

# Innovativer Verbundbau

Autor(en): **Zahn, Franz A. / Fontana, Mario**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 25

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78736>

## **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.

Franz A. Zahn, MuttENZ, und Mario Fontana, Zürich

## Innovativer Verbundbau

**Die im April 1993 gegründete Begeleitkommission SIA 163 «Verbundbau» hat sich zum Ziel gesetzt, der Baupraxis neue Entwicklungen im Verbundbau zugänglich zu machen. In diesem Rahmen wurde ein Literaturstudium unternommen, um dem Praktiker einen Überblick über das breitgefächerte Spektrum der während der letzten Jahre entstandenen Formen dieser Bauweise an die Hand zu geben. Der vorliegende Aufsatz ist eine Zusammenfassung der innovativen Entwicklungen auf dem Gebiete des Verbundbaus. Es wird bewusst auf detaillierte Schilderungen verzichtet und stattdessen versucht, anhand einiger kurz beleuchteter Beispiele die Richtung aufzudeuten, in welche sich die Verbundbauweise entwickelt. Eine umfangreiche Literaturliste zu diesem Thema kann von Interessierten beim Sekretariat von Prof. Dr. M. Fontana, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, bezogen werden.**

«Verbundbau» ist ein sehr umfassender Begriff, welcher einerseits ein breitgefächertes Spektrum von Bauweisen beinhaltet, andererseits aber auch verschiedene Definitionen beziehungsweise Interpretationen zulässt. Zur besseren Übersicht wird daher im folgenden eine Einteilung der vorgestellten Anwendungen in drei Gruppen vorgenommen. Es sind dies: allgemeine Grundlagen, Hochbau und Brückenbau. Dabei lassen sich naturgemäss Überschneidungen, also Zugehörigkeit zu mehr als einer Gruppe bei einigen Beispielen nicht vermeiden. Natürlich wäre auch eine Einteilung nach anderen Gesichtspunkten, beispielsweise nach den durch Verbund gepaarten Materialien möglich, also Stahl-Beton-Verbund, Holz-Beton-Verbund, Beton-Beton-Verbund.

Ob durch Ortbeton ergänzte Konstruktionen aus Betonfertigteilen im Rahmen dieses Aufsatzes überhaupt zu den Verbundbauweisen gezählt werden sollen, war zunächst nicht klar. Es wurde aber schliesslich entschieden, diese seit langem sehr verbreiteten Bauweisen mit einzuschliessen, da es sich bei ihnen eindeutig um typische Verbundprobleme handelt, und sie aus zum Teil ähnlichen Überlegungen wie die klassische Stahl-Beton-Verbundbauweise entstanden sind, nämlich dem Be-

streben nach Rationalisierung der Bauabläufe.

Auf Beispiele der Holz-Beton-Verbundbauweise wird hier bewusst verzichtet, da über diese kürzlich ausführlich berichtet wurde, wie beispielsweise in [1].

### Allgemeine Grundlagen

Abgesehen von ständigen Verfeinerungen der Bemessungsverfahren, insbesondere für Brand- und Erdbebenbeanspruchung, hat es vor allem in der Detailauslegung der Verbindungen und bei den Verbundmitteln zwischen Stahl und Beton einige bemerkenswerte Entwicklungen gegeben. Die zugehörigen Beispiele betreffen sowohl Anwendungen im Hoch- als auch im Brückenbau.

Hier sei zuvorderst die auf den oberen Flansch geschweisste Lochleiste (Bild 1) genannt, die unter dem Namen «Perfobond» bekannt ist. Der Vorteil dieser Lochleisten besteht im gegenüber Kopfbolzendübeln steiferen Verbundverhalten unter Gebrauchslasten und in der höheren Ermüdungsfestigkeit [2]. Trotz des steiferen Verbundverhaltens ist die Verbindung ausreichend duktil. Ein weiteres innovatives Verbundmittel findet seit kurzem in der Praxis Anwendung. Die Dübel bestehen aus einem kaltverformten L-förmigen Metallstück mit C-förmigem Querschnitt (Bild 2) und werden mittels hochfesten Setzbolzen schubfest mit dem Flansch des Trägers verbunden. Somit wird bei diesen Dübeln auf jegliche Schweissung völlig verzichtet. Näheres ist [3] zu entnehmen.

Eine in Japan entwickelte Methode für die Herstellung des Verbunds zwischen Stahlträger und Betonplatte bezieht sich auf die Verwendung von Fertigbetonplatten

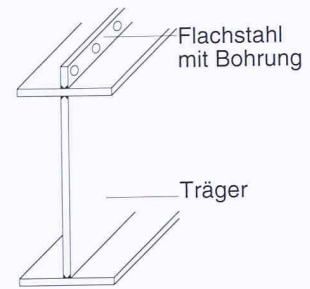


Bild 1.  
«Perfobond»-Leiste als Verbundleiste zwischen Stahlträger und Betonplatte

und zielt in erster Linie darauf ab, die Anzahl der in den Fertigplatten für die Dübel vorzusehenden Löcher zu reduzieren [4]. Die Methode basiert auf zwei verschiedenen Prinzipien, welche miteinander kombiniert werden. Zum einen wird der Verbund nicht durch Dübelwirkung, sondern durch Reibkräfte in der Verbundfuge hergestellt, welche ihrerseits durch vorgespannte hochfeste Schrauben bewirkt werden. Der Verbund wird gegenüber dem durch Kopfbolzendübel hergestellten Verbund deutlich steifer. Auch die Ermüdungsfestigkeit ist verglichen mit Kopfbolzendübeln erheblich grösser. Die Anzahl der in den Fertigplatten vorzusehenden Löcher ist deutlich geringer als bei Verwendung von Kopfbolzendübeln. Das zweite Prinzip der Methode besteht in der Aufbringung einer Schubvorspannung in der Verbundfuge, welche der durch äussere Lasten bewirkten Schubspannung entgegenwirkt. Bild 3 verdeutlicht dieses Prinzip. Die Aufbringung der Schubvorspannung erfolgt dabei durch Wegnahme der Lasten P, nachdem der Verbund zwischen Betonplatte und Stahlträger hergestellt wurde. In der Praxis wird statt der Lasten P eine temporäre exzentrisch (im oberen Teil des Stahlträgers) wirkende Vorspannkraft durch Spannstangen aufgebracht, welche nach Herstellung des Verbunds entfernt werden. Nachteilig ist bei dieser Methode, dass eine Vorverformung sowie die damit

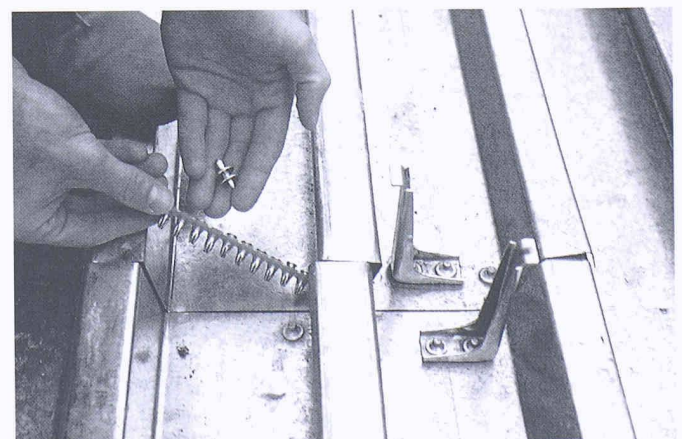


Bild 2.  
Verbunddübel werden mit Setzbolzen auf dem Stahlträger befestigt, so dass Schweissarbeiten entfallen


