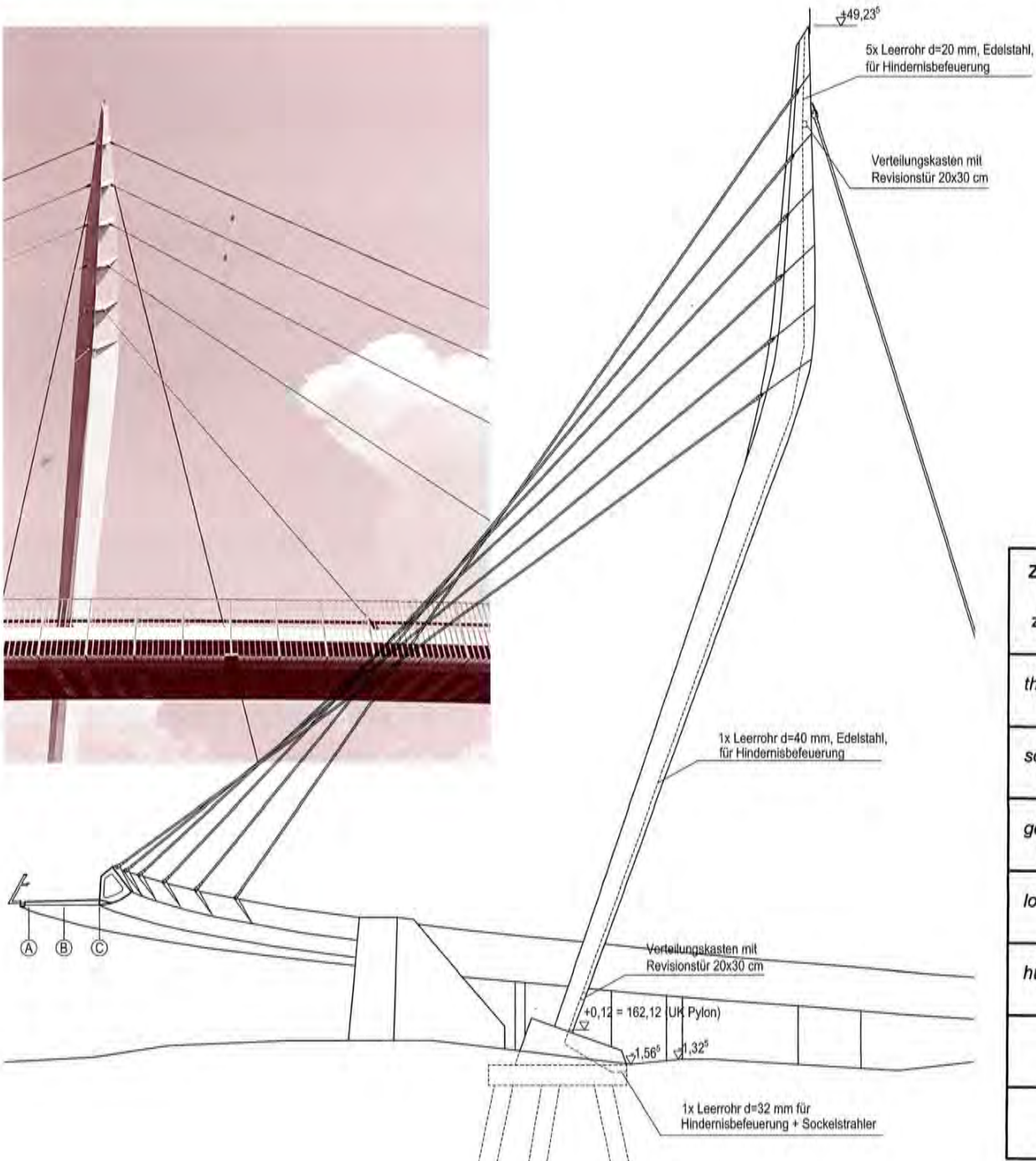


# structure

Zeitschrift für Tragwerksplanung und Ingenieurbau  
 Review of Structural Design and Engineering

