

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 112 (1994)
Heft: 37

Artikel: Anwendung von Holz-Beton-Verbund im Hochbau
Autor: Wieland, Heinz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78504>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 06.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

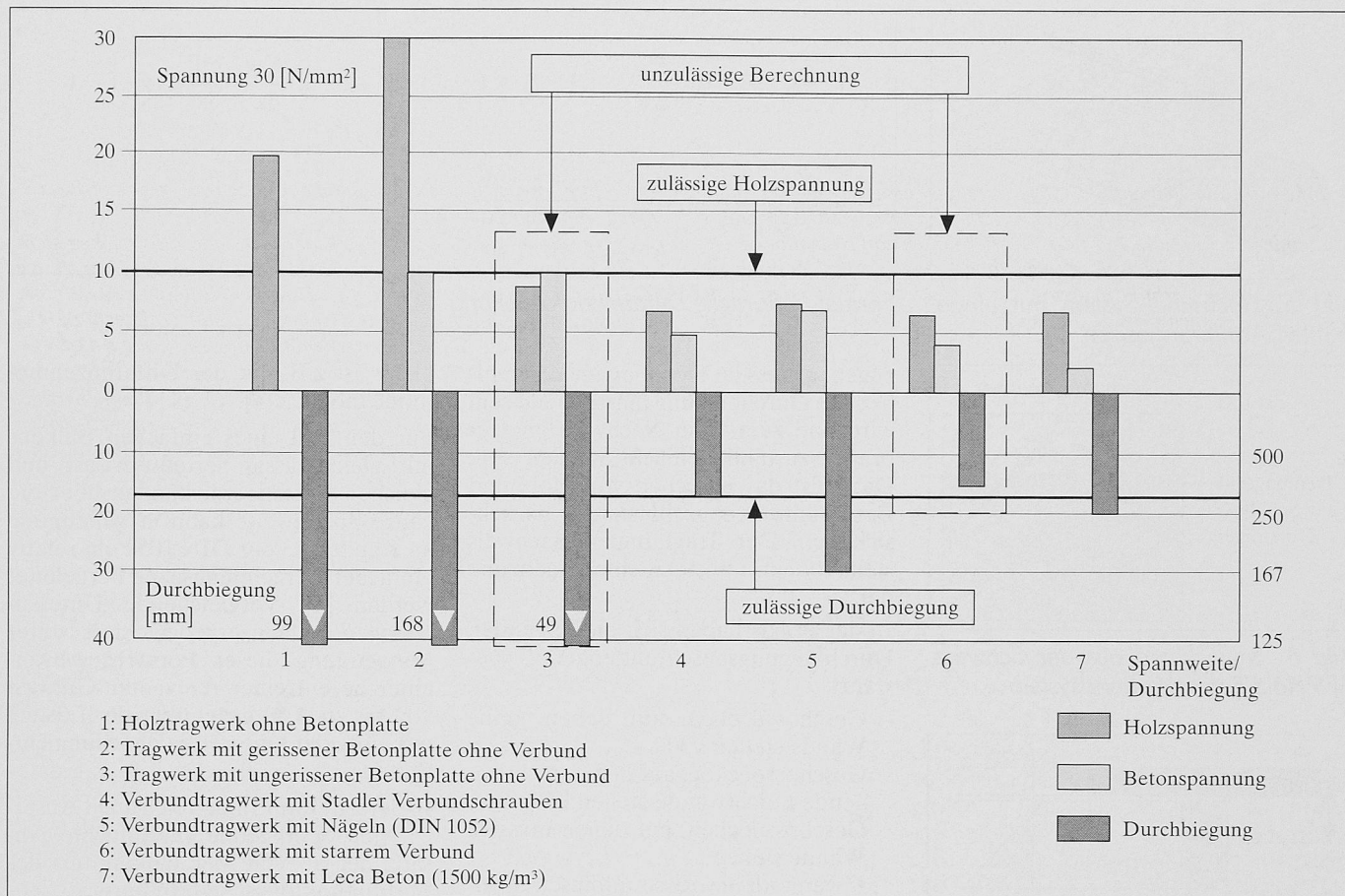


Bild 2. Spannung und Durchbiegung verschiedener Tragwerke

Rechnung verführerisch einfachen – starren Verbund. Unrealistisch günstige Resultate für Spannungen und Durchbiegung sind die Folge. Natürlich wird man sich nun fragen, ob denn Holz und Beton überhaupt zu einem Verbundtragwerk zusammengefasst werden sollen. Diese Frage ist durchaus berechtigt, weisen doch Holz und Beton verschiedene Eigenschaften bezüglich Temperaturexpansion und vor allem Schwinden und Quellen bei Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes auf. Insbesondere bei einem sehr steifen Verbund – und ein solcher muss angestrebt werden, um die Durchbiegungen im zulässigen Bereich zu halten – ergeben sich nicht zu vernachlässigende Nebenspannungen in diesen Tragwerken. Die fol-

