

Mut zu Neuem

10 m frei spannende Holz-Beton-Verbund-Flachdecke

Schon 1998 plante die LV & C AG, ein Schweizer Investmentunternehmen, die Erweiterung der Büroflächen für ihren Mieter, die Broker's GmbH Deutschland mit Sitz in Griesheim bei Darmstadt. Die Broker's GmbH recyclet inzwischen europaweit Druckerpatronen und arbeitet somit im aktiven Umweltschutz. Die rasante Entwicklung des Unternehmens erforderte eine Erweiterung von Produktions- und Büroflächen. Für Produktionsflächen konnten bestehende Hallen angemietet werden. Um neue Büroflächen zu erhalten, war zunächst eine Stahlskelettkonstruktion über einer bestehenden Lagerhalle auf dem vorhandenen Firmengelände geplant.

Holz statt Stahl

Die Geschäftsleitung konnte sich anhand von gelungenen Projekten in Holz für diese Bauweise begeistern und favorisierte die Umsetzung in Holz statt in Stahl. In der ortsansässigen Zimmerei Hofmann GmbH und der Zang + Bahmer GmbH aus Dietzenbach fand der Bauherr Partner, die durch unkomplizierte Abwicklung, innovative Ideen und ökologische Produkte eine Reihe gelungener Holzbauten vorweisen konnten.



Bild 1: Überhöhung der BS-Holz-Fladen mittels zwei Spriß-Reihen



Bild 2: Die BS-Holz-Fladen vor dem Aufbringen des Betons; betoniert wurde nach dem vollständigen Richten.

Nach Feststellung des Bestandes wurde entschieden, von der ursprünglichen Skelettkonstruktion Abstand zu nehmen und die Aufstockung in einer Wandscheibenbauweise zu realisieren, um die Lasten weniger punktförmig in die Fundamente ableiten zu müssen. Für die Büroräume war zunächst eine lichte Raumhöhe von 2,60 m geplant. Um Versorgungsleitungen unter den Decken verlegen zu können und um ein besseres Raumerlebnis zu erhalten, entschied sich der Bauherr kurzfristig, das lichte Rohbaumaß von 2,80 m auf 3,40 m zu erhöhen. Die erlaubte Traufhöhe von 11,20 m wurde unter Berücksichtigung der Bauhöhen der Decken und des Daches somit schnell erreicht. Bei drei Vollgeschossen kam es auf Decken mit möglichst geringer Bauhöhe an.

BS-Holz-Fladen als Tragwerk

Als Wandelemente stellte das Holzleimbauunternehmen große Platten aus Brettschichtholz her. Die einzelnen Elemente hatten Höhen bis 3,75 m und Längen bis 11,80 m.

Die Elemente aus Brettschichtholz werden von Zang + Bahmer unter der

Produktfamilie „PUR-Massivholz-Elemente für Dach, Decke und Wand“ hergestellt und vertrieben. Auf der Außenseite wurden die Wände mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) und einer Putzfassade versehen. Die Innenseiten können naturbelassen oder farblich gestaltet werden.

Eine weitere Herausforderung waren die Geschossdecken, die als Einfeldträger eine Stützweite von 9,84 m haben sollten, um großzügig und flexibel, unabhängig von Stützen u.ä. Räumlichkeiten schaffen zu können. Die Decke über dem Erdgeschoss in Mineralbauweise konnte mit einer relativ leichten Hohlkörperdecke aus Stahlbeton mit einer Höhe von 32 cm überspannt werden.

Nun stellte sich die Frage, wie eine Holzdecke über das erste Obergeschoss mit minimaler Höhe, ausreichendem Schallschutz und einer Eigenfrequenz von ca. 5 Hz realisiert werden konnte.

Dipl.-Ing. Rainer Bahmer erinnerte sich an Versuche der FH Wiesbaden, die sich mit der Verstärkung von Holzbauelementen mit Kunststoffen und Stahleinbauteilen beschäftigten.



Bild 3: Versuchs-träger mit den ersten, einklebten Schubverbindern aus Rippenstreckmetall

Prof. Dr. Bathon hatte eine Idee zur Hand, die sich schon in der Testphase befand. Zur Verbindung von Holz und Beton hatte Streckmetall seine Eignung bereits erkennen lassen. Basierend darauf wurde die Wirtschaftlichkeit einer solchen Holz-Beton-Verbund-Konstruktion abgeschätzt. Auf der Grundlage bereits vorhandener Ergebnisse von Orientierungsversuchen wurde vorbemessen und kalkuliert. Das vorläufige Ergebnis erschien technisch und wirtschaftlich Erfolg versprechend.

