Holz-Beton-Verbund in der Praxis – Ein Erfahrungsbericht

Prof. Dr. Ing. Wolfgang Rug; FH Eberswalde
(www. holzbau- statik.de)

1. Einführung

Der Holzbau hat eine lange und vielfältige Tradition in der Nutzung von Verbundlösungen. Das lag daran, dass man mit dem aus einem Baumstamm herstellbaren Kantholzquerschnitt nur begrenzte Spannweiten und Belastungen realisieren konnte. Um größere statische Querschnittsabmessungen herzustellen, wurden zunächst Holz-Holz-Verbundquerschnitte mit zimmermannsmässigen Verbindungen hergestellt (Bild 1).

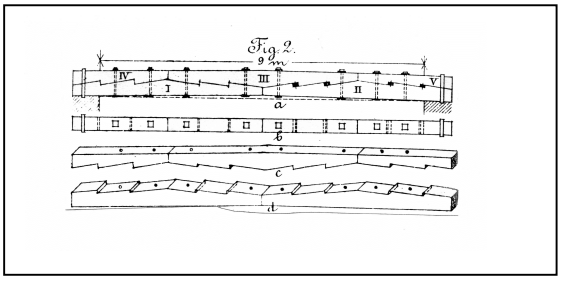


Bild 1: Verzahnte Träger für Spannweite von 9m nach Stade 1904, seit dem Mittelalter häufig eingesetzt bei Tragwerken von Brücken und Dachkonstruktionen bis 50 m Spannweite

Über die Verzahnung sollte ein Schubverbund zwischen beiden Querschnitten erreicht werden, um das volle Trägheitsmoment des Gesamtquerschnittes nutzen zu können. Später wurden die aufwendig herstellbaren Verzahnungen durch andere Verbindungen, wie Bauklammern, Rechteckdübel aus Holz, Stabdübel, Dübel besonderer Bauart oder Nagelplatten ersetzt. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts gelang mit der Herstellung des Brettschichtholzes die Fertigung beliebig große Holzquerschnitte (*s. Rug in BDZ, 2003*). Der moderne Holzbau ist ohne das Brettschichtholz und ohne geklebte Holz-Verbundwerkstoffe nicht mehr denkbar.

Schon in den 20er und 30er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts setzte die Entwicklung von Holz-Beton-Verbundlösungen in Deutschland ein. Im Vordergrund stand dabei das Bestreben, Stahl und Holz einzusparen.

Bild 2 zeigt eine Patentanmeldung für eine holzbewehrte Stein-Decke („System Sperle“).

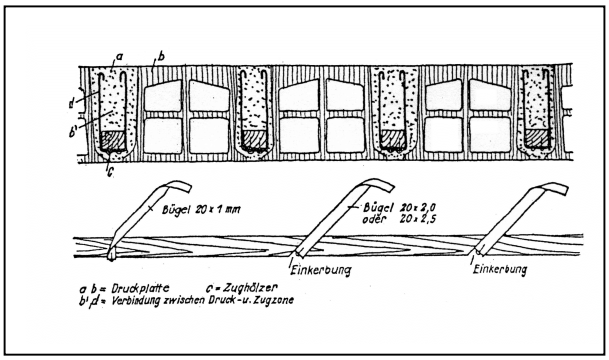


Bild 2: Holzbewehrte Steindecke nach Sperle

Otto Schaub aus der Schweiz ließ sich 1939 in Deutschland unter Hinweis auf schon andere bekannte ähnliche Erfindungen die Idee einer Holz-Beton-Verbund-Decke patentieren (Bild 3). Nach seiner Idee sollte ein tragfähiger Verbund zwischen der Holzplatte und den Holzbalken über Z- oder normale I-Profile aus Stahl hergestellt werden. In seiner Patentschrift hob er ausdrücklich die Eignung seiner Lösung für die Ertüchtigung von Altbaudecken hervor.

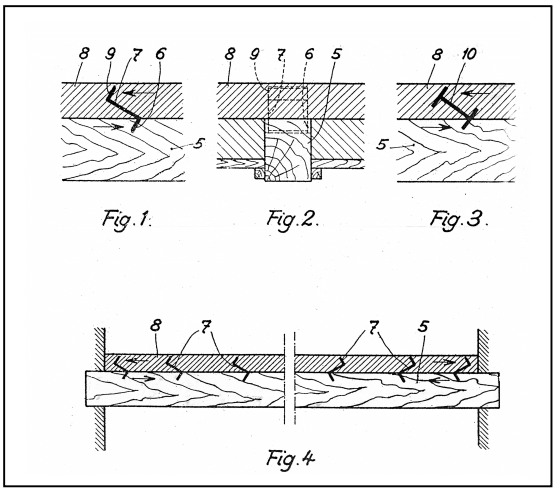


Bild 3: Holz- Beton- Verbund- Decke, Reichspatent 673556

Etwa ab Mitte der 70er Jahre setzte eine Neubelebung der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Holz-Beton-Verbundbauweisen ein.

2. Zum Stand der Technik der Anwendung

Durch die Nutzung der Verbundkonstruktion Holzbalken oder Brettstapel und Betonplatte kann die Trägfähigkeit und die Steifigkeit wesentlich erhöht werden. Eine Erhöhung der Tragfähigkeit und Steifigkeit um das 2- bis 4fache im Vergleich zum einfachen Balken-Tragwerk ohne Verbund ist möglich. Ein zu begrüßender Nebeneffekt ist die Verbesserung der aussteifenden Wirkung der Holzbalkendecke durch die bewehrte Betonplatte.

Gleichzeitig verbessern sich die Schall- und Brandschutzeigenschaften der Decke. Eine Verbesserung des Schallschutzes von 40 .... 45 dB (für den Luftschall) bei traditionellen Holzbalkendecken auf über 55 dB sind möglich. Messungen in der Schweiz an ausgeführten Decken zeigten, dass besonders bei Deckenaufbauten mit leistungsfähiger Trittschalldämmung und federnd abgehängten Unterdecken Schallschutzwerte von 60 dB erreicht werden (*s. Diebold, 1994; Lißner/Rug 2000*).

Gegen Durchbrand von oben kann eine Feuerwiderstandsdauer von F 90 A (feuerbeständig) garantiert werden. Bei Durchbrand von unten sind ebenfalls Verbesserungen in Richtung F 90 BA (hochfeuerbeständig) erreichbar, wenn die Decke von unten mit einer Verkleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen versehen ist. Decken mit sichtbaren Holzbalken weisen gegen Abbrand von unten einen Feuerwiderstand von F 60 auf (*s. Fontana 1999.*)

Aber auch im Vergleich zu einer Stahlbetondecke stellt die Verbunddecke eine durchaus wirtschaftliche Alternative dar. Sie besitzt ein vergleichsweise geringes Eigengewicht, es ist weniger Schalarbeit für ihre Herstellung erforderlich, die Betonplatte benötigt nur eine Mindestbewehrung und es lassen sich architektonisch ansprechende Decken mit sichtbaren Holzbalken realisieren.

Die Einsatzmöglichkeiten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen in der heutigen Bautechnik reichen von Geschossdecken im Alt- und Neubau, Wand- oder Deckenelementen in Fertigteilbauweise bis hin zu Brücken in Holz für Schwerlastverkehr (s. Tabelle 1).

