{65}$	2,2 (L = 20 m; AA = 5 m; b ≤ 20 cm)
Bogentragwerke	Einfeldträger	Bogen mit oder ohne Zugband f 0,45 L 	4-10	20-100	$H = \frac{L}{50}$	1,4 (L = 20 m; AA = 5 m; b ≤ 20 cm)
		Bogen mit oder ohne Zugband f 0,45 L 	4-10	20-60	$H = \frac{L}{50}$	1,2-2,75 (L = 17,5-40 m; AA = 5-7,5 m; b ≤ 20 cm)
Stabtragwerke (eben)	Einfeldträger	Fachwerkträger 0° DN 	5-10	30-60	$H = \frac{L}{13}$	

2 Tragwerke in Holzklebebauweise ¹⁾ (AA = 4,2 m; L = 24 - 48 m) ²⁾ (AA = 3,0 m; L = 24 - 36 m)



Bevorzugte Tragwerke in Holzklebebauweise

Die international üblichen Tragwerke sowie die technischen Parameter und der Holzverbrauch je 100 m² Gebäudegrundfläche sind in Bild 2 dargestellt.

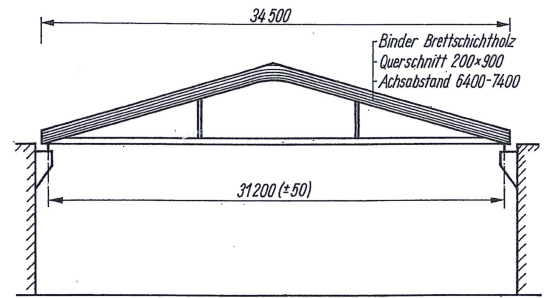
International hat sich aufgrund der günstigeren Fertigungskosten die Ständerbauweise (Stützen-Binder-System) in Mischbauweise (Stützen aus Stahl oder Stahlbeton) durchgesetzt, obwohl Rahmentragwerke auch bei kleinen Spannweiten einen günstigen Materialverbrauch aufweisen. Bei Produktionshallen dominieren im Spannweitenbereich von 15 bis 35 m die parallelgurtigen Vollwandbinder oder die Satteldachvollwandbinder mit geradem bzw. gekrümmtem Untergurt. Der höhere Fertigungsaufwand des Satteldachbinders wird durch die Kosteneinsparung infolge der 7-12%igen Holzeinsparung egalisiert. Mit diesen Tragwerken kann eine Dachneigung (DN) von 5 bis 25 % realisiert werden.

Bild 3 zeigt eine Typenhalle aus der VR Ungarn. Diese Halle wird für den Spannweitenbereich von 15 bis 21 m komplett angeboten. Für größere Dachneigungen wird der Zweigelenkstabzug mit Zugband (Holz oder Stahl) zum wirtschaftlichen Tragwerk. Der Neigungsbereich liegt i. allg. zwischen 15 und 30 %. Aus transporttechnologischen Gründen ist die Stichtiefe allerdings begrenzt.

International beträgt der Spannweitenbereich 20-32 m. Derartige Dachbinder mit einer Spannweite von 31,2 m wurden bei der Schließung einer Lücke zwischen zwei Fabrikhallen in der Schweiz (Bild 4) verwendet. Trotz beengter Verhältnisse für die Montage der komplett gelieferten Binder dauerte diese nur 14 Tage (einschließlich der Zeit für den Transport).

Für größere Spannweiten bis 60 m eignet sich der Dreigelenkstabzug mit oder ohne Zugband, da bei dieser Konstruktion die transporttechnologischen Einschränkungen wegfallen und die Abmessungen des Obergurtes nur noch durch die fertigungstechnologisch maximal mögliche Länge beschränkt werden.

Mehrfeldträger werden fast ausschließlich für Industriebauten verwendet. Sie stellen eine zweckmäßige Überdachung für Produktions- und Lagerhallen dar. Durchlaufträger können auf großen Fertigungsanlagen bis max. 40 m in einem Teil wirtschaftlich hergestellt und transportiert werden. Bei Spannweiten über 40 m werden Gerbergelenkträger ausgeführt. Bei Spannweiten ab 25 m werden für Produktions- und Lagerhallen Zweigelenkrahmen mit flacher Neigung des Riegels eingesetzt. Die konstruktive Ausbildung der biegesteifen Ecken erfolgt durch einen geklebten Keilzinkenstoß, durch Dübelkreise aus Stab- oder Ringdübel oder über aufgelöste Stiele. Günstig ist vor allem die geklebte oder aufgelöste



4 Schließen einer Gebäudelücke mit einem Dreigelenkbinder mit Stahlzugband in Menznau/Schweiz

Ausführung (Bild 5). Bei geklebter Ausführung kann die Stielhöhe aus transporttechnologischen Gründen max. 3,5 m betragen.

