


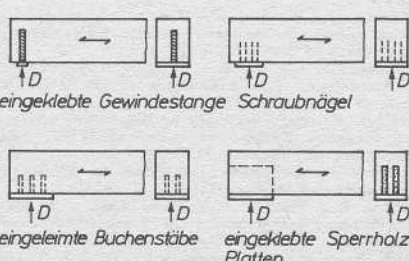

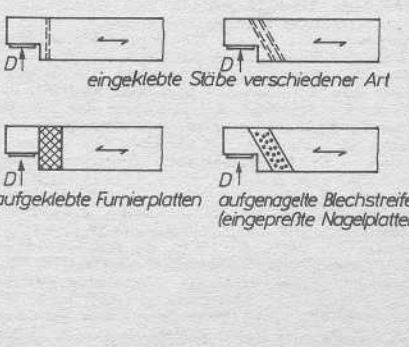
Höherveredlung von Holzkonstruktionen durch Anwendung neuer Erkenntnisse der Grundlagenforschung

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

Einleitung

Die höhere Veredlung der Rohstoffe, Materialien und Erzeugnisse ist ein entscheidender Weg, um im Sinne der umfassenden Intensivierung der Volkswirtschaft bei gleichbleibendem oder vermindertem Fonds an Energieträgern, Rohstoffen und Materialien auch weiterhin ein stabiles und kontinuierliches Wirtschaftswachstum zu gewährleisten. Sie trägt umfassenden Charakter, da sie die bessere Nutzung und Gebrauchswerthöhung der vorhandenen Bausubstanz ebenso betrifft wie die ökonomische Verwertung der verfügbaren einheimischen Rohstoffe und Sekundärrohstoffe [1]. Für den Holzbau in der DDR ergibt sich daraus die globale Forderung, das konstruktive und ingenieurtheoretische Niveau in den nächsten Jahren wesentlich zu heben. Dies

1 Querdruck- und Querkzugbeanspruchung in Holzbauteilen und Möglichkeiten zur Erhöhung der Festigkeit durch örtliche Verstärkung nach [2]

Belastung	Möglichkeiten zur Erhöhung der Festigkeit
a) Querdruck 	
b) Querkzug 	

soll durch eine intensive Forschungsarbeit zur Vervollkommnung des gegenwärtigen ingenieurtheoretischen Erkenntnisstandes, durch die Entwicklung effektiver Konstruktionslösungen und Fertigungsverfahren und durch zielgerichtete Erweiterung der Materialbasis erreicht werden.

Das Jugendkollektiv Holzkonstruktionen des Instituts für Industriebau sieht seinen Beitrag zur Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts im Bauwesen in den nächsten Jahren darin, die Hauptwege zur höheren Veredlung im Holzbau weiter zu erforschen. Entsprechend dieser Orientierung sind innerhalb der Grundlagenforschung die Bewehrung und Vorspannung von Holzkonstruktionen als mögliche Schritte zur Veredlung untersucht worden.

Bewehrung von Holzkonstruktionen

Durch das Bewehren von Holzkonstruktionen wird ein Teil oder der gesamte Querschnitt eines Bauteils verstärkt, so daß sich Festigkeit und Steifigkeit des Bauteils erhöhen. Es entsteht ein Verbundquerschnitt, bei dem sich der verstärkende, i. allg. flächenmäßig kleinere Querschnittsteil entsprechend seiner höheren Festigkeit an der Lastaufnahme beteiligt (Bilder 1 und 2). Die in Bild 2 dargestellte Bewehrungsart ist Gegenstand der weiteren Erörterung.

Zur Bewehrung des Querschnitts können Hölzer bzw. Holzwerkstoffe mit höherer Festigkeit, Stahl oder hochfeste Kunststoffe verwendet werden. Der Verbund wird mittels eines geeigneten Kunstharzklebstoffes hergestellt.