Die Wirtschaftlichkeit einer Holz-Beton-Verbundlösung wird wesentlich vom Wirkungsgrad der Verbundtragfähigkeit /-steifigkeit der Verbindungsmittel zwischen dem Holzbalken und der Betonplatte beeinflusst. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass die bisherigen Forschungsarbeiten gerade die Frage nach dem erreichbaren Wirkungsgrad der möglichen Verbindungsmittellösungen zum Gegenstand hatten. Wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Holz-Beton-Verbund ist deshalb eine wirtschaftliche Verbindungstechnik mit hohem Wirkungsgrad.

Der Wirkungsgrad des Verbundes – und damit die wirksame Biegesteifigkeit des Gesamtquerschnittes – ist abhängig von der Steifigkeit (Nachgiebigkeit und Kraftaufnahme) der Verbindungsmittel. Grundsätzlich wird zwischen starren (unnachgiebigen) und mechanischen (nachgiebigen) Verbindungen unterschieden.

Beim starren Verbund können Relativverschiebungen zwischen den einzelnen zu verbindenden Querschnittsteilen vermieden werden. Starrer Verbund kann nur durch eine Verklebung in der Berührungsfläche zwischen Holzbalken und Betonplatte gewährleistet werden (s. *Erler, 1992).*

Mit punkt- bzw. stabförmigen Verbindungen, bei denen das Verbindungsmittel durch Scher-, Biegungs- und Lochleibungskräfte beansprucht wird, lässt sich hingegen nur ein nachgiebiger Verbund erreichen. Als Folge treten zwischen den einzelnen Teilquerschnitten geringe Relativverschiebungen auf.

Die Vielzahl der mechanischen (nachgiebigen) Verbindungstechniken lassen sich in zwei Gruppen gliedern:

- Verbindungen mit Formschluss (siehe Beispiel in Bild 4)
- Verbindungen ohne Formschluss (siehe Beispiel in Bild 5)

Ein Formschluss entsteht, wenn die Verbundfuge als zusätzliche Schubverbindung ausgeformt wird, hier

häufig durch eine Kerve oder Einschnitte und Aussparungen *(siehe Godycki u. a. 1994; Natterer, Pflug 1996, Natterer 1996)*.

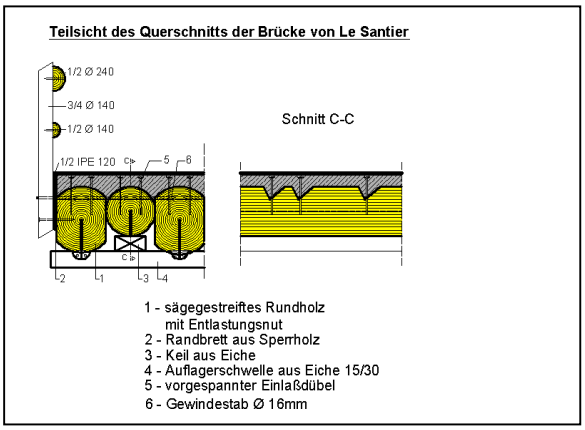


Bild 4: Rundholz- Verbundkonstruktion für eine Schwerlastbrücke (13m Spannweite) nach *Natterer, Pflug 1996*

Bei Verbindungen ohne Formschluss wirken allein die eingebrachten Verbindungsmittel als Schubverbindung.

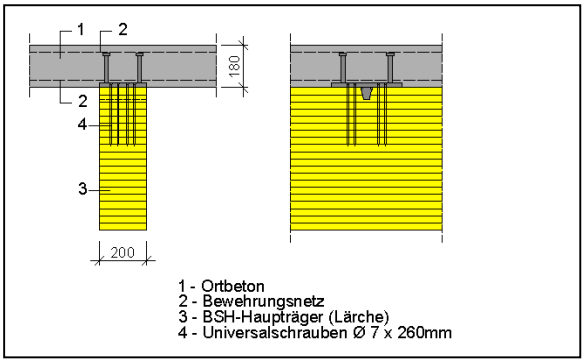


Bild 5: Verbunddübel der Crestawaldbrücke bei Sufers/Schweiz (Spannweite 33m), nach *Krattinger 1997, Gerold 2001., Schickerhofer, Bernasconi 2001*

Auf der Suche nach den wirkungsvollsten Verbindungslösungen wurden seit Beginn der 80er Jahre weltweit sehr viele Verbindungstechniken erforscht und noch immer wird experimentell nach optimalen Lösungen gesucht. Die bisher in der Praxis verwendeten Verbindungsmittel für Verbundlösungen zwischen Holz und Beton sind daher sehr vielfältig und reichen von Nägeln, Nagelplatten, Schrauben, eingeklebten Bewehrungsstäben oder Gewindestangen, speziellen oder handelsüblichen Stahlformteilen bis zu Dübeln besonderer Bauart und Polymerbeton (*s. Rug 1995, Blaß, Schlager, van den Linden 1996, Hoeft 1997, Höhmann, Siemers 1998, Hemmy, Droese 2000*).

Für den planenden Ingenieur ist allerdings wichtig, ob er für die von ihm gewählte Verbindungstechnik Rechenwerte in einer gültigen Norm oder in einer bauaufsichtlichen Zulassung vorfindet.

Traditionelle Verbindungsmittel wie Nägel, Holzschrauben und Stabdübel zählen zu den in der Norm DIN 1052 geregelten Verbindungsmitteln. Diese wurden aber in Deutschland bisher noch nicht für Verbundkonstruktionen verwendet. In anderen Ländern wie zum Beispiel in der Slovakei oder Polen setzt man seit 1970 Nägel für Verbundlösungen ein (siehe *Godycki 1984 und Postulka 1997)*.

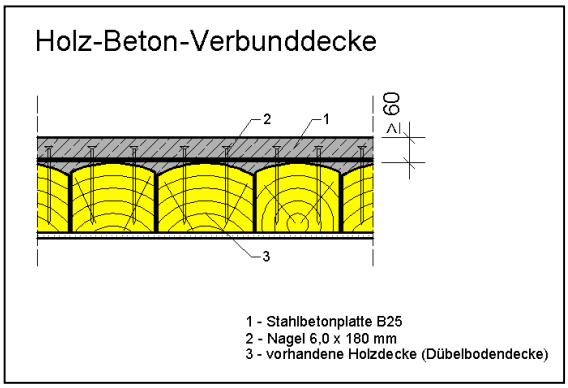


Bild 6: Holzbeton- Verbund mit Nägeln nach *Postulka 1997*

Bekannt ist dagegen der Einsatz von genormten Verbindungsmitteln bei speziellen Schubankern (siehe Bertsche System GmbH)

Bauaufsichtlich zugelassen wurden bisher in Deutschland insgesamt vier Lösungen. Für zwei spezielle Verbundschrauben mit einem Durchmesser mit 7,3 und 7,5 mm sind das die Zulassungen Z9.1- 342 und Z. 9.1- 445 (siehe Bild 6).

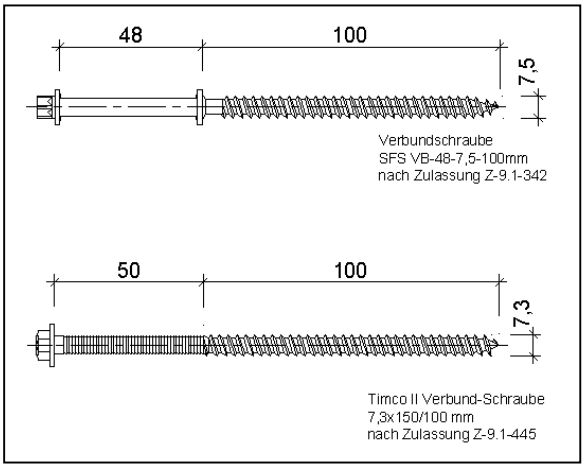


Bild 7: Bauaufsichtlich zugelassene Verbundschrauben

Neu auf dem Markt ist eine spezielle Lösung mit Flachstahlschlössern zur Herstellung eines Verbundes zwischen Beton und Brettstapeldecken (Z.9.1- 473). Die Herstellung von Fertigteilelementen, ist nach Zulassung Z.9.1- 331 möglich.