genden Ausführungen, bei denen diese Probleme ausgeklammert bleiben, sind daher nur für Tragwerke in witterungsgeschützten, geheizten Räumen (nach SIA 164, Art 2. 21. 2) anwendbar.

Bei der Betrachtung dieses und anderer Deckensysteme lässt sich jedoch erneut deutlich erkennen, dass sich Bauphysik und Statik nicht trennen lassen. Die meisten Bauteile im Hochbau enthalten sowohl statische als auch bauphysikalische Probleme.

Die Arten von Verbundsystemen

Weltweit wurden verschiedene Verbundsysteme entwickelt, vor allem an

Hochschulen und für vorfabrizierte Bauten. Im folgenden sollen 4 dieser Systeme kurz dargestellt werden:

□ Verschiedene Systeme mit Verbund auf der Basis von Nagelplatten werden in den traditionellen Holzbauländern wie etwa Skandinavien, im Bereich Vorfabrikation von Hochbauten verwendet (Bild 3).

□ Das Verbund-System aus Frankreich (Bild 4) eignet sich nicht für die Anwendung auf der Baustelle. Holzleimbinder werden werkseits mit den eingeklebten Stahlrohrstücken als Verbinder angeliefert. In der Baupraxis dürfte dieses System recht aufwendig sein. Die Schalung muss unterbrochen werden und die Abdichtung gegen aus-