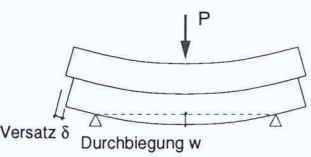
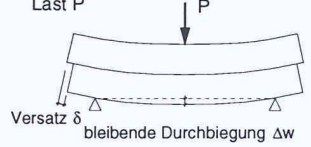
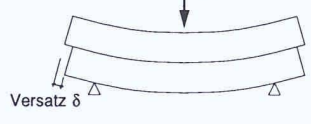
Belastungsgeschichte	Scherkräfte in der Grenzfläche zwischen den Bauteilen A und B
<p>① Biegeträger, gebildet aus zwei Bauteilen A und B</p> 	
<p>② Aufbringen einer Last P im Stadium ohne Verbund</p> 	<p>②</p> <p style="text-align: center;"><math>V = 0</math></p> <p>Die Verbund-Grenzflächen gleiten ohne Schubspannungen zu erzeugen</p>
<p>③ Herstellen des Verbundes zwischen den Bauteilen A und B unter der Last P</p>  <p>Der Versatz <math>\delta</math> an den Bauteilenden bleibt, was eine bleibende Durchbiegung <math>\Delta w</math> hervorruft</p>	<p>③ Scherkräfte aus dem Entfernen der Last P</p> <p style="text-align: center;"><math>V = \frac{-P}{2}</math>      <math>V = -\frac{(-P)}{2}</math></p>
<p>④ Aufbringen einer Last W auf den Verbundträger</p> 	<p>④ Scherkräfte aus dem Aufbringen der Last W</p> <p style="text-align: center;"><math>V = \frac{W}{2}</math></p> <p>Scherkräfte aus dem Entfernen der Last P</p> <p style="text-align: center;"><math>V = \frac{-P}{2}</math>      <math>V = -\frac{(-P)}{2}</math></p> <p style="text-align: center;">  </p> <p>Resultierende Scherkräfte</p> <p style="text-align: center;"><math>V = \frac{W - P}{2}</math>      <math>V = -\frac{(W - P)}{2}</math></p>

Bild 3. «Vorspannung» der Verbundfuge zwischen Stahlträger und Betonplatte durch Vorkrümmung der Trägerteile vor dem Verbund [4]

verbundenen Spannungen im Stahlträger eingefroren werden, welche gleich gerichtet sind wie die durch äussere Lasten bewirkten Spannungen.

Eine weitere allgemeine Entwicklung ist die Verwendung von dünnen polymer-

imprägnierten Fertigbetonplatten als integrale Schalungselemente. Diese rund 10 bis 25 mm dicken Schalplatten sind auf der dem Ortbeton zugewandten Oberfläche so aufgerauht, dass ein Verbundquerschnitt aus Schalplatten und Ortbeton entsteht. Die

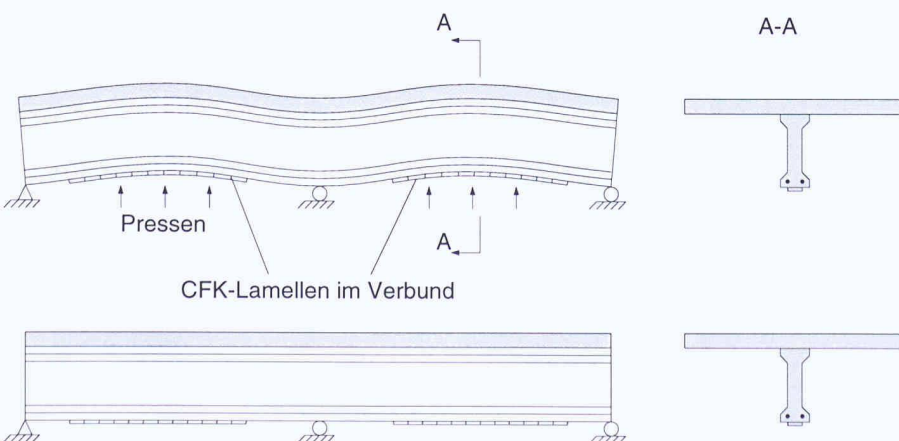


Bild 4. Verstärkung von Spannbetonträgern durch aufgeklebte CFK-Lamellen, aus [6]

hervorragende Impermeabilität der polymerimprägnierten Betonplatten gegenüber Salzlösungen, die grosse Frost-Tausalzbeständigkeit und die hohe Abriebfestigkeit ermöglichen bei relativ geringen Betonüberdeckungen sehr dauerhafte Betonkonstruktionen. Forschungsprojekte auf diesem Gebiet laufen zurzeit auch am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich.

Schliesslich ist noch eine interessante Anwendung von Verbundtechniken zur Verstärkung von Stahlbeton- und Spannbetonbalken sowie -decken zu erwähnen. Während das Aufkleben von Stahlplatten seit längerem hinreichend bekannt ist, stellt das Kleben von mit Epoxidharz verstärkten Kohlefaserlaminaten eine interessante Entwicklung dar, durch welche die vor Ort auszuführenden Arbeiten aufgrund des vielfach geringeren Gewichts stark vereinfacht werden [5]. Diese Methode erlaubt es, die Kohlefaserlamellen im vorgespannten Zustand aufzubringen (Bild 4), falls der zu verstärkende Balken während des Klebevorganges durch entsprechende Massnahmen überhöht wird [6].

### Anwendungen im Hochbau

Die inzwischen bekannten Formen des Verbundbaus im Hochbau, Trapezblechverbunddecken, kammerbetonierte Profilverbundrahmen und durch Ortbeton ergänzte Betonfertigteildecken und -rahmen haben sich in letzter Zeit immer mehr durchgesetzt und ständig weiterentwickelt. Im Vordergrund dieser Weiterentwicklungen stand dabei im wesentlichen der Drang zur rationelleren Erstellung von Hochbauten. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass ein wesentlicher Teil der Arbeiten von der Baustelle weg zu Vorfabrikationsplätzen oder -werken verlegt wird. In Japan wurde die rasante Entwicklung neuer Verbundbausysteme weiter durch den chronischen Mangel an Baufachkräften vorangetrieben. So können Decken, Unterzüge und Stützen weitgehend ohne Schalung und mit einem Minimum an Rüstung errichtet werden. Ein typisches Beispiel ist das «Slim-floor»-System [7] (Bild 5). Im Gegensatz zu herkömmlichen Verbunddecken erlaubt dieses System durch die Verwendung grosser Profilhöhen der Trapezbleche wesentlich grössere Spannweiten. Häufig werden auch Betonhohlplatten mit einer ungefähr 50 mm dicken Ortbetonergänzung verwendet. Durch Auflagerung der Trapezbleche beziehungsweise Betonhohlplatten auf den unteren Flanschen der Profilträger besitzt das Deckensystem eine flache Unterseite und erlaubt somit weitgehende Freiheit bei der Anordnung der Haustechnik.