Sind keine bauaufsichtlich anerkannten Rechenwerte vorhanden, so ist eine Zustimmung im Einzelfall bei der zuständigen Baubehörde einzuholen. Holz-Verbundlösungen mit Verbindungen ohne bauaufsichtliche Zulassung bereiten in Deutschland i. Allg. Probleme innerhalb des Baugenehmigungsverfahrens. Die Zustimmung im Einzelfall ist zeitraubend und abhängig von der subjektiven Bewertungen der genehmigenden Behörde. Die im Baugenehmigungsverfahren auftretenden Probleme und die notwendige Begründung der getroffenen Annahmen zu den Ausgangswerten der Berechung für nicht bauaufsichtlich zugelassene Konstruktionen sind nicht zu unterschätzen (*siehe Mayr und Busler 1997*). Bei einem Schulbau sollte erstmals die Holz- Beton-Verbundbauweise zur Anwendung kommen. Die Holzbalken bestanden aus Furnierschichtholz. Die Spannweite betrug 8,1m. Der Balkenabstand war 2,32m. Zum Einsatz kamen die später zugelassenen Verbundschrauben nach Z. 9.1-342.

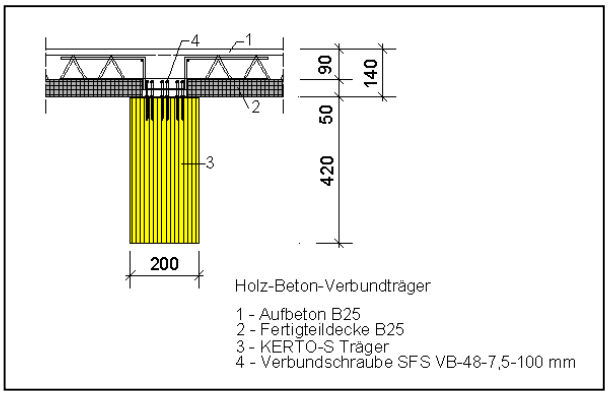


Bild 8: Holz-Beton- Querschnitt bei der Schule Lemgo, Spannweite 8,1m, Balkenabstand 2,32m nach *Mayer ,Busler 1997*

Innerhalb laufender Bauverfahren eine Zustimmung im Einzelfall zu erhalten ist i. Allg. sehr zeitaufwendig und führt in vielen Fällen zu Behinderungen des Bauablaufes. Sind dann noch Versuche zum Tragverhalten durchzuführen und

müssen diese von externen Experten noch bewertet werden, so wird weitere Zeit benötigt.

Diese Erfahrungen aus der Praxis decken sich mit eigenen Erkenntnissen. Neue innovative Verbundlösungen konnten bei einigen Bauvorhaben nicht realisiert werden, da keine bauaufsichtliche Zulassungen vorgelegt werden konnte. Die Holz-Beton-Verbundbauweise kam dann nur deswegen noch zur Anwendung, weil die Konstruktion auf bauaufsichtliche geregelte Lösungen mit entsprechender Zulassung umgerechnet wurde. Ein weiteres Hindernis war die Unkenntnis in der Anwendung dieser Techniken bei dem für die Zustimmung im Einzelfall zuständigen Baubehörden. Selbst dann noch, wenn bauaufsichtlich zugelassene Systeme vorgelegt wurden. So forderte eine Baubehörde, dass die rechnerischen Werte der Zulassung nur zu 50% ausgelastet werden. Eine Forderung, die die Wirtschaftlichkeit der Verbundbauweise wesentlich verschlechterte.

Trotz aller Schwierigkeiten bei der Einführung neuer Techniken sind es die schon genanten Vorteile, die die Holz-Beton-Verbund-Bauweise gerade für Brückenbauten, mehrgeschossige Wohnbauten mit Decken-Spannweiten von 8 bis 10 m oder für die Ertüchtigung von Decken in Altbauten, deren Decken für eine Umnutzung mit höheren Lasten nicht tragfähig oder nutzungsfähig sind, interessant machen. Gerade bei weitgespannten Brücken mit hohen Verkehrslasten bringt die Nutzung des Verbundes besondere statische Vorteile. Ein Umstand, der den Holzbrückenbau bei der Planung von Straßenbrücken neue Möglichkeiten eröffnet. Die bisher vor allem in Österreich und der Schweiz gebauten Beispiele (siehe Tabelle 1 und Bild 8) zeigen dann auch, dass durch die Gestaltung weit auskragender Brückenaufbauten bei obenliegenden Verkehrsbahnen der baulichen Holzschutz der Brücken wesentlich verbessert werden kann.

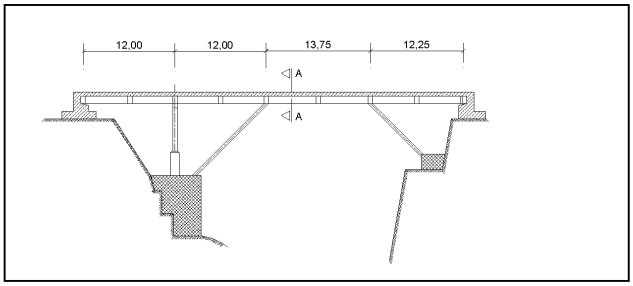
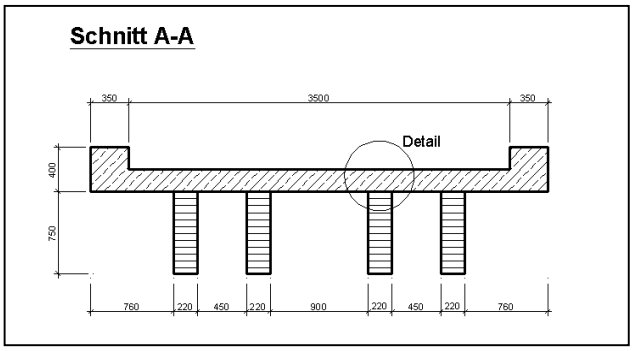


Bild 9a: Ronatobelbrücke bei Furna nach *Stadelmann 1997*



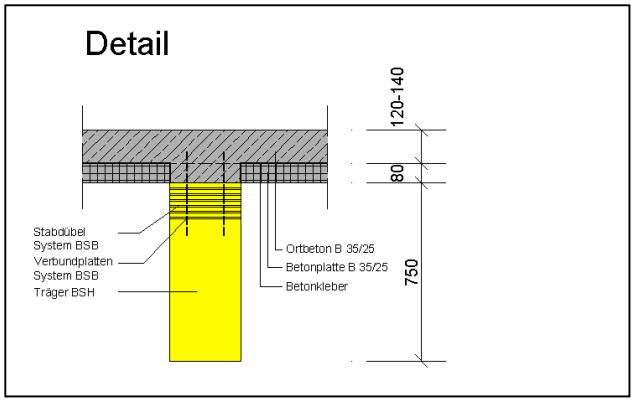


Bild 9b: Querschnitt und Detail der Brücke

Bild 10:Ertüchtigung einer Altbaudecke

Eine sehr wirtschaftliche Variante der Tragfähigkeitserhöhung bestehender Holzbalkendecken ergibt sich, wenn die auf den Holzbalken vorhandene Dielung nicht entfernt werden muss. Die neue Betonplatte wird dann direkt auf der Dielung – nur durch eine Folie von dieser getrennt- angeordnet. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass das deutlich erhöhte Konstruktionsgewicht von den unterstützenden Bauteilen (Wänden, Abfangungen, Gründung) aufgenommen werden kann und keine die Standsicherheit beeinflussenden Holzschädigungen vorliegen.