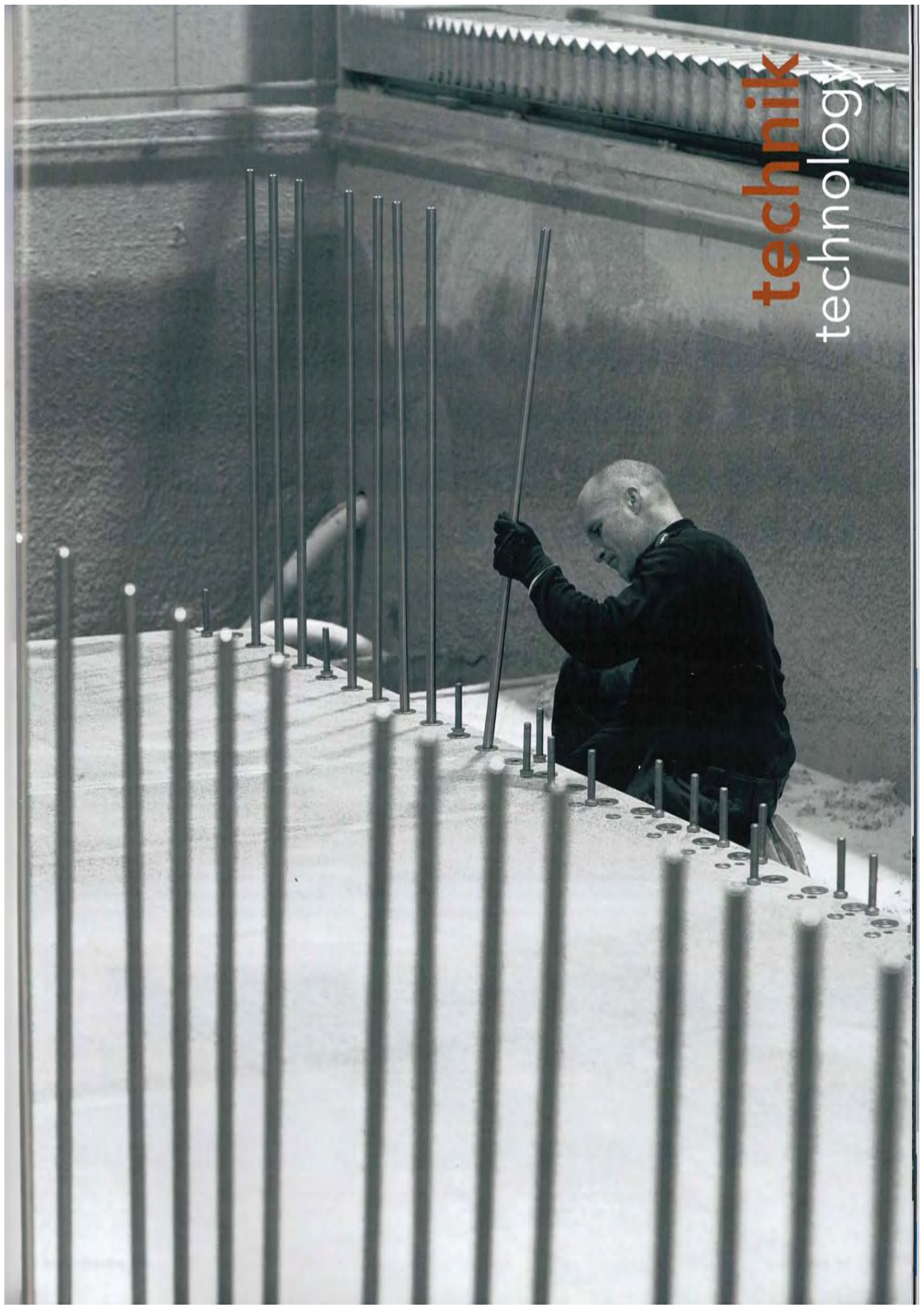
published by  
**DETAIL**



Zeitschriftenumlauf  
 Studiengang BI  
 zurück an Assistenz

<i>thal</i>	<i>diha</i>
<i>schl</i>	<i>hael</i>
<i>gero</i>	<i>krjo</i>
<i>lowi</i>	<i>sydo</i>
<i>humn</i>	<i>salz</i>

technik  
technology



# Halbzeuge aus vorgespanntem Carbonbeton als tragende Bauteile

Semi-Finished Products Made from Carbon Prestressed Concrete as Load-Bearing Components

**Text:**  
**Josef Kurath**

Der Autor lehrt an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW in Winterthur Bau- statik, Festigkeitslehre sowie gestalterisches und konstruktives Entwerfen. Dort hat er die Schwerpunktleitung der Fachgruppe Faserverbundkunststoffe inne. Er ist Gründungspartner im Ingenieurbüro Straubli, Kurath und Partner in Zürich.