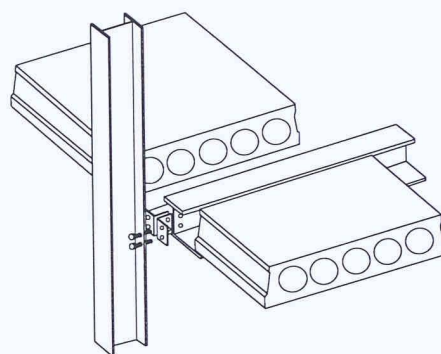
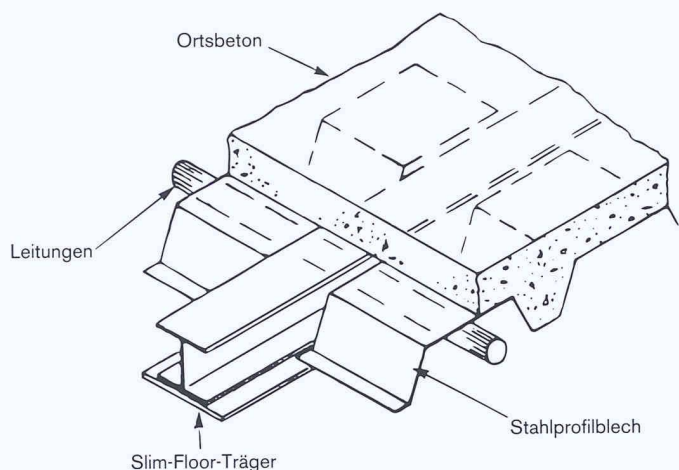


Bild 5. «Slim Floor»-Deckensystem mit Profilblechverbunddecken (aus [7]) oder Betonhohlplatten (aus [19])

In der Schweiz wurden bereits sieben Gebäude in «Slimfloor»-Bauweise erfolgreich und in sehr kurzer Bauzeit ausgeführt (Bild 6). Am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich läuft zudem ein Forschungsprojekt zum Brandverhalten solcher Decken [19].

Ein Beispiel für neuere Erscheinungsformen der durch Ortsbeton ergänzten

Beton-Fertigteilkonstruktionen sind die als integrierte Schalung wirkenden Teilfertigplatten, Bild 7. Durch Ausbildung von Rippen oder mittels einbetonierter Fachwerkträger («Filigran-Decken») können relativ grosse Spannweiten verwirklicht werden. Unterzüge können nach dem gleichen Prinzip erstellt werden [8]. Die rund 50 mm dicken Platten enthalten in der Regel die

samte untere Bewehrung der Decke beziehungsweise der Unterzüge, bei letzteren ebenfalls die Schubbügel. Auf der Baustelle ist lediglich die obere Bewehrung und allenfalls erforderliche Zulagen zu verlegen. Auch das Verlegen von Spanngliedern, wie beispielsweise Monolitzen, stellt kein Problem dar. Mit diesem System können Mehrfeld-Decken mit voller Kontinuität erstellt

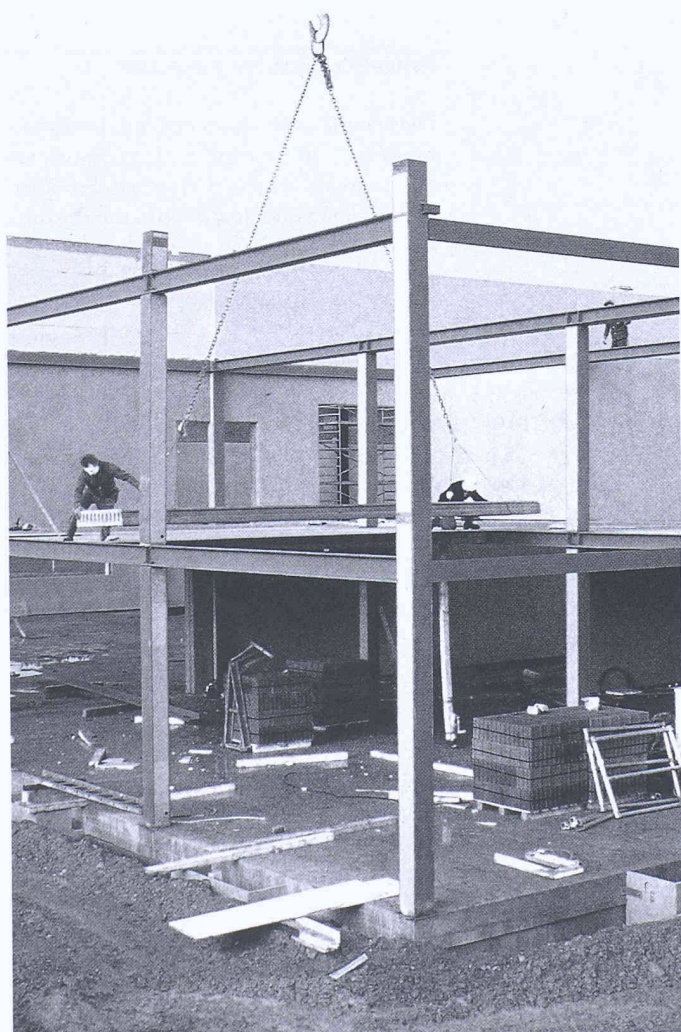


Bild 6. Gebäude in Ermensee mit «Slim Floor»-Decken. Die Montage der Tragkonstruktion mit Fassadenelementen erforderte nur zwei Wochen

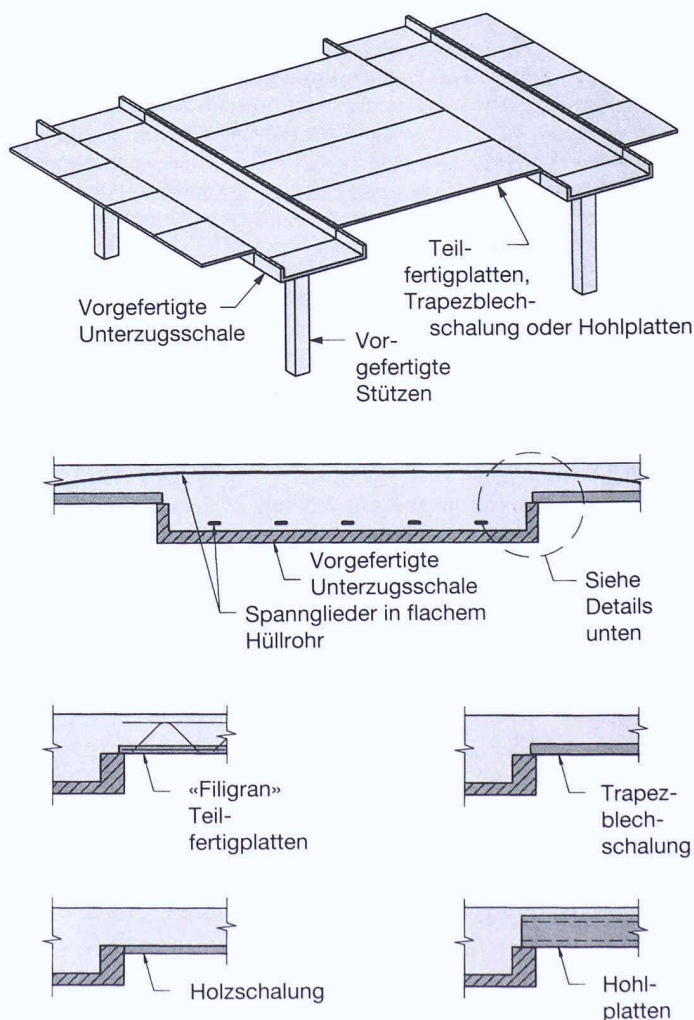


Bild 7. Hochbau-Decken aus mit Ortsbeton ergänzten Teilfertigplatten, aus [8]