Besonders vorteilhaft ist, dass im Rahmen der Altbausanierung die Erstellung von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen auf vorhandenen Holzbalkendecken auch dann möglich ist, wenn sich die unter den zu sanierenden Decken befindlichen Räume in normalem Gebrauch befinden (d. h. die Bewohner müssen nicht unbedingt ausziehen).

Bei neuen Gebäuden kann die Konstruktionsart der Decke oder der Balkenabstand frei gestaltet werden. Sinnvoll ist im Neubau die Verbundbauweise gerade bei Balkendecken mit großem Balkenabstand (zum Beispiel zwischen 2,5 und 4,5m). Der Schalaufwand der Betonplatte kann durch den Einsatz von Fertigteilplatten minimiert werden.

Auch neuartige Massivholzdecken im Verbund mit Beton kommen mittlerweile beim Bau von Gebäuden häufig zur Anwendung, so zum Beispiel die von *Natterer* in der Schweiz entwickelte und erprobte Brettstapelbauweise, die ebenfalls im Verbund mit Beton in Spannweiten bis 12 m ausgeführt und die auch bei Brücken eingesetzt wurde. Bekannt sind auch Konstruktionen in Balkenstapelbauweise oder Rundholzstapelbauweise.

3. Berechnungsgrundlagen

Verbundträger aus mehreren Querschnitten tragen durch das Zusammenwirken der Einzelquerschnitte. Für Holz-Beton-Verbund-Systeme bedeutet das, dass die Betonplatte in der Biegedruck- und der Holzbalken in der Biegzugzone liegen.

Das Zusammenwirken der Einzelquerschnitte wird durch die Behinderung der horizontalen Verschiebungen in der Fuge zwischen Holz- und Betonplatte erreicht. In Abhängigkeit von der Steifigkeit des in der Fuge angeordneten Verbindungsmittels werden die Teilquerschnitte zum Mittragen herangezogen.

Die theoretischen Grundlagen für Holz-Verbundträger aus Einzelquerschnitten mit elastischem Verbund wurden von Möhler 1947/1956 aufgestellt und bilden bis heute die Grundlage der Berechnung nachgiebiger Verbundkonstruktionen (s. DIN 1052, 1988/1996).

Auch im EC 5, Anhang B ist dieses Berechnungsverfahren enthalten. In der E DIN 1052:2004 werden Verbundquerschnitte ebenfalls nach dem Möhler-Verfahren berechnet. Zur Anwendung des Möhler-Verfahrens auf HBV-Systeme liegen zahlreiche Veröffentlichungen vor (*siehe Blaß 1994, Blaß, Schlager und van der Linden 1996, Ceccotti 1995, Mönck 2000 und Lißner 2000).*

Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass die Verbindungsmittelabstände nicht entsprechend dem Schubfluss über die Trägerlänge variiert werden können, was für eine wirtschaftlich Bemessung unerlässlich ist.

Von *Timmermann und Meierhofer (1994*) wird die Berechnung der Schnittkräfte und Durchbiegung für die Verbundquerschnitte auf der Basis der Differenzenmethode gezeigt.

Möglich ist auch eine Berechnung der Schnittgrößen und der Verformungen als ebener Rahmen am Modell des Vierendeelträgers (*Bergfelder 1974).* Die Nachgiebigkeit der Verbundmittel wird über die Abstände und die Beigesteifigkeit der Vertikalabstände simuliert.

Empfohlen wird inzwischen das Fachwerkmodell, bei dem die Nachgiebigkeit des Verbundes über die Ersatzsteifigkeit der Diagonalen simuliert wird (siehe *Kneidl, Hartmann 1995, Hartmann 1997 und Kreuzinger 2000).*

Alle Verfahren haben gemeinsam, dass eine Optimierung der eingehenden Größen, wie Abstände der Verbindungsmittel und die Dicke der Betonplatte, nur auf iterativem Wege möglich ist. Für den Planungsalltag ist daher die Nutzung von Rechenprogrammen unerlässlich.

Aufgrund des unterschiedlichen Materialverhaltens von Holz und Beton (Kriechen und Schwinden) ist unter Berücksichtigung der Holzfeuchte eine Nachweisführung hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit zum Zeitpunkt t = 0 und t = ∞ notwendig.

In Bild 11 sind die rechnerischen Ergebnisse für die Berechnung einer Holzbalkendecke unter Nutzung der einzelnen Berechnungsverfahren gegenübergestellt. Untersucht wurde eine Holzbalkendecke mit einer Spannweite von 4,80 m (Balkenquerschnitt 12/22 cm, Balkenabstand 0,80 m) und einer Belastung aus Eigengewicht (ohne Beton) von 2,5 kN/m^2. Auf der Decke wird eine Verbundplatte aus Beton mit 6 cm Dicke angeordnet, als Verbindungsmittel die Verbundschraube nach bauaufsichtlicher Zulassung Z.9.1-342 eingesetzt. Die Verkehrslast beträgt 2,75 kN/m^2 (Bild 11a). Bild 11b zeigt die rechnerischen Randspannungen für den konstruktiven Fall ohne Verbund und für nachgiebigen Verbund, berechnet nach drei Berechnungsmethoden. Mit den in der Praxis erprobten Verbindungslösungen lässt sich ein relativ starrer Verbund erreichen ($_{ef}I \approx 0{,}85 \ldots 0{,}95\ I_{voll}$), weshalb die Randspannungen bei diesem Beispiel auch für den Fall eines starren Verbundes angegeben wurden.

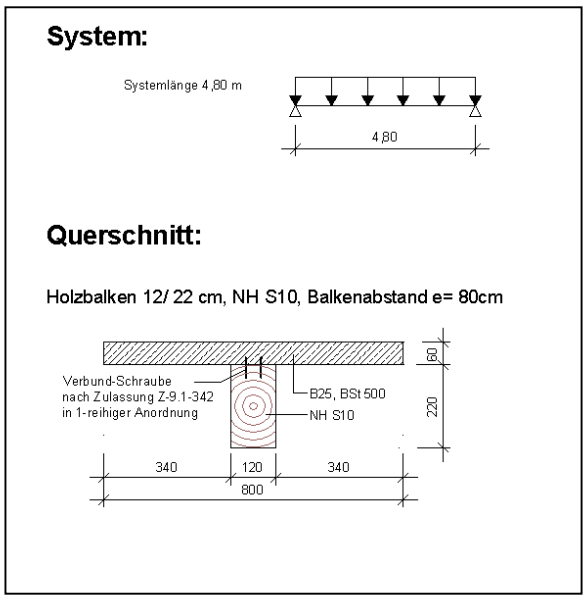


Bild 11a: Rechenbeispiel

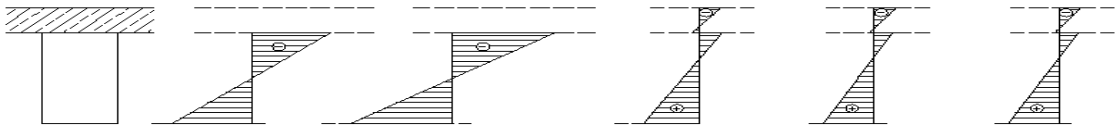
Aus der Gegenüberstellung der Rechenverfahren geht für den Fall Zeitpunkt t = ∞ eine vergleichsweise gute Übereinstimmung der ermittelten Rechenwerte hervor.