Systembeschreibung

Das Holz, die Balken oder die BS-Holz-Fladen werden über die ganze Länge an der Oberseite mit einem oder mehreren Sägeschnitten, 3 bis 4 mm breit, 5 cm tief, versehen. Über die Holzoberseite wird eine wasserdichte Folie gelegt und nach Festkleben mit einem Federmesser den Sägeschnitten folgend aufgeschnitten. Die Schlitzte werden mit dem Kleber befüllt.

Es handelt sich um einen modifizierten, Lösungsmittel freien Epoxidharz. Harz und Härter werden im Verhältnis 100 : 45 Massenanteilen gewählt. Mit dem Kleber wird, wie die ersten Orientierungsversuche nachweisen, die notwendige Fugenfüllung und Haftung an Holz und Blech erreicht.

Nach der Befüllung des Schlitzes mit Kleber wird ein 10 cm breiter (hoher)

Streifen Streckmetall in den Schlitz eingesteckt. Dies erfolgt langsam unter leichtem Hin- und Herbewegen des Streckmetalls, womit eine vollständige Kleberbefüllung erreicht wird. Das Blech wird quasi langsam „eingerrüttelt“. Die Masche des Streckblechs wird für diesen Zweck eigens gefertigt. Das Blech ist verzinkt. Es kann gut mit einer üblichen Schlag-schere geschnitten werden.

Nach Aushärten des Klebers wird eine Betonschicht aufgebracht, die sich mit dem herausstehenden Teil des Streckmetalls verbindet.

Als Schubmoduln für den elastischen Bereich der Kurzzeitversuche waren Werte zwischen 3341 und 4110 kN/cm sowie einem „Ausreißer“ mit 8000 kN/cm bei sechs Proben bereits bekannt. Die Bruchlasten der sechs Proben lagen zwischen 102 kN und 121 kN bei 40 cm Streckmetall-Länge. Der Mittelwert betrug rund 110 kN (Bild 4).

Großversuch

Nachdem auch der Bauherr und der Prüflingenieur von der Idee und deren Machbarkeit überzeugt waren, wurde im Dezember 2001 ein Prüfkörper für dieses Projekt im Maßstab 1:1 im Werk hergestellt und im Januar 2002 an der MPA der Fachhochschule Wiesbaden geprüft.

Der Prüfkörper bestand aus BS 11, jedoch Lamellen „hochkant“, 22 cm hoch, 96 cm breit. In die Oberseite waren über die ganze Länge drei Streckmetallstreifen in zuvor beschriebener Weise eingeklebt. Die Betonplatte bestand aus B 25, 12 cm dick, mit einer Bewehrung Q 131 etwa in Plattenmitte.

Die Belastung wurde „klassisch“ in Form von zwei Punktlasten auf ein

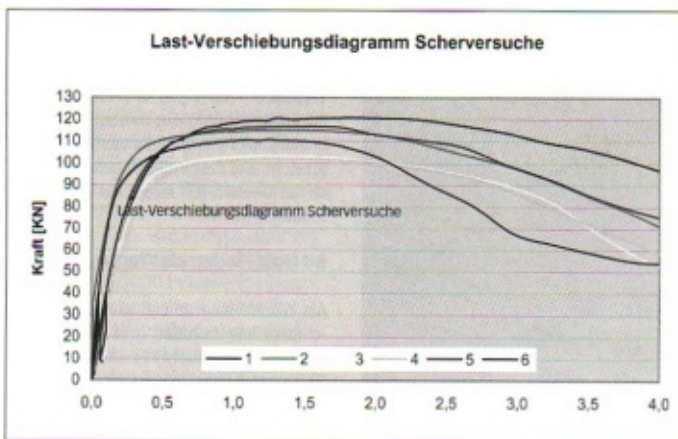


Bild 4: Bei 40 cm Länge der Scherverbindung mit einem Streckmetall-Streifen

Einfeldsystem mit 9,86 m Stützweite aufgebracht (**Bild 5**). Vorberechnungen ließen ein Versagen durch Bruch der Schubverbindungen erwarten. Ausgehend von dem Mittelwert der festgestellten Scherbruchlast von 110 kN bei 40 cm Streifenlänge errechnete sich für die drei Bleche der zu erwartende Bruch-Schubfluss zu $t_{\text{Bruch}} = 110 \text{ kN}/40 \text{ cm} \times 3 = 8,25 \text{ kN/cm}$

Der Versuchskörper wurde in üblicher Prüfanordnung im Kurzzeitversuch bis zum Bruchversagen beansprucht.