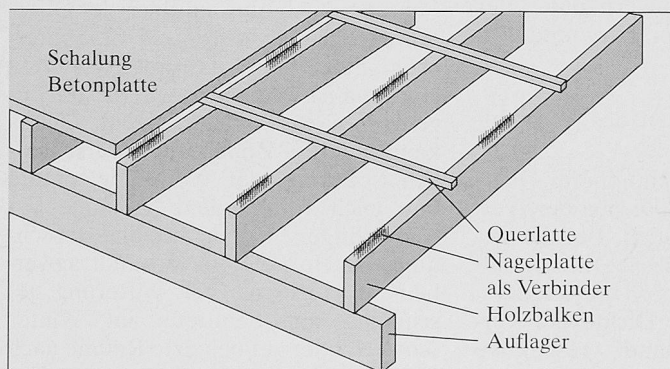


Bild 3. Das finnische LAATTA-System

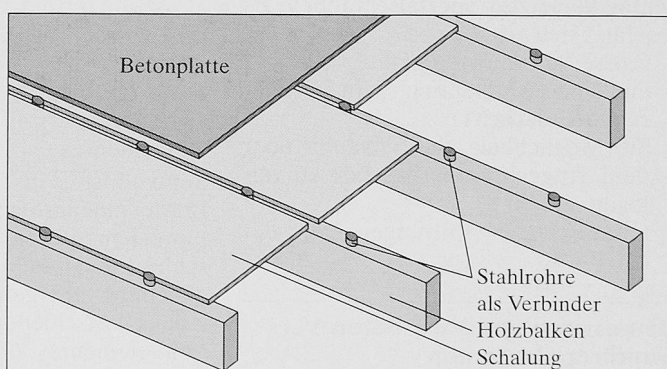


Bild 4. Ein System aus Frankreich: Verbund mit eingeklebten Stahlrohrstücken

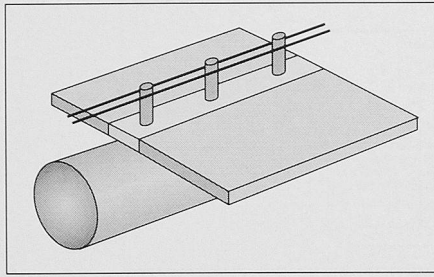


Bild 5. Hochschul-System mit eingeleimten Armierungseisen

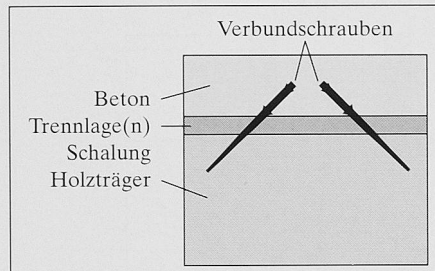


Bild 6. Entwicklung aus der Schweiz: SFS Holz-Beton-Verbundsystem

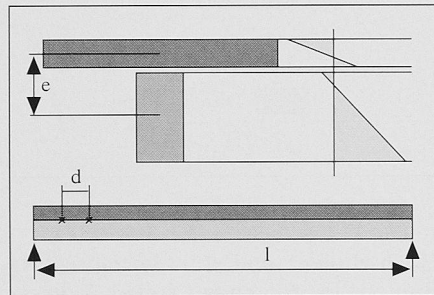


Bild 7. Spannungsverteilung bei elastischem Verbund

fließende Zementmilch ist nicht einfach.

□ Eher arbeitsintensiv dürfte das an einer Hochschule entwickelte System in Bild 5 sein. Wohl werden einfache Baumaterialien verwendet – mit Ausnahme des Klebers, welcher auf der Baustelle immer ein Problem darstellen dürfte – aber der Arbeitsaufwand ist enorm. Das System kann natürlich auch für Holzträger aus Kanthölzern verwendet werden.

□ Für die Praxis entwickelt wurde das SFS Verbundsystem in Bild 6, auf Basis schräg versetzter Spezialschrauben. Es zeichnet sich aus durch

- grosse Verbundsteifigkeit
- einfache Handhabung (kein Vorbohren erforderlich)
- die Möglichkeit, die Schalung über dem Träger ununterbrochen zu verlegen
- umfangreiche Prüfungen an der EMPA [2].

Bemessung von Holz-Beton-Verbundtraglelementen

Bei der Bemessung von Holz-Beton-Verbundtraglelementen ist davon aus-

$$(E_c \cdot J_c + E_t \cdot J_t) \cdot \frac{\delta^6 w}{\delta x^6} - ((E_c \cdot J_c + E_t \cdot J_t) \cdot \omega^2 + e^2 \cdot k) \frac{\delta^4 w}{\delta x^4} - \frac{\delta^2 F}{\delta x^2} + \omega^2 \cdot F = 0$$

$$k = \frac{C}{d_c} \quad \omega^2 = k \cdot \frac{E_c \cdot A_c + E_t \cdot A_t}{E_c \cdot A_c \cdot E_t \cdot A_t}$$

Formel 1. Partielle Differenzialgleichung

zugehen, dass im Hochbau im allgemeinen die Durchbiegung massgebend sein wird und zuerst ein Nachweis im Gebrauchszustand gemacht werden soll. Dabei ist das Kriechen von Holz und Beton unter Langzeitlasten zu berücksichtigen. Der Tragfähigkeitsnachweis stellt sodann nur noch eine Ergänzung dar.