Die Bemessung der vom Autor im Abschnitt 4 gezeigten Beispiele erfolgte mit dem Programm HBV Version 4.0, dass programmintern mit der Differenzenmethode arbeitet (s. BaSys 2002, eine Demo-Version kann unter www.holzbau-statik.de heruntergeladen werden).

Die Staffelung der Verbundschrauben entsprechend des Schubflusses in der Fuge ist mit dem Programm HBV 4.0 (s. BaSys, 2002) ohne weiteres möglich.

Bild 11b: Ergebnisse der Beispielrechnung

Spannungen	Ohne Verbund		Nachgiebiger Verbund/Statisches Modell		
	Holzbalken ohne Betonplatte	Holzbalken mit Betonplatte	Differenzen-verfahren	Stabwerk	DIN 1052: 1988/1996
Betonplatte oben	-	-	-3,52	-3,49	-3,41
Betonplatte unten	-	-	0,94	0,67	0,67
Holzbalken oben	-12,50	-16,07	-3,69	-2,82	-3,09
Holzbalken unten	12,50	16,07	8,37	7,94	8,04



4. Planung und Ausführung von Beispielen

Für die nachfolgend gezeigten Beispiele ausgeführter Projekte wurde ausschließlich die Verbundschraube VB-48-7,5x100 nach bauaufsichtlicher Zulassung Z. 9.1-342 verwandt. Als wir mit Planungen für Holz-Beton-Verbundlösungen im Jahre 1995 begannen, hatte nur diese Verbindungstechnik eine bauaufsichtliche Zulassung (s. *Rug 1995).*

Der Vorteil dieser Verbindungslösung liegt darin, dass die Schraube ohne Vorbohren in das Holz eingeschraubt wird. Damit immer die gleiche Einschraubtiefe erreicht wird, besitzt die Schraube eine Verdickung am Schraubenschaft. Pro Arbeitskraft lassen sich 200 Dübel pro Stunde einschrauben.

Die Verbundschrauben werden paarweise im Winkel 45^0 / 135^0 gegeneinander versetzt eingeschraubt. Idealisiert kann die Verbundwirkung durch die fachwerkähnliche Anordnung der Verbundschrauben erklärt werden, die in den schlanken, biegeweichen Schrauben vor allem Normalkräfte erzeugt (siehe *Timmermann, Meierhofer 1993).*

Die für die Dimensionierung des HBV-Trägers notwendigen Rechenwerte, wie der E-Modul der Einzelquerschnitte, der Verschiebungsmodul und die Tragfähigkeit der Schraubenpaare sind der Zulassung für die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit zu entnehmen.

Bei allen Projekten standen die Verbundlösungen in direkter Konkurrenz zu anderen baupraktischen Lösungen und erhielten im Allgemeinen wegen der kostengünstigeren Ausführung oder der Gebrauchswerterhöhung den Zuschlag.

Häufig besteht für den Tragwerksplaner die Aufgabe, dass die Deckensanierung in Altbauten bei voller Nutzungsfähigkeit des darunter liegenden Geschosses durchzuführen ist. Zur Beurteilung vorhandener Holzbalkendecken ist es deshalb unerlässlich, zu einem frühen Zeitpunkt der Planung sich ein Bild über den Zustand der Holzbalken zu machen.

Neben der Begutachtung hinsichtlich des Schädlings- und Pilzbefalls und dem Zustand der Balkenköpfe sind für den Tragwerksplaner selbstverständlich die Abmessungen und Abstände sowie die Altholzfestigkeit der Balken Voraussetzung. Darüber hinaus interessieren aber auch vorhandene Durchbiegungen. Häufig sind Decken anzutreffen, bei denen die Kriechverformungen in Feldmitte durch Unterfüllung der Dielung kaschiert wurden. Zwischen Betonplatte und Holzbalken darf beim Verbundsystem nach bauaufsichtlicher Zulassung Z. 9.1-342 eine bis maximal 3 cm dicke Schalung eingebaut werden bzw. vorhanden sein. Allerdings vermindert sich dann der Verschiebungsmodul, da diese Schicht ähnlich einer Gleitschicht die Verformungsfähigkeit der Verbindung erhöht. Grundsätzlich können mit diesem Verbundsystem Altbaudecken im Spannweitenbereich zwischen 4,0 bis 5,0m auf eine Verkehrslast von 5,0 kN/m^2 und zwischen 5,0 und 6,0m bis auf eine Verkehrslast von 3,5 kN/m^2 ertüchtigt werden (*siehe Rug u. a. 2001*).

Die Praxistauglichkeit des in den Beispielen verwendeten Verbundssystems konnte anhand von bisher 20 ausgeführten Objekten mit ca. 10.000 m^2 Gesamtfläche unter Beweis gestellt werden. Insgesamt liegen für dieses Verbundsystem Erfahrungen bei über 500 Objekten in Europa vor.

4.1. Beispiel für eine Ertüchtigung einer Altbaudecke infolge Wegfall eines Auflagers bzw. größerer Spannweite

Durch die geplanten Umbaumaßnahmen erhöhte sich die Deckenspannweite von L = 5,0 m auf L = 7,0 m bei einem mittleren Balkenabstand von 0,90 m. Der Querschnitt des Verbundträgers ist in Bild 12 dargestellt. Die Beanspruchungen der Decke resultieren aus dem Eigengewicht mit g = 1,70 kN/m^2 (ohne Beton) und einer Verkehrslast von p = 2,0 kN/m^2.

Im Randbereich wurden die Verbundschrauben zweireihig im Abstand

von 13 cm angeordnet (Bild 12). Im vorliegenden Fall wurde aufgrund der zu großen Differenzen im Fußbodenbelag entschieden, die Dielung aufzunehmen und zwischen den Deckenbalken mit bündiger Oberkante einzubauen (siehe Bild 12).

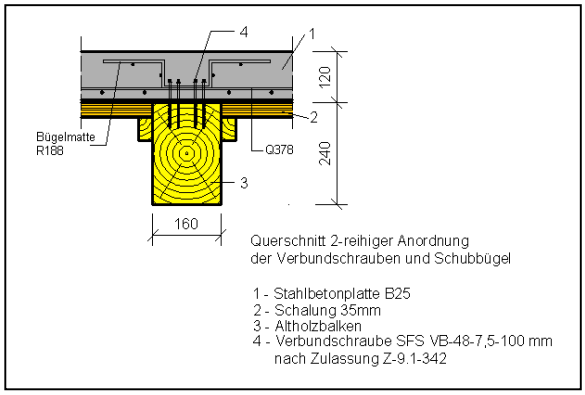


Bild 12: Verbundquerschnitt, Spannweite 7,0m

Um den Anforderungen der DIN 1052 hinsichtlich Tragfähigkeit und zulässiger Durchbiegung zu genügen, wäre ein äquivalenter Deckenbalken b/h = 20 / 34 cm erforderlich (statt vorh. B/H = 16/23,5 cm)!

Ab einer Dicke der Betonplatte von d > 10 cm und bei Betonfertigteilen ist nach Zulassung Z. 9.1.-342 eine Bügelbewehrung gefordert. Die Ausführung dieser Bügelbewehrung erwies sich in der Ausführung als besonders aufwendig und zeitintensiv. Eine wirtschaftliche Ausführung der Schubbewehrung erscheint nur mit Bügelmatten möglich.