Der Dreigelenkrahmen wird ab 25 m verwendet. Der fertigungstechnologische Aufwand ist am geringsten, wenn die Rahmenecken gebogen werden. Dabei ist aber ebenfalls die transporttechnologische Beschränkung in der Höhe zu beachten. Bei einem Transport mit Spezialtransporter beträgt dieser Wert international 40 m in der Länge und 4 m in der Höhe. Wirtschaftlich sind diese Tragwerke vor allem für Schüttgutlager mit großer Dachneigung (60-100 %), da sich diese Form der statisch erforderlichen Stützlinie nähert.

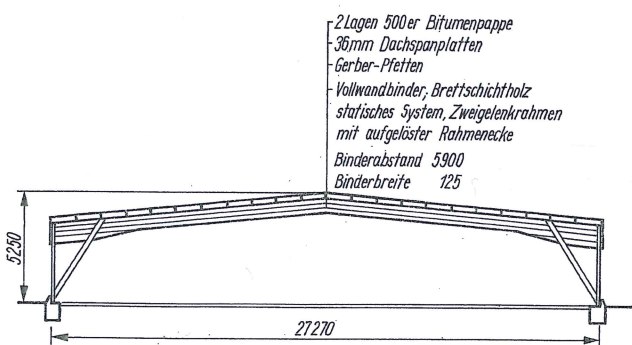
Ein interessantes Beispiel (Bild 6) stellt die in Olten (Schweiz) errichtete Schüttgutlagerhalle für Kohle dar. Die Errichtung dieser Halle mit den Grundrißabmessungen von 46,5 m x 66,5 m wurde im Zusammenhang mit der Substitution von Erdöl durch Kohle als Energieträger für das Brennen des Zementes notwendig. Aufgrund dieser Umstellung mußten umfangreiche Erweiterungsinvestitionen auf dem Gelände der vorhandenen Anlage durchgeführt werden. Für den Transport und die Montage waren beengte Verhältnisse zu beachten. Von Seiten des Auftraggebers waren es nicht nur Preisgründe, die zur Auftragserteilung an die Holzbaufirma führten. Vor allem die überzeugende technische Lösung, der geringe Erhaltungsaufwand und das günstige Brandverhalten begründeten die Wahl dieser konstruktiven Lösung in Holzbauweise.

Schwierig war die Fertigung der 36 m langen und 4 t schweren Binder. Um die Rahmenecke mittels Keilzinkenverbindung kleben zu können, mußte eine Maschine im Fertigungswerk verschoben werden. Jeweils 2 Hallenbinder wurden wegen der Trennboxen für die Kohle außerhalb der Hallenfläche vorgefertigt, mittels eines 250 t Hydraulikkranes montiert und anschließend verschoben. Die Montage dauerte einen Monat.

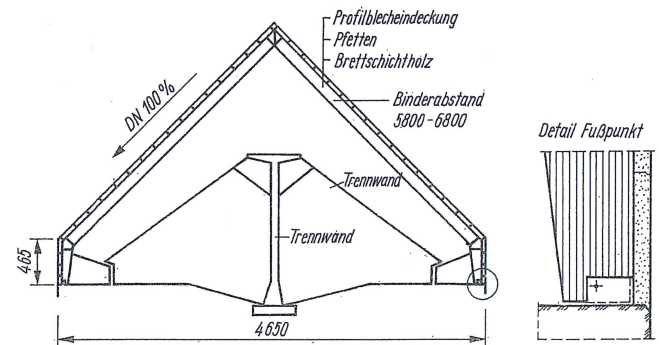
Die Bogenentwurfwerke haben aufgrund der Möglichkeit der Anpassung der Bogengeometrie an die statisch erforderliche Stützlinie im geringen Materialverbrauch und im niedrigen fertigungstechnologischen Aufwand ihre Vorteile.

