# Räumliche Bewehrungsnetze in Verbund mit Superleichtbeton - ein neues Bauverfahren

Autor(en): **Fehlmann, Hans Beat / Grenacher, Mathis**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 6: **Prof. Dr. Bruno Thürlimann zum 60. Geburtstag**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75062

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

breite Band des Wissens», das sich der junge Ingenieur an der Hochschule erworben hat, muss durch laufende Weiterbildung immer mehr verbreitert werden. Jetzt können «Vertiefungsrichtungen» gewählt werden bzw. jetzt muss sich der junge Mann für solche entscheiden, weil die ihm übertragene Arbeit sie erfordert. Es wird sicher gelingen, wenn er alle Ratschläge, wie oben erwähnt - oder wenigstens einen Teil davon - befolgt hat.

Ganz zum Schluss pflege ich bei solchen Gelegenheiten noch einen Punkt zu erwähnen, er gehört aber wirklich nicht unbedingt hieher. Aber wenn jemand es trotzdem wissen möchte: Heiraten Sie die richtige Frau! Nicht unbedingt die schönste, reichste usw., sondern, die Sie versteht, die Sie fördern hilft, unterstützt, die Sie gelten lässt. Aber: Halten Sie auch Gegenrecht!

*Referat gehalten an der Exkursion des Institutes für Baustatik und Konstruktion der ETHZ in Olten.*

Adresse des Verfassers: *A. Etterlin*, dipl. Bauing. ETH, Kreisdirektion II SBB, Schweizerhofquai 6, 6002 Luzern.

# Räumliche Bewehrungsnetze in Verbund mit Superleichtbeton - ein neues Bauverfahren

Von Hans Beat Fehlmann, Küsnacht, und Mathis Grenacher, Brugg

**Gute Wärmeisolationseigenschaften und grosse Tragkapazitäten sind widersprüchliche Anforderungen an einen Baustoff. Mit neu entwickelten räumlichen Bewehrungsnetzen ist es gelungen, einen wirtschaftlichen Verbundstoff zu schaffen, der beiden Anforderungen gerecht wird. Besonders interessant ist die Verwendung eines Superleichtbetons, der dank dem geringen Eigengewicht rationelle neuartige Baumethoden ermöglicht. Die räumlichen Bewehrungsnetze sind sehr einfach zu verlegen. Die Fabrikation dieser Bewehrung ist so, dass erstmals eine wirtschaftliche Verzinkung möglich ist. Durch den Verbund mit Superleichtbeton wird eine grosse Brandresistenz erreicht.**

**Das Tragverhalten der so bewehrten Elemente ist sehr einfach zu erfassen. Die Bewehrung übernimmt die Zug- und Druckkräfte, und der Füllstoff mit besten Isolationseigenschaften hat in statischer Hinsicht nur die Aufgabe, der dünnen Bewehrung die erforderliche Knicksteifigkeit zu gewährleisten. Versuchsresultate bestätigen die einfachen Rechenannahmen.**

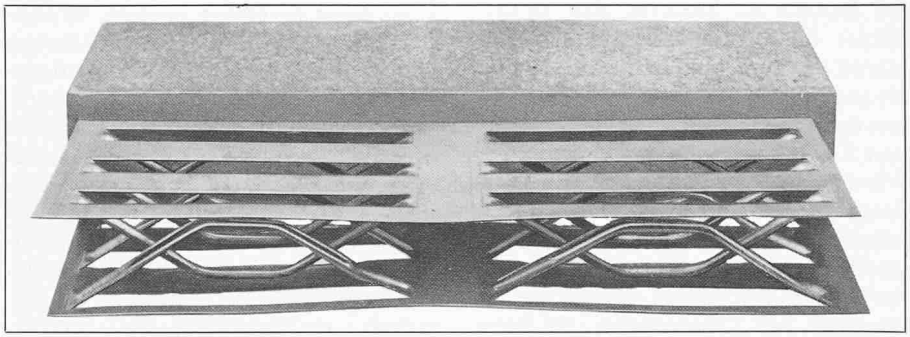
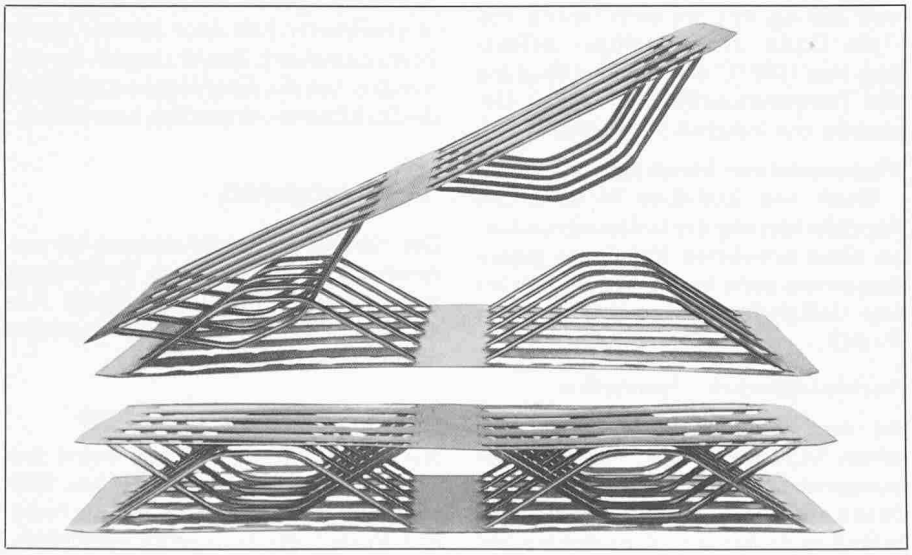


