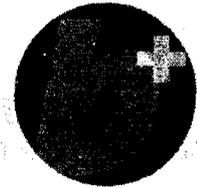




AC'05



АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО – 2005

ARCHITEKTUR UND BAUWESEN – 2005

I Международный научно-практический семинар

I Internationales wissenschaftlich-praktisches Seminar

AKTUELLE ENTWICKLUNGSTENDENZEN IN BEMESSUNG UND BAUAUSFÜHRUNG IM BRÜCKENBAU UND STAHLBETON- FERTIGTEILBAU

Prof. Dr.-Ing. Martin Ernst¹, Hochschule Biberach, Deutschland

1. STATISCHE SYSTEME

1.1 Besonderheiten bei integralen Betonbrücken

Warum nicht weiterhin konventionelle Brücken?

Bei Brücken konventioneller Bauart werden die Lasten aus dem Überbau über Lager auf die Unterbauten übertragen. Die Lager müssen dabei konstruktiv so ausgebildet sein, daß sie sowohl die Auflagerdrehwinkel als auch die Verschiebungen aufnehmen können, die durch die Verformungen des Überbaus infolge Schwinden, Kriechen und Temperaturänderungen auftreten.

An den Enden des Überbaus sind im allgemeinen Übergangskonstruktionen erforderlich, um eine kontinuierliche Fahrbahn unabhängig von den Längenänderungen des Überbaus zu gewährleisten. Dies erfordert aufwendige Widerlagerkonstruktionen, in denen ein Wartungsgang angeordnet muß - ein erheblicher herstellungstechnischer Aufwand.

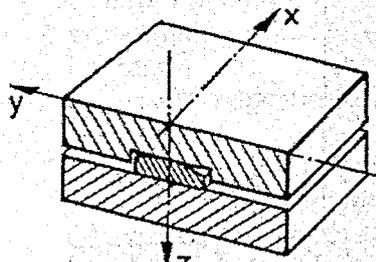
Lager und Übergangskonstruktionen sind komplexe, aufwendige, teure Konstruktionen, die individuell bauwerksbezogen hergestellt werden müssen mit entsprechenden Kosten und Lieferzeiten. Sie sind darüberhinaus Verschleißteile, die einer regelmäßigen Überwachung bedürfen und etwa alle 20 Jahre erneuert werden müssen. Dies verursacht während einer Lebensdauer des Bauwerkes selbst von etwa 100 Jahren beträchtliche Wartungs- und Instandhaltungskosten und speziell beim Auswechseln eines Fahrbahnübergangs wiederholt erhebliche Verkehrsbeeinträchtigungen. Außerdem müssen für das Auswechseln der Lager die Pfeilerköpfe in ihren Abmessungen so groß dimensioniert werden, daß die dabei erforderlichen hydraulischen Pressen installiert werden können.

Integrale Brücken ohne Lager und Fugen

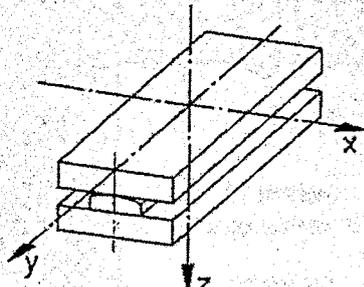
Integrale Brücken kommen dagegen gänzlich ohne Lager und Dehnfugen aus. Der Überbau ist monolithisch mit den Widerlagern und den Mittelstützungen verbunden. Das gesamte Bauwerk ist in Baugrund und Hinterfüllung eingebettet. Bei sorgfältiger Planung bietet die integrale Bauweise nicht nur Einsparungen bei Wartung und Unterhaltung, sondern führt auch zu

¹ Studiengang Bauingenieurwesen, Lehrgebiete Baustatik, Brückenbau, Fertigteilbau

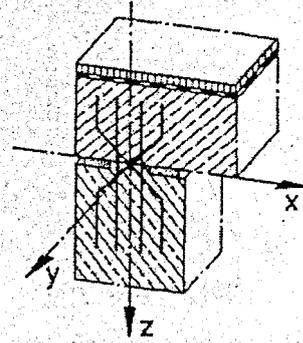
reduziertem Materialaufwand und verkürzten Bauzeiten. Die monolithische Verbindung erlaubt zudem ästhetisch sehr ansprechende Lösungen.



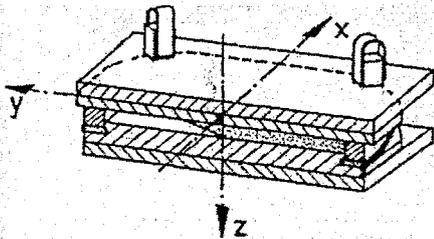
Punktkipplager



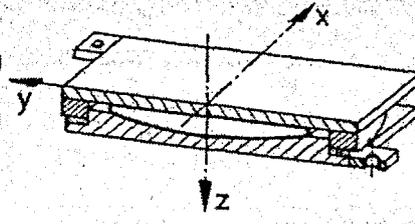
Linienkipplager



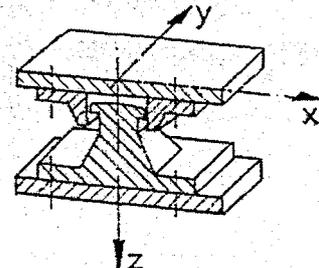
linienförmiges
Stahlbetongelenk



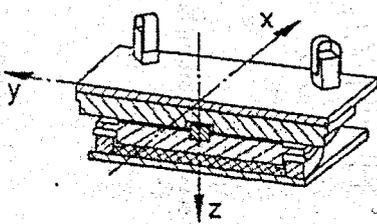
Topflager



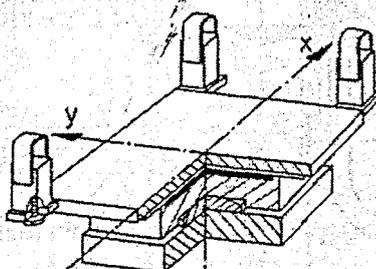
Kalottenlager



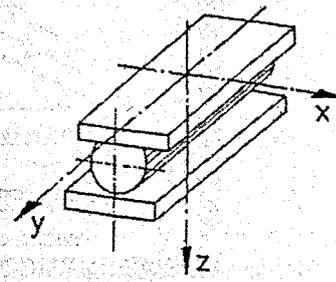
Horizontalkraftlager



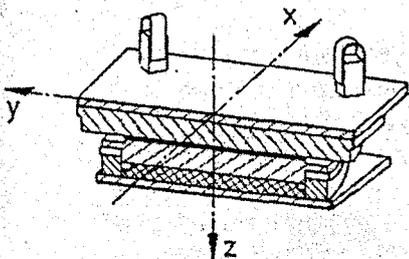
Topflager,
einseitig beweglich



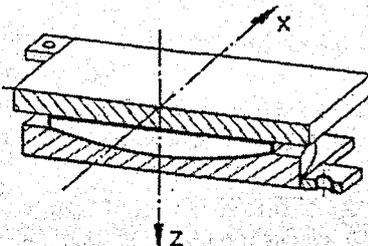
Punktkipplager,
allseitig beweglich



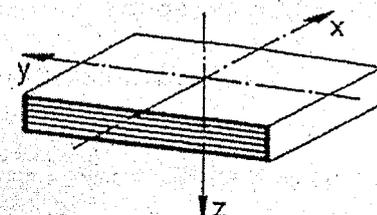
Rollenlager



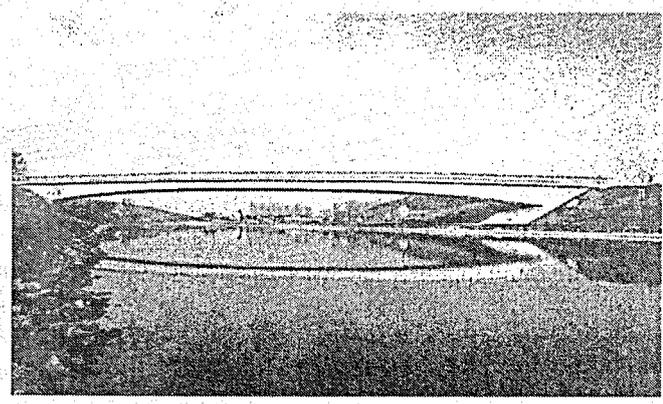
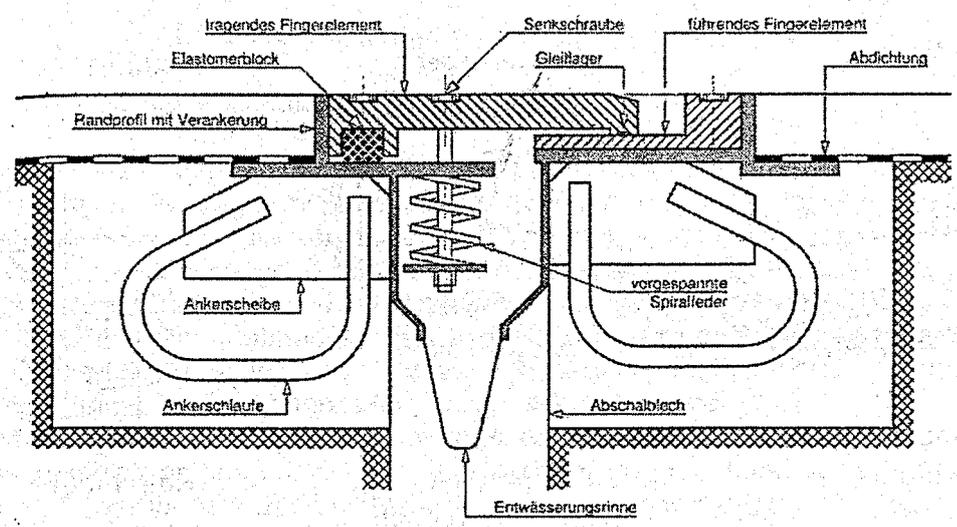
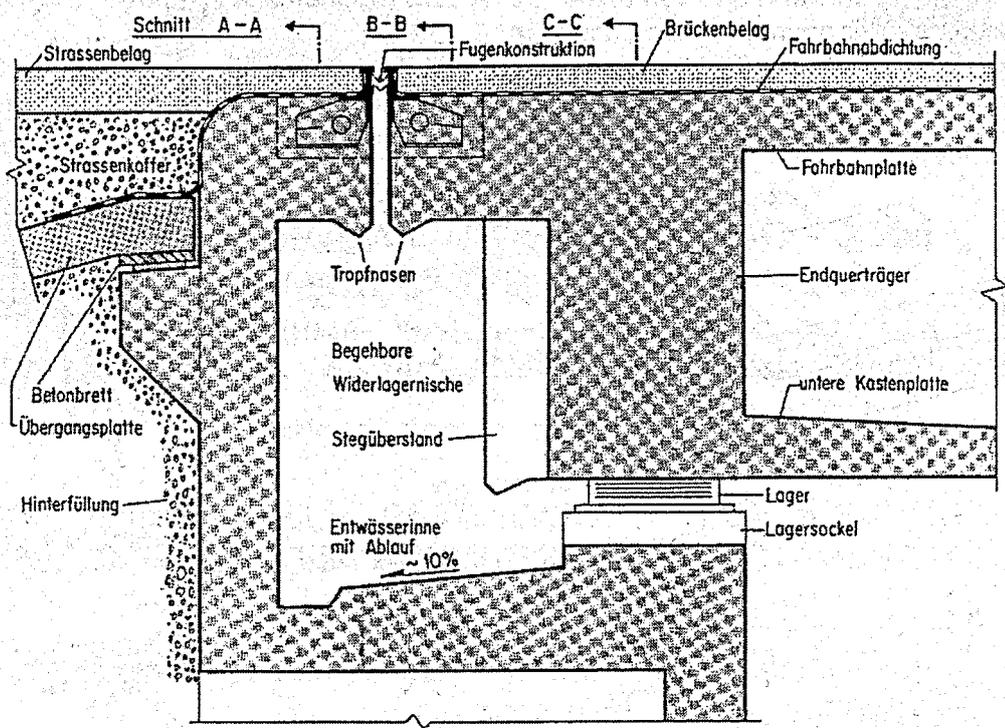
Topflager,
allseitig beweglich