4.2. Ertüchtigung der Tragfähigkeit der Altbau-Decke auf eine Verkehrslast von· p = 5,0 kN/m² in einem Mehrfamilienhaus

Auf Grund der exponierten Lage in Berlin war eine hochwertige Sanierung des Bauwerks aus der Gründerzeit gefordert. Die vorhandenen Decken haben Spannweiten zwischen L = 4,60 und 5,70 m bei einem mittleren Balkenabstand von a = 1,00 m (Bild 13).

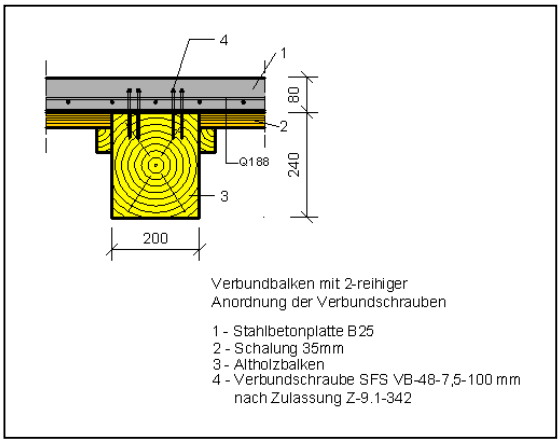


Bild 13: Verbundquerschnitt, Spannweite 4,6 und 5,7m

Ziel der Sanierung sollte neben einer Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit und der Schalldämmung vor allem auch eine Ertüchtigung der Decken für eine zulässige Verkehrslast von p = 5,00 kN/m² sein. Das Eigengewicht der Decke wurde mit g = 2,0 kN/m² (ohne Betonplatte) angenommen.

Die Ertüchtigung der Decke mittels der Holz-Beton-Verbundlösung bedeutete im konkreten Fall, dass die Tragfähigkeit eines äquivalenten Deckenbalkens mit einem Querschnitt von b/h = 20/32 cm

erreicht wird. Für den Verbund erforderlich waren zwei Reihen von Verbundschrauben, die an den Balkenenden einen Abstand von 120mm hatten. Alternativ zur realisierten Verbundlösung hätte man jeden Balkens (Querschnitt 20/24 cm) mit jeweils 2 U160 Stahlprofilen verstärken müssen. Diese vergleichsweise aufwendige Alternativlösung hätten jedoch keinerlei Verbesserung der schall- und brandschutztechnischen Eigenschaften mit sich gebracht. Außerdem war sie noch um das 2,5fache teurer.

4.3. Umbau eines denkmal-geschützten Gebäudes zu einem Museum

Ein historisches Gebäude, gebaut etwa in der Mitte des 16. Jahrhunderts, sollte zu einem Museum umgebaut werden. Aus der Sicht des Denkmalschutzes bestand die Forderung nach einem substanzschonenden Umgang mit der historischen Substanz und dem weitestgehenden Erhalt der vorhandenen Konstruktionen. Für die neue Nutzung als Museum sollten die Decken eine Verkehrslast von 5,0 kN/m^2 garantieren.

Eine Bauschadensanalyse ergab allerdings erhebliche Holzschädigungen an der historischen Dachkonstruktion und auch teilweise an den Decken. Das Dach musste vollständig abgetragen und erneuert werden. Die Decken waren in einem instandsetzungsfähigen Zustand. Die Altholzfestigkeit entsprach der Sortierklasse S 10 nach DIN 1052: 1988/1996.

Allerdings waren die Abstände der Balken mit 1,0 bis 1,4 m relativ groß. Auch wiesen die Altholzbalken in Feldmitte relativ große Durchbiegungen infolge Kriechen des Holzes auf. Unter diesen Bedingungen wurde bei den Spannweiten von 4,5 bis 5,0m eine Ertüchtigung der Decke auf eine zulässige Verkehrslast von 3,5 kN/m^2 erreicht (Bild 14).

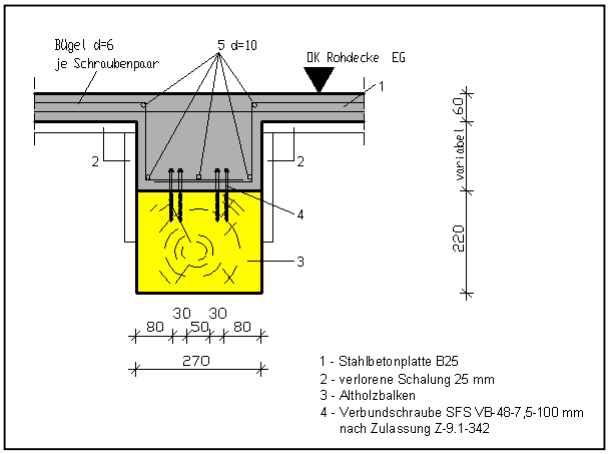


Bild 14: Verbundquerschnitt im Bereich der maximalen Balkendurchbiegung, Spannweite 4,5 bis 5,0mm

4.4. Geschossdecke eines Neubaus für eine Schule

Die HBV-Decke sollte mit einer Spannweite von L = 7,10 m, bei Balkenabständen von 2,5 m und einem Eigengewicht der Decke von g = 3,90 kN/m^2, einer Verkehrslast von p = 3,50

kN/m^2 und einem Trennwandzuschlag von 1,25 kN/m^2 realisiert werden. Der in Bild 15 dargestellte Querschnitt sollte zur Ausführung kommen. An den Balkenenden werden die 3 Reihen Verbundschrauben auf einen Abstand von 12 cm reduzierte. Die Betonplatte mit d = 14 cm sollte als Elementdecke mit Ortbetonergänzung ausgeführt werden.

Ohne Nutzung eines Holz-Beton-Verbund-Systems wäre der Einbau von Deckenbalken mit deutlich größeren Querschnittsabmessungen notwendig gewesen.

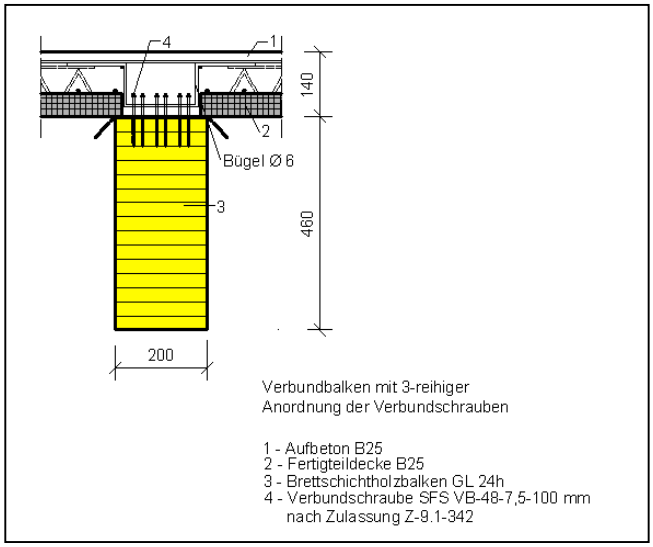


Bild 15: Verbundquerschnitt, Spannweite 7,1 m

4.5. Dach- und Geschossdecken für ein Laborgebäude

Das rund 60,0 m lange und 15,4 m breite zweigeschossige Laborgebäude sollte zunächst ausschließlich in Betonbauweise errichtet werden. Der Bauherr veranlasste jedoch, dass im vorliegenden Entwurf verstärkt der Baustoff Holz als tragendes und gestaltendes Element berücksichtigt wird. Dabei sollten auch innovative Holzbaulösungen angewendet werden. Daraufhin wurden die Außenwände in Holz- Rahmenbauweise mit hinterlüfteter Holzfassade gestaltet. Und sowohl die Dachkonstruktion als auch die Decke über dem Erdgeschoss als Holzbeton- Verbund-Decke ausgeführt. Die Dach- und Deckenträger spannen jeweils über 7,1 und 5,1 m und sind im Raster von 3,5 m angeordnet. Sie bestehen aus Brettschichtholz (Bild 16).