Aus den bisherigen Untersuchungen geht hervor, daß mit den experimentell erprobten Klebstoffen ein vollständiger Verbund zwischen Bewehrung und Holz gewährleistet werden kann, d. h., es kann bei der Ableitung der Bemessungsgleichungen für biegebeanspruchte Querschnitte gleiche Dehnung zwischen Holz und Bewehrung vorausgesetzt werden.

Im Gegensatz zum Stahlbeton, wo die Bewehrung allein die Zugspannung aufnimmt, entsteht bei Holzquerschnitten durch den vollständigen Verbund zwischen Holz und Bewehrung ein Verbundquerschnitt aus Materialien mit unterschiedlichen Elastizitätseigenschaften. Die ideelle Querschnittsfläche vergrößert sich in Abhängigkeit vom Verhältnis der Elastizitätsmoduln der Bewehrung und des Holzes. Die Ausnutzung der Zugfestigkeit des Holzes verlangt eine Bewehrung mit hoher Zugfestigkeit.

Haftverbund zwischen Bewehrung und Holz

Vom Autor wurden Untersuchungen zur Eignung von in der DDR hergestellten Klebstoffen für die Verklebung von Holz mit Be-

2 Erhöhung der Biegefestigkeit eines unbewehrten Balkens durch Bewehrung. Bei gleicher Trägerhöhe wird bei bewehrten Trägern zusätzlich ein der aufnehmbaren Spannung der Bewehrung entsprechendes inneres Moment aktiviert. Die Tragfähigkeit des bewehrten Balkens ist hierdurch größer.

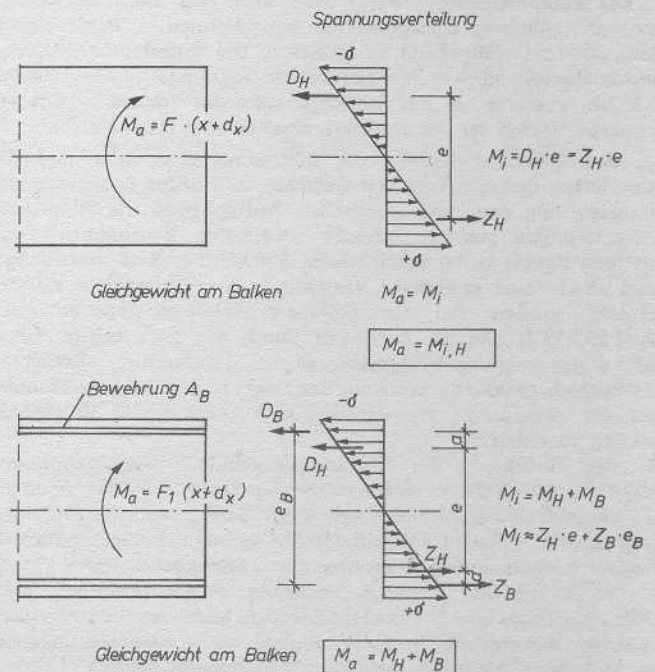
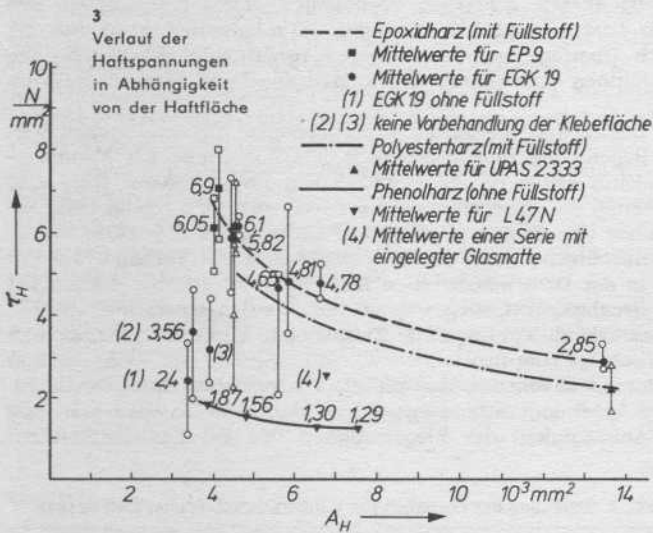
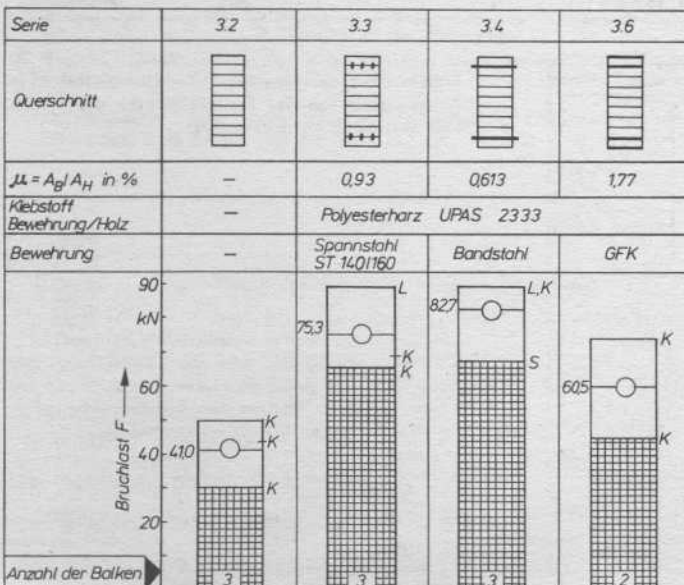