*Bild 1. Modell der Verbundplatten*

*Bild 2. Räumliche Bewehrung*



## Tragende Plattenelemente mit geringem Eigengewicht und bester Wärmeisolation

### Gebräuchliche Baumethoden unter Beachtung der Wärmeisolation

Heute gebräuchliche Baumethoden sind so aufgebaut, dass eine Tragkonstruktion (z. B. ein Rahmen, ein Fachwerk, ein Plattentragwerk) erstellt und anschliessend eine Isolation vorgesetzt, eingebaut oder hintersetzt wird. Auf diese Weise können mit konventionellen Methoden Bauwerke mit hoher Wärmeisolation hergestellt werden. Dieses Verfahren hat aber den Nachteil, dass durch den heterogenen Aufbau teure Sandwich-Konstruktionen erforderlich sind und kein annähernd monolithischer Baustoff mehr zur Anwendung kommt.

### Leichtbaustoffe

*Hochisolierende Baustoffe,* gekennzeichnet durch sehr grosse Lufteinschlüsse in feinster Porenverteilung, haben *schlechte Trageigenschaften.* Superleichte Isolierstoffe können nicht als selbsttragende, schwer belastbare Baustoffe verwendet werden. Aus diesem Grund muss der Isolierstoff in eine Tragkonstruktion derart integriert werden, dass die Tragkonstruktion die vollen Kräfte übernimmt und der Füllstoff lediglich zur Aussteifung und hauptsächlich zur Isolierung verwendet wird.

Diese Erkenntnis führt dazu, neue Wege zu suchen, um Isolierstoffe in Tragkonstruktion umzuwandeln oder, anders gesagt: dem Verbundbaustoff beide Aufgaben zuzuweisen.

### Ein neues Bauverfahren

Mit den *räumlichen Bewehrungsnetzen* ist der aufgezeigte Weg möglich geworden. Verbundplatten, wie sie in Bild 1 gezeigt sind, bestehen aus Isolierstoff, der mit dem räumlichen Bewehrungsnetz (Bild 2) durchwoben ist. Die *enge Verwebung der Bewehrung mit dem Füllstoff* ist für das Behindern des Knikkens der Druckbewehrung von grosser Bedeutung. Mit *Distanzhaltern,* den so-

genannten *Brücken,* wird das tragende Blech im Element verankert.

Die Anordnung dieser Distanzbrücken erfolgt derart, dass sie mehrere Aufgaben übernehmen können:

- Genaue Einhaltung der Distanz zwischen Zug- und Druckbewehrung;
- Ein enges Fachwerk aus Zug- und Druckstreben ist in der Lage, Schubkräfte zu übernehmen. Dadurch werden Schubrissweiten vermindert und das Rissebild optimiert;
- Verankerung der Druckbewehrung, Verhinderung von Knickung.

Die räumliche Bewehrung übernimmt die gesamten Kräfte. Damit ist es möglich, leichteste Baustoffe zu verwenden. Ein Polyurethan mit einem Raumgewicht von etwa 50 kg je m³ mit dieser Bewehrung kann beispielsweise zu Tragkonstruktionen führen, die gegenüber herkömmlichen Baumethoden nur noch etwa 3–5% des Eigengewichtes aufweisen. Damit sind *grosse Spannweiten* mit hochisolierendem Baustoff zu realisieren.

## Räumliche Bewehrung

Die *Herstellung von Bewehrungsstählen aus dünnen Blechen* wird heute von Seite der Stahlindustrie positiv beurteilt und technisch beherrscht. Dünne bis dünnste Bleche (decapiert oder verzinkt) werden im Automobilbau (besonders im Karosseriebau) häufig verwendet. Es zeigt sich, dass die Anforderungen, die an die räumliche Bewehrung gestellt werden, ähnlich gelagert sind.