Kalottenlager,
allseitig beweglich



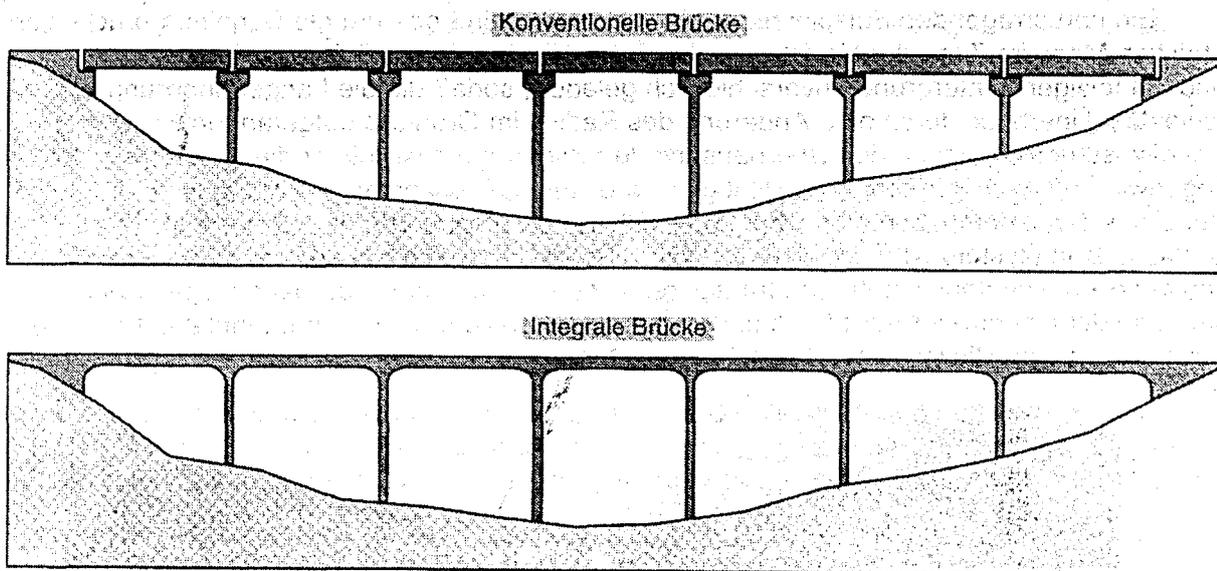
Verformungslager



Zusammenfassend können folgende Vorteile aufgeführt werden:

- * Verminderung der Herstellkosten
- * Verminderung der Unterhaltskosten
- * vereinfachter Bauablauf durch den Wegfall von Lagern und Dehnfugenkonstruktionen
- * höherer Fahrkomfort
- * dauerhafte Vermeidung von Tausalzeinwirkung auf Konstruktionsteile unterhalb der Fahrbahn
- * Ausgleich möglicher abhebender Kräfte aus dem Überbau durch das Eigengewicht der Widerlager
- * kürzere Endfelder erlauben größere Mittelöffnungen
- * größere Traglastreserven durch Umlagerungsmöglichkeiten für die Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Schließlich besteht ein besonderer Vorteil der integralen Bauweise in einer Verbesserung des Erscheinungsbildes:



Dem stehen folgende Nachteile oder Einschränkungen gegenüber:

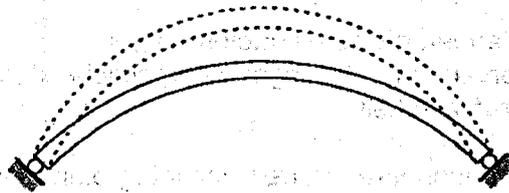
- * Integrale Brücken sind nicht geeignet für stark setzungsempfindliche oder sich in Bewegung befindliche Böden, weil ein Nachstellen unmöglich ist
- * Pfahlgründungen, die hauptsächlich über Mantelreibung abtragen, sind für integrale Brücken ungeeignet, weil die Mantelreibung wegen der zyklischen Brückenbewegungen nicht zuverlässig angesetzt werden kann
- * Schiefwinklige Rahmenbrücken erleiden infolge Temperaturschwankungen Rotationsbewegungen, die nicht reversibel sind

Bei der statischen Berechnung sind einige Besonderheiten zu beachten, die insbesondere das Zusammenwirken von Baugrund und Bauwerk betreffen.

Interaktion Tragwerk - Baugrund

Die Anforderungen an einen Hinterfüllbereich im Brückenbau bestehen darin, daß dieser steif und setzungsarm sein soll, um Schäden am Übergang zu vermeiden und den Fahrkomfort nicht zu beeinträchtigen. Sollen nun vom Hinterfüllbereich Verformungen aus dem Überbau

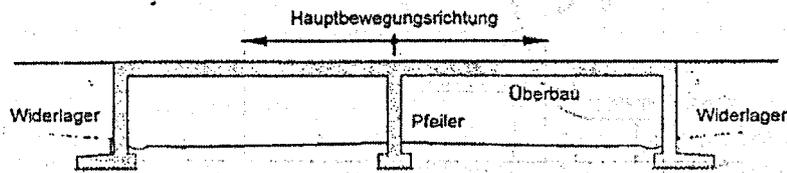
aufgenommen werden, so bedarf dies einer relativen Nachgiebigkeit. Wegen dieser konkurrierenden Anforderungen ist beim Entwurf von integralen Brücken eine Optimierungsaufgabe zu lösen. Die Größe der auftretenden Zwangsbeanspruchungen hängt von der Bauwerksgeometrie ab sowie von den Steifigkeitsverhältnissen zwischen Überbau und Unterbauten und schließlich von der Steifigkeit des Baugrundes. Brückenwiderlager, die unverschieblich sind, sind daher nur geeignet für Brückenbauwerke, die die entstehenden Zwangsbeanspruchungen ertragen oder ihnen in eine andere Richtung ausweichen können - beispielsweise im Grundriß zur Seite.



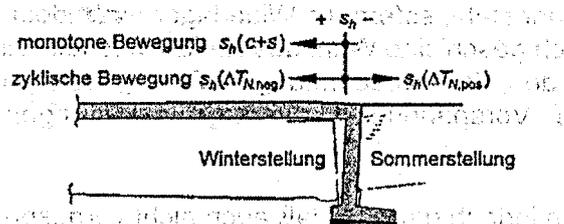
Ein hervorragendes Beispiel hierfür ist die im Grundriß gekrümmte Sunnibergbrücke von Christian Menn im Zuge der Umfahrung des Ortes Klosters in der Schweiz. Die Überbauenden sind auf felsigem Untergrund unverschieblich gelagert, sodaß die die Längenänderungen des schlanken Überbaus durch eine Änderung des Radius im Grundriß aufgefangen werden. Durch die monolithische Verbindung des Überbaus mit den Widerlagern wird über die horizontale Bogenwirkung die horizontale Stabilität gewährleistet. In Brückenlängsrichtung wird über die monolithisch mit dem Überbau verbundenen Pfeiler die Rahmentragwirkung erzielt. Die Steifigkeit für das Gesamtsystem wird dabei in die Pfeiler verlegt, wodurch in Verbindung mit den Schrägseilen eine sehr leichte und transparente Konstruktion des Überbaus möglich wurde: Bauhöhe der Randträger nur 55 cm und der dazwischen liegenden Fahrbahnplatte 40 cm bei einem maximalen Pfeilerabstand von 140 m!