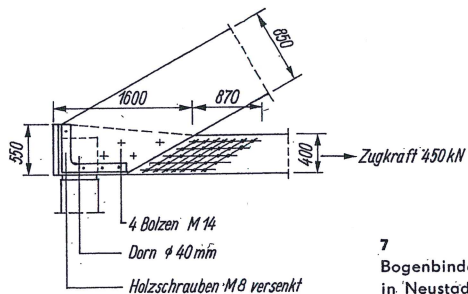
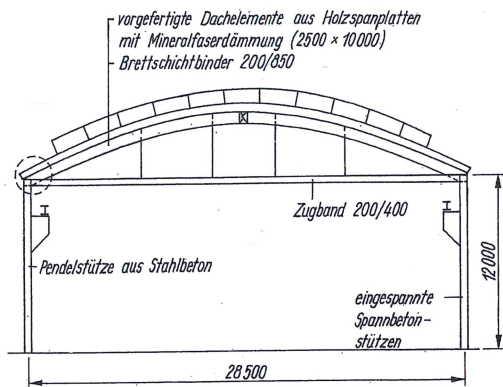
Mit bogenförmigen Tragwerken sind schon Spannweiten bis zu 100 m realisiert worden. Bis 60 m Spannweite und bei setzungsempfindlichem Baugrund gelangen Dreigelenkbogen zum Einsatz. Ab 60 m Spannweite wird i. allg. der Zweigelenkbogen vorgezogen. Dann wird allerdings eine Baustellenverklebung der Holzbauteile erforderlich, die witterungsabhängig ist. Im Industriebau werden derartige Hallen besonders für die Lagerung von Schüttgütern genutzt:

5 Aufgelöste Ausführung einer Typenhalle der Firma Poppensieker/BRD



6 Schüttgutlagerhalle für Kohle der Portlandzement AG, Olten/Schweiz





7
Bogenbinderhalle
in Neustadt/BRD

Bild 7 zeigt eine Produktionshalle, die als erster Bauabschnitt eines mehrschiffigen Hallenkomplexes errichtet wurde. Der Binderabstand beträgt 5 m. Auf den Bogenbindern liegen vorgefertigte Dachelemente, die über 2 Felder spannen ($2,5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$). Als Dachhaut wurden Kunststoffbahnen auf die Tafeln aufgeklebt. Die Tafeln sind zu einer Dachscheibe untereinander verbunden. In jedem 3. Binderfeld wurden Oberlichter angeordnet. Bild 8 zeigt eine für die Ruhrkohle AG in Pattberg/BRD errichtete Rohwasch-Kohlen-Lagerhalle, bei der ein Dreigelenkrahmen mit gebogenen Rahmenecken verwendet wurde. Die Gesamtlänge der Halle beträgt 240 m, der Binderabstand 7 m. Bemerkenswert ist die Montagetechnologie. Statt wie bisher zwei oder drei Binderfelder zu einem montagefähigen Element auszubilden, hat man bei dieser Halle bis max. 10 Binder (70 m) zusammengefaßt. Dadurch konnten Montagezeit eingespart und die Unfallrisiken, die sich bei der Montage in großen Höhen ergeben, vermindert werden. Die Halle wurde in 4 Etappen in nur 2 Tagen errichtet. Das Bild 8 skizziert den Bewegungsablauf bei der Errichtung der Binderfelder. Je Hallenhälfte wurden drei bis vier Autokrane mit je 160 t Hebeleistung benötigt. Wichtig für die Genauigkeit der Montage war das präzise Ausrichten der Sockelverankerung der Binder vor dem Aufrichten. Dies erfolgte mittels Lasergeräten. Damit wurde das exakte Zusammenpassen der $35 \text{ m} \times 63 \text{ m}$ großen gekrümmten Hallenteile gesichert. Die Koordination und Synchronisation der 6 bis 8 Autokrane erfolgte über Funk. Die Gesamtmontagezeit betrug 3 Monate.

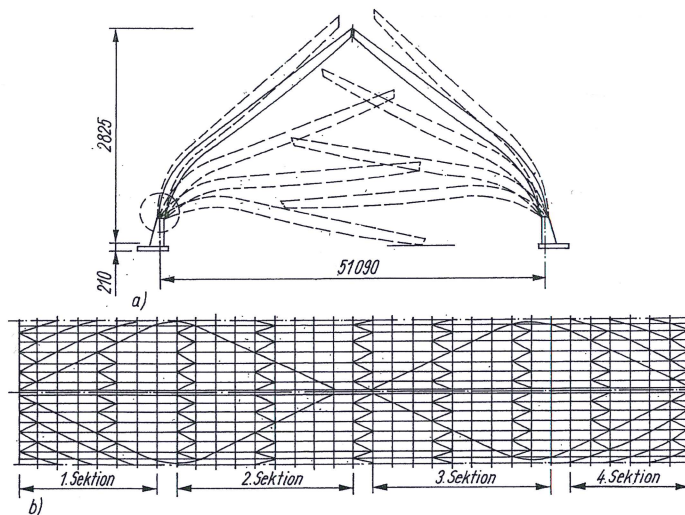
Die Produktion der Holzklebekonstruktionen hat in den vergangenen Jahren in Westeuropa stetig zugenommen. Auch in der Sowjetunion stieg sie von 1970 bis 1975 auf 800 % an. Für den Zeitraum 1975 bis 1980 war in der Sowjetunion eine Steigerung von 600 % (rd. 500 000 m^3/Jahr) geplant.