### *Stahlqualität*

Heute zur Verfügung stehende Stähle zeichnen sich aus durch gute Verformbarkeit, grosse Bruchdehnung und hohe Genauigkeit. Sie sind decapiert oder verzinkt erhältlich und weisen Bruchdehnungen im Bereich von 20–35% und Bruchfestigkeiten bis über 450 N/mm² auf.

Wünschbare Gewichtsreduktionen im Fahrzeugbau verlangen tendenziell bessere Stähle, so dass in absehbarer Zeit Stähle mit Festigkeiten von 700–800 N/mm² mit Blechstärken von 0,4 mm erhältlich sein werden.

### *Lieferkapazität und Stahlpreise*

Es wird geschätzt, dass z. Z. die Blechstrassen in Europa über eine freie Kapazität von jährlich etwa 1 000 000 t für die Automobilindustrie verfügen. In diesem Zusammenhang ist es interessant, dass von seiten der Stahlwerke die Preise in Zukunft für Blechware als eher weniger steigend beurteilt werden als solche für konventionelle Bewehrung.

### *Verbundwirkung*

Die Verwendung dünner Bleche als Bewehrung hat den Vorteil der grösseren spezifischen Oberfläche gegenüber Rundstahl. Bei gleicher Haftkraft des Füllstoffes ergibt sich eine wesentlich bessere Haftung bezogen auf den tragenden Bewehrungsschnitt. Das heisst, es ist normalerweise auch bei aussenliegender Bewehrung nicht notwendig, eine Verankerung zur Verhinderung des Knickens vorzusehen. Ein Ausknikken der relativ dünnen Bewehrung wird zudem durch die Brücken weitgehend vermieden. Sollte die Verankerung in speziellen Fällen nicht genügen, kann durch das Anbringen von Ankernägeln ein Ausknicken in der Druckzone noch zusätzlich verhindert werden.

### *Verformungseigenschaften*

Räumlich bewehrte Verbundbaustoffe passen sich durch die Verwendung von hochdehnbaren Stählen dem effektiven Spannungszustand im Bauwerk an. Grosse Spannungsumlagerungen sind ohne grosse Rissebildung möglich. Damit wird die Tragwerksicherheit erhöht ohne nachteilige Einflüsse im Gebrauchszustand.

### *Wärmeisolation*

Die Verwendung von dünnen Blechen zur Bewehrung gestattet, den Isolierkörper durchzubewehren. Der Querschnitt des Stahls in den Bügeln ist derart gering, dass die Wärmeleitfähigkeit unwesentlich ist; das heisst, Wärme und Kälte werden nicht weitergeleitet. Wärme- und Kältebrücken sind dadurch nicht vorhanden. Diese Eigenschaft führt dazu, dass hoch hitzebeständige tragende Platten hergestellt werden können, die nur von der Isolierfähigkeit des Grundstoffes abhängig sind. Tests haben gezeigt, dass bei 5 cm Überdeckung der Bewehrung mit hochisolierendem Beton (Raumgewicht = etwa 500 kg/m³) bei einer Wand von 17 cm Dicke und einseitiger Befeuerung von 1100 °C während 3,4 Stunden eine Temperaturerhöhung auf der Gegenseite von lediglich 17 °C auftritt.

Wärmeisolations-Messungen ergeben $\lambda$ – Werte von 0,08–0,09 W/m²K. Die Verschlechterung der Isoliereigenschaften eines bewehrten Elementes gegenüber einem nicht bewehrten Baukörper liegt lediglich bei etwa $\lambda$ = 0,01 W/m²K.

### *Feuerbelastbarkeit – Feuerzellen*

Bei der Verwendung von anorganischem Superleichtbeton oder anderen anorganischen feuerresistenten Materialien ist eine sehr hohe Feuerbelastbarkeit erzielbar. Es ist nachgewiesen, dass bei Tragkonstruktionen die dem Feuer zugewandte Seite der Bewehrung für die Tragfähigkeit massgebend ist. Durch die Überdeckung der Bewehrung mit einer genügend hoch isolierenden, feuerbeständigen Masse ist die Feuerresistenz der Tragkonstruktion hoch.

Bei richtiger Anwendung der räumlichen Netzbewehrung sind die *einzelnen Räume Feuerzellen.* Massgebend sind die Fenster und Türen, die wesentlich schlechtere Resistenzeigenschaften haben als die Wände und Decken.

### *Korrosionsbeständigkeit*

Ohne wesentliche Mehrpreise ist es heute möglich, *sendzimierverzinkte Bleche* als Bewehrung zu verwenden. Sie haben die gleichen Qualitätseigenschaften wie unverzinkte Bleche. Die Verzinkung der Bewehrung bringt einen wesentlichen Schutz in den Baukörper, was gerade bei den heute sehr *aggressiven atmosphärischen Verhältnissen* (hoher Schwefelgehalt) und den immer *dampfdurchlässigen Baustoffen* wichtig ist.