Prof Josef Kurath teaches structural engineering, strength of materials and constructive design at Zurich University of Applied Sciences ZHAW in Winterthur, Switzerland. He is head of the fibre-reinforced plastics research group. He is a founding partner at Straubli, Kurath und Partner AG consulting engineers in Zurich.

A Tragwiderstand unterschiedlicher CPC-Platten bei beidseitigem Auflager als Einfeldträger. Bei Durchlaufwirkung erhöht sich der Tragwiderstand um 20–40%.

A load-bearing capacity of various CPC panels as single-span, simply supported beams on end bearings. Load-bearing capacity increases by 20–40% when continuity is taken into account

Nach 14 Jahren Forschung kommen seit 2016 komplett vorgefertigte Brücken aus Carbon-Prestressed-Concrete-(CPC-)Platten zum Einsatz. Durch die Vorspannung ist nur ein minimaler Materialeinsatz für die Bewehrung erforderlich. So wird das leistungsfähige, leichte und nachhaltige, aber teure Carbon gegenüber einer Bewehrung aus Stahl zunehmend konkurrenzfähig.

Kohlenstoff ist chemisch beständig. Dies ist im stark alkalischen Milieu des Betons sowie beim Kontakt mit Salzwasser sehr wichtig. Carbon weist bis zum Erreichen des Bruchniveaus keine Ermüdung auf. Im Vergleich zu anderen textilen Fasern ist Carbon sehr steif und hat keine Wärmeausdehnung in Längsrichtung der Faser, was beim Einsatz mit Beton entscheidend sein kann. Der große Nachteil des Materials liegt aber in seinem hohen Preis. Obwohl der Preis für das Grundmaterial Carbonroving (Carbonfaserbündel) in den letzten Jahrzehnten um den Faktor 40 abgenommen hat, ist Carbon bei gleicher nutzbarer Leistung im Vergleich zu einer Stahlbewehrung noch viel zu teuer. Wird der Roving zu Geweben weiterverarbeitet, steigt der Preis noch weiter an. Dieser Preisnachteil muss also durch wesentliche Vorteile ausgeglichen werden, die in der Gesamtbetrachtung des Bauwerks überwiegen müssen. Anderenfalls wird Carbon nicht als Substitution von Stahlarmierung in der Breite eingesetzt werden. Der oft genannte Vorteil von Kohlenstoff, die Korrosionsbeständigkeit, spielt im üblichen Hochbau keine Rolle. Unsere Brandversuche an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften Winterthur ZHAW haben gezeigt, dass aufgrund der erforderlichen Brandsicherheit eines Gebäudes die Be-

Since 2016, following 14 years' research, complete prefabricated bridges have been built out of CPC (Carbon Prestressed Concrete) panels. Because the carbon is prestressed, only a minimum amount of the material is required as reinforcement. Carbon, an efficient, light-weight, sustainable but expensive material, is therefore capable of competing with steel reinforcement.

Carbon is chemically resistant. It suffers no fatigue before it reaches its fracture strength. In comparison to other textile fibres, carbon is very stiff and exhibits no longitudinal thermal expansion. However, the disadvantage of the material lies in its high price. Although the price of the basic material, carbon fibre rovings, has come down by a factor of 40 over recent decades, carbon is still much too expensive compared to steel reinforcement for the equivalent structural performance. Processing rovings into fabric further increases the price. At the moment, carbon cannot generally be used as a substitute for steel reinforcement. Carbon's corrosion resistance plays no role in conventional building construction. Our fire tests at Zurich University of Applied Sciences (ZHAW) in Winterthur have shown that concrete cover to reinforcement and therefore the thickness of CPC panels cannot be reduced from that of steel-reinforced concrete panels. The present methods of producing carbon fibre rovings offer no sustainability advantage compared to steel reinforcement. Because the stiffness of a carbon rod made from conventional carbon fibres is less than that of the same cross-sectional area of steel, and no significant increase in stiffness is achieved even with high-stiffness fibres, the very high stiff-

Abmessungen Platte B/L/T in mm/ panel dimensions W/L/D in mm	Anzahl Lagen der Carbonlitzen/ number of layers of carbon strands	zulässige Durchbiegung/ permissible deflection	zulässige Flächenlast/ permissible uniformly distributed load	zulässige Punktlast/ permissible point load
1000/6000/24	4	w = B/300	3,9 kN/m <sup>2</sup>	2,7 kN/m <sup>2</sup>
		nicht eingehalten <sup>1</sup> requirement not met <sup>1</sup>	12,5 kN/m <sup>2</sup>	3,9 kN/m <sup>2</sup>
2000/3000/40	8	w = B/300	3,5 kN/m <sup>2</sup>	8 kN/m <sup>2</sup>
		nicht eingehalten <sup>1,2</sup> requirement not met <sup>1,2</sup>	11 kN/m <sup>2</sup>	10 kN/m <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Anwendung z. B. als Balkon- oder Fassadenplatte