Versagensursache

Der Träger versagte bei einer Gesamtlast von 290,65 kN. Dies entsprach in etwa der mittels der Kenngrößen ermittelten, zu erwartenden Bruchlast.

Bild 5: Der rund 10 m lange Holz-Beton-Verbundträger in der Presse, die Messfühler sind noch nicht befestigt.



Das Versagensbild stellte sich äußerlich durch mehrere Querrisse in der Betonplatte zwischen dem Auflager A und dem Krafteinleitungsquerträger dar.

Der Holzquerschnitt wies, bis auf einen Spannungsbruch der ersten, seitlichen Lamelle in der Mitte des Trägers, keine weiteren Schäden auf.

Zur weiteren Erforschung der Versagensursache wurde die Betonplatte teilweise vom Träger entfernt. Hierfür wurde der Beton in Abschnitten von ca. 20 cm vom Auflager A (Bruchursache) her weggestemmt. Dies geschah unter der Vorgabe, möglichst keine zusätzlichen Beschädigungen am Verbindungsmittel zu verursachen.

Es zeigte sich, dass die Streckbleche in der Fuge zwischen Holz und Beton stark verformt, stellenweise sogar abgerissen waren. Diese Verformungen waren zwischen dem Auflager A und dem ersten Krafteinleitungspunkt sehr ausgeprägt. Zwischen dem Auflager B und dem zweiten Krafteinleitungspunkt zeigten sich geringere Verformungen in den Blechen. Zum Auflager A hin setzte das Stahlfließen des Bleches bei einer Verschiebung von ca. 0,5 mm, wie bei den Scherversuchen, ein. Der Klebstoff wies an keiner Stelle Anzeichen eines Versagens auf.

Die Durchbiegung des Trägers verlief nahezu linear mit ca. 1 cm pro 28 kN. Bei über 250 kN und einer Durchbiegung von ca. 9 cm brach die Messung ab.

Maßgebliche Ursache, die zum Bruch führte, war die Verformung bzw. der Abriss des Bleches in der Fuge zwischen Auflager A und dem ersten Krafteinleitungspunkt. Dies hatte zur

Folge, dass der Verbund zwischen Holz und Beton verloren ging. Die Zugspannungen im unteren Bereich des Betonquerschnitts wurden dadurch zu groß, der Beton brach.

Bemessung

Gerechnet wurde nach DIN 1052, Abschnitt 8.3 (Biegeträger aus nachgiebig mit einander verbundenen Querschnitten) mit einem Verschiebungsmodul von 2000 kN/cm, wobei als Verbindungsmittel ein 40 cm langes Stück des Streckmetallbleches betrachtet wurde.

Bei drei Blechen auf eine Holzbreite von 96 cm nebeneinander ergab sich so ein einzusetzendes e' von $40/3 \times 0,96 = 12,8$ cm. Dies entspricht einem Vergleichs-Schubmodul von $2000 \text{ kN/cm} \times 3/96 \text{ cm} = 62,5 \text{ kN/cm}^2$ (höher als der von Holz). Der angesetzte Verschiebungsmodul entspricht die der gemessenen Werte. Die zulässige Scherbeanspruchung der Bleche wurde mit 25 kN je 40 cm langem Blechabschnitt, also zu 62,5 kN/m angenommen, was zwischen 24 % bis 21 % der gemessenen Bruchlasten darstellt (Sicherheitsbeiwert ca. 4 bis 5). Die angesetzte, zulässige Scherspannung wurde voll ausgenutzt. Die Spannungen im Holz liegen bei höchstens rund 60 % der zulässigen Spannungen, die Betondruck-

spannung ist zu Beginn ($t = 0$, ohne Schwinden und Kriechen) zu rund 80 % ausgenutzt. Bemessungsrelevant war die Durchbiegung. Zum Zeitpunkt abgeschlossenen Schwindens und Kriechens ergaben sich rechnerisch unter Gesamtlast 5,53 cm was $1/176 \geq 1/300$ entspricht. Das Verhältnis Eigenlast zur Gesamtlast beträgt 5,54 kN/m² zu 9,29 kN/m² also ca. 60 %, entsprechend wurde die Decke um 3,0 cm überhöht. Die verbleibende Durchbiegung aus beweglichen Lasten stellt mit 2,5/975, also 1/390 einen guten Wert dar.