Wo es diese Möglichkeit nicht gibt, ist es besonders wichtig, die Modellierung der Bauwerks- und der Baugrundsteifigkeiten wirklichkeitsnah zu erfassen, um ein zutreffendes Rechenmodell zu erhalten. Der Ansatz „ungünstiger“ Bodenkennwerte liegt dabei nicht auf der sicheren Seite. Wird die Baugrundsteifigkeit zu niedrig angesetzt, so werden die infolge Temperatureinwirkung und Vorspannung entstehenden Zwangsschnittgrößen unterschätzt.



Es ist daher erforderlich, die auftretenden Zwangsschnittgrößen über Grenzwertbetrachtungen mit oberen und unteren Grenzwerten abzuschätzen. Die Schnittgrößen in Betonbauteilen dürfen infolge Rißbildung dabei im Grenzzustand der Tragfähigkeit pauschal auf 60 % der Steifigkeiten im Zustand I (ungerissener Zustand) abgemindert werden. Auch bei genauerer Berechnung müssen nach den neuen Bemessungskonzepten jedoch mindestens 40 % der Steifigkeiten des Zustandes I angesetzt werden.



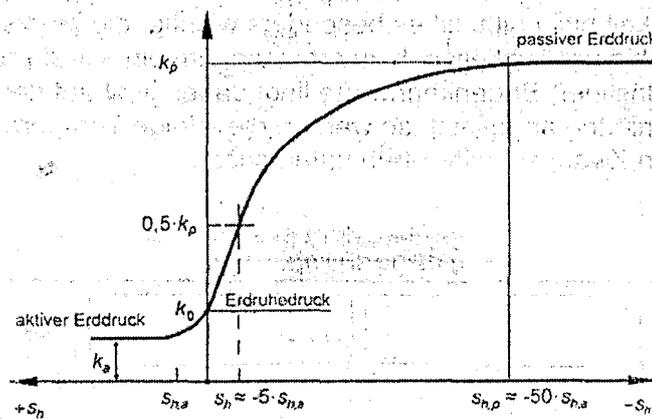
Die wirklichkeitsnahe Ermittlung und Beherrschung der Zwangsschnittgrößen ist dabei das Wichtigste bei der Bemessung. Es wird deshalb empfohlen, den Elastizitätsmodul des Betons und seine Wärmedehnzahl α_T durch Werkstoffprüfungen zu ermitteln und sich nicht auf die in Normen pauschal tabellierten Werte zu verlassen.

Diskontinuitätsbereich Überbau - Widerlager

Wie bereits erwähnt ist die Konstruktion von flachgegründeten Widerlagern bei integralen Brücken generell einfacher als bei konventionellen Brückenbauwerken. Es entfallen Lager- und Fahrbahnübergangskonstruktionen, Wartungsgang, Einstiegstür, Vogeleinflugschutz.

Wird eine Tiefgründung bei nicht tragfähigem Baugrund erforderlich, so sind schwebende Pfahlgründungen, die hauptsächlich über Mantelreibung abtragen, für integrale Brücken ungeeignet, weil die Mantelreibung durch zyklische horizontale Pfahlbewegungen verringert wird. Eine definierte Flexibilität der auf Spitzendruck lastabtragenden Pfähle kann erreicht werden, wenn die Pfähle in Schächten gegründet und somit künstliche Verformungszonen geschaffen werden.

In vielen Fällen, insbesondere bei Brücken mit kleinen Spannweiten, kann davon ausgegangen werden, daß die Zwängungen im Überbau selbst nicht zu Schnittgrößen führen, sondern durch Verformung der Hinterfüllbereiche aufgenommen werden. Daraus ergibt sich die Erfordernis, die Boden-Bauwerk-Interaktion näher zu untersuchen, weil die zyklisch auftretenden Verformungen infolge Temperatureinwirkungen sowohl die Gründung der Widerlager als auch die Hinterfüllung beanspruchen.



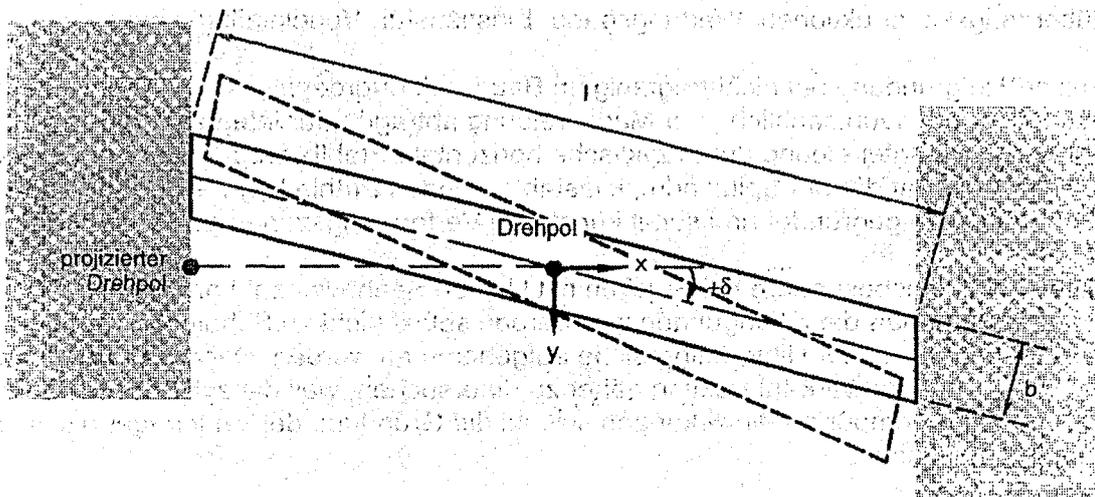
Vorspannung

Wird ein integrales Tragwerk vorgespannt - was bei Straßenbrücken in Deutschland die Regel ist - muß beachtet werden, daß ein Teil der Vorspannkraft nicht im Überbau wirksam wird, sondern über die monolithisch verbundenen Unterbauten über Sohlreibung direkt in den Baugrund abgeleitet wird. Eine Vorspannung von fugenlosen Brücken erzeugt Betondruckkräfte, die kleiner sind als die Zugkräfte im Spannstahl, sofern die Widerlager nicht ideal verschieblich sind. Dieser Spannkraft-verlust kann durch geschickte Wahl des Bauablaufs teilweise reduziert werden. Im übrigen muß festgestellt werden, daß Vorspannung für Zwangsbeanspruchungen in der Regel keine wirtschaftliche Maßnahme ist. Vorspannung für ständige Einwirkungen ist jedoch vorteilhaft und stets zu erwägen.

Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß auch nicht vorgespannte Brücken mit geringer Spannweite fugenlos ausgeführt werden können und dabei den derzeit geltenden technischen Vorschriften entsprechen. Es ist dabei jedoch sinnvoll, nichtlineare Werkstoffgesetze zu berücksichtigen. Deren Einfluß ist erheblich, wie Vergleiche mit linearelastischer Schnittgrößenermittlung zeigen.

Schiefe Brücken

Schiefwinklige Brückenüberbauten verformen sich infolge Temperaturschwankungen in allen Richtungen. Dabei kommt es zu Rotationsbewegungen des Überbaus, die nicht reversibel sind. Brücken mit großen Winkeln der Schiefe sind daher für die integrale Bauweise nicht geeignet.



Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen einer Diplomarbeit von Martin Jannack an der Hochschule Biberach im Fachbereich Bauingenieurwesen unter Betreuung des Verfassers wurde ein Wirtschaftlichkeitsvergleich angestellt am Beispiel eines konkreten Bauwerks mit Plattenbalkenquerschnitt, das auf konventionelle Weise als Durchlaufträger über 3 Felder (18,75m / 21,50 m / 17,50 m) hergestellt wurde. Es wurde für das gesamte Bauwerk eine Vergleichsrechnung auf der Basis „integrales Tragwerk“ angestellt. Dabei wurden jedoch nicht nur die Herstellkosten in Betracht gezogen, sondern auch die Mehrkosten für die Ausführungsstatik und die technische Bearbeitung beim integralen Bauwerk sowie die unterschiedlichen Kosten für Unterhaltung, Wartung, Reparaturen über die gesamte Nutzungsdauer der beiden Vergleichsbauwerke. Ebenfalls wurde berücksichtigt ein Zinssatz der Kapitalisierung von 4 %. Trotz einer um etwa 30 Jahre geringeren Nutzungsdauer ist die Integralbrücke wirtschaftlicher.

Weiterführende Literatur

Pötzl / Schlaich / Schäfer: Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung lager- und fugenloser Brücken
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 461

Engelsmann / Schlaich / Schäfer: Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 496

1.2 Besonderheiten bei Verbundbrücken

Verbundbrücken bieten zahlreiche Vorteile gegenüber reinen Beton- oder Stahlbrücken:

- * Baustoffe Stahl und Beton werden gemäß ihren Eigenschaften gezielt eingesetzt
- * kraftschlüssige Verbindung zwischen beiden Werkstoffen (i.a. durch Kopfbolzendübel)
- * Möglichkeit der Beeinflussung von Spannungszuständen im Gebrauchszustand
- * Verbundüberbauten sind leicht und erlauben so die wirtschaftliche Überbrückung von großen Stützweiten mit geringen Gewichten
- * Verbundüberbauten sind relativ unempfindlich gegenüber unterschiedlichen Setzungen
- * Verbundkonstruktionen sind günstig bei Montagen über in Betrieb befindlichen Verkehrswegen:
 - geringer Aufwand für Verkehrsführungskosten während der Bauzeit
 - Verzicht auf Stützen im Mittelstreifen von Autobahnen
 - Vermeiden von Inselbaustellen
 - weitgehende Vorfertigung erhöht die Verkehrssicherheit und ermöglicht kurze Bauzeit
 - kurze Sperrzeiten beim Bau von Eisenbahnbrücken

In Konkurrenz zum Spannbeton können folgende Gründe zugunsten einer Verbundbrücke den Ausschlag geben:

- * geringeres Konstruktionseigengewicht
- * geringere Bauhöhe, damit Reduzierung der Erdbewegungen (bei Dämmen, Einschnitten)
- * Unempfindlichkeit gegenüber Baugrundnachgiebigkeit
- * Montage ohne Rüstung und ohne Verkehrsbehinderung
- * rasche Montage bei Verwendung von Betonfertigteilen

5.2.1 Konventionelles Bauwerk

UNTERBAUTEN

Pos.Nr.	Positionstext	H - Kosten	Baukosten
01.00.0006	Stand sicherheitsnachweis	3.500,00 €	3.850,00 €
01.00.0007	Ausführungszeichnungen	5.700,00 €	6.270,00 €
01.01.	Erdarbeiten, Wasserhaltung	91.315,72 €	100.447,29 €
01.04.0001	Sauberkeitsschicht	195,78 €	215,36 €
01.04.0002	Ausgleichsschicht	104,96 €	115,46 €
01.04.0003	Verfüllbeton	53.549,35 €	58.904,29 €
01.04.0004	Verfüllbeton	4.729,53 €	5.202,48 €
01.04.0005	Verfüllbeton	65,85 €	72,44 €
01.04.0006	Fundamentbeton	31.744,40 €	34.918,84 €
01.04.0007	Widerlagerbeton	52.445,64 €	57.690,20 €
01.04.0008	Flügelwandbeton	23.545,48 €	25.900,03 €
01.04.0009	Stützenbeton	18.467,05 €	20.313,76 €
01.04.0010	Stützwandbeton	7.168,94 €	7.885,83 €
01.05.0001	Betonstahl Unterbauten	37.269,27 €	40.996,20 €
01.05.0004	Betonstahl Stützwand	1.600,32 €	1.760,35 €
01.08.0001	Geotextil Widerlager / Flügel	1.241,91 €	1.366,10 €
01.08.0002	Grundrohr	1.997,50 €	2.197,25 €
01.08.0008	Rohr Widerlager	59,32 €	65,25 €
01.08.0009	Rohr Widerlager	138,78 €	152,66 €
01.08.0010	Rohr Widerlager	59,32 €	65,25 €

368.389,03 €

ÜBERBAU

Pos.Nr.	Positionstext	H - Kosten	Baukosten
01.00.0006	Stand sicherheitsnachweis	7.000,00 €	7.700,00 €
01.00.0007	Ausführungszeichnungen	9.000,00 €	9.900,00 €
01.04.0011	Überbaubeton	135.427,64 €	148.970,40 €
01.04.0014	Kappenbeton	35.259,66 €	38.785,63 €
01.05.0002	Betonstahl Überbau	44.446,17 €	48.890,79 €
01.05.0003	Betonstahl Kappen	7.693,96 €	8.463,36 €
01.05.0005	Spannstahl Überbau	35.187,77 €	38.706,55 €
01.06.	Lager, Übergänge, Schutzplanken	91.281,20 €	100.409,32 €
01.07.0001	Hydrophobierung	3.296,08 €	3.625,69 €
01.07.0002	Hydrophobierung	476,45 €	524,10 €
01.07.0003	Betonunterlage vorbereiten	267,32 €	294,05 €
01.07.0004	Beschichtung OS-DII	1.845,69 €	2.030,26 €
01.07.0015	Betonunterlage versiegeln	5.366,18 €	5.902,80 €
01.07.0016	Betonunterlage versiegeln	2.094,79 €	2.304,27 €
01.07.0018	Dichtungsschicht Schweißbahn	5.556,37 €	6.112,01 €
01.07.0019	Dichtungsschicht Schweißbahn	2.042,36 €	2.246,60 €
01.07.0021	Schutzlage	1.488,98 €	1.637,88 €
01.08.0003	Brückenablauf	1.373,76 €	1.511,14 €
01.08.0004	Tropftülle	1.129,24 €	1.242,16 €
01.08.0005	Rohrleitung DN 150	962,84 €	1.059,12 €
01.08.0006	Rohrleitung DN 200	7.869,18 €	8.656,10 €
01.08.0007	Elastische Rohrverbindung	157,26 €	172,99 €

439.145,19 €

5.2.2 Integrales Bauwerk

UNTERBAUTEN

Pos.Nr.	Positionstext	H - Kosten	Baukosten
01.00.0006	Standsicherheitsnachweis	4.600,00 €	5.060,00 €
01.00.0007	Ausführungszeichnungen	6.600,00 €	7.260,00 €
01.01.	Erdarbeiten, Wasserhaltung	91.315,72 €	100.447,29 €
01.04.0001	Sauberkeitsschicht	195,78 €	215,36 €
01.04.0002	Ausgleichsschicht	104,96 €	115,46 €
01.04.0003	Verfüllbeton	53.549,35 €	58.904,29 €
01.04.0004	Verfüllbeton	4.729,53 €	5.202,48 €
01.04.0005	Verfüllbeton	65,85 €	72,44 €
01.04.0006	Fundamentbeton	30.104,58 €	33.115,04 €
01.04.0007	Widerlagerbeton	36.371,57 €	40.008,73 €
01.04.0008	Flügelwandbeton	25.521,16 €	28.073,28 €
01.04.0009	Stützenbeton	13.834,72 €	15.218,19 €
01.04.0010	Stützwandbeton	7.168,94 €	7.885,83 €
01.05.0001	Betonstahl Unterbauten	44.203,32 €	48.623,65 €
01.05.0004	Betonstahl Stützwand	1.600,32 €	1.760,35 €
01.08.0001	Geotextil Widerlager / Flügel	1.241,91 €	1.366,10 €
01.08.0002	Grundrohr	1.997,50 €	2.197,25 €
01.08.0008	Rohr Widerlager	59,32 €	65,25 €
01.08.0009	Rohr Widerlager	138,78 €	152,66 €
01.08.0010	Rohr Widerlager	59,32 €	65,25 €

355.808,89 €

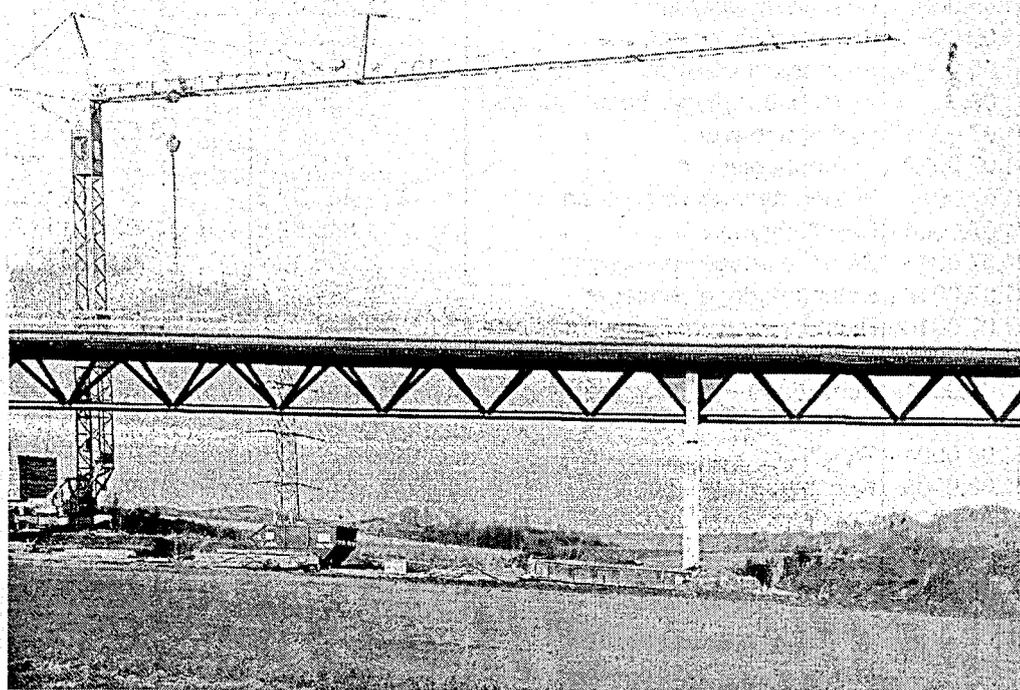
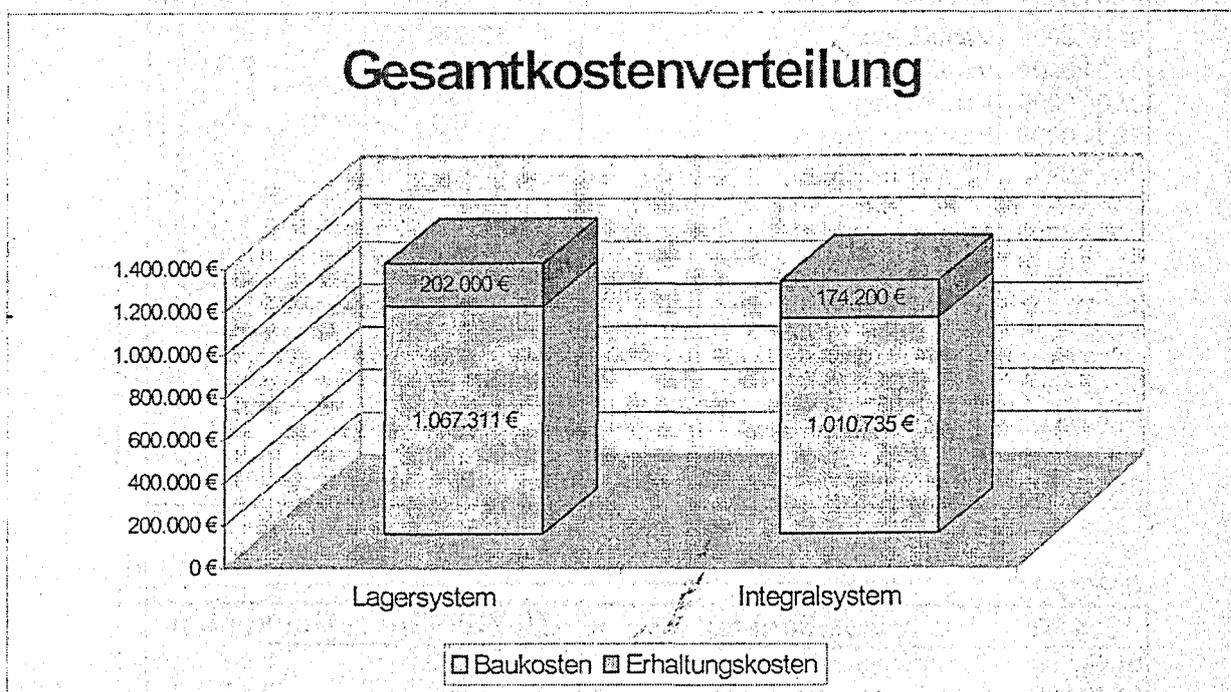
ÜBERBAU