<sup>2</sup> Anwendung z. B. als Treppenstufe, Brückenfahrbahn für Fußgänger, Fahrradfahrer und Unterhaltsfahrzeuge

<sup>1</sup> use as e.g. balcony slab or facade panel

A <sup>2</sup> use as e.g. staircase steps, traffic surfaces for pedestrians, cyclists and maintenance vehicles



B

wehrungsüberdeckung und damit die Deckenstärke im Vergleich zur Stahlbewehrung nicht reduziert werden kann. Auch die Nachhaltigkeitsbetrachtung führt mit den heute bekannten Herstellungsmethoden von Carbonrovings zu keinem Vorteil gegenüber einer Stahlbewehrung. Da die Steifigkeit eines Carbonstabs aus konventionellen Carbonfasern bei gleicher Querschnittsfläche unter der von Stahl liegt und auch mit hochsteifen Fasern kein wesentlich höheres Steifigkeitsniveau erreicht werden kann als mit Stahl, lässt sich die sehr hohe Festigkeit von Carbon bei schlaff eingelegten Stäben nicht nutzen. Unsere Berechnungen zeigen, dass der Preis für eine Carbonbewehrung um den Faktor 20 bis 60 günstiger werden müsste, um mit einer Stahlbewehrung konkurrieren zu können. Dies scheint in der Herstellung von Carbonrovings mit den heute bekannten Technologien nicht realistisch.

### Wettbewerbsfähig durch Vorspannung

Um den Preisnachteil von Carbon zu kompensieren, müssen neue Konstruktionen oder neue Baumethoden gesucht werden. Einen solchen Ansatz haben wir während der letzten 14 Jahre Forschung verfolgt. Daraus resultiert ein komplett neuer Umgang mit Beton. Bei den neu entwickelten CPC-Platten werden 1-2 mm dünne Carbonlitzen im Abstand von 15 mm in dünne Betonplatten eingelegt und stark vorgespannt; eine Bewehrungslage bildet ein orthogonales Netz aus parallelen Litzen in X-Richtung sowie senkrecht dazu in Y-Richtung. Die Betonüberdeckung beträgt 6 bzw. 8 mm. Dadurch entsteht eine in beide Hauptrichtungen vorgespannte Betonplatte, welche als Halbfabrikat zu Produkten weiter verarbeitet

ness of carbon cannot be exploited if the rods are unstressed when the concrete is poured. Our calculations show that the price for carbon reinforcement would have to be between 1/60th and 1/20th of what it is now in order to be competitive with steel reinforcement. This does not appear likely in view of today's technology for the manufacture of carbon fibre rovings.

### Competitiveness by prestressing

To compensate for the price disadvantage of carbon, new forms of construction or methods of building must be found. We have been pursuing such an approach for the last 14 years in our research. The result is a completely novel way of constructing with concrete. With the newly developed CPC panels, 1-2 mm thick carbon strands at 15 mm centres are prestressed and cast into thin concrete panels; the strands are arranged parallel to one another in the X and Y directions to form an orthogonal reinforcement mesh. The concrete cover to the strands is between 6 and 8 mm. The result is a concrete panel prestressed in the two principal directions. This semi-finished product can then be further processed. Openings cut out within the panels or at their edges have no adverse effect on the prestressing; measurements have shown that full force transfer between carbon and concrete still takes place even with a cut edge passing within one centimetre of a strand. 2 cm thick panels are reinforced with 2 layers of strand; thicker panels to resist higher loads have correspondingly more layers. In the near future, panel thicknesses of up to 8 cm with eight reinforcement layers will be available. The length and width of the panels are determined by logistics requirements. For highway applications, the semi-finished panels are cut to a maximum of 13 m x 3.50 m out of considerably larger production panels. In the same way as timber construction, the concrete quality is tailored for the specific areas of use: fire protection, lightweight, thermal insulation or resistance to salt. Once a decision about the method of construction has been made, the semi-finished products can be manufactured