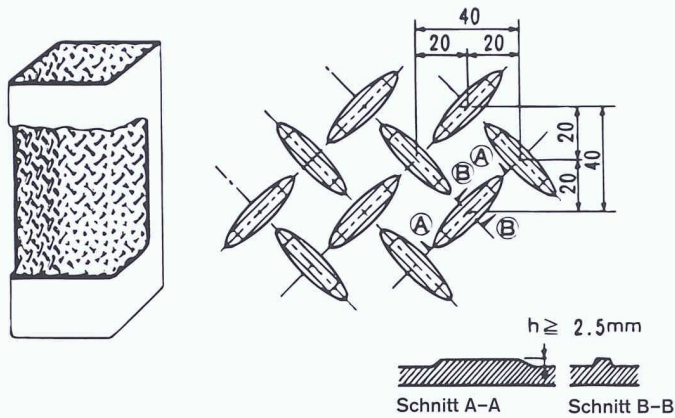


Bild 8. Auf den Innenflächen gerippte Hohlprofile, aus [9]

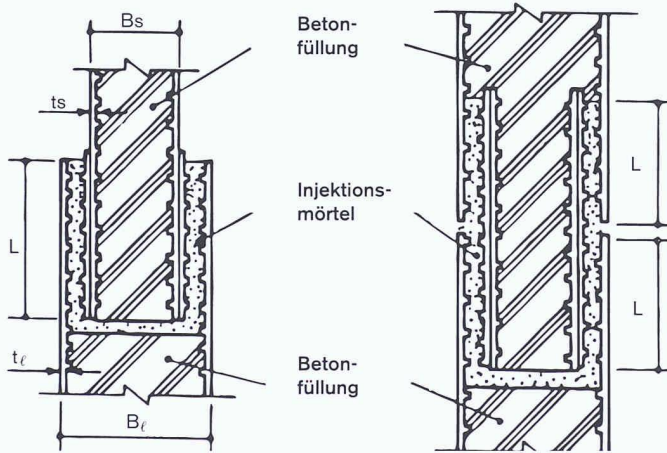


Bild 9. Stösse von ausbetonierten gerippten Hohlprofilstützen, aus [9]

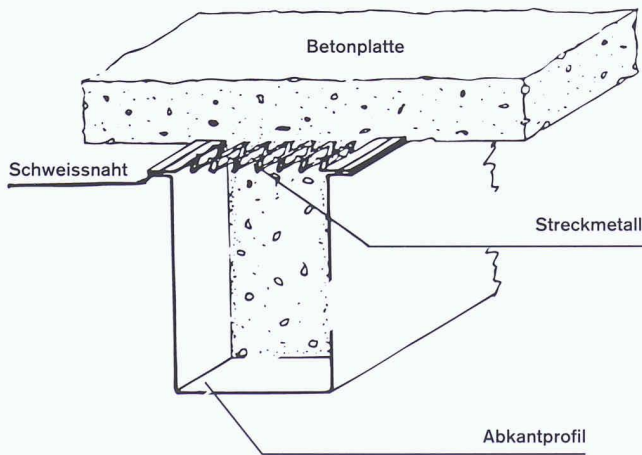


Bild 10. Verbundunterzug aus dünnwandigen ausbetonierten Blechprofilen mit Strecknetzflansch, aus [10]

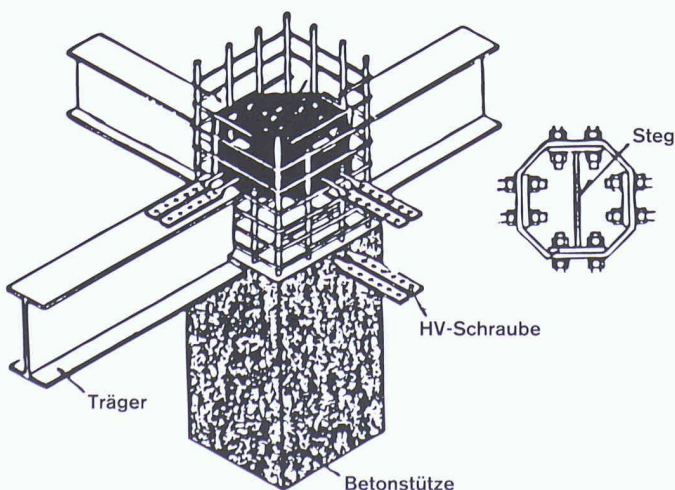


Bild 11. Knotendetail eines hybriden Rahmens, aus [18]

werden, was der Gebrauchstauglichkeit der Decke sehr zugute kommt.

Die Verwendung von Stahlprofilen oder auch von speziellen Betonfertigteilen als integrierte Schalung zur rationellen Erstellung von Unterzügen und Stützen wurde insbesondere in Japan vorangetrieben. Bild 8 zeigt Rechteckrohrprofile (RHS) mit gerippten Innenflächen, die auf der Baustelle ausbetoniert werden und dann als Verbundstützen wirken [9]. Die Profilierung der Innenfläche erlaubt eine wesentlich bessere Schubübertragung zwischen Stahlprofil und Beton. Durch zusätzliche Profilierung auf den Aussenflächen, wie beispielsweise durch aufgeschweisste profilierte Platten, lassen sich mit Hilfe dieser Profile auch sehr einfache Stösse ausbilden, welche keinerlei Verschraubung oder Schweißung bedürfen (Bild 9). Eine weitere interessante Entwicklung im Hochbau sind dünnwandige Stahlblechprofile, welche - mit Beton gefüllt - als Verbundunterzüge dienen [10]. Hierbei wird der Verbund zur Stahlbeton-(oder Verbund-)decke durch auf die Stahlblechprofile geschweisste Strecknetze hergestellt (Bild 10).

Gewissermassen zählen auch die sogenannten «hybriden Strukturen» zum Verbundbau, gemischte Bauweisen also, die Elemente des Stahlbaus mit solchen des Stahlbetonbaus miteinander verbinden. Beispiele hierfür sind Rahmenkonstruktionen aus Stahlbetonstützen mit Stahlriegeln. Bild 11 zeigt eine entsprechende Stützen-Riegelverbindung.