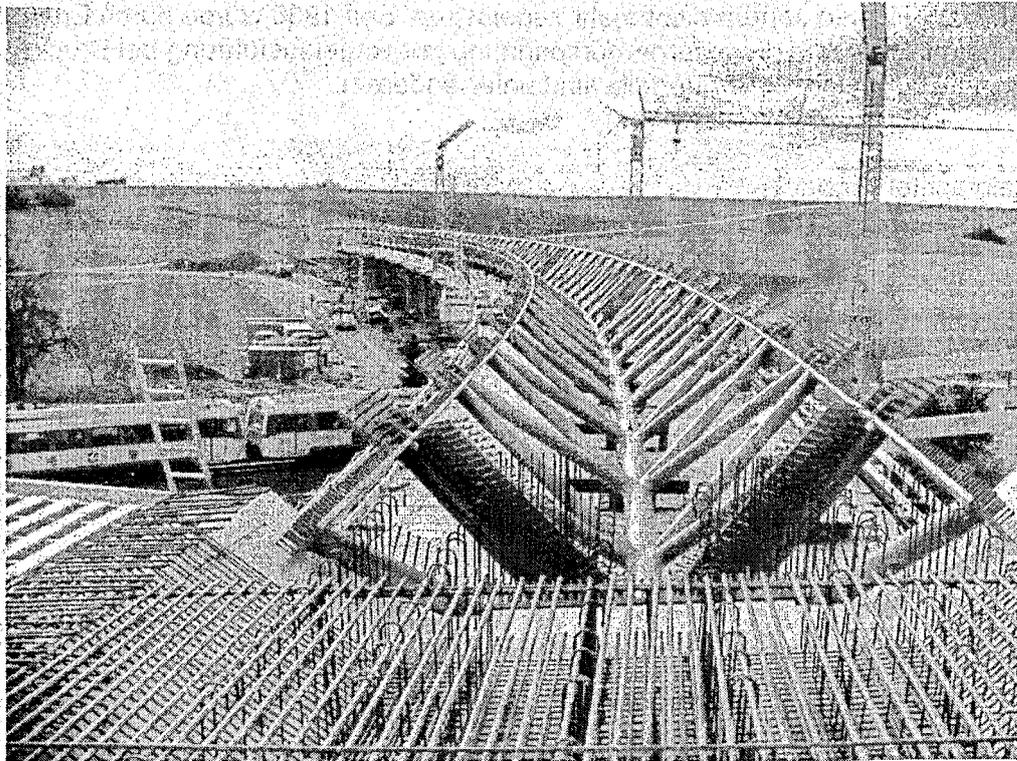
Pos.Nr.	Positionstext	H - Kosten	Baukosten
01.00.0006	Standsicherheitsnachweis	8.000,00 €	8.800,00 €
01.00.0007	Ausführungszeichnungen	8.000,00 €	8.800,00 €
01.04.0011	Überbaubeton	127.446,04 €	140.190,64 €
01.04.0014	Kappenbeton	35.259,66 €	38.785,63 €
01.05.0002	Betonstahl Überbau	34.776,01 €	38.253,61 €
01.05.0003	Betonstahl Kappen	7.693,96 €	8.463,36 €
01.05.0005	Spannstahl Überbau	35.187,77 €	38.706,55 €
01.06.	Lager, Übergänge, Schutzplanken	57.705,29 €	63.475,82 €
01.07.0001	Hydrophobierung	3.296,08 €	3.625,69 €
01.07.0002	Hydrophobierung	476,45 €	524,10 €
01.07.0003	Betonunterlage vorbereiten	267,32 €	294,05 €
01.07.0004	Beschichtung OS-DII	1.845,69 €	2.030,26 €
01.07.0015	Betonunterlage versiegeln	5.366,18 €	5.902,80 €
01.07.0016	Betonunterlage versiegeln	2.094,79 €	2.304,27 €
01.07.0018	Dichtungsschicht Schweißbahn	5.556,37 €	6.112,01 €
01.07.0019	Dichtungsschicht Schweißbahn	2.042,36 €	2.246,60 €
01.07.0021	Schutzlage	1.488,98 €	1.637,88 €
01.08.0003	Brückenablauf	1.373,76 €	1.511,14 €
01.08.0004	Tropftülle	1.129,24 €	1.242,16 €
01.08.0005	Rohrleitung DN 150	962,84 €	1.059,12 €
01.08.0006	Rohrleitung DN 200	7.869,18 €	8.656,10 €
01.08.0007	Elastische Rohrverbindung	157,26 €	172,99 €

382.794,75 €

5.3 Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Lagersystem	Integralsystem
Baukosten	1.067.311,14 €	1.010.734,89 €
Erhaltungskosten	202.000,00 €	174.200,00 €
Gesamtkosten	1.269.311,14 €	1.184.934,89 €
Differenz	0,00 €	84.376,25 €
Prozent	100%	93%





Unter diesen Gesichtspunkten hat in den letzten Jahren in Deutschland eine Renaissance des Stahlverbundbaus stattgefunden, für den einige bemerkenswerte Beispiele im Vortrag vorgestellt werden. Auch bei Verbundbrücken ist die integrale Bauweise anwendbar, wie an ausgeführten Bauwerken beispielhaft gezeigt wird.

Weiterführende Literatur:

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hanswille: Bemessung von Verbundkonstruktionen nach den neuen nationalen und europäischen Regelwerken
12. Massivbauseminar 2004, Band 126, Bauakademie Biberach

1.3 Externe Vorspannung

Beim Vorspannen mit nachträglichem Verbund liegen die Spannglieder in Hüllrohren innerhalb des statisch wirksamen Betonquerschnitts, sind in diesen frei beweglich und werden nach dem Erhärten des Betons gespannt. Hiermit sind einige Nachteile verbunden. Beispielsweise:

- * Verletzungsgefahr der Hüllrohre bei Verlegen der schlaffen Bewehrung und bei Betonieren
- * dadurch Eintritt von Betonschlempe und Blockieren des Dehnweges des Spannstahls
- * praktisch keine Reparaturmöglichkeit bei Bruch eines Spannglieds beim Spannen
- * sehr sorgfältiges Auspressen der Hüllrohre erforderlich (zur Herstellung von Verbund und Korrosionsschutz) mit schwindfreiem Injektionsmaterial
- * Korrosionsgefahr des Spannstahls bei unsachgemäßem Auspressen der Hüllrohre
- * kein späteres Nachspannen möglich zum Ausgleich von Schwinden und Kriechen
- * erschwerte Kontrolle der vorhandenen Restspannkraft bei Wartungsarbeiten
- * Auswechseln defekter Spannglieder bei späteren Brückenprüfungen nicht möglich

Aus diesen Gründen und wegen teilweise negativer Erfahrungen mit vorgespannten Überbauten, die ausschließlich mit nachträglichem Verbund hergestellt wurden, ist diese Bauweise