Neueste Untersuchungen haben erwiesen, dass jeder Beton dampfdurchlässig ist und dass im Innern des Betons – sei es Schwer- oder Superleichtbeton – sich *Rückkondensationen* von Wasser bilden, die je nach Atmosphäre andere Substanzen enthalten können. Bewehrungen, sofern sie nicht als solche geschützt sind, können somit korrosionsgefährdet sein. Je höher die Dampfdurchlässigkeit des Baukörpers ist, desto höher ist auch die Korrosionsanfälligkeit im Innern des Baukörpers, d. h. ein Superleichtbaustoff muss mit einem *innern* Korrosionsschutz der Bewehrung versehen werden. Eine diesbezüglich wirtschaftliche Lösung ist im Gegensatz zu Rundstahl bei Blechen durch Verzinkung möglich.

Die hohe Rostanfälligkeit von vielen Bauwerken (auch Brücken usw.) wird in absehbarer Zeit dazu führen, korrosionsresistentere Bewehrungen zu verwenden, um die Alterungsbeständigkeit des Stahlbetons wesentlich zu erhöhen.

## Anwendungstechnik

Die räumliche Netzbewehrung ist von besonderem Interesse in Verbindung mit Superleichtbeton. Sie findet Anwendung bei der Ortbeton-Bauweise oder der Vorfabrikation.

### *Leichtbeton und Superleichtbeton*

Als Leichtbeton wird heute Beton mit spez. Gewichten von 1400 bis 1800 kg/m³ bezeichnet. Dieser Beton bietet den Vorteil des geringeren Gewichtes,

jedoch nicht den Vorteil der hohen Isolierfähigkeit.

Superleichtbeton hingegen ist ein Baustoff, der *hohe Isolierfähigkeit* hat. Der vom Verfasser neu entwickelte Superleichtbeton in der Gewichtsklasse 400 bis 800 kg/m³ hat sehr hohe spezifische Zugfestigkeiten, hohe Scherfestigkeiten sowie genügende Druckfestigkeiten.

Seine Zusammensetzung besteht prinzipiell aus Zement, Wasser, Styropor und evtl. Sand. Die Druckfestigkeit variiert zwischen 1,5 und 3,5 N/mm². Er kann in einem einfachen Mischer mit besonderem Rührwerk hergestellt werden und ist nach einer Mischzeit von drei bis vier Minuten verwendungsbereit. Die Rezeptur beträgt je nach Raumgewicht je Kubikmeter etwa 300 bis 350 kg Zement, Wasser-Zement-Faktor etwa 0,3–0,35; etwa 400 bis 800 Liter Styropor; etwa 4 Liter Schaum- und Stabilisierungsmittel. Die Preise dieses Superleichtbetons sind etwa 20 bis 30% tiefer als die für Normalbeton. Superleichtbeton kann in grossen Volumen transportiert werden, d. h. die Transportkosten sind niedriger. Zudem ist er fliessfähig wie Wasser und thixotrop (Bild 3).

Die *Thixotropie* dieses Superleichtbetons ist derart gut, dass ein Entmischen in jedem Fall vermieden werden kann und unter Zugabe von Verzögerer auch nach 24 Stunden im flüssigen Zustand (vor Abbindebeginn) Entmischungen nicht vorkommen. Superleichtbeton muss nicht wie Gasbeton mit Dampf nachgehärtet werden. Er hat hohe Hafteigenschaften und entwickelt durch seine kleine Masse sehr hohe Abbindetemperaturen und dadurch grosse Frühfestigkeiten.

### *Ortbeton*

Das geringere Eigengewicht des Superleichtbetons ermöglicht die Verwendung einer *leichten Schalung und Spriessung*. Die Bewehrung ist äusserst einfach zu verlegen, so dass auch ungelernte Leute in der Lage sind, nach kürzester Einführungszeit diese Arbeiten auszuführen. Verlegungspreise in der Grössenordnung von etwa 10% der bisherigen Armierungsverlegung sind durchaus erzielbar.

Gerade Armierungen können ohne weiteres mit den räumlichen Bewehrungsnetzen verbunden werden um die Vorteile beider Armierungsarten zu kombinieren.

Das Einbringen des Betons in eine fertig ausarmierte Decke geschieht mittels Pumpen. Da der Leichtbeton thixotrope Eigenschaften hat, ist das Pumpen sehr einfach und kann mit Schneckenpumpen vorgenommen werden. Die Leistung je Stunde ist gross und somit preisgünstig. Die durch die hohen Abbindetemperaturen bedingten Frühfestigkeiten lassen Ausschalzeiten von drei Tagen nach dem Giessvorgang des Betons zu. Die Decken sind nach 3–4 Tagen voll belastbar, da die Bewehrung Zug- und Druckkräfte übernimmt.

Die Vorspannung von Decken ist möglich. Die Vorspannkräfte werden aber nicht auf den Beton abgegeben, sondern es handelt sich dabei um eine vorgespannte Stahlkonstruktion.