Tabelle 1 Abmessungen der Prüfkörper

Serie	DI/81 bis DVI/81	DV/83 bis DXV/83	DI/83, DII/83	DI/83 bis DVI/83 BI/83 bis BV/83	BVI/83, BVII/83
Holzart	Fichte ($\rho = 463 \text{ kg/m}^3$, Variationskoeffizient $v = 7,275\%$ nach TGL 25106/03)				
Bewehrung (Querschnitt)	Stahl $\varnothing 10, 18, 20$ GUP (roh) $\varnothing 10, 16$	Stahl $\varnothing 10, 16$ GUP (roh) $\varnothing 8, 10, 16$ GUP (glatt) $\varnothing 16$	Flachstahl 40×3	Spannstahl 140/160/740	Bandstahl MK 75 - V 150 $100 \times 0,8$
Klebstoff	Epoxidharz EGK 19	Epoxidharz EP 9 Phenolharz Plastasol L 47 N	PUR 8411 und 8416	PUR 8411, 8410 Epoxidharz EGK 19, MK 125, EP 9 Polyesterharz UPAS 2333	Epoxidharz EGK 19 Polyesterharz UPAS 2333
Dicke der Klebefuge	0,1 ... 1,5 mm	0,1 ... 1,5 mm	0,1 ... 0,3 mm	0,4 ... 0,8 mm	0,1 ... 0,3 mm
Querschnitt					
Längsschnitt					



4 Bruchlast bewehrter Balken im Vergleich zu einem unbewehrten Balken
 K Bruch, ausgehend von der Keilzinkung der äußersten Lage im Zugbereich
 L Bruch durch Abheben der untersten Brettlagen
 S Bruch des Holzes infolge Schubs



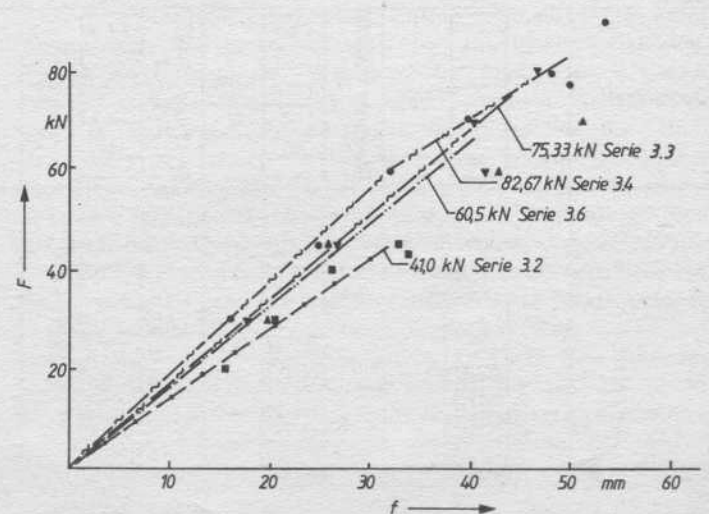
wehrungsmaterialien aus Stahl und glasfaserverstärktem Polyesterharz (GUP) durchgeführt. Tabelle 1 enthält die Abmessungen der Prüfkörper, die Klebstoff- und die Bewehrungsart.