In der Praxis haben sich die folgenden Durchbiegungsbeschränkungen bewährt:

- Geschossdecken, auf denen keine Wände stehen $l/300$
- Geschossdecken, auf denen nichttragende Leichtwände stehen $l/300$
- Geschossdecken, auf denen massive Wände stehen:
 - wenn kleine Risse in diesen Wänden toleriert werden $l/500$
 - wenn keine Risse in diesen Wänden toleriert werden $l/1000$.

Den Nachweisen muss ein nachgiebiger Verbund zugrunde gelegt werden. Es ist nicht zulässig, mit starrem Verbund zu rechnen.

Allgemein kann der elastische Verbundträger mit der folgenden inhomogenen Differenzialgleichung sechsten Grades beschrieben werden [3] (Bild 7 und Formel 1):

wobei

- J_t Trägerheitsmoment Holzbalken
- J_c Trägerheitsmoment Betonplatte
- J_f Trägerheitsmoment voller, starrer Verbund
- J_p Trägerheitsmoment teilweiser, elastischer Verbund
- A_t Querschnittsfläche Holzbalken
- A_c Querschnittsfläche Betonplatte
- d Abstand der Verbundelemente
- e Abstand der Schwerpunkte der Querschnittsflächen Holz und Beton
- F verteilte Last
- C Schubfedersteifigkeit des Verbundelementes

Sinnvoll ist es in Zonen höherer Querkraften eine grössere Dichte der Verbundelemente zu wählen. Bei der geschlossenen Lösung dieser Differentialgleichung [3] ergeben sich für jede der n Zonen verschiedener Dichte der Verbundelemente 6 Rand- respektive Übergangsbedingungen; mithin ein Gleichungssystem mit $n \cdot 6$ Gleichungen. Eine numerische Lösung des Pro-

blems ist z.B. mit der Differenzenmethode möglich [4].

Für den Fall eines einfachen Balkens mit gleichmässig verteilter Last und gleichen Befestigerabständen über die ganze Spannweite kann in Anlehnung an Kapitel 8.3 der DIN 1052 ein relativ einfacher Berechnungsgang hergeleitet werden [5]. Vergleichende Untersuchungen haben ergeben, dass unter Verwendung dieser Formeln Abweichungen einzelner relevanter Grössen von bis zu 30% gegenüber der Lösung mit Hilfe der Differentialgleichung entstehen.

In der Literatur finden sich auch Ansätze wie der folgende vereinfachte Ansatz, der aber an der Unkenntnis des Verbundfaktors scheitern muss:

$$J_p(E_t) = (1 - \varphi) \cdot (J_c \cdot \frac{E_c}{E_t} + J_t) + \varphi \cdot J_f(E_t)$$

Leider ist es auch in Grossversuchen nicht möglich diesen Verbundfaktor φ zu ermitteln.

Somit ist eine Bemessung mit ausreichender Genauigkeit nur mit der Lösung der inhomogenen Differentialgleichung möglich. Da die Schubfedersteifigkeiten der Verbundelemente je nach Art des Setzens variieren, sollten bei der Bemessung neben einer mittleren Schubfedersteifigkeit auch extreme Werte eingesetzt werden. Es dürfen nur Verbundsysteme und Materialkombinationen (Holz und Beton) eingesetzt werden, für welche die Schubfedersteifigkeiten durch Versuche ermittelt wurden oder genormt sind.

Für die Berechnung auf Basis der Differentialgleichung wurde ein Computerprogramm erstellt, das unter MS-DOS lauffähig ist und den interessierten Ingenieuren zu Verfügung steht. Dieses kann mehrere Zonen mit unterschiedlicher Dichte der Verbundelemente und auch verschiedene Lastfälle berücksichtigen. Es ist auf die Berechnung von Holz-Beton-Verbundtragwerken im Hochbau (vor Witterung geschützte, gut belüftete, im Winter schwach oder gut beheizte Räume nach SIA 164 oder Service Class 1 nach Eurocode 5) mit dem SFS Holz-Beton-Verbundsystem ausgelegt.