Bedingt durch die Beschleunigung des Bauvorganges und die Vorteile des geringen Eigengewichtes sind Kosteneinsparungen in der Grössenordnung von 30 bis 50% bei Berücksichtigung sämtlicher Faktoren erzielbar. Das Bewehrungsgewicht als solches bleibt ungefähr in der Grössenordnung der bisherigen Bewehrung.

### *Vorfabrikation*

Bei der Vorfabrikation sind die Vorteile des geringen Eigengewichtes, der hohen Genauigkeit der Bewehrung und der grossen Frühfestigkeit offensichtlich. Vorfabrizierte Platten können direkt aus der Schalung auf den Transportwagen verladen oder bei Herstellung auf dem Bau direkt verlegt oder versetzt werden.

Durch die Verwendung von Superleichtbeton und das Aufeinanderlagern der Betonelemente in Batterieschalungen geht praktisch keine Wärme des Abbindeprozesses verloren, so dass der Beton sehr hohe Temperaturen erreichen kann und dadurch hohe Frühfestigkeit aufweist. 70–80% der Endfestigkeit ist nach zwei Tagen erreichbar. Die Verwendung der neu entwickelten Batterieschalungen (Bild 4), die mit einfachsten Mitteln gekippt werden können, gestattet, die Bewehrung horizontal aufeinanderzulegen, anschliessend zu kippen und vertikal mit thixotropem Fliessbeton zu verfüllen. In der Batterieschalung können Wände und Dekken im selben Arbeitsgang mit dem gleichen Beton hergestellt werden. Je nach Wand- oder Deckenstärke lassen sich 1000 bis 2000 m² Bauelemente in einem Arbeitsprozess herstellen.

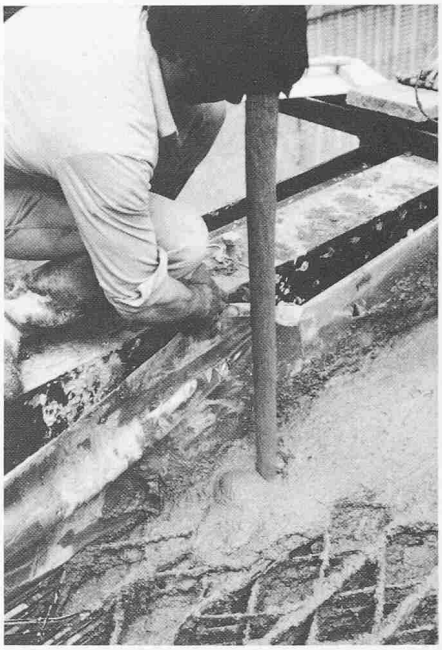
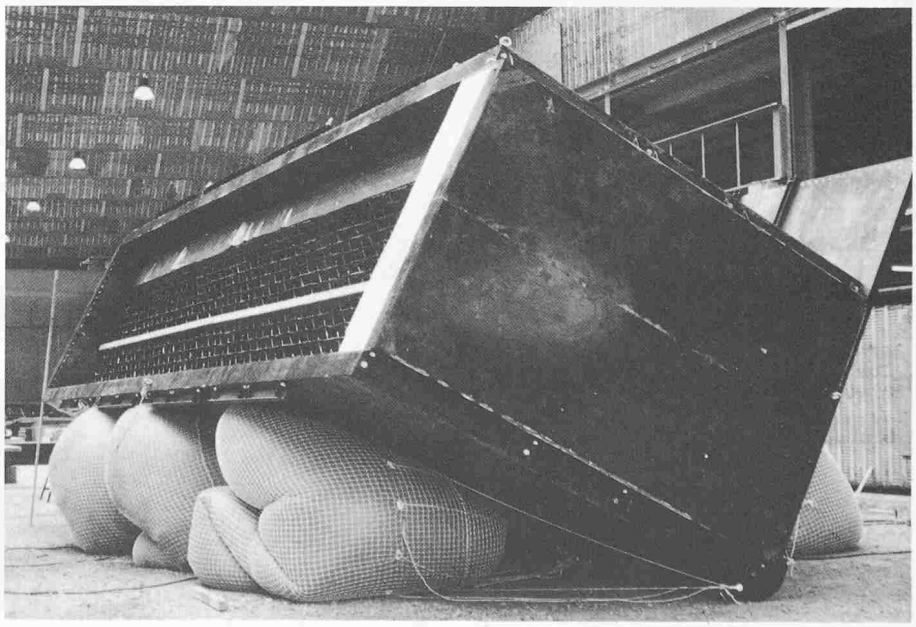


*Bild 3. Fliessfähiger Superleichtbeton*

Vorfabrizierte Träger können noch in der Schalung vorgespannt werden, so dass sie auf der Baustelle ohne Spannarbeit direkt versetzt werden können.