Zur Ermittlung der Haftspannungen wurden vor allem Kurzzeitversuche unter Zugbelastung durchgeführt. Vor der Prüfung lagerten die Proben 8 Tage in einem klimatisierten Raum unter Normalklima. Die Proben klemmte man an den beiderseitig herausstehenden Bewehrungsenden in die Spannbacken einer Druckzug-Prüfmaschine. Das Einleiten der Zugkraft erfolgte stetig bis zum Bruch der Verbindung.

Als Ergebnis der Versuche kann festgestellt werden:

- Die erzielten Haftspannungen verschiedener Klebstoffe auf der Basis von Epoxid- und Polyesterharz liegen im Bereich internationaler Werte.
- In Abhängigkeit vom Bewehrungsquerschnitt (stabförmig oder bandförmig) sinken die Haftspannungen mit wachsender Größe der Klebefläche, da die Häufigkeit von Fehlverklebungen zunimmt (s. Bild 3). Bei Verklebung mit Polyesterharz ist bei Stahlbewehrung mit großer Oberfläche (bandförmiger Querschnitt) eine Primärverklebung mit Glasfasermatte zu empfehlen.
- Die erzielten Haftspannungen liegen bei Verwendung von stabförmiger Bewehrung im Bereich der Scherfestigkeit des Holzes, die zwischen 4,0 und 6,0 N/mm^2 (Holzart Fichte) liegt. Bei einer Verklebung von Holz mit einer ovalen Stahlbewehrung (Spannstahl St 140/160), der in einer rechteckigen Nut eingeklebt wurde, liegen die Werte etwas darüber.

5 Last-Durchbiegungskurve von Trägern der Serien 3.2, 3.3, 3.4 und 3.6



4. Am besten geeignet sind Epoxid- und Polyesterharze. Diese Klebstoffe lassen sich bis zu einem Mischungsverhältnis von 1 : 2 und 1 : 3 mit Quarzsand verfüllen, ohne daß die Haftspannung wesentlich abnimmt. Dadurch kann der Preis beträchtlich reduziert werden. Mit Polyesterharz und einem entsprechenden Füllstoff läßt sich die preiswerteste Verklebung realisieren.

Wirkung einer Bewehrung auf die Tragfähigkeit von Holzträgern

Bewehrte Träger weisen eine höhere Tragfähigkeit auf (Bilder 4 und 5).

Die relativ großen Streuungen der Eigenschaften des Holzes (Festigkeit, Elastizitätsmodul) können durch homogenere Bewehrungsmaterialien verringert werden. Unter langzeitiger Last weisen bewehrte Träger eine geringere Kriechverformung als unbewehrte Träger auf.

Die Tragfähigkeit von bewehrten Trägern ist vom Bewehrungsmaterial und vom Bewehrungsanteil im Holzquerschnitt abhängig. Sie ist um so größer, je höher das Verhältnis der Elastizitätsmoduln zwischen Bewehrung und Holz ist. Bezogen auf ein be-

stimmtes Bewehrungsmaterial, steigt das Verhältnis proportional zur Verminderung der Holzqualität. Daraus ergibt sich, daß die ökonomische Effektivität bewehrter Träger mit der Verwendung von Holz minderer Güte steigt. Damit wird der Einsatz bisher noch nicht genutzter Holzarten (z. B. Pappelholz) unter Umständen ökonomisch sinnvoll.