- B Vorfertigung im Werk: CPC-Platte nach dem Zuschnitt
- C Bruchkante einer zweilagigen CPC-Platte
- D schematischer Aufbau einer 20 mm dicken CPC-Platte

#### Axonometrie

- 1 Beton (Qualität je nach Anforderung)
- 2 obere Bewehrungslage  
Carbonlitzen  $\varnothing$  1,2 mm
- 3 untere Bewehrungslage  
Carbonlitzen  $\varnothing$  1,2 mm

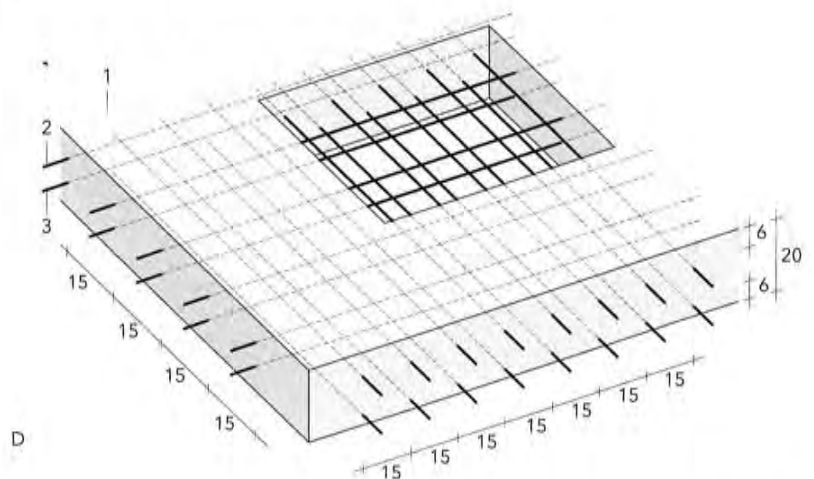
- B fractured face of a two-layered CPC panel
- C schematic construction of a 20 mm thick CPC panel
- D prefabrication in the factory: CPC panel after being cut to length

#### axonometric

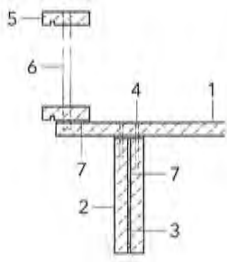
- 1 concrete (quality according to requirements)
- 2 top reinforcement layer,  
 $\varnothing$  1.2 mm carbon strand
- 3 bottom reinforcement layer,  
 $\varnothing$  1.2 mm carbon strand



C



D



E-G Fahrradbrücke im Campus T in Winterthur 2016. Entwicklung und Bemessung: Straubli, Kurath und Partner  
 E Längsträger  
 F Tragrahmen unter Brückendeck  
 G Kranmontage der Brücke vor Ort

werden kann. Einschnitte oder Ausschnitte beeinträchtigen die Funktionsweise der Vorspannung nicht: Messungen haben gezeigt, dass bereits nach einem Zentimeter Abstand von einer geschnittenen Kante der volle Kraftschluss zwischen Carbon und Beton gewährleistet ist. 2 cm dicke Platten werden mit zwei Bewehrungslagen armiert, dickere Platten für höhere statische Anforderungen mit entsprechend mehr Lagen. In naher Zukunft werden Plattenstärken von bis zu 8 cm mit acht Bewehrungslagen angeboten. Länge und Breite der Platten richten sich nach der Logistik. Für den Straßenverkehr werden die Halbfabrikate auf max. 13 x 3,50 m zugeschnitten, die Produktionsmaße sind wesentlich größer. Die Betonqualitäten werden analog zum Holzbau auf unterschiedliche Einsatzgebiete angepasst: Brandschutz für den Hochbau, Leichtbeton zur Wärmedämmung oder Beständigkeit gegen Salzwasser im Außenbereich. Sobald sich die Bauweise durchsetzt, werden die Halbfabrikate in großen Stückzahlen vorgefertigt. Sie können aufgrund des geringen Gewichts kostengünstig über große Distanzen transportiert und einfach gestapelt werden. Daher ist das Bauen mit CPC für ressourcenarme Gebiete wie den Nahen Osten oder noch nicht stark entwickelte Gebiete besonders interessant. Auf den ersten Blick scheint zwar ein großer Vorteil von Ortbetonkonstruktionen damit verloren zu gehen – die hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an unterschiedlichste, komplexe Geometrien. Bei den meisten Bauteilen für Tragwerke im Massenmarkt des Hochbaus und des Brückenbaus überwiegen jedoch gerade Bauteile. Im Freien, ohne Brandschutzanforderungen, können CPC-Platten als Treppen oder Plattformen frei spannd auf eine Trägerkonstruktion aufgelegt oder als Balkonplatte in vorgefertigte Stahlrahmen eingelegt werden. Die Möglichkeit, die Platten zu komplexeren Tragwerken zusammenzufügen, macht die Halbfertigteile auch für den Brückenbau interessant. Digitale Planungssoftware und automatisierte, CNC-gesteuerte Maschinen erlauben es, Bauteile präzise zu erfassen, in witterungsgeschützten Werkhallen vorzufertigen und vor Ort möglichst in Trockenbauweise schnell zusammenzusetzen. Der moderne Holzbau aus verleimten Platten