Da es sich beim räumlich bewehrten Element im wesentlichen um eine Stahltragkonstruktion handelt, können die Verbindungen als Stahlverbindungen ausgebildet werden, ohne dass Pro-

*Bild 4. Batterieschalung*



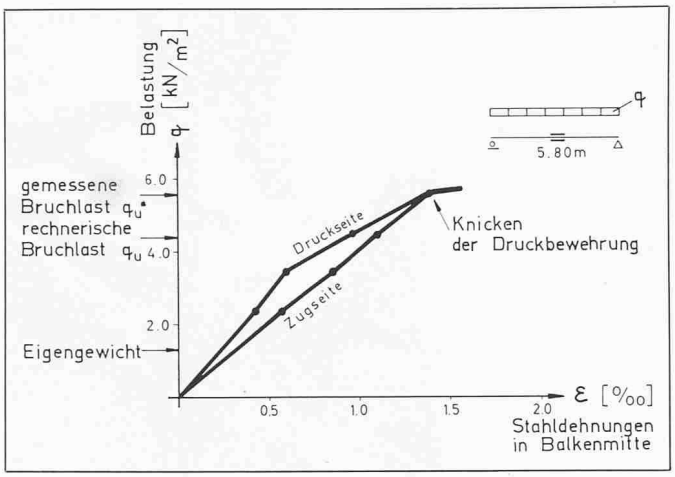



*Bild 5. Verformungen der räumlichen Netzbewehrung*

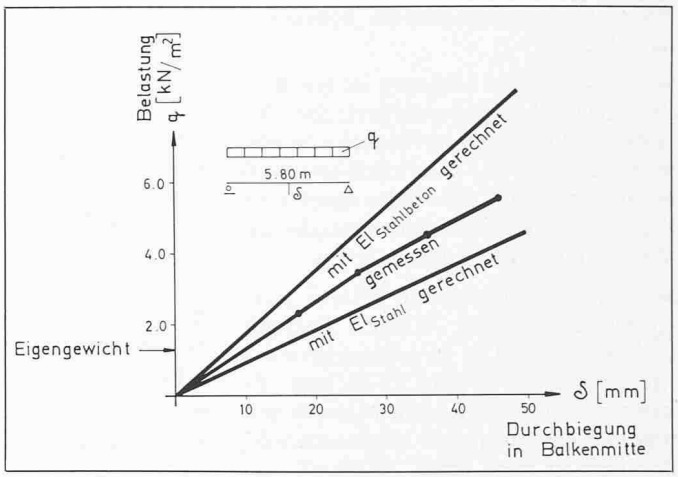



*Bild 6. Durchbiegung der räumlich bewehrten Platten*

bleme der Kraftübertragung zwischen Stahl und Beton auftreten. Hohe spezifische Lastübertragungen sind möglich. Als Verbindungselemente sind Nieten, Bolzen usw. anwendbar, wie sie im Stahl- und Flugzeugbau bekannt sind.

*Bezugsquellen und Patentierung*

Räumliche Bewehrungsnetze sind heute über den Fachhandel beziehbar. Die Bewehrung ist in allen wichtigen Ländern patentiert.

## Tragverhalten der räumlich bewehrten Platten

### Tragmodell für die Bemessung

Wie bereits erwähnt, sind gut isolierende Baustoffe wegen der Luftporen nicht geeignet, grosse Kräfte zu übernehmen. Die *Tragfähigkeit wird deshalb durch die räumliche Netzbewehrung ermöglicht.* Der Füllstoff (z. B. Superleichtbeton) hat in statischer Hinsicht nur die Aufgabe, die Lasten zu verteilen und der dünnen Blechbewehrung die erforderliche Knicksteifigkeit zu gewährleisten. Die bei Biegebeanspruchung auftretenden Zug- und Druckkräfte werden primär von der räumlichen Netzbewehrung übernommen, so dass bei der Bemessung von einem reinen Stahlquerschnitt ausgegangen wird. Die Zug- und Druckkräfte im Beton werden dabei vernachlässigt. Die erwähnten Brücken, die aus dem Blech herausgestanzt werden, haben die Funktion von Distanzhaltern, bewirken eine optimale Verbindung von Füllstoff und Bewehrung und sind auch in der Lage, Schubkräfte zu übertragen.

### Versuche

Mit Biegeversuchen sind die Annahmen für die Bemessung überprüft worden. Neben Versuchen im Laboratorium der Abteilung Bauwesen an der *Universität Dortmund* haben die Verfasser dieses Berichtes eigene Versuche durchgeführt. Alle diese Versuche zeigen gute Übereinstimmung mit den dem Rechenmodell zu Grunde gelegten Annahmen.