Auch holzarme Länder, wie Dänemark, Belgien und die Niederlande, haben umfangreiche Produktionskapazitäten für Holzklebekonstruktionen aufgebaut.

Die Produktionskapazitäten für Brettschichtholz der einzelnen Betriebe liegen international bei 2000 bis 15 000 m^3 je Jahr. Ausnahmen bilden Betriebe in der UdSSR und den USA mit einem Produktionsvolumen zwischen 50 000 und 500 000 m^3 je Jahr.

Die Höhe der Bauteile wird hauptsächlich durch die Maulweite der zur Verfügung stehenden Hobelmaschinen bestimmt. Sie beträgt i. allg. 2,0–2,6 m. Es werden alle Bauteile gehobelt und mit einem amtlich zugelassenen Lasuranstrich versehen. In den USA werden nach entsprechender Festigkeitssortierung Brettschichtträger mit in den äußeren Lagen angeordneten Brettschichtlagern hoher Holzgüte und im Trägerinneren angeordneten Brettlagen niedriger Güte hergestellt.

Aus fertigungstechnologischen Gründen dominiert der geklebte Rechteckquerschnitt. Doppel-T-Träger werden seltener hergestellt.



8 Großlagerhalle für Kohle in Pattberg/BRD

a) Schnitt durch die Halle einschließlich Bewegungsablauf beim Aufschlagen der Elemente

b) Grundriß der Montagesektionen

Bekannt sind auch Kastenquerschnitte mit Gurten aus Brettschichtholz und Stegen aus Holzwerkstoffen. Besonders leistungsfähig sind Kastenträger mit Stegen aus Sperrholz. Träger dieser Art können u. U. Spannweiten von 40 m überbrücken. Sie weisen eine bemerkenswert hohe Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht auf.

Aus den vorgenannten Ausführungen wird erkennbar, daß sich jede Überdachung mit beliebiger Stützweite und Flächengröße bei der großen Palette der möglichen Tragwerke in Holzklebebauweise wirtschaftlich realisieren läßt.

Schlußbetrachtung

In den 90er Jahren wird die Bedeutung der Energieökonomie weiter zunehmen. Künftiges Bauen wird dadurch immer stärker durch die Energieeinsparung in allen Bauphasen geprägt.

Die Rationalisierung der industriellen Fertigung von Baustoffen, Bauteilen und Gebäuden steht damit auch in den 80er Jahren im Vordergrund der Entwicklungsstrategien des Bauens. Die industrielle Fertigung von Bauteilen bietet die einzigartige Möglichkeit, mit der Auswahl energieökonomischer Baustoffe, Bauteile und Bauweisen bzw. Konstruktionstechniken diese Entwicklung entscheidend voranzutreiben. Damit wird der Trend zum Fertigteilbau auch im Holzbau weiter anhalten mit dem Ziel, die eingesetzten Roh- und Werkstoffe besser zu veredeln. Die Entwicklung von Holzklebekonstruktionen kann nicht losgelöst von der Entwicklung des Ingenieurholzbaus innerhalb des konstruktiven Ingenieurbaus betrachtet werden. Deshalb ist die internationale Forschung und Entwicklung auch in Zukunft gründlich zu analysieren.

Auf der Grundlage einer Forschungsvereinbarung mit dem verantwortlichen Kombinat wird vom Institut für Industriebau das Ziel verfolgt, Ingenieurholzkonstruktionen für die Rekonstruktion in der Industrie zu entwickeln und einzusetzen.

Nicht nur aus der Sicht der Verbesserung der Energie- und Materialökonomie, sondern auch aus den spezifischen Bedingungen der Reproduktion der Volkswirtschaft und der materiell-technischen Voraussetzung auf fertigungstechnologischem Gebiet sind eigene Forschungsarbeiten notwendig. Für die effektive Durchführung von Rekonstruktionsvorhaben ist der Baustoff Holz mit seinen vielfältigen Möglichkeiten der baulichen Verwendung und den damit erreichbaren energieökonomischen Vorteilen sowie der guten und wirtschaftlichen Anpaßbarkeit an funktionelle Anforderungen geradezu prädestiniert. Dabei wird der volkswirtschaftliche Effekt dort am größten sein, wo andere Baustoffe einen höheren gesellschaftlichen Aufwand für ihren Einsatz und ihre Nutzungsfähigkeit erfordern.

Literatur

- [1] Rug, W.; Kreifig, W.: Anwendung von Ingenieurholzkonstruktionen. im Industriebau. Bauakademie der DDR, Institut für Industriebau. Forschungsbericht, Berlin 1982, unveröffentlicht.