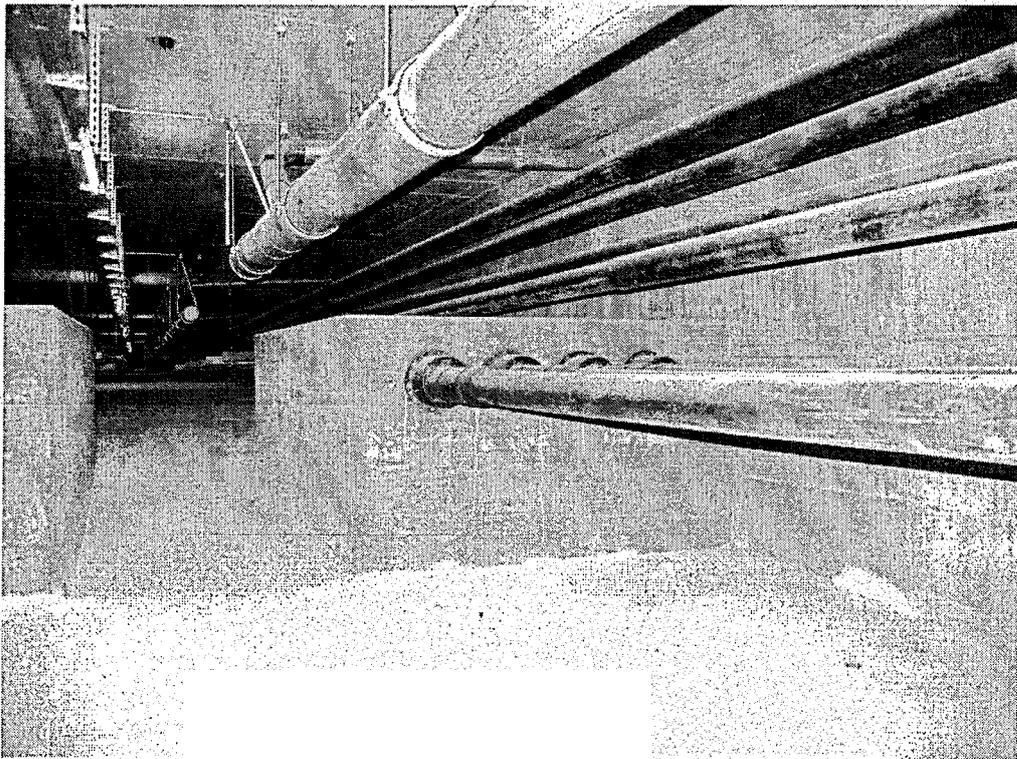
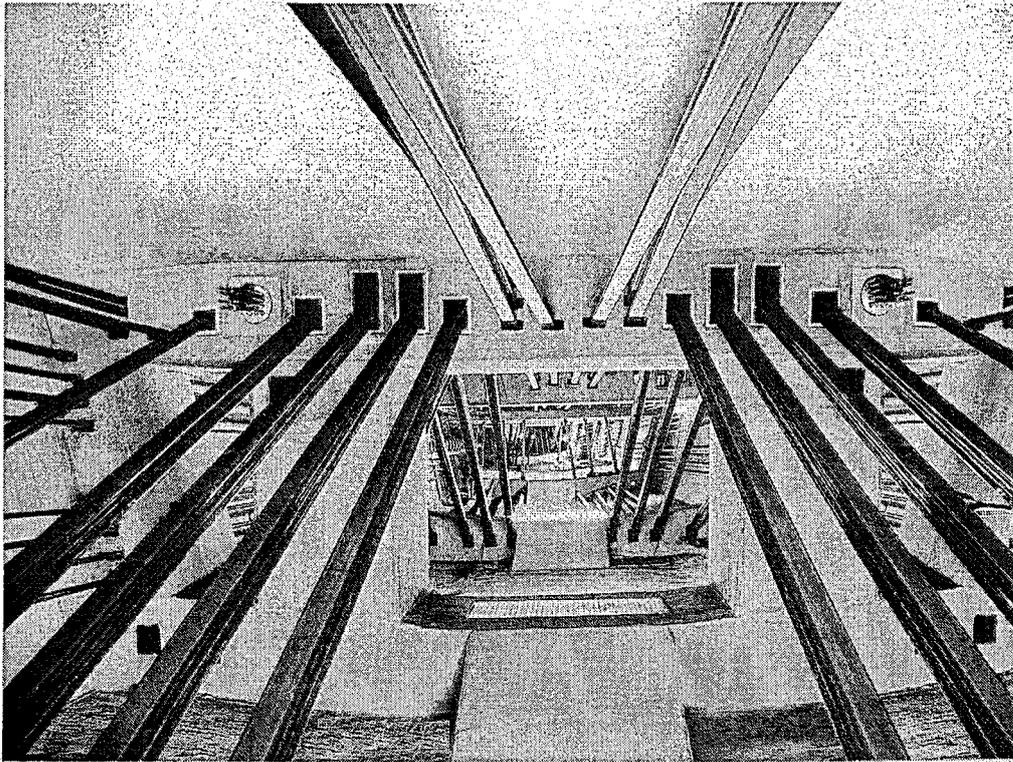
in Deutschland seit einigen Jahren nicht mehr zugelassen. Seit 1998 wurde durch Erlass des Bundesverkehrsministeriums die externe Vorspannung zur Regelausführung bei Brücken mit Kastenquerschnitt vorgeschrieben. Vorteile sind unter anderem:

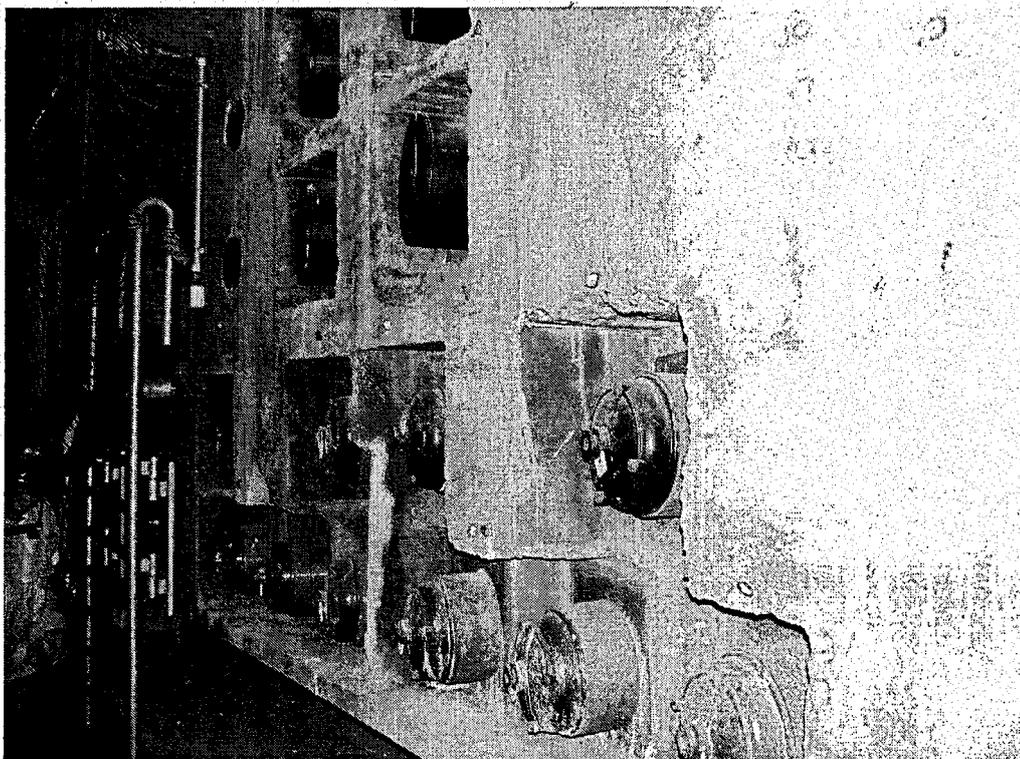
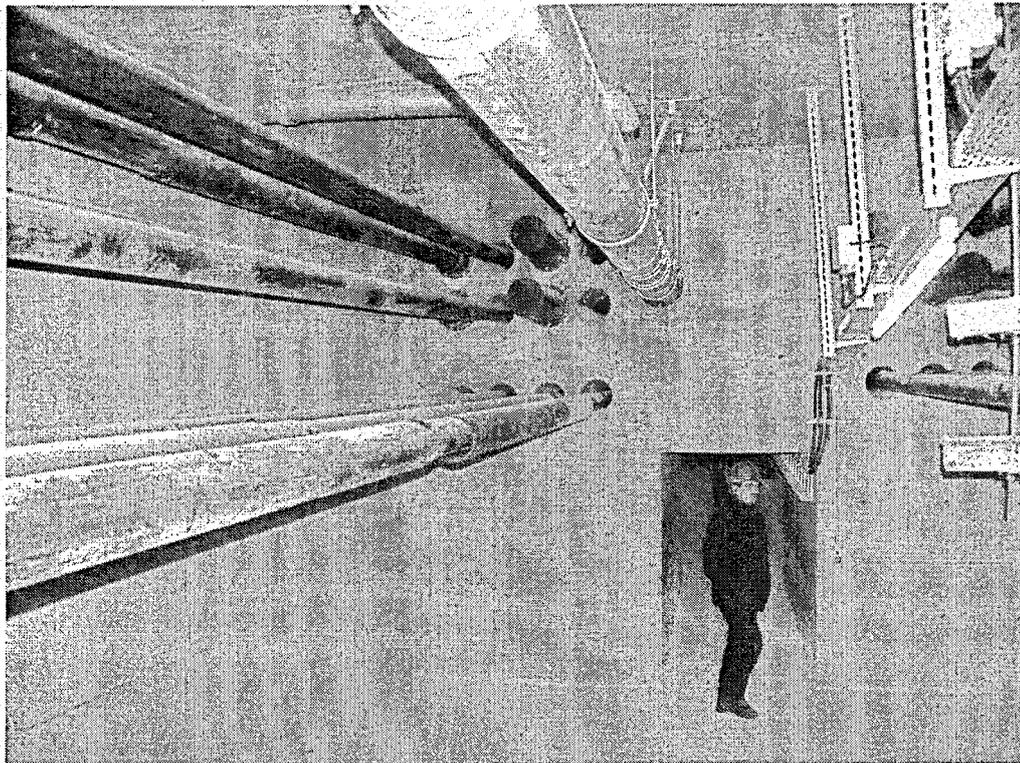
- * vereinfachter Einbau
- * Betonierarbeit wird nicht durch Spannglieder erschwert
- * klare Reibungsverhältnisse und geringere Reibungsverluste beim Anspannen
- * die Spannglieder sind werkmäßig mit hochwertigem Korrosionsschutz versehen
- * dadurch Vermeidung von Spannungsrißkorrosion, z.B. infolge unsachgemäßer Lagerung
- * Spannglieder können ohne Rücksicht auf die Außentemperatur eingebaut werden, da sämtliche Injektionsarbeiten entfallen (Wintertauglichkeit)
- * nachträgliche Justierbarkeit der Spannkraft
- * jederzeit nachträgliche Kontrolle des äußeren Zustandes und der Spannkraft möglich
- * geringere Empfindlichkeit gegenüber Wechselbeanspruchungen bei Durchlaufträgern
- * nachträgliches Anspannen im Zuge von Wartungsarbeiten möglich
- * Erhöhung der Tragfähigkeit des Überbaus durch Einziehen zusätzlicher Spannglieder möglich, beispielsweise bei Anpassung an die neuen, erhöhten EU-Achslasten
- * komplettes Austauschen einzelner Spannglieder auch unter Verkehrslast möglich
- * erleichterter Rückbau nach Nutzung des Bauwerks
- * hoher Qualitätsstandard wird insgesamt durch die werkmäßige Fertigung sichergestellt

1.4 Fußgängerbrücken

Fußgängerbrücken spielen im Brückenbau oftmals eine untergeordnete Rolle; sie werden deshalb bei Entwurf und Planung leider oft sehr nachlässig behandelt. Bauherren und Planverfasser erkennen oftmals die besondere Herausforderung nicht, die der Entwurf einer Fußgängerbrücke stellt. So sind mancherorts banale, unattraktive, möglichst billige Fußgängerbrücken gebaut worden, die auf den Fußgänger keinerlei Anziehungskraft ausüben und nur selten oder widerwillig benutzt werden.