in great numbers in a factory environment. Thanks to their low self-weight, they can be inexpensively transported over large distances and are simply stored by stacking. Building with CPC would be a particularly attractive option for areas such as the Middle East or in underdeveloped countries where resources are sparse.

At first glance, one of the great advantages of in situ concrete construction, the high flexibility and the ability to cast concrete to complex geometric profiles, would appear to be lost. However, most components for load-bearing structures in the mass market for buildings and in bridge construction are almost all straight, planar items. In the open air, where no fire protection requirements apply, CPC panels can be designed as steps or platforms, spanning as simply-supported slabs on a substructure or as balcony slabs in prefabricated steel frames. The possibility of adding these panels into complex load-bearing structures also makes semi-finished precast components an attractive option in bridge construction. Digital design software and automated CNC machines in weather-protected production halls allow the components to be manufactured to precise dimensions and quickly assembled on site as dry construction. We based the idea of creating individual building components from semi-finished products on the practices adopted in modern timber construction and its use of glued boards. Over the last 200 years or so, cast components have largely been superseded by semi-finished products in structural steelwork too.

**The lightest concrete bridge in the world**  
 The capabilities of the new method of construction was proved in practice for the first time in 2016: the 7.85 m long, 2.44 m wide pedestrian and cycleway bridge over the River Eulach in Winterthur, Switzerland. The existing bridge had to be replaced because the main steel beams were no longer capable of safely carrying the applied loads. Over the years, rainwater had flowed through gaps in the 120 mm thick concrete planks comprising the bridge surfacing and over the main beams,

Schnitt Maßstab 1:20  
 1 Brückendeck CPC-Platte 7815 mm x 2370 mm x 40 mm C65/75 Bewehrung vierlagig  
 2 Tragrahmen aus 2x CPC 40 mm, Oberkante Längsträger überhöht  
 3 Carbonlamellen eingeklebt in Nut: h = 100 mm l = 7800 mm  
 4 kraftschlüssige Verbindung Bodenplatte mit Tragrahmen Senkkopfhülsen Edelstahl M 8 Ø 24 mm verklebt  
 5 Handlauf bzw. Verstärkung bei Einspannung Geländer CPC-Platte 40 mm Bewehrung vierlagig  
 6 Edelstahlrohre Ø 26,9 x 2,6 mm  
 7 Betonklebstoff

E-G Cycle bridge campus T in Winterthur 2016. Planning and design: Straubli, Kurath und Partner  
 E longitudinal beam  
 F support frame below bridge deck panel  
 G erection of the bridge on site with crane

section scale 1:20  
 1 bridge deck CPC panel 7815 mm x 2370 mm x 40 mm C65/75 four-layer reinforcement  
 2 support frame made of 2x 40 mm CPC, cambered top of longitudinal beam carbon strips glued into groove: h = 100 mm l = 7800 mm  
 3 structural connection of running surface slab to support frame and counter-sunk sleeves stainless steel M 8 Ø 24 mm, glued  
 5 handrail and strengthening for cast-in parapet rail CPC panel 40 mm four-layer reinforcement  
 6 stainless steel tube Ø 26,9 x 2,6 mm  
 7 concrete adhesive

führt uns vor, dass mit immer denselben Halb-fabrikaten individuelle Bauten erstellt werden können. Wie heute im Stahlbetonbau wurde bis Mitte des 19. Jahrhunderts auch im Stahlbau hauptsächlich mit einer Gussbauweise – dem Gusseisen – gearbeitet. Der moderne Stahlbau aus Halbzeugen wie Platten, Rohren oder Profilen hat sie Schritt für Schritt verdrängt. Bei Sonderaufgaben hat der Stahlguss aber nach wie vor seine Berechtigung. So wird auch im Stahlbetonbau das Gießen vor Ort seine Bedeutung behalten.