Zur Aussteifung von Hochbauten sind anstelle von Stahlbetonschubwänden auch hybride Wandscheiben denkbar, die aus Stahl-Beton-Verbundflanschen (ausbetonierte Rechteckrohrprofile) und Betonstegen bestehen [11] (Bild 12). Die Verbindung zwischen den ausbetonierten RHS-Profilen und der Stahlbetonwandscheibe kann entweder, wie in Bild 12 dargestellt, durch horizontale Bewehrungsstäbe erfolgen, welche durch in die RHS-Profile gebohrte Löcher gesteckt werden, oder durch Kopfbolzendübel, oder durch aufgeschweisste Lochleisten (Perfobond). Alle Verbindungsarten können so ausgelegt werden, dass sich ein für Erdbebenbeanspruchung ausreichend duktilen Verhalten der hybriden Schubwand ergibt.

Schliesslich sei noch auf eine Anwendung von Verbundbautechnik zur Verstärkung erdbebengefährdeter Mauerwerkswände hingewiesen. An der EMPA Dübendorf wurde mit Erfolg eine Versuchsreihe durchgeführt, in der Mauerwerkswände durch das Aufkleben von Kohlenstoffasermatten verstärkt wurden [12]. Diese Art der Verstärkung erhöht nicht nur den Schubwiderstand der Wand, sondern auch deren Duktilität.

**Anwendungen im Brückenbau**

Durch die werkstoffgerechte Kombination von Beton und Baustahl lassen sich gegenüber Massivbrücken erhebliche Gewichtseinsparungen erzielen, was sich nicht nur auf den Überbau selbst, sondern auch auf den Unterbau kostengünstig auswirkt. Diese Überlegung ist der treibende Faktor, der zu den folgenden drei Verbundbauentwicklungen führte.

Bild 13 zeigt gewalzte oder geschweisste Stahlprofile als Steg und Zuggurt, wobei der Verbund mit der Betonfahrbahnplatte durch in den oberen Stegstreifen gestanzte Löcher hergestellt wird. Dies ist eine konsequente Weiterentwicklung der «Perfobond»-Leisten, welche auf den oberen Flansch des Stahlträgers aufgeschweisst werden. Die Autoren [13] schlagen vor, den oberen Flansch des Stahlträgers, der im Bauzustand benötigt wird, um eine ausreichende Steifigkeit während des Betoniervorgangs zu gewährleisten, durch einen im Werk oder am Boden vorgängig hergestellten ungefähr 1,5 bis 2,0 m breiten Betonflansch zu ersetzen. Die so vorgefertigten Verbundträger werden dann parallel verlegt und durch eine dünne Ortbetonplatte und eine Quervorspannung zu einem monolithischen Querschnitt ergänzt. Als Weiterentwicklung dieser Konstruktionsform wäre ein Querschnitt denkbar, bei dem im Bereich negativer Momente auch der untere Flansch des Stahlträgers durch eine Betonplatte ersetzt wird. Der Baustahl bildet dann lediglich den Steg, welcher mit Lochreihen am unteren und oberen Rand versehen ist und so im Verbund mit den Betonplatten wirkt.

Bild 14 zeigt einen Kastenträger, bestehend aus Betongurten und Stahlstegen. Die Stahlstege sind hier aus Wellstahl gefertigt, was gegenüber Stegen aus Platten zwei wesentliche Vorteile bietet: Zum einen bedürfen die Wellstahlstege bei geringerer Materialdicke keiner weiteren Aussteifung, um sowohl die Schubspannungen als auch die Querbiegung aufnehmen zu können. Zum anderen sind die Wellstahlstege in Längsrichtung weich, was eine effiziente Längsvorspannung der Betonplatten ermöglicht [14]. Diese Bauweise wurde besonders in Frankreich, aber auch in Japan im Zusammenhang mit externer Vorspannung für Mehrfeldbrücken angewendet. Eine weitere Variante besteht darin, dass die Wellstahlstege durch räumliche Stahlfachwerke ersetzt werden (Bild 15).

Auch hybride Konstruktionen sind in erster Linie eine konsequente materialgerechte Kombination der Massivbauweise und des Stahlbaus. Bild 16 zeigt eine in letzter Zeit häufig für Schrägseilbrücken grosser Spannweiten gewählte Mischbauweise.

Bild 12. Hybride Schubwandscheibe, aus [11]

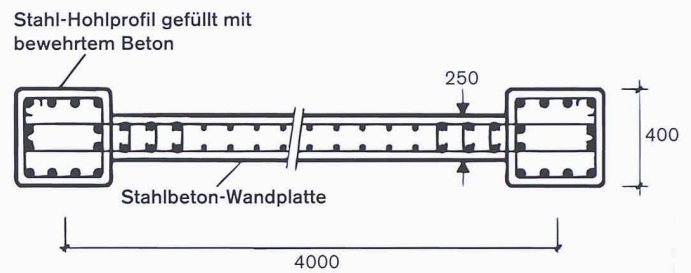


Bild 13. Stahlprofilträger mit im Steg integrierter «Perfobond»-Leiste, aus [13]

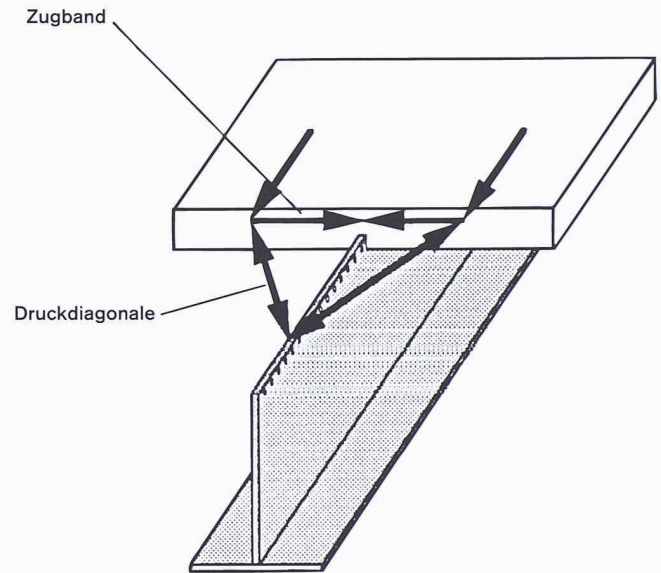
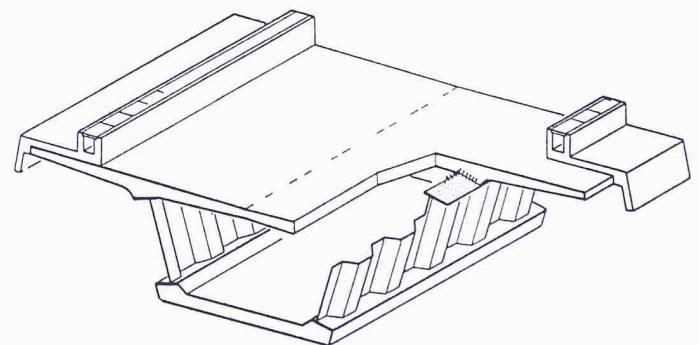


Bild 14. Hohlkastenträger mit Wellstahlstegen für Verbundbrücken



Die Seitenfelder sowie die Randbereiche des Hauptfeldes werden dabei in Stahlbeton, der mittlere Bereich des Hauptfeldes dagegen als reiner Stahlträger ausgeführt. Dies resultiert gegenüber reinen Stahlbeton- beziehungsweise Stahlversteifungsträgern zu nicht unerheblichen Kosteneinsparungen [15].