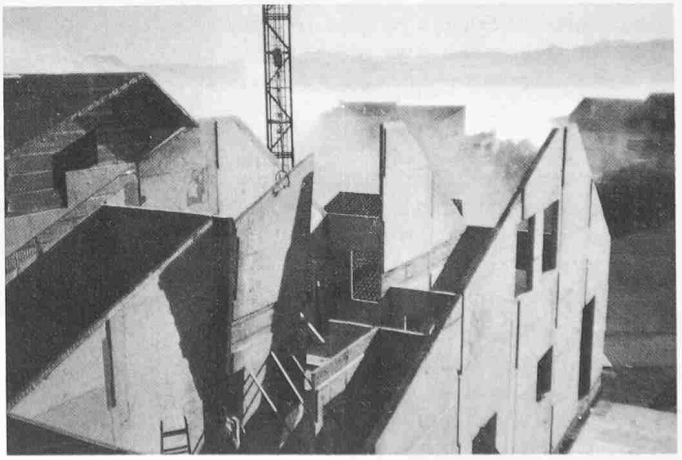
Die eigenen Biegeversuche sind unter anderem mit Balken von Spannweiten von $L$ = 5,80 m, Betonquerschnitten von $B \times H$ = 500×150 mm und beidseitiger Bewehrung ohne Betonüberdekkung mit Blechstärken $D$ = 0,75 mm durchgeführt worden. Mit einer wirksamen Stahlfläche von 2,6 cm² je Seite ergibt sich ein Bewehrungsgehalt von $\mu$ = 0,35%. Als Füllstoff ist ein Superleichtbeton mit einem Raumgewicht von etwa 800 kg/m³ und einer Würfeldruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Durchführung der Versuche drei Tage nach dem Betonieren von $\beta_{w3}$ = 1,5 N/mm² verwendet worden. Über diverse Lastverteilbalken ist der Versuchsbalken mit einer annähernd gleichmässig verteilten Last $q$ belastet worden.

Hauptzweck dieser Versuche ist die Untersuchung des Zusammenwirkens von räumlicher Bewehrung und Füllstoff bis zum Bruch des Biegebalkens gewesen. Bild 5 zeigt die gemessenen Stahlverformungen in der Mitte des Versuchsbalkens. Das Versagen des Balkens ist durch das Ausknicken des Druckbleches ungefähr beim Erreichen der Fliessgrenze eingeleitet worden. Die rechnerische Bruchlast $q_u$ unter Vernachlässigung der Betonbeanspruchung ergibt sich für die Stahlqualität Fe 360 (St 24/37) mit einer Fliessspannung von $f_y$ = 235 N/mm² zu:

$$q_u = \frac{8\,M_y}{l^2} = \frac{8\,A_s f_y H}{l^2} = 2{,}2\ \text{kN/m}' = 4{,}4\ \text{kN/m}^2$$

*Bild 7. Bewehrte Bodenplatte vor dem Betonieren*

*Bild 8. Vorfabriziertes Wohnhaus mit Verbundplatten aus Polyurethan*



Der Vergleich mit der gemessenen Bruchlast $q_u^*$ von 5,6 kN/m² zeigt die in der Rechnung vernachlässigte mittragende Wirkung der Betondruckzone. Aus diesem Vergleich kann die am Würfel gemessene Betonfestigkeit von 1,5 N/mm² näherungsweise bestätigt werden.

Bild 6 zeigt die Durchbiegung in der Mitte eines Versuchsbalkens in Abhängigkeit von der Belastung. Erwartungsgemäss liegen die gemessenen Durchbiegungen zwischen den Werten, die sich bei einer Berechnung nur mit dem Stahlquerschnitt und denen mit dem ungerissenen Stahlbetonquerschnitt ergeben. Dabei ist für den verwendeten Beton ein E-Modul von 5000 N/mm² angenommen worden.

Dank der optimalen Verteilung der Bewehrung und der starken Verbügelung durch die herausgestanzten Brücken sind bis zur Bruchlast nur geringe Rissweiten beobachtet worden. Die verwendete räumliche Netzbewehrung hat auch auf den Gebrauchszustand einen sehr günstigen Einfluss.

### Schlussfolgerung

Die Versuche zeigen, dass dank der räumlichen Netzbewehrung tragende Elemente möglich werden mit Füllstoffen, die selbständig keine grosse Tragkapazität haben. Damit gelingt es, einen Verbundstoff zu schaffen, der beste Isolationseigenschaften und zudem eine grosse Tragfähigkeit besitzt. Dank dem geringen Eigengewicht können grosse Spannweiten überbrückt werden.

Für die Bemessung wird nur der Stahlquerschnitt berücksichtigt. Die spezifische Haftung des verzinkten Stahlbleches ist ausserordentlich gut. Bei mehrlagiger Blechbewehrung oder sehr starken Blechen muss allenfalls eine zusätzliche Verankerung z. B. mittels Stahlnägeln vorgesehen werden.