Im Rahmen dieses Vortrags werden einige mustergültige, bewußt gestaltete Brücken gezeigt, die in vorbildlicher Weise ingenieure Kreativität, gestalterisches Können, Kühnheit und Augenmaß in sich vereinen. Die Benutzung dieser Brücken vermittelt dem Fußgänger ein kleines Erlebnis, weil die Originalität des Bauwerks, seine scheinbare Leichtigkeit und seine Eleganz faszinieren und ihn zum Betreten einlädt.





2. BERECHNUNGSVERFAHREN UND MATERIALIEN

2.1 Bemessen mit Stabwerksmodellen

Im Zuge der Überarbeitung der deutschen Norm DIN 1045-1 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ wurde auch Teil 1: „Bemessung und Konstruktion“ völlig neu gefaßt. Für die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit wurde dabei in Abschnitt 10.6 die Anwendung von Stabwerksmodellen zugelassen.

Weiterführende Literatur:

Prof. Dr.-Ing. Kurt Schäfer: Stabwerkmodelle für die Bemessung von Scheiben und Diskontinuitätsbereichen in Stabtragwerken
5. Massivbauseminar 1996, Band 82, Bauakademie Biberach

Dr.-Ing. Klaus Rückert: Rechnerunterstützte Methoden für das Konstruieren und Bemessen mit Stabwerkmodellen
5. Massivbauseminar 1996, Band 82, Bauakademie Biberach

Prof. Dr.-Ing. Jörg Schlaich / Prof. Dr.-Ing. Kurt Schäfer: Konstruieren im Stahlbetonbau
Beton-Kalender 2004, 2001 u.a., jeweils Band 2

2.2 Baustoffe: Hochleistungsbeton, CFK-Lamellen

Hochleistungsbeton

Betone mit Festigkeiten, die über die bisher genormten gehen, werden als hochfeste Betone oder als Hochleistungsbeton bezeichnet. In einer Definition des CEB-FIP Sachstandsberichts „High-Strength-Concrete“ wird hochfester Beton mit einer Zylinderdruckfestigkeit größer als 60 N/mm² definiert. Für den Brückenbau bietet die Verwendung von Hochleistungsbeton gegenüber den konventionellen Betonsorten folgende Vorteile:

- * höhere Kurzzeitfestigkeit
- * höhere Festigkeit generell
- * dichteres Gefüge
- * bessere Dauerhaftigkeit durch Dichtheit und Abriebfestigkeit
- * geringere Verformungen
- * höhere Zwangunempfindlichkeit
- * höherer Frost-Tausalz-Widerstand
- * höhere Ermüdungsfestigkeit

Im Brückenbau erlaubt die höhere Druckfestigkeit des Betons bei gleicher Nutzlast die Reduzierung der Tragquerschnitte und damit eine Gewichtsersparnis, die sich günstig auf Lager, Unterbauten und auf Baubehelfe wie Traggerüste auswirkt. Besonders die hohen und schweren Stützquerschnitte von Freivorbaubrücken können durch die Verwendung von Hochleistungsbeton optimiert werden. Bei gleichem Querschnitt kann dagegen die Spannweite der Überbauten vergrößert werden. Wegen seines dichten Gefüges und der geringen Durchlässigkeit eignet sich hochfester Beton gut für den Einsatz in Straßen- und Fußwegbrücken, und hier insbesondere bei Trägern mit sehr hohem Vorspanngrad, wie z.B. den Überbauten von Schrägkabelbrücken.

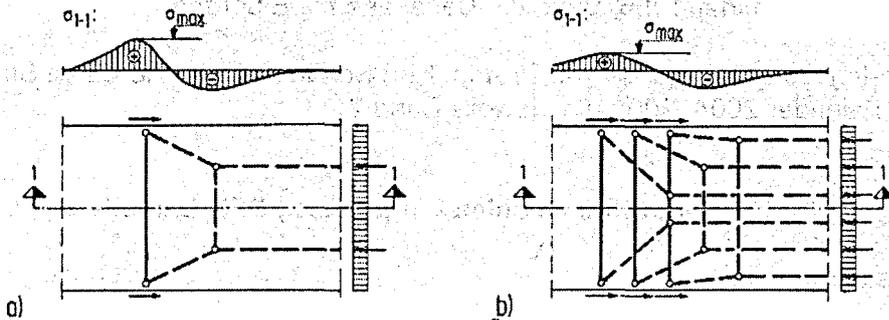
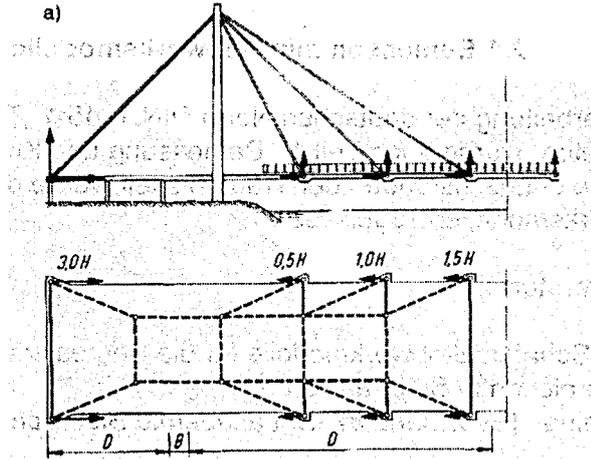


Bild 4.6-20. Entwicklung des Verankerungsdetails mit Stabwerkmodellen.

- (a) einfaches Grundmodell mit zugehöriger Spannungsverteilung;
- (b) verfeinertes Modell;
- (c) konstruktive Durchbildung des Details mit Gußstahlelementen und Bewehrung entsprechend dem Modell (b)

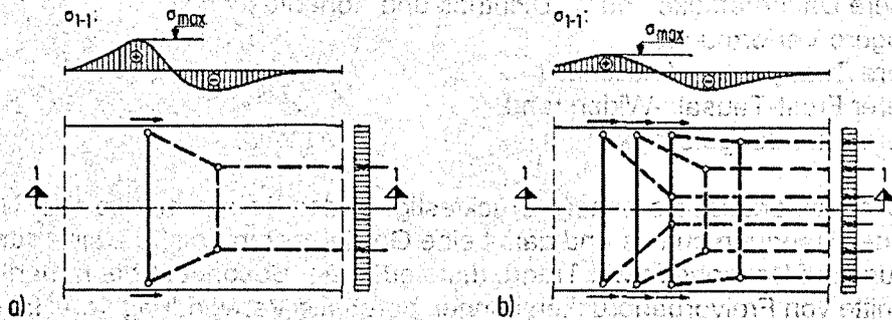
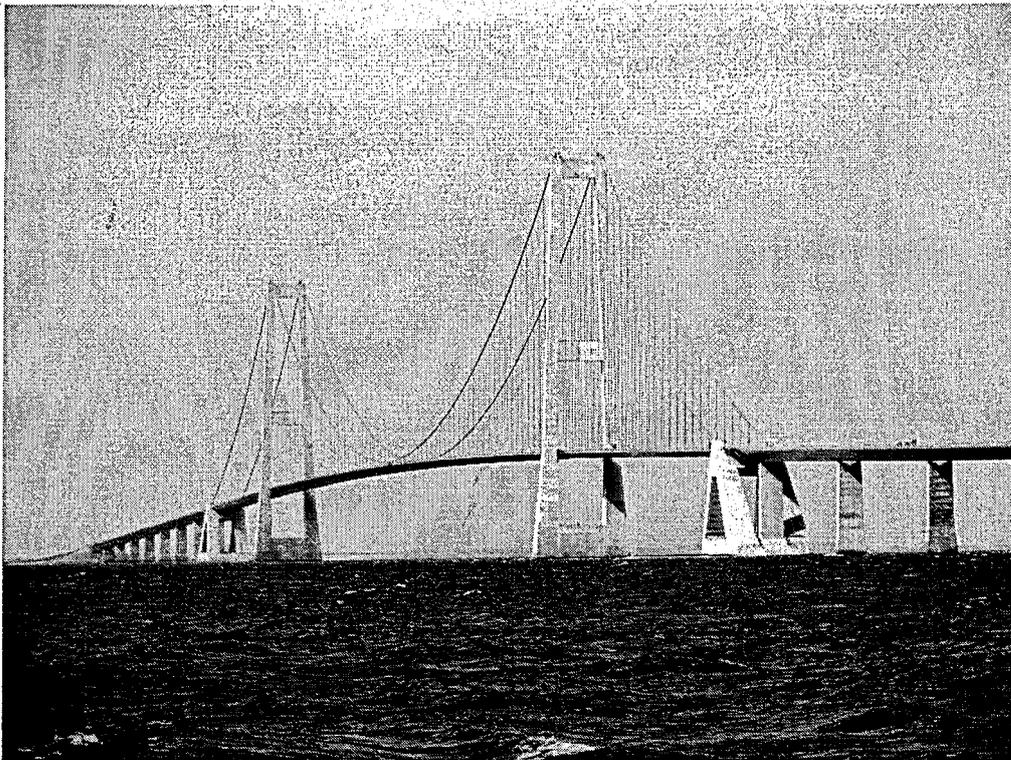


Bild 4.6-20. Entwicklung des Verankerungsdetails mit Stabwerkmodellen.