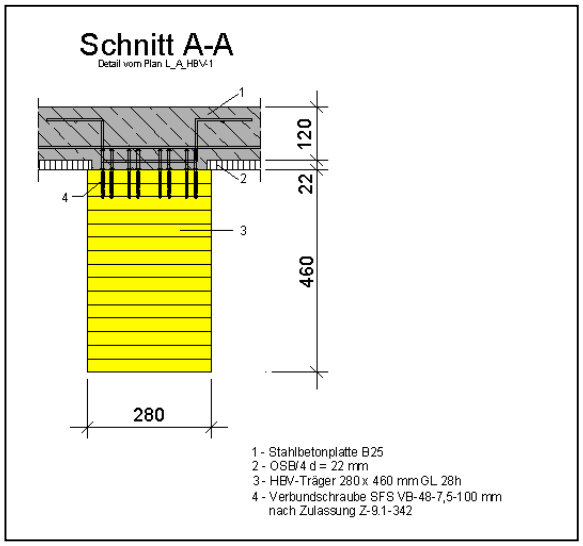


Bild 16: Verbundquerschnitt für die Spannweite von 7,1m

Die Deckenbalken lagern im Bereich der Außenwände auf Holzstützen und im Bereich des Gebäudemittelganges auf in den Stahlbetonwänden einbetonierten Stahlteilen auf. Da der Mittelgang des Gebäudes aus brandschutztechnischen Gründen der Forderung F 90A entsprechen

musste wurde er in Stahlbetonbauweise belassen. Die Unteransicht der Decken sollte nach Maßgabe des Architekten aus sichtbaren OSB- Platten bestehen. Für die Geschossdecke war eine Verkehrslast von 3,5 kN/m^2 zuzüglich eines Zuschlages für leichte Trennwände von 0,75 kN/m^2 maßgebend.

5. Zukünftige Entwicklung

Die Holz- Beton- Verbundbauweise hat sich in der Holzbaupraxis etabliert. Bei Holzbalken- und Massivholzdecken können größere Spannweiten als bisher erreicht werden. Für Brückenbauten in Holz erhält man tragfähigere und dauerhaftere Lösungen.

Die technischen Möglichkeiten des Verbundbaues sind bisher in der Praxis noch nicht vollständig ausgereizt.

Die zukünftige Anwendung von Holz-Beton- Verbund-Systemen wird zu einer weiteren kreativen Belebung und Weiterentwicklung des Holzbaus bzw. zur Entwicklung neuer Systemlösungen beitragen.

Aus der Sicht des praktischen Ingenieurs ist es daher sehr wünschenswert, wenn ihm weitere und möglichst viele innovative Verbindungslösungen als geregeltes Bauprodukt zur Verfügung stehen.

Literatur

BaSys GmbH. Programm HBV-4.0: Holz-Beton-Verbundbalkendecken, Version 4.0, (www.holzbau-statik.de)

Bergfelder, J. (1974). Näherungsverfahren zur Berechnung allgemeiner zusammengesetzter hölzerner Biegeträger mit elastischem Verbund. Bauingenieur 49 (1974).

Bertsche- System GmbH: Die Holz-Beton-Verbunddecke mit den BVD-Verbundankern, Firmeninformation, (www.bertsche-system.de)

Blaß, H. (1994): Verbundkonstruktion Holz- Beton-Stand der Technik, Bemessungsgrundlagen, Ausgeführte Bauten, 15 Dreiländer Holztagung, Garmisch-Partenkirchen 1994

Blaß, H. J. (1999). Holz-Beton-Verbundkonstruktionen; Neue Bemessungsregeln für Holzbrücken. DIN Tagung Karlsruhe 1999.

Blaß, H: J.; Schlager, M. (1996). Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen; Teil 1. Bauen mit Holz (1996), H. 5, S. 392 – 399.

Blaß, H. J.; Schlager, M.; Linden, M. v. d. (1996). Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen; Teil 2. Bauen mit Holz (1996), H. 6, S. 472 – 477.

Cecotti, A. (1995). Holz-Beton-Verbundkonstruktionen; Informations-dienst Holz, Holzbauwerke nach Eurocode 5; Step 2 Düsseldorf (Fachverlag Holz der Arge Holz), 1995.

Diebold, F. (1994): Bauphysik der Holz- Beton-Verdunddecken Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 37, 8. Sep. 1994, S. 712 – 714

Ehlbeck, J. (1997). Holz-Beton-Verbund; Landesvereinigung der Prüfingenieure für Baustatik Baden Württemberg e. V.; Tagungsbericht 24. Freudenstadt 1997.

Erler, K.(1992): Verbundträger aus Holz und Polymerbeton – Forschungsbericht T 2 533; IRB- Verlag Stuttgart 1992

Faust, T.; Selle, R.(2002): Der Einfluß verschiedener Verbindungsmittel auf das Tragverhalten der Verbundfuge in Holz- Leichtbeton- Verbunddecken. Bautechnik (2002) 1, S. 33-41

Fontana, M.; Frangi, A. (1999): Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken; In: Brettstapelbauweise und ökologische Dammstoffe, Fachtagung 16. April 1999, TU Dresden 1999

Gerold, M. (2001): Holzbrücken am Weg, Bruderverlag Karlsruhe, 2001

Godycki, T.; Pawlicka, J.; Klesczewski, J.: Verbunddecke aus Holzrippen und Betonplatten Bauingenieur 59 (1984), S. 477 - 483

Hartmann, H. (1997). Begleitende Untersuchungen zur Ausführung einer Holz-Beton-Verbundkonstruktion beim Engelbert-Kämpfer-Gymnasium im Lemgo. Der Bauingenieur 72 (1997).

Hemmy, O.; Droese, S. (2000): Verbunddecken aus Holzbalken und Elementdecken mit Stahlfaseraufbeton. Bautechnik 77 (2000) H. 4. S. 221 – 228.