Als statisches System steht der einfache Balken im Vordergrund. Bei Durchlaufträgern ergeben sich nicht nur Probleme bei der Berechnung, sondern auch bei den Konstruktionsdetails.

Einsatz in der Praxis

Das SFS Verbundsystem wurde in der Praxis schon bei über 50 Bauwerken in Alt- und Neubau eingesetzt. Erfahrungen sind also vorhanden.

Der wirtschaftlichste Einsatz bei der Altbausanierung ergibt sich dann, wenn die alte als Boden dienende Bretter-schalung belassen werden kann. Dann wird nur der alte Bodenbelag entfernt und eine doppelte Lage grosszügig überlappende PE-Folie verlegt, bevor die Verbundelemente nach Angaben des Bauingenieurs versetzt werden (Bild 8). Der Zustand der Holzbalken muss insbesondere im Auflagerbereich von Aussenwänden sorgfältig überprüft werden.

Insbesondere dann, wenn die Raumhöhe nicht ausreichend ist, wird man sich bei der Altbausanierung dazu entschliessen, die vorhandene Bodenschalung zu entfernen. Der Hohlraum zwischen den Balken wird mit einem leichten Füllmaterial aufgefüllt und das ganze wieder mit zwei Lagen PE-Folie abgedeckt (Bild 9).