Neben der Material- und Gewichtseinsparung bietet die Verbundbauweise, ähnlich wie im Hochbau, aber vor allem erhebliche Vorteile für den Bauablauf: Sie ermöglicht bedeutende Einsparungen an Rüstung und Schalung sowie an schwerem Hilfsgerät. Die folgenden Beispiele sind in erster Linie aus Überlegungen der Optimierung der Baumethoden entstanden. Hierbei ist es mitunter sogar unerheblich, ob das Bauwerk im Endzustand überhaupt als Verbundkonstruktion wirkt, da eine Verbundwirkung während einzelner Bau-

zustände schon erhebliche wirtschaftliche Vorteile bietet.

Dies ist der Fall bei der in Bild 17 dargestellten Baumethode für Bogenbrücken [16]. Die zunächst als Stahlkästen an den Widerlagern montierten Bogenhälften werden abgesenkt, um den Bogen zu schliessen, und dann ausbetoniert. Die so entstandenen Verbundquerschnitte erlauben gegenüber im Freivorbau erstellten Betonbögen erhebliche Vorteile. Zum einen wird der Bogen frühzeitig geschlossen, ist also während des gesamten Betoniervorganges stabil. Zum anderen wird der Schalwagen sowohl am vorderen als auch am hinteren Ende aufgehängt, was grössere Betonierabschnitte und leichtere Schalwagen ermöglicht. Im Endzustand hingegen ist der Einfluss der Stahlkastenprofile auf die Tragfähigkeit des Bogens vernachlässigbar klein. Eine Brücke ähnlicher Art wurde in



Bild 15.  
Verbundbrücke mit räumlichem Stahlfachwerk:  
Entwurf des Viaduc de Lully (Dr. H.G. Dauner,  
Aigle / Devaud & Associés SA, Fribourg)

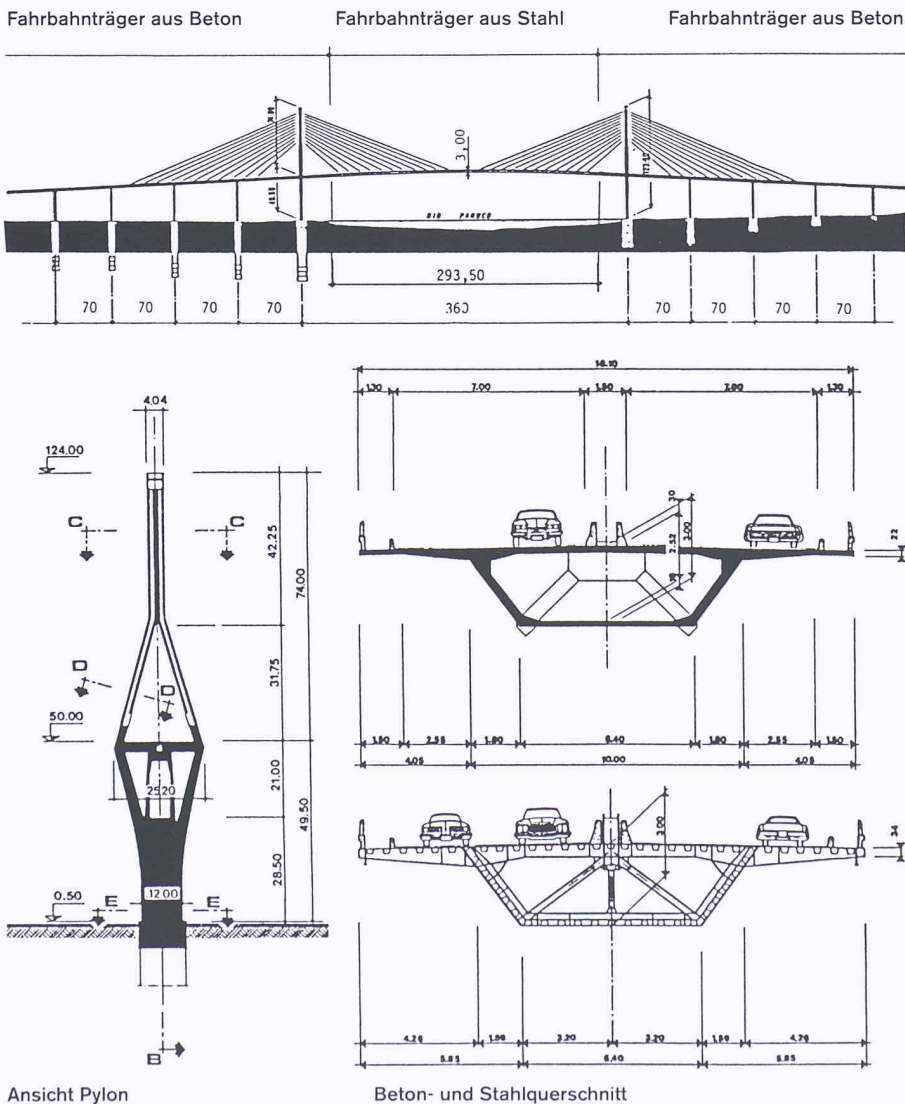


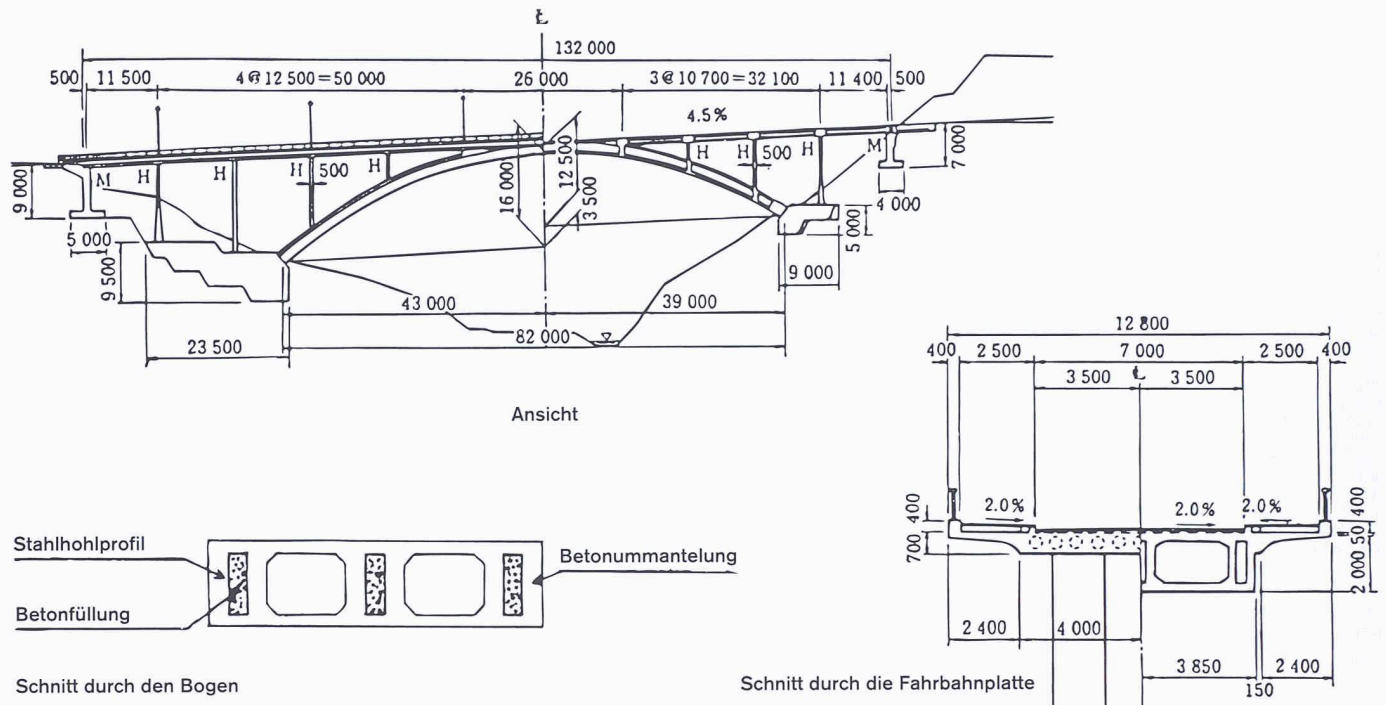
Bild 16.  
Schrägseilbrücke in hybrider Bauweise:  
Tampico-Brücke, Mexiko