Bild 6 verdeutlicht diese Erkenntnis für einen speziellen Querschnitt und für verschiedene Festigkeitsklassen. Es ist zu erkennen, daß bei Verwendung von Stahl als Bewehrung bereits niedrige Bewehrungsprozentätze ausreichen, um beim Einsatz von Nadelholz der Güteklasse III und schlechter die Festigkeit der Güteklasse I zu erreichen. Aufgrund des niedrigeren Elastizitätsmoduls muß bei Verwendung von GUP-Materialien als Bewehrung der Querschnittanteil im Vergleich zur Stahlbewehrung entsprechend vergrößert werden (Tabelle 2). Weitere Informationen werden in [4] gegeben.

Vorspannung von Holzkonstruktionen

Das Prinzip der Vorspannung wurde durch das Institut für Industriebau bei der Errichtung eines Fachwerkturnes erfolgreich erprobt [5] [6]. Über die Ergebnisse weiterer Untersuchungen soll zu einem späteren Zeitpunkt noch berichtet werden. Deshalb werden an dieser Stelle nur einige Grundgedanken geäußert.

Mit dem Vorspannen einer Konstruktion bzw. eines Bauteils wird das Ziel verfolgt, die unter Gebrauchsbelastung auftretenden Spannungs- und Formänderungszustände aktiv, d. h. zielgerichtet und dem Zweck entsprechend zu beeinflussen. Die durch Vorspannkraft erzeugten Spannungen sind im Vorzeichen den unter Last erzeugten Spannungen entgegengerichtet, so daß die durch Überlagerung beider Spannungszustände sich ergebenden endgültigen Spannungen die zulässigen Werte nicht überschreiten.

Die bisher durchgeführten experimentellen Untersuchungen verdeutlichen, daß in Abhängigkeit von der Größe des Vorspannmomentes selbst bei Verwendung von Holz minderer Güte eine Erhöhung des Bruchmomentes erreicht wird. Bild 7 zeigt erste Ergebnisse von experimentellen Untersuchungen in der DDR.

Bei Ausnutzung des Prinzips Vorspannung mit Verbund, der mit den in der DDR hergestellten Klebstoffen realisierbar wäre, wird das Bruchmoment entsprechend den ideellen Querschnittswerten weiter erhöht. Vorgespannte Träger ohne Verbund verhalten sich elastisch bis zum Bruch.

Geht man davon aus, daß mittels Vorspannung ein lastunabhängiger Spannungszustand erzeugt werden kann, so wird klar, daß die Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Zugfestigkeit bei