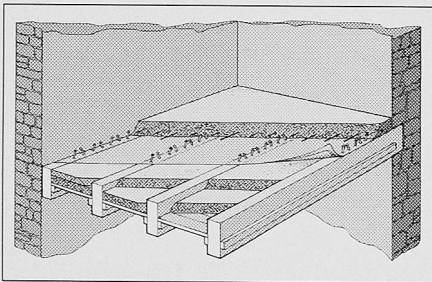


Bild 8. Holz-Beton-Verbundtragwerk im Altbau mit abgehängter Decke

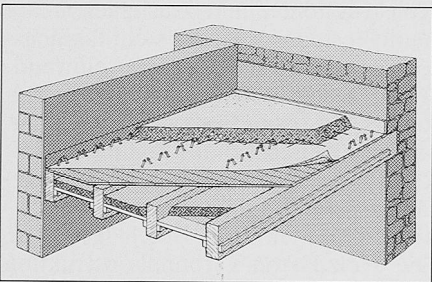


Bild 9. Holz-Beton-Verbundtragwerk im Altbau mit belassenem Bretterboden

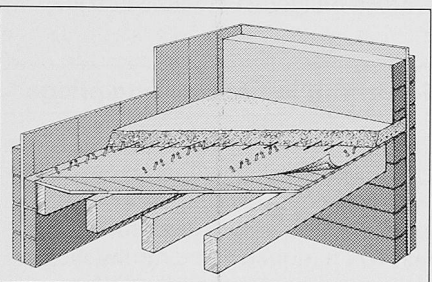


Bild 10. Holz-Beton-Verbundtragwerk im Neubau

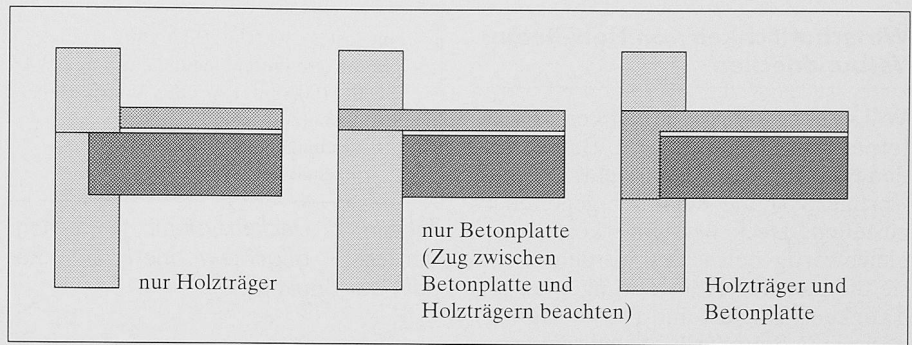


Bild 11. Auflagermöglichkeiten des SFS Holz-Beton-Verbundsystems

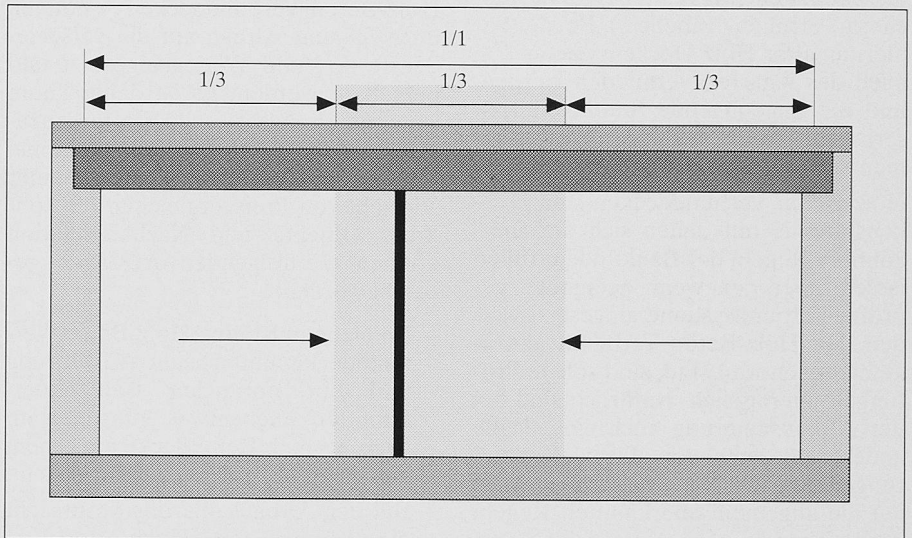


Bild 12. Faustregel zur Spriessung des Tragwerkes

lung zu entfernen. Der Hohlraum zwischen den Balken wird mit einem leichten Füllmaterial aufgefüllt und das ganze wieder mit zwei Lagen PE-Folie abgedeckt (Bild 9).

Auch bei Neubauten kann das Holz-Beton-Verbundtragwerk durchaus attraktiv sein (Bild 10). Es dürfte die wirtschaftlichste Art sein, ein sichtbares Holztragwerk mit einem akzeptablen Schallschutz zu verbinden. Auch Probleme wie spürbare Schwingungen beim Begehen und das Knarren von Böden sind bei diesem Tragwerk unbekannt.

Das System ist also äusserst vielseitig und kann in der Altbausanierung wie auch im Neubau eingesetzt werden. Besonders interessant sind die verschiedenen Auflager-Varianten (Bild 11).

Wann immer es möglich ist, soll das Tragwerk im Betonierzustand abgespriessst werden können. In Ausnahmefällen ist aber auch ein Verzicht auf eine Spriessung möglich. Allenfalls kann das Tragwerk an ein darüberliegendes Bauteil aufgehängt werden. Als Faustregel genügt es, wenn die Spriessung im mittleren Drittel der Spannweite erfolgt (Bild 12). Gerade bei der Altbausanierung ist diese Flexibilität bei der Spriessung oft willkommen.

Befürchtungen, beim Betonieren könnte Wasser oder Zementmilch durch die

Schalung hindurchtreten und Holzbalken oder alte wertvolle Gipsdecken in ihrer Ästhetik beeinträchtigen, haben sich als unbegründet erwiesen.