Die Kombination von räumlichen Bewehrungsnetzen mit Superleichtbeton oder anderen Isolierstoffen hat sich bewährt und wird in Zukunft noch viele neue Anwendungsgebiete ermöglichen. Bilder 7 und 8 zeigen ausgeführte Bauten als Beispiele für das beschriebene Bauverfahren.

Adressen der Verfasser: *H.B. Fehlmann*, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro, Seestr. 140, 8700 Küsnacht, Abschnitt: «Tragende Plattenelemente mit geringem Eigengewicht und bester Wärmeisolation»; Dr. *M. Grenacher*, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro, Fröhlichstr. 29, 5200 Brugg, Abschnitt: «Tragverhalten der räumlich bewehrten Platten».

# Zur Berechnung und Bemessung von Fachwerkträgern mit Knotenplatten in eingeschlitzten Hölzern

Von Ernst Gehri, Zürich

Durch Aufgliederung des Querschnittes zu einem Fachwerkträger lässt sich der Baustoff Holz im Vergleich zum Vollquerschnitt, insbesondere für Biegeträger, besser nutzen. Das Holz wird dabei vorwiegend auf Zug und Druck parallel zur Faser beansprucht, so dass die Vorzüge des Baustoffes sowohl festigkeits- als auch steifigkeitsmässig voll zum Tragen kommen und dadurch ein wirtschaftlicher Einsatz möglich wird. Entscheidend ist allerdings die Verwendung leistungsfähiger Knotensysteme, wie sie u.a. in [1] dargestellt wurden.

Einige besondere Probleme der Berechnung und Bemessung von Fachwerkträgern wurden im Rahmen des *Fortbildungskurses zur Einführung in die Holzbaunorm* [2] behandelt. An der *Professur für Baustatik und Stahlbau der ETH Zürich* (Prof. Dr. *P. Dubas)* durchgeführte experimentelle und theoretische Untersuchungen konnten dabei z.T. bereits einbezogen werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind kürzlich als Institutsbericht erschienen [3].

Für Fachwerkträger wurde bisher ausschliesslich Nadelholz verwendet, wobei für kleinere Abmessungen vorzugsweise Schnittholz und für grössere Abmessungen bzw. wo besseres Aussehen und Formbeständigkeit erwünscht werden, Brettschichtholz eingesetzt wird. Angestrebt wird aber auch, besonders für stärker beanspruchte Fachwerke, die Verwendung von *Brettschichtholz aus Buche* [4].

## Tragwerksformen

Typische Tragwerksformen für Fachwerkträger sind in Bild 1 dargestellt. Grosse Diagonal- oder Strebenkräfte bedeuten stärker dimensionierte Stäbe sowie entsprechend höher belastete Knotenpunkte.

Bei der Dreiecksform bilden die Gurtungen das Haupttragsystem, während die Diagonalen oder Füllungsglieder eine sekundäre Funktion (zur Ableitung der direkt auf den Gurt wirkenden Lasten) ausüben (Bild 2).

Beim parallelgurtigen Fachwerkträger haben Gurtungen und Diagonalen eine gleichwertige Funktion. Die Anschlüsse und somit auch die Knoten werden entsprechend hoch belastet. Nur bei Verwendung leistungsfähiger Knotensysteme sind bei einer derartigen Trägerform wirtschaftliche Lösungen zu erwarten.

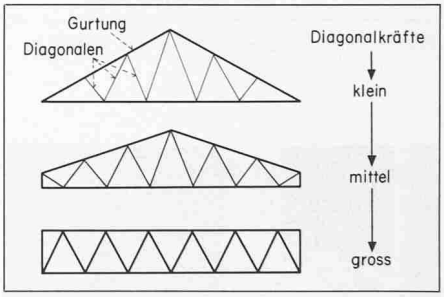



*Bild 1. Häufig vorkommende Trägerformen für Dachtragwerke*

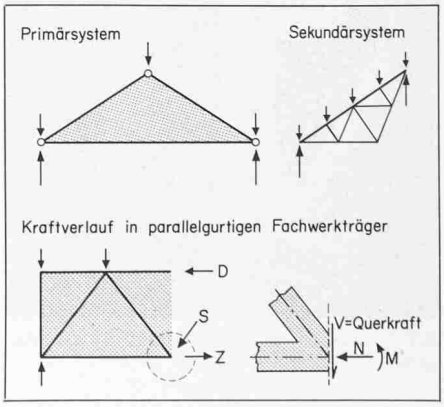



*Bild 2. Beeinflussung der Tragwirkung durch die Trägerform*

## Betrachtungen an einem parallelgurtigen Fachwerkträger

### Allgemeines

Die in [3] beschriebenen Untersuchungen beschränkten sich auf parallelgurtige Fachwerkträger; die Ergebnisse sind jedoch im wesentlichen übertragbar auf