- (a) einfaches Grundmodell mit zugehöriger Spannungsverteilung;
- (b) verfeinertes Modell;
- (c) konstruktive Durchbildung des Details mit Gußstahlelementen und Bewehrung entsprechend dem Modell (b)

Wegen fehlender Bemessungsgrundlagen konnte der Werkstoff oft nicht sinnvoll ausgenutzt werden. Mit der Überführung des öffentlichen Wirtschaftsweges über die Autobahn A 96 bei Buchloe (etwa auf halbem Wege zwischen Biberach und München) wurde 1998 erstmals in Deutschland ein Brückenbauwerk in Hochleistungsbeton B 85 erstellt und unter Wettbewerbsbedingungen ausgeschrieben. Durch die Verwendung dieses Materials konnten die konstruktiven Möglichkeiten verbessert und eine deutlich reduzierte Bauhöhe des Überbaus erreicht werden. Hierdurch ergaben sich auch erhebliche Einsparungen in den anschließenden Erdbaugewerken.

Führend bei der Entwicklung im Brückenbau sind jedoch derzeit noch Frankreich und Norwegen. Als Beispiele seien genannt: in Frankreich die Pont de Normandie, eine Schrägkabelbrücke, deren Pylone aus B 60 eine Höhe von 214 m erreichen sowie die Store-Baelt-Westbrücke in Skandinavien.



Weiterführende Literatur:

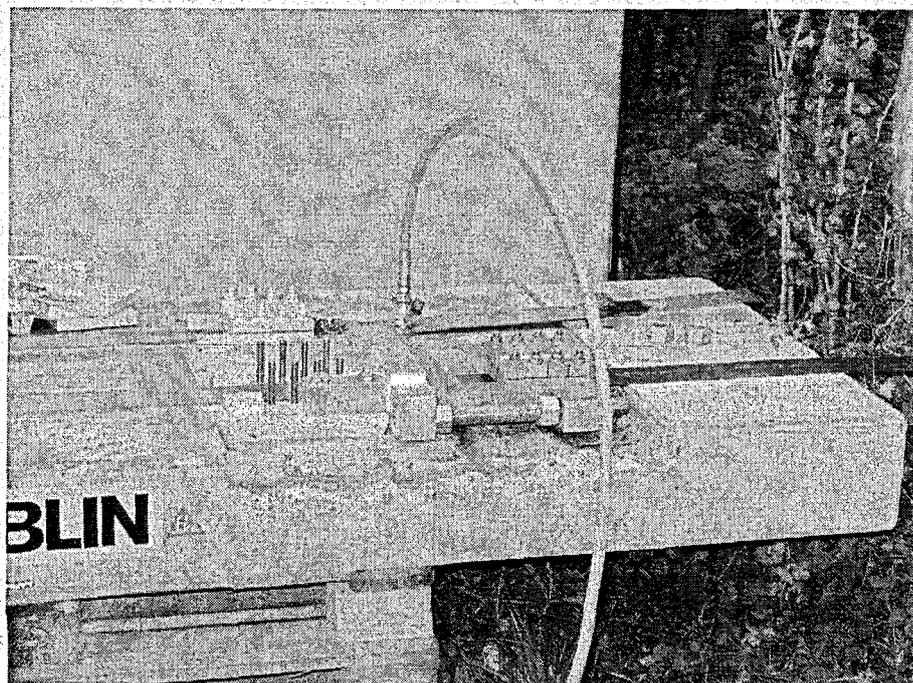
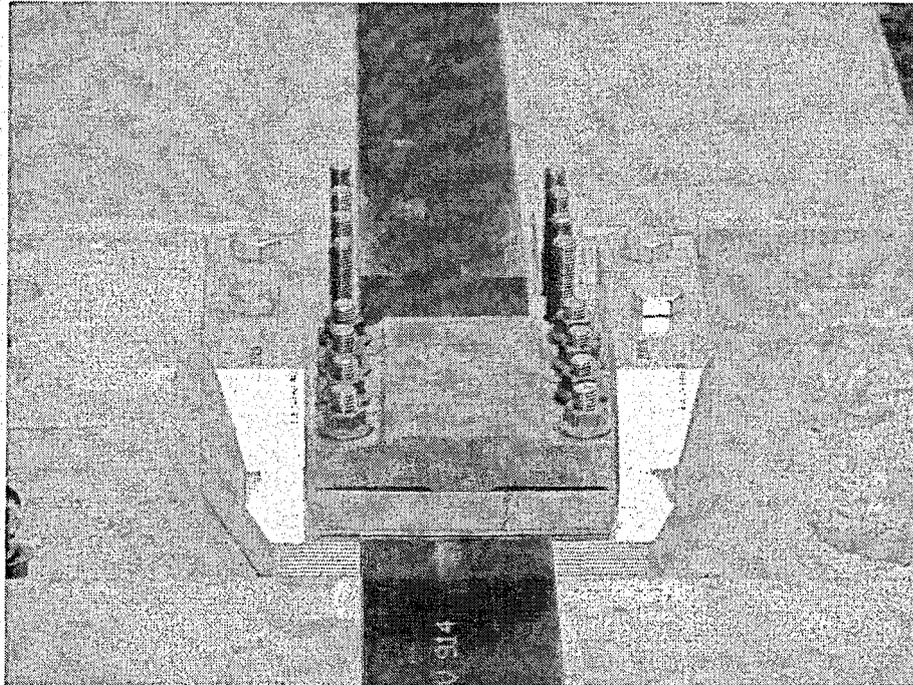
Prof. Dr.-Ing. Gert König: Hochleistungsbeton - Arten, Herstellung und Eigenschaften
Verlag Ernst & Sohn, Berlin

CFK-Lamellen

Die innovative Werkstoffkombination „kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) und Hochleistungsbeton“ eröffnet neuartige und vielversprechende Möglichkeiten für die Gestaltung von Bauteilen und Tragstrukturen. Sie ermöglicht die Herstellung von dünnwandigen, leichten, filigranen, ermüdungsfesten und sehr dauerhaften Betonkonstruktionen für den Einsatz nicht nur im Brückenbau, sondern im gesamten Infrastrukturbau und im Bauwesen generell.

CFK-Lamellen bestehen aus feinen, unidirektional angeordneten Kohlenstoffasern, die in eine Epoxidharzmatrix eingebettet sind. Die Dichte von CFK beträgt mit $1,6 \text{ g/cm}^3$ lediglich ein Fünftel der Dichte von Stahl bei etwa gleich großer Längszugfestigkeit. Der wohl größte Vorteil von CFK als Spannbewehrung ist die absolute Korrosionsbeständigkeit in allen in der Praxis vorkommenden Medien auch bei gleichzeitiger Einwirkung von hohen mechanischen Spannungen. Die völlige Abwesenheit der Gefahr einer Spannungsrißkorrosion erlaubt eine Minimierung der Betonüberdeckung weit unterhalb derjenigen, die zum Schutz von Spannstahldrähten notwendig wäre.

In Deutschland werden CFK-Lamellen derzeit hauptsächlich verwendet bei Sanierungen zum Verstärken von bestehenden Tragwerken sowie zur Ertüchtigung von schadhaften Bauteilen.



Ihr Einsatz ist nicht beschränkt auf den Betonbau. Sie lassen sich vorteilhafterweise auch einsetzen zur Erhöhung der Tragfähigkeit denkmalgeschützter, mittelalterlicher Holzkonstruktionen.

Durch Vorspannung von CFK-Lamellen läßt sich eine weitere Steigerung aufnehmbarer Lasten erreichen. Die Entwicklung ist noch in vollem Gange.

3. BAUVERFAHREN

Da die in der Gliederung beispielhaft aufgelisteten Bauverfahren im wesentlichen als bekannt vorausgesetzt werden können, wird hier auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet. Anhand von Fotomaterialien werden im Vortrag einige Beispiele erläutert von bemerkenswerten Bauwerken, die derzeit in Deutschland im Bau sind oder vor kurzem fertiggestellt wurden.

3.1 Freivorbau: Durchlaufträger: Neckarbrücken Mannheim und Hirschhorn
Bogen: Bogenbrücke Nesselwang

3.2 Taktschieben: Ortsumgehung Ostfildern

3.3 Bogenklappverfahren: Argentobelbrücke Isny

3.4 Abgespannter Bogen: Talbrücke „Wilde Gera“ (Autobahn A 9)

3.5 Fertigteilbrücken: Autobahnüberführungen

3.6 Kombinierte Verfahren: Bogenfreivorbau mit Taktschieben

4. FERTIGTEILBAUWEISE

4.1 Biegesteife Tragwerksknoten mit Verbindungselementen

Für die Herstellung biegesteifer Tragwerksknoten im Stahlbeton-Fertigteilbau gibt es eine interessante Lösung der finnischen Firma PEIKKO (www.peikko.com). Komplette Koppelstücke als vormontierte Einbauteile werden für die Verbindung der Fertigteile entworfen.

Rahmensysteme zeichnen sich durch Biegemomente und Koppelkräfte der Rahmenelemente aus. Parallel zur Momentenübertragung werden mit den Verbindungselementen vereinfachte planmäßige Standardanschlüsse angeboten anstelle komplizierter individuell entworfener Stahlbaudetails zur Übertragung hoher Koppelzugkräfte z.B. am Horizontalanschluß von Binder und Stützenkopf.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag wurde versucht, einen kurzen Überblick zu geben über aktuelle Tendenzen im Brückenbau und im Fertigteilbau, wie sie derzeit in Deutschland erkennbar sind.

Aufgrund der platzmäßigen Beschränkung war es leider nicht möglich, die zusätzlich während des Vortrags gezeigten zahlreichen Bilder hier im Tagungsband unterzubringen. Ich bitte hierfür um Verständnis.