Brandschutz

Natürlich gelten beim Brandschutz die kantonalen Vorschriften. Trotzdem sind einige Überlegungen angebracht. In der Altbausanierung stellt das Holz-Beton-Verbundtragwerk immer eine namhafte Verbesserung gegenüber dem alten Zustand, aber auch im Vergleich mit anderen Sanierungsvarianten von Tragwerken dar.

Technisch betrachtet, können auch im Neubau in vielen Fällen die Anforderungen an F 60 erfüllt werden. Setzt man einen Abbrand von 40 mm/h in Rechnung, so werden die Bruchspannungen vor allem bei massiven Holzträgern nach 60 Min. nicht überschritten. Auch ein Durchbrennen des Raumabschlusses nach oben oder unten ist nicht möglich. Werden schwimmende Estriche verwendet, so erreicht auch die Oberflächentemperatur im Nachbarraum nach 60 Min. Vollbrand (Norm-Brandkurve nach DIN 4102) keinesfalls eine kritische Höhe. Und bei geeigneter Ausbildung der Auflager ist auch eine Feuerübertragung am Rande nicht möglich.

Wirtschaftlichkeit von Holz-Beton-Verbunddecken

Will man die Wirtschaftlichkeit von alternativen Bauteilen und Baumethoden beurteilen, so ist es wichtig, gleichwertige Systeme einander gegenüberzustellen. Deckensysteme können als gleichwertig betrachtet werden, wenn sie die gleichen Anforderungen an die Tätigkeit (Traglast und Durchbiegung) und an die Bauphysik – Schallschutz bei Zwischendecken im Hochbau und Wärmeschutz/Feuchtigkeit bei Flachdächern – erfüllen (Tabelle 1). Bei der Sanierung alter Holz-Deckensysteme soll auch das Knarren vermieden werden, und die ungenügende Steifigkeit äussert sich vor allem durch unangenehmen Schwingungen beim Begehen.

Holz-Beton Verbunddecken sind Deckensysteme, mit denen sich die anerkannten Regeln der Baukunde erfüllen lassen, aber nur, wenn geeignete, geprüfte Verbundsysteme eingesetzt werden. Da Holz-Beton-Verbundtragwerke nicht genormt sind, sind solche Prüfungen unerlässlich. Natürlich sind bei der Altbauanierung noch eine Reihe anderer Systeme von Tragwerksanierungen möglich. Nur wenige aber erfüllen die allgemein anerkannten Regeln der Baukunde.

- Nutzlast $2 \dots 4 \text{ kN/m}^2$ (SIA 160)
- Spannweite/Durchbiegung dauernd > 300 ($> 500 \dots 1000$ unter spröden Wänden)
- Schallschutz
 - Luftschall $D'_{nT,w} \geq 52 \dots 57 \text{ dB}$
 - Trittschall $L'_{nT,w} \leq 55 \dots 45 \text{ dB}$

Tabelle 1. Deckensysteme (Zwischendecken) – allgemein anerkannte Regeln der Baukunde

Holz-Beton-Verbunddecken können im Neu- und Altbau auf die verschiedenste Art und Weise eingesetzt und aufgebaut werden. Es ist daher kaum sinnvoll, an dieser Stelle Kosten anzugeben, zumal heute die Preise regional sehr stark schwanken. Aber aus einer Vielzahl von Preisvergleichen für konkrete Objekte und Nachkalkulation können die folgenden Aussagen gemacht werden:

- Im Neubau ist eine Holz-Beton-Verbunddecke einfachster Ausführung und mit optimalen Balkenquerschnitten eher etwas günstiger im Preis als eine Betondecke mit einem einfachen Verputz an der Untersicht.
- Bei der Altbauanierung verursacht die Lösung mit Holz-Beton-Ver-