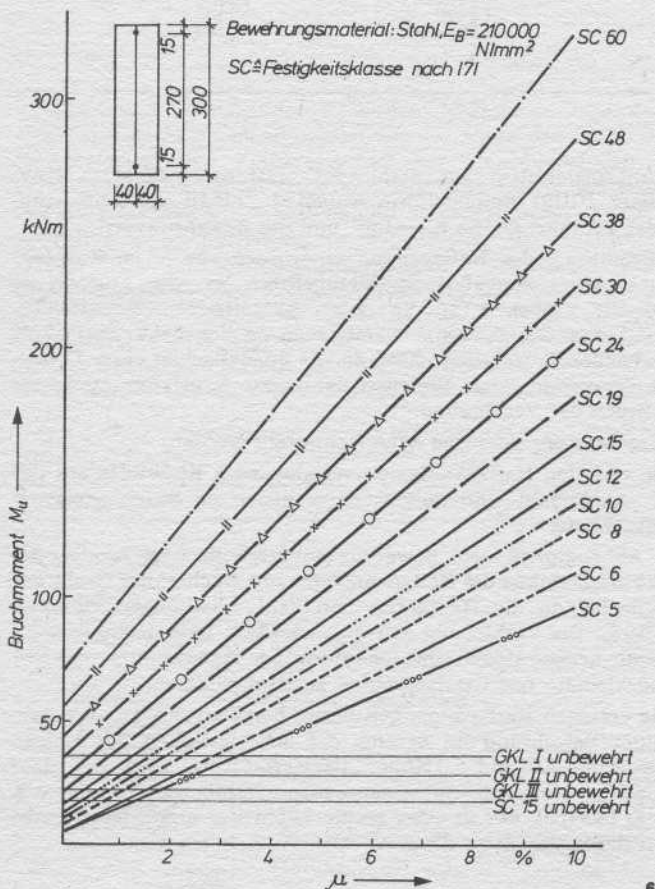
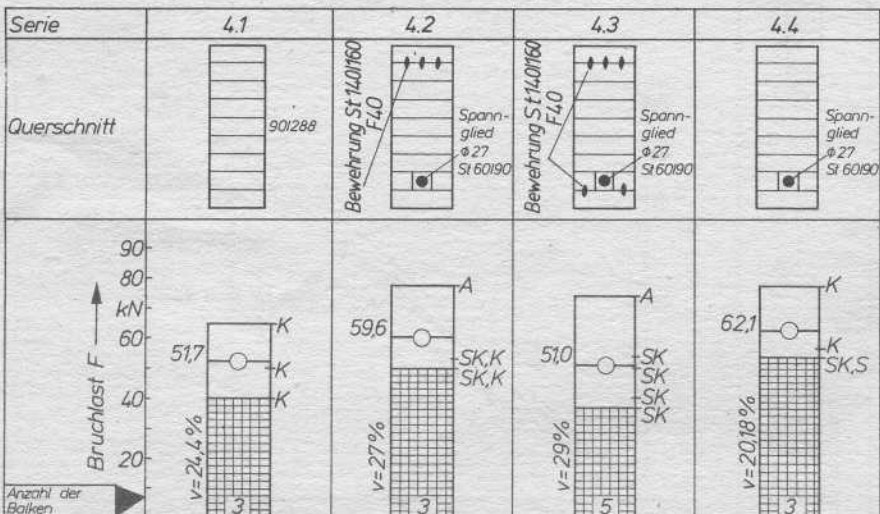


Tabelle 2 Erhöhung der Festigkeit von Bauholz verschiedener Güteklassen

Vorhandene Güteklasse / Festigkeitsklasse	Angestrebte Tragfähigkeit der Güteklasse (bezogen auf 5%-Fraktile der Festigkeit nach CIB-Norm)	Erforderlicher Bewehrungsprozentatz bei Bewehrungsmaterial	
		Stahl	GUP ($E_B = 30500 \text{ N/mm}^2$)
II	I	0,45%	2,85%
III	I	0,85%	5,75%
SC 15 nach [7]	I	1,25%	8,70%



6 Bruchmoment für einen bewehrten Holzquerschnitt in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse des Holzes und dem Bewehrungsprozentatz

- 7 Bruchlast vorgespannter Balken (ohne Verbund)
- K Bruch, ausgehend von der Keilzinkung der äußersten Lage im Zugbereich
 - L Bruch durch Abheben der untersten oder obersten Brettlagen (Fehlverklebungen)
 - S Bruch des Holzes infolge Schubs
 - A Bruch, ausgehend von großem Ast der äußersten Lage im Zugbereich
 - SK Bruch infolge Schubversagens der Klebfuge (Fehlverklebung)
 - v Variationskoeffizient

nicht vorgespannten Holzträgern durch Überdrücken der Zugzone gezielt beeinflusst werden kann. Damit kann die gegenüber der Zugfestigkeit höhere Druckfestigkeit des Bauholzes besser als bisher ausgenutzt werden. Gleichzeitig wird dadurch der Einsatz von Bauholz mit vergleichsweise geringer Biegezugfestigkeit (niedere Güte- oder Festigkeitsklassen) möglich.