### Die leichteste Betonbrücke der Welt

In der Praxis wurde die Leistungsfähigkeit der neuen Bauweise erstmals 2016 in einem komplett eigenständigen Brückentragwerk unter Beweis gestellt: mit der 7,85 m langen und 2,44 m breiten Fußgänger- und Fahrradbrücke über die Eulach im schweizerischen Winterthur. Der Ersatz der bestehenden Brücke war erforderlich geworden, da die Stahlhauptträger nicht mehr die notwendige Tragsicherheit aufwiesen. Durch Lücken zwischen den einzeln aufliegenden, 120 mm dicken Betonbohlen des Brückenbelags war über die Jahre Regenwasser über die Hauptträger gelaufen und hatte zu großen Korrosionsschäden geführt. Die Strahlträger wurden lediglich als Halterung für die bestehenden Rohrleitungen unter der Fahrbahn beibehalten.

Das neue Brückendeck besteht aus einer einzigen großformatigen 40 mm starken CPC-Platte mit einer umlaufend eingefrästen Wassernase an der Unterseite. Es ist mit einem darunter liegenden, umlaufenden Tragrahmen aus jeweils paarweise miteinander verklebten, 40 mm starken CPC-Platten kraftschlüssig zu einem Tragwerk verbunden. Die Höhe des Rahmens im Auflagerbereich ergab sich mit 320 mm direkt aus den Höhenlagen der bestehenden Auflager und der Zufahrten. Die Querstege weisen Ausnehmungen für die Durchführung der Rohrleitungen auf. Die Oberseite der Längsstege wurde mit einem Radius von 218 m geschnitten, sodass sich in Feldmitte, wo das größte Biegemoment auftritt, eine Höhe von 354 mm ergibt. Über das entstehende Gefälle wird die Entwässerung der Brückenplatte sichergestellt. Am unteren Rand der Längsstege wurde in jeweils eine der beiden Platten eine Tasche gefräst, in die über die gesamte Länge eine 10 cm hohe Carbonlamelle als zusätzliche Bewehrung eingeklebt wurde. Die Deckplatte folgte beim Ablegen auf den Tragrahmen allein infolge ihres Eigengewichtes der durch die Überhöhung entstandenen Krümmung. Die Oberfläche der Brücke wird direkt befahren, wobei die oberste Betonschicht als Verschleißschicht dient. Korrosionsgefahr ist nicht gegeben. Der Beton ist beständig gegen Frosttausalz, die Bewehrung aus Carbon kann nicht korrodieren. Dank der Vorspannung ist die Deckplatte rissfrei und dadurch relativ wasserdicht.

Maße/dimensions	konventionelle Ortbetonbrücke/ conventional in situ conc. bridge		Carbonbetonbrücke/ carbon concrete bridge
	Variante I t = 350 mm	Variante II t = 280 mm	CPC t = 76 mm
Beton/concrete	14 700 kg	11 800 kg	3 200 kg
Bewehrung/reinforcement	385 kg	525 kg	14,5 kg
total/total	15 085 kg	12 325 kg	3 214,5 kg
<b>Umweltbelastungspunkte UBP/eco-indicator points EIP</b>			
Beton/concrete	1 896 300	1 522 200	412 800
Bewehrung/reinforcement	935 550	1 275 750	189 950
total/total	2 831 850	2 797 950	602 750
Prozentanteil/percentage	100%	99%	21%
Baukosten ohne Planung (CHF)/ construction costs excl. design (CHF)	77 000	77 000	39 500

which led to serious corrosion damage. The steel beams were retained in the new bridge only to act as supports for the existing pipe-work under the deck.

The new bridge deck consists of a single large-format, 40 mm thick CPC panel with a continuous milled-out drip rebate on the underside near its edge. Smaller, 40 mm thick panels glued to one another back-to-back in pairs form a continuous supporting edge beam frame, which is glued to the underside of the large panel to form a combined structural unit. The depth of the frame in the abutment area is 320 mm, which is derived directly from the level of the top of the existing bearing and the carriageway surface on the approach to the bridge. The transverse beams of the new deck had cut outs made in them to accommodate the existing pipes. The top surface of the longitudinal beams were cut to a radius of 218 m to create an effective structural depth at mid-span of 354 mm, where the greatest bending moment occurs. The falls thus created ensured water would drain off the bridge deck surface. A pocket was created along the whole length of the underside of the longitudinal frame beams by milling out the surface of one of the smaller panels to accept a 10 cm wide carbon strip,