der Schweiz über das Hundwiler Tobel errichtet. Der Stahlbogen wurde dabei als Fachwerk ausgebildet [20].

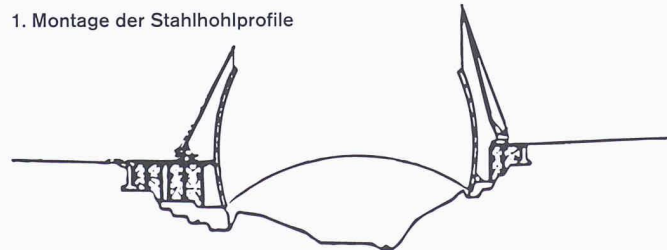
Bild 18 zeigt eine Anwendung der Verbundbauweise, die bei Schrägseilbrücken, welche im Freivorbau errichtet werden, grosse Vorteile im Bauablauf bietet. Stahlroste, bestehend aus Querträgern und Längsträgern, werden im Fabrikationswerk oder am Boden vormontiert und dann mit relativ leichtem Hubgerät in die richtige Position gehoben und mit dem jeweiligen Freivorbauende verbunden. Nun können die Schrägseile montiert und auf eine erste Kraftstufe gespannt werden, bevor die Betonplatte hergestellt wird.

Diese wird häufig weitgehend aus Teilfertigplatten zusammengesetzt, welche mit Ortbeton zu einer monolithisch und mit dem Stahlrost im Verbund wirkenden Fahrbahnplatte ergänzt werden. Somit kann weitgehend auf Schalung und Freivorbauwagen verzichtet werden. Durch Verlegung eines erheblichen Teils der Montage weg vom Freivorbau zu Vormontageplätzen kann der Freivorbauzyklus gegenüber einer reinen Ortbetonlösung erheblich verkürzt werden.

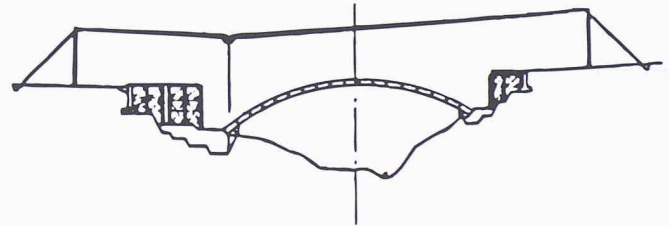
Schliesslich zählt auch die in Bild 19 gezeigte Betonfertigteilbauweise zur Kategorie der in erster Linie aus Bauablaufüberlegungen entstandenen Verbundbauweisen. Die Zerlegung des Gesamtquerschnittes in einzelne vorgefertigte Elemente, welche nach der Montage durch Ortbeton zu einem monolithischen Betonquerschnitt verbunden werden, erlaubt die Verwendung leichteren Hubgerätes [17]. Da nur der Mittelteil des Querschnitts im Freivorbau aus vorgefertigten Segmenten errichtet und die seitlichen Querschnittsergänzungen



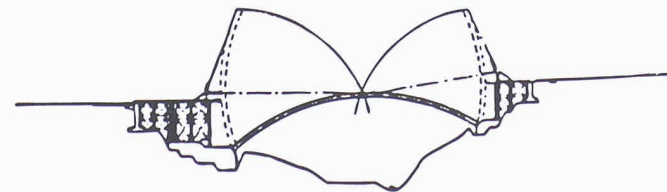
1. Montage der Stahlhohlprofile



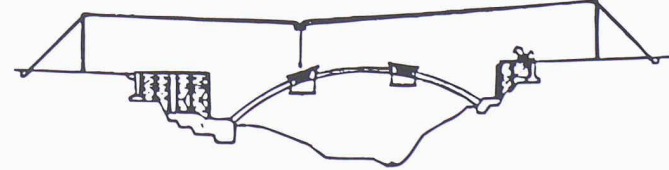
4. Einspannen der Bogen im Widerlager



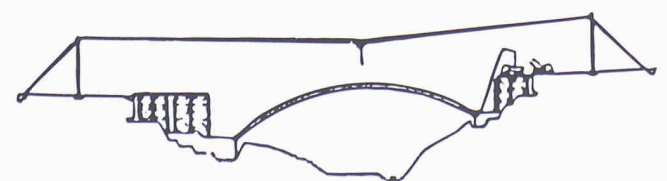
2. Absenken der Stahlbogen



5. Betonummantelung der Stahlbogen



3. Betonfüllung der Hohlprofile



6. Betonieren der Fahrbahn und der Stützen

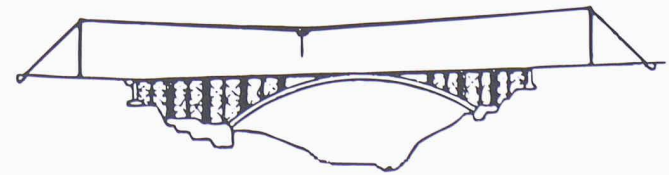


Bild 17.  
Baumethode für Betonbögen mit Verbund-  
elementen, aus [16]