Ökonomische Vorteile durch die Anwendung beider Prinzipien im Holzbau

Aus der Sicht der höheren Veredlung entstehen durch die Anwendung der Prinzipien Bewehrung und Vorspannung folgende ökonomische Vorteile:

- Senkung des spezifischen Holzverbrauchs bei gleichzeitigem Erhalt der spezifischen Eigenschaften des Holzes, wie hohe Korrosions- und Brandstabilität. Der Holzverbrauch kann in Abhängigkeit von der Belastung und Querschnittsgestaltung um 20 bis 50 % gesenkt werden.
- Veredlung von Nadelholz niedriger Güte, z. B. GKL III, oder von bisher für Baukonstruktionen noch nicht genutzten Holzarten durch Erhöhung ihrer Tragfähigkeit
- Verminderung des Bauaufwandes durch Erhöhung der Stützweite bei gleichbleibender Trägerhöhe
- bessere Ausnutzung der Fertigungsanlagen für Brettschichtkonstruktionen: Durch Verminderung der Querschnittshöhen können die sich aus der Fertigungsanlage ergebenden statischen Einsatzgrenzen für Brettschichtkonstruktionen erweitert werden.

Die ökonomische Effizienz der Anwendung beider Prinzipien wird jedoch durch einen höheren Aufwand (zusätzliche hochfeste Materialien, Arbeitsaufwand bei der Herstellung) beeinflusst.

Wie internationale Ausführungsbeispiele zeigen, hat die Ausnutzung der Prinzipien Bewehrung und Vorspannung bei Holzkonstruktionen zu beachtlichen Effektivitätssteigerungen sowohl bei Einzelbauwerken als auch bei Serienkonstruktionen geführt.

Berücksichtigt man beim ökonomischen Vergleich von speziellen Anwendungsfällen die zusätzlichen Aufwendungen, so liegt die Kosteneinsparung zwischen 10 und 30 % gegenüber nicht bewehrten oder nicht vorgespannten Holzkonstruktionen.

Die Aufgabe des Ingenieurs besteht nun darin, die Konstruktion oder das Bauteil so zu bemessen, daß die zusätzlichen Aufwendungen nicht die technisch-ökonomischen Vorteile, die mit der Anwendung entstehen, aufheben. Hierfür werden in weiteren Publikationen die notwendigen ingenieurtheoretischen Grundlagen bereitgestellt.

Literatur

- [1] Junker, W.: Für alle Bauleute ist Ehrensache: Das Beste zum XI. Parteitag der SED. Referat des Ministers für Bauwesen auf der 8. Baukonferenz der SED. Neues Deutschland vom 14. Juni 1985.
- [2] Ehlbeck, J.: Möglichkeiten zur Erhöhung der Querdruk- und Querspannbarkeit von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 43 (1985) S. 105-109.
- [3] Rug, W.: Experimentelle und ingenieurtheoretische Untersuchungen zur Bewehrung und Vorspannung von Ingenieurholzkonstruktionen. Forschungsbericht (unveröffentlicht). Bauakademie der DDR, Berlin 1985.
- [4] Rug, W.: Bewehrte Holzkonstruktionen. Holztechnologie 27 (1986), in Vorbereitung.
- [5] Kreifig, W.: Rug, W.: Errichtung einer Förderbrücke in Holzklebbauweise. Bauplanung - Bautechnik 38 (1984) 3, S. 115-117 und 120.
- [6] Rug, W.: Die Anwendung des Vorspannprinzips im Ingenieurholzbau. In: Rekonstruktion im VEB Chemiekombinat Bitterfeld, Bitterfeld/Berlin, Dezember 1984.
- [7] CIB Structural Timber Design Code. CIB Report 1983, Publication 66, CIB W18-group, Sixth Edition, January 1983.



Fachkolloquium Instandsetzung von Holzkonstruktionen

Am Donnerstag, dem 24. April 1986, 10.30 bis 16.00 Uhr, 5500 Nordhausen, Filmtheater „Der Neuen Zeit“

Gemeinsame Veranstaltung mit der Staatlichen Bauaufsicht
Die Zulassung zum Fachkolloquium kann nur bei Beantwortung von Vorbereitungsfragen erteilt werden.