Hoeft, M.(1997): Übersicht zu bekannten Veröffentlichungen und Versuchen an Holz- Beton-Verbundkonstruktionen sowie Zusammenstellung verschiedener Methoden zur Herstellung des Verbundes, 7. Hildesheimer Informationstag Holzbau, FH Hildesheim 1997

Holschemacher, K.; Rug, W.; Pluntke, Th., Sorg, J., Fischer, F. (2001): Holz-Beton-Verbund. Holzbauforum 2001, Leipzig am 29.06.2001, Tagungsmaterial, Verlag für Bauwesen, Berlin 2001

Hohmann, R; Siemers, M.(1998): Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundträgern. Bautechnik (1998): 11, S. 922-929

Kenel, A.; Meierhofer U.A. (1998). Holz-Beton-Verbund unter langfristiger Beanspruchung. EMPA Forschungs- und Arbeitsbericht 115/39, Dübendorf 1998.
Kneidl. R.; Hartmann H. (1995). Träger mit nachgiebigem Verbund. Bauen mit Holz (1995), H. 4, S. 285 – 290.
Krattinger, M..(1997): Crestawaldbrücke bei Sufers, Eine Verbindung mit der Zukunft, Mikado (1997) 9, S. 50-54
Kreuziger, H. (2000). Verbundkonstruktionen aus nachgiebig miteinander verbundenen Querschnittsteilen. Tagung Ingenieurholzbau, Karlsruher Tage 2000 (Bruderverlag).
Liebl, M.; Steuerwald T. (2000). Die Verbunddecke mit zwischenliegender Dämmung. Bauen mit Holz (2000), H. 4, S. 46 – 49.
Lißner, K.; Rug, W. (2000). Holzbausanierung, Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung. Berlin (Springer Verlag) 2000.
Marchand, G.; Natterer, J.(1996): Holz- Beton-Verbunddecken im Einsatz. Schweizer Ingenieur und Architekt 29. August 1996, S. 24.25
Mayer, G.; Busler, H. (1997). Holz-Beton-Verbunddecken eines Schulgebäudes in Lemgo. Der Bauingenieur 72 (1997), S. 199 – 205.
Möhler, K. (1948a). Tragkraft und Querkraft von ein- und mehrteiligen Holzdruckstäben nach Rechnung und Versuch. Bauplanung Bautechnik 2 (1948), H. 2, S. 41 – 47.
Möhler, K. (1948b). Versuche mit mehrteiligen Holzdruckstäben und Vorschläge für ihre Bemessung. Bauplanung Bautechnik 2 (1948). H. 11, S. 327 – 332.
Möhler, K. (1956). Über das Tragverhalten von Biegeträgern und Druckstäben mit zusammengesetzten Querschnitten und nachgiebigem Verbund. Habilitationsschrift TH Karlsruhe 1956.
Mönck, W.; Rug, W. (2000) Holzbau. Berlin (Verlag für Bauwesen) 2000.
Natterer, J; Herzog, T.; Volz, M.(1996): Holzbau- Atlas, Köln 1996
Natterer, J.; Pflug, D.(1996): Holzbrücken, einfach aber nicht primitiv, Schweizer Ingenieur und Architekt, 26. Juni 1976, S. 21-22.
Natterer, J. (1996). Stapelbauweise und Holz-Beton-Verbundbauweise.
IBOIS/EPA, Lausanne April 1996.
Pischl, R.(1999): Holzbrücken in der Steiermark, 2. Europäischer Holzbautagung, Tagungsband „Holzbau in Europa“, Berlin 1999
Postulka, J. (1983). Strengthening of Wooden Ceiling Construktions. IABSE Symposium Venezia 1983, IABSE-AIPC-IVBH Zürich 1983.
Postulka, J.(1997): Holz-Beton-Verbunddecken 36 Jahre Erfahrung; Bautechnik 74 (1997) 7, S. 478 – 479
Postulka, J.; Sandanus, J. (1999). Berechnungsverfahren für eine Holz-Beton-Verbunddecke mit Nägeln als Verbindungsmittel, Bautechnik 76 (1999).
Rug. W. (1995). Verbunddecken aus Holz und Beton. Bautechnik 72 (1995) H. 7, S. 454 – 459.
Rug, W.; Held, H.; Lißner, K.; Winter, S.; Schmidt, D.; Holtz, F.; Hessinger, J.; Hauser, G.; Otto, F.(2001): Modernisierung von Altbauten, Informationsdienst Holz, Holzbauhandbuch Reihe 1, Teil 14, Folge 1, Düsseldorf 2001
Rug, W.; Lißner, K. (2003). Zum aktuellen Stand von Forschung und Entwicklung im Holzbau. Bauingenieur 78 (2003) 5. S. 240 – 251
Rug, W.(2003): 100 Jahre Holzbau und Holzbauforschung. In: Bund Deutscher Zimmermeister (BDZ) Hrsg: 100 Jahre Bund Deutscher Zimmermeister: 100 Jahre Verband Holzbau, Holzbauforschung 1903 – 2003, Bruderverlag, Karlsruhe, 2003
Schaub, O. (1939). Verbunddecke aus Holzrippen und Betonplatte. Patentschrift o. O. 1939.
Schickerhofer, G.; Bernasconi, A.(2001): Der moderne Brückenbau- Tragstrukturen und Fahrbahnkonstruktionen, In: Holzbau Kalender 2002, Karlsruhe 2001
Stade, F.(1904): Die Holzkonstruktion, Berlin 1904.
Stadelmann, W.(1993): Die Ronatobelbrücke bei Furna, Schweizer Ingenieur und Architekt, 18. März 1993, S. 207- 208
Timmermann, K.; Meierhofer, U. A.(1993): Holz- Beton-Verbundkonstruktionen, EMPA, Bericht 115/30, Dübendorf 1993
Timmermann, K.; Meierhofer, U. A.(1994): Berechnung von Holz-Beton-Verbundbalken mit der Differenzenmethode. Schweizer Ingenieur und Architekt 03 (1994).
Werner, H. (1992). Holz-Beton-Verbunddecke mit einer neuartigen Fugenausbildung. Bauen mit Holz (1992). H. 4, S. 312 – 324.
Werner, G.; Zimmer, K. (2000). Holzbau, Teil 1 und 2, Auflage 2 Berlin 2000.

Bauaufsichtliche Zulassungen zur Holz-Beton-Verbund-Bauweise

Z.9.1-331:	EW-Holz-Beton-Verbundelement
Z.9.1-342:	SFS-Verbundschrauben VB 48-7, 5 x 100 als Verbindungsmittel für das SFS-Holz-Beton-Verbundsystem
Z.9.1-445:	Timco II Schrauben als Verbindungsmittel für das Timco Holz-Beton-Verbundsystem
Z.9.1-473:	Brettstapel-Beton-Verbunddecken mit Flachstahlschlössern

Tabelle 1: Holzbrücken mit Beton-Fahrbahnplatten unter Nutzung des Verbundes zwischen Holzträgern und Beton

[1)] Gesamtlänge

Jahr	Land	Ort	Spannweite [m]	Breite [m]	Tragwerke	Verbundlösung	Nutzung	
							Straßen-brücke	Fußgänger-brücke
1991	Schweiz	Furna	12+12+13,75 +12,25	4,2	Sprengwerk	Stahlbleche mit Bewehrung	X	
1991	Schweiz	Kerzes	8,1	4,0	Balken/Hänge-werk	Rundholz mit Kerve + Hilti-Dübel vorgespannt		X
1991	Schweiz	Sentiers	13,0	4,0	Balken/Hänge-werk	Rundholz mit Kerve + Hilti-Dübel vorgespannt		X
1996	Schweiz	la Chapelle de Surieu	14,0	4,57	Balken/Hänge-werk	Rundholz über Hilti-Dübel vorgespannt	X (30 t)	
1996	Österreich	Schafferbrücke	13,5	6,0	Balken	Brettstapel mit Formschluss und Spannschrauben	X	
1995/96	Österreich	Wennerbrücke St. Georgen	45,0	8,6	Dreigelenk-bogen	Eingeklebte Gewindestangen und Betonfertigteilplatten	X	
1996	Schweiz	Crestawaldbrücke bei Sufers	33 [1)]	3,9	Sprengwerk	Kopfbolzen ∅ 16 x 125 mm	X	
1998	Schweiz	Innerferrara	45,7 (60,5)[1)]	k. A.	Zweigelenk-bogen	Eingeklebte Bewehrung d= 14mmm und Betonfertigteilplatten	X	