Die Schwingungsanfälligkeit der Decke wurde nach den Vorschlägen von Mohr/Kreuzinger sowie nach ENV DIN 1995-1 (EC5) untersucht. Es ergaben sich:

Eigenfrequenz: $f_0 = 5,06 \text{ Hz}$

Steiifigkeit:

$\max f_{1,kt} = 0,04 \text{ mm} \leq 1,0 \text{ mm}$

Massenanforderung:

$v_{\text{testtop}} = 0,0042 \text{ m/s} \leq 0,01 \text{ m/s}$

Der Nachweis der Feuerwiderstandsklasse F 90-B machte wegen der dicken BS-Holz-Platte (22 cm) (Abbrand in 90 min - 6,5 cm) als Warmbemessung keine Schwierigkeiten.

Erfahrungen

Das Einbringen der Schubverbindungsbleche gestaltete sich einfach



Bild 6: Untere Auswechslung mit BS-Holz-Unterzügen



Bild 7: Obere Auswechslung mit Stahlträger

und zügig. Die Schlitzlöcher zur Aufnahme der Bleche wurden mit einer normalen Kreissäge, Schlitztiefe 5 cm, eingebracht. Der Kleber wurde mittels einer Art Silikon-Spritze eingebracht. Seine Fließfähigkeit ist ausreichend gut, um eine fast blasenfreie Befüllung der Schlitzlöcher zu erreichen. Die Streckmetallstreifen wurden langsam unter rhythmischen Hin- und Herbewegen „eingerüttelt“. Es wurde sorgfältig auf Vermeidung von Blasen und vollständige Benetzung des Bleches mit Kleber geachtet.

Zusammenfassung

In Sägeschlitzlöcher parallel zur Holzfasern eingeklebte Streckmetallstreifen aus Stahlblech lassen eine gute Eignung zur Schubverbindung zwischen Holz und Beton erkennen. In Orientierungsversuchen hat sich eine hohe Steifigkeit der Verbindung und zugleich ein regelmäßiges Versagen des Rippenstreckbleches ergeben. Die zerstörende Prüfung eines Verbundträgers bauüblicher Abmessungen zeigte insgesamt ein duktileres Verhalten.

Ausblick

Die Verbindung von Holz mit Beton durch eingeklebte Streckmetallstreifen ist einfach herzustellen und stellt durch ihre hohe Steifigkeit eine sehr gute Ausnutzung der Verbundwerkstoffe Holz und Beton in Aussicht. Die Breite der Klebefuge von 3 bis 4 mm sowie die Verwendung von Streckmetall zur Schubkraftübertragung stellen bauaufsichtlich „ungeregelte“ Anwendungen dar.

Für eine allgemein zulässige Anwendung der vorgestellten Technik werden zur Zeit noch eine Reihe offener Fragen geklärt. Eine bauaufsichtliche Zulassung wird angestrebt.

Innovation + Kooperation

Dieses Projekt zeigt, dass:

- das deutsche Baurecht Spielräume bietet, die nutzbar für Innovationen sind,

- zügig Innovationen umgesetzt werden können,
- technisch, architektonisch und wirtschaftlich Vorzüge des Holzbaus herausgearbeitet werden können.

Dies erscheint dann gut möglich, wenn:

- Ideenhaber und Ideenumsetzer:
 - sich kennen,
 - zusammenarbeiten wollen,
 - beide investive Risiken eingehen.
- die Staatsgewalt von ihren Spielräumen zügig Gebrauch nimmt,
- die Bauherrschaft Vertrauen in die Kompetenz ihrer Auftragnehmer und vorgesetzten Behörden hat,
- Einrichtungen der öffentlichen Hand schnell und beherzt reagieren.

Das geht nur mit dem Willen zur Zusammenarbeit

Bahmer/Bathon/KF

Entwurf: Architekturbüro J. Lang,
63768 Hirsbach

Wissenschaftliche Beratung, Versuche:
Fachhochschule Wiesbaden,
Prof. Dr. Bathon

Tragwerksplanung:
Dipl.Ing.(FH) Rainer Bahmer
Dipl.Ing.(FH) Jürgen Immler

Prüfingenieur:
Prof. Dr. Klaus-Jürgen Becker,
63150 Heusenstamm

Ausführung Holzbau:
Zang & Bahmer GmbH
63128 Dietzenbach

Fotos: Zang & Bahmer GmbH