Einladungen über Informationsleitstelle Land- und Meliorationsbau des Bezirkes Erfurt, 5301 Mellingen, Umgehungsstr. 78 b, Telefon Mellingen 3 31; Telex 618 910 zbwld dd

Zur Theorie des elastischen Verbundes mit Endverankerung im Grenzzustand der Nutzungsfähigkeit

Berechnung endverankerter Stahlprofilblech-Verbunddecken

Dipl.-Ing. Dieter Wostrack, KDT,
Bauakademie der DDR, Institut für Industriebau

1. Vorbemerkung

Zum Ersatz hochbelasteter Geschoßdecken in Rekonstruktionsobjekten des Industriebaus werden bei eingeschränkten Baufreiheitsbedingungen (keine Kranmontage oder Aufstellung von Gerüsten) häufig monolithische Stahlbetonplatten auf einer verlorenen Schalung aus trapezprofilierem Stahlblech ausgeführt. Ökonomische Untersuchungen haben ergeben, daß bei Heranziehung des Stahlprofilblechs zur Tragwirkung der Decke durch Anordnung schubfester Verbindungen mit der Stahlbetonplatte Stahleinsparungen von 20 bis 30 % realisiert werden können. Hinsichtlich der schubfesten Verbindung beider Bauteile zu einer Stahlprofilblech-Stahlbeton-Verbunddecke erwies sich dabei die Lösung mittels Endverankerungen als effektivste, wenn nicht bereits „schubfertige“ Stahlprofilbleche (mit Sicken, Nocken, Löchern u. a.) vom Walzwerk zur Verfügung gestellt werden können. Da derartige endverankerte Stahlprofilblech-Verbunddecken ein anderes Tragverhalten als Decken mit kontinuierlichem Flächenverbund zeigen, wurden im Institut für Industriebau der Bauakademie der DDR im Rahmen des Staatsauftrages „Rekonstruktion“ auf der Basis des internationalen Erkenntnisstandes eigene theoretische Untersuchungen angestellt und durch Traglastversuche an Originaldeckenelementen abgesichert. Die daraus entwickelte Theorie eines elastischen Verbundes mit Endverankerung zur Berechnung entsprechend konzipierter Verbunddecken und gegebenenfalls auch Verbundträger wird im folgenden zunächst für den Grenzzustand der Nutzungsfähigkeit vorgestellt.

2. Internationaler Stand in den Berechnungsverfahren

Stahlprofilblech-Verbunddecken werden auch international zu einem großen Teil mit Endverankerungen als Verbundsicherung ausgeführt. Dazu befestigt man die Profilbleche an ihren Auflagerecken auf Deckenträgern oder Unterzügen aus Stahl oder Stahlbeton mit Einbauteilen überwiegend mittels Kopfbolzendübel unter Einsatz der Bolzenschweißtechnik im Durchschweißverfahren. Weitere Maßnahmen zur Verbindung der Profilbleche mit dem Aufbeton werden nicht getroffen. Längere Zeit setzte man das Tragverhalten derartiger Stahlprofilblech-Verbunddecken mit Endverankerung bei offener Profilblechgeometrie (Trapezprofile) dem eines Bogen-Zugband-Modells bei gleichmäßig verteilter Belastung oder eines Sprengwerk-Modells bei Einzellasten gleich. Inzwischen sind durch die Analyse umfangreicher Traglastversuche diese Modellvorstellungen dahingehend korrigiert worden, daß bei einer gewissen Mindeststeifigkeit der Endverankerungen Haftschubspannungen zwischen Profilblech und Aufbeton aktiviert werden, die bis zur Traglast der Verbunddecke stabil bleiben [1] [2] [3]. Ihre Größe im Grenzzustand der Tragfähigkeit von $\tau = 0,080 \text{ N/mm}^2$ [3] nimmt sich gegenüber den nach TGL 33452 für die unbewehrte Verbundfuge zwischen Fertigteil-Deckenelementen aus Stahlbeton oder Spannbeton und einem Aufbeton zulässigen Werten von z. B. $\tau = 0,45 \text{ N/}$