Literatur

- [1] RILEM 111 – Behaviour of Timber and Concrete Composite Load-Bearing Structures: Draft State of the Art Report 1992
- [2] EMPA Bericht 115/30: Holz/Beton Verbundkonstruktionen 1993
- [3] Girhammar Ulf Arne: Behaviour of Timber and Concrete Composite Load-Bearing Structures: Chapter 3 «Theory and Practice», RILEM TC 111, 2nd draft 1991
- [4] Timmermann Kai Uwe: Berechnung von Holz-Beton-Verbundtragwerken mit der Differenzenmethode, wird voraussichtlich im November 94 im SI+A veröffentlicht
- [5] Blass Hans Joachim: Verbundkonstruktionen Holz-Beton, Stand der Technik, Bemessungsgrundlagen, ausgeführte Bauten, Delft 1993

bunddecken normalerweise etwas weniger als die Hälfte der Kosten eines Abbruches der Holzdecke und dem Einziehen einer Betondecke.

Adresse des Verfassers: H. Wieland, Dipl. Bau-Ing. ETH, Wieland Engineering AG, Im Städtli 121, 7304 Maienfeld

Erhaltung und Verbesserung bestehender Bausubstanz

Die Holz-Beton-Verbundtechnologie als substanzschonende Baumethode ist längst nicht mehr nur eine punktuelle Detaillösung, sondern eine überzeugende Alternative für einen vernünftig zu modernisierenden Altbau, die wesentlich billiger ist als ein Neubau. In vielen Fällen ist die moderne Holz-Beton-Verbundmethode die einzige Möglichkeit, um unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit wertvolle Bausubstanz überhaupt zu erhalten.

Die Erhaltung und Verbesserung von Holzbalkendecken stellt eines der grossen Probleme bei Altbauanierungen

VON FLORIN FRICK, SCHAAN

dar. Die mangelhafte Tragfähigkeit, die starke Durchbiegung, der mangelhafte Schall- und Brandschutz von Holzbalkendecken führen oft zu einem Ersatz durch Massivbetondecken. Ein derartiger Eingriff hat in den meisten Fällen eine Entkernung der Gebäude zur Folge, da es oft weder wirtschaftlich vertretbar noch technisch möglich ist, die Innenwände bzw. den Innenausbau zu erhalten.

Die heutige Holz-Beton-Verbundtechnologie stellt dagegen eine substanzschonende und in den meisten Fällen auch wirtschaftlichere Alternative dar. Holz-Betonverbund als Sanierungsmassnahme wurde schon in der Vergangenheit relativ häufig bei Denkmalschutzbauten angewandt, weil bei diesen Objekten die relativ hohen Kosten dieser damals noch wenig ausgereiften Technologie vertretbar war. Mittlerweile ist die Anwendungs- und Materialtechnologie soweit entwickelt, dass es wirtschaftlicher ist, Holzbalkendecken zu erhalten und zu verbessern als durch andere Konstruktionen zu ersetzen. Bleiben die Decken bestehen, kann

auch das «Innere» des Hauses erhalten werden (Bild 1). «Wer einen solchen inneren Abbruch beobachtet und weiss, was die Herstellung der dort entfernten Konstruktionen und Ausbauelemente heute kosten würde, der steht fassungslos vor der Vernichtung von einwandfreien Dachstühlen, tragfähigen Balkendecken, standfesten Treppenhäusern mit gedrehten Geländern, Balkendecken, Parkettböden, Massivholztäfern, gestemmten Zimmertüren, stukierten Decken, alten Beschlägen» [1]. Die Holz-Beton-Verbundkonstruktion ist daher nicht nur eine «Detaillösung», sondern eine Möglichkeit für einen vernünftig modernisierten Altbau, der wesentlich billiger ist als ein Neubau.

Sanierung in der Denkmalpflege

Die technischen Problemstellungen bei einer Anwendung von Holz-Beton-Verbund bei Altbauten sind vielfältig, grundsätzlich jedoch bei einem Denkmal von nationaler Bedeutung die gleichen wie bei einer «Billig-Substanzerhaltung» von beispielsweise einem gewerblichen Gebäude. Steht bei der so-