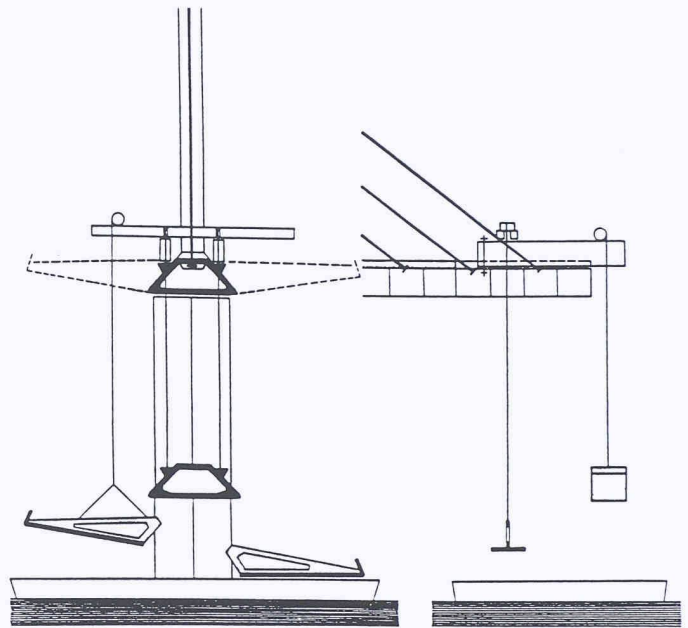
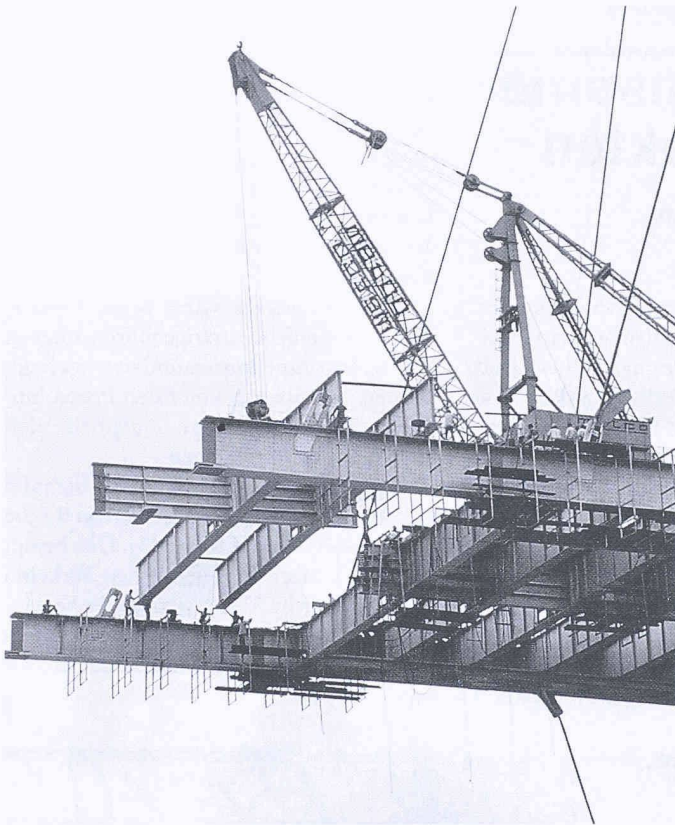


Bild 19.  
Schrägseilbrücke aus vorgefertigten Segmenten mit nachträglich ergänzten Querschnittserweiterungen, aus [17]

Bild 18.  
Schrägseilbrücke in Verbundbauweise: 2nd Hooghly Bridge, Calcutta, Indien (Schlaich, Bergemann und Partner, Stuttgart)

nachlaufend betoniert werden, kann auch die Quantität der zur Montage benötigten temporären Vorspannung gegenüber der Montage von ganz vorgefertigten Segmenten deutlich geringer ausfallen. Auch das Spannprogramm der Schrägseile wird durch diesen Bauablauf vereinfacht, da sich

das nachlaufend ergänzte Eigengewicht der Querschnittserweiterungen auf mehrere Kabel verteilen kann, welche dann nur relativ wenig nachgespannt werden müssen. Ausserdem kann das Nachspannen ausserhalb des kritischen Weges erfolgen, was sich auf die Bauzeit günstig auswirkt.

Adresse der Verfasser:

Franz A. Zahn, Ph.D., Jauslin+Stebler Ingenieure AG, Gartenstrasse 15, 4132 Muttenz, und Mario Fontana, Prof. Dr. sc. techn., Institut für Baustatik u. Konstruktion, ETH Höggerberg, 8093 Zürich.

## Literatur

- [1]  
H. Wieland, «Anwendung von Holz-Beton-Verbund im Hochbau», Schweizer Ingenieur+Architekt, Heft 37, 1994.
- [2]  
Hans P. Andrä, «Economical Shear Connectors with High Fatigue Strength», IABSE Symposium, Brussels, 1990.
- [3]  
M. Crisinel, D. Clémin, «Neuer Verbunddübel für Konstruktionen mit Stahl/Beton-Verbund», Schweizer Baublatt Nr. 77, 24. September 1985 / Industrielles Bauen Nr. 151.
- [4]  
Takehiro Yamasaki et al., «Pre-Shearing-Stressed Steel-Concrete Composite Beam», FIP Symposium '93, Kyoto, Japan.
- [5]  
Urs Meier, «Strengthening of Structures with CFRP Laminates-Research and Applications in Switzerland», 1 Day Seminar «Durable Reinforcements for Aggressive Environments», Coventry, 1992.
- [6]  
M.S. Char, H. Saadatmanesh, M.R. Ehsani, «Concrete Girders Externally Prestressed with Composite Plates», PCI Journal May-June 1994.
- [7]  
British Steel, «Slim Floor Construction using Deep Decking», The Steel Construction Institute, Technical Report 120, 1992.
- [8]  
VSL International AG, Lyssach, «Vorspannung im Hochbau», Firmenbroschüre.
- [9]  
H. Matsumura, «Concrete filled rectangular hollow sections with inner ribs», IABSE Symposium Brussels, 1990.
- [10]  
I. Petraasek, «Thin walled cold formed beams with top chord encased in concrete slab», IABSE Symposium Brussels, 1990.
- [11]  
A.M. Pradhan, J.G. Bouwkamp, «Shear walls in hybrid construction for aseismic design», Earthquake Engineering - 10th World Conference 1992.
- [12]  
G. Schwegler, «Verstärken von Mauerwerk mit Faserverbundwerkstoffen in seismisch gefährdeten Zonen», EMPA-Bericht Nr. 229, Dübendorf 1994.
- [13]  
W.S. Roberts, R.J. Heywood, «An Innovation to increase the competitiveness of short span steel concrete composite bridges», 4th International Conference on Short and Medium Span Bridges, Halifax, August 1994.
- [14]  
J. Combault et al. «Box-Girders using Corrugated Steel Webs and Balanced Cantilever Construction», FIP Symposium '93, Kyoto, Japan.
- [15]  
S. Engelsmann, J. Feix, H. Kupfer, «Wirtschaftlichkeitsstudie zum Einsatz hybrider Konstruktionen für Versteifungsträger weitgespannter Schrägkabelbrücken», Bauingenieur Jg. 68 (1993), pp. 513-517.
- [16]  
Y. Sato, R. Tobyama, «Innovative Method Concrete Arch Construction», IABSE Symposium Brussels, 1990.
- [17]  
J. Strasky, «Design and Construction of Cable-Stayed Bridges in the Czech Republic», PCI Journal - November - December, 1993.
- [18]  
K. Ogura, R. Tanaka, H. Noguchi, «Development of Mixed Structures in Japan», IABSE Symposium, Brussels, 1990.
- [19]  
M. Fontana, W. Borgogno, «Brandversuch an einer Slim Floor Decke», Kurzbericht, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 1994.
- [20]  
A.J. Köppel, R. Wälsler, «Hundwilertobelbrücke», Schweizer Ingenieur+Architekt, Heft 11, Zürich 1992.