- H Ökobilanz der ausgeführten Brücke aus CPC im Vergleich zu Varianten aus Stahlbeton
- I fertig montierte Brücke
- H life cycle analysis of the CPC bridge compared with reinforced concrete alternatives
- I completed bridge in place



## Ökobilanz und Wirtschaftlichkeit

Die Ökobilanz dieser Brücke setzt neue Maßstäbe. Die CPC-Platten benötigen durch die Vorspannung nur einen sehr geringen Carbonanteil. Dieser liegt deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte für eine organische Verschmutzung des Betons. Somit können CPC-Bauteile am Ende ihrer Lebensdauer - ohne die Bewehrung vom Beton trennen zu müssen - direkt der Produktion von Recyclingbeton zugeführt oder deponiert werden.

Mit circa 190 kg/m<sup>2</sup> bezogen auf die nutzbare Fläche ist die Konstruktion extrem leicht: das entspricht etwa dem Gewicht einer leichten Stahlbrücke. Eine vergleichbare konventionelle Betonbrücke wäre mit circa 800 kg/m<sup>2</sup> etwa viermal schwerer. Aus diesem Grund verbessert sich die Ökobilanz im Vergleich mit einer konventionellen Betonbrücke etwa um den Faktor fünf.

Auch aus wirtschaftlicher Sicht ist die Brücke interessant. Eine Variante der Ertüchtigung mit zwei zusätzlich eingepassten Stahlträgern hätte gemäß Kostenschätzung 22 000 Schweizer Franken gekostet, die Variante mit vor Ort erstellten zusätzlichen Betonträgern 27 000 Franken (jeweils ± 20% Abweichung zuzüglich Planung und Honoraren). Alternativ wurde ein Ersatzneubau mit einem Bohlenbelag aus Beton wie bei der Bestandsbrücke vorgeschlagen, der gemäß Kostenschätzung 77 000 Franken (± 20% Abweichung zuzüglich Planung und Honoraren) gekostet hätte. Die ausgeführte Variante mit CPC-Carbonbetonplatten wurde für 39 500 Franken erstellt und entspricht qualitativ einer Neubaulösung. Der Prototyp der CPC-Brücke hat sich bisher bewährt: inzwischen wurden zwei weitere, ähnliche Brücken errichtet, weitere sind in Planung.

## Einsatz im Hochbau als verlorene Schalung

Ein interessantes Anwendungsgebiet im Hochbau wäre der Einsatz einer Verbunddecke als Geschossdecke. Dabei dienen die CPC-Platten als verlorene Schalung und beinhalten gleichzeitig die untere Bewehrung. Solche Verbunddecken sind wesentlich steifer als Stahlbetondecken. Anstelle von 100 kg Stahlbewehrung benötigen wir nur noch 2,5 kg Carbon, um die geforderten Werte für die Durchbiegung zu erreichen. Im Rahmen einer Masterarbeit konnte bei Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten (Biege- und Querkraftversuche mit unterschiedlicher Rauigkeit zwischen CPC-Schalung und Aufbeton) nachgewiesen werden, dass sich solche Verbunddecken unter Einhaltung aller geltender Normen einsetzen lassen und einer Bemessung gemäß Eurocode 2 nichts im Wege steht. Als Wandelement, das vor Ort ausbetoniert wird, ersetzen CPC-Platten beidseitig die Bewehrung und die Schalung. Noch sind die Kosten für diese Anwendungen zu hoch, bei ausreichender Stückzahl wird die Bauweise jedoch zunehmend wirtschaftlich.

which was glued into place as additional reinforcement.

The top layer of concrete of the deck panel forms the running surface and is designed to be the wearing course. There is no corrosion risk. The concrete resists freeze-thaw action and the carbon reinforcement cannot corrode. The prestressing ensures the deck is crack free and therefore relatively watertight.

## Life cycle analysis and economic efficiency

The life cycle analysis of this bridge sets new standards. The CPC panels, being prestressed, require only small quantities of carbon. The weight of carbon is well under the limits for organic contamination of the concrete. This allows old CPC components to be directly processed into recycled concrete or sent to landfill, without having to separate the reinforcement from the concrete.

At 190 kg/m<sup>2</sup> of usable deck surface, the construction is four times lighter than a comparable RC deck; the equivalent of a light steel bridge. In terms of life cycle analysis, the CPC bridge is five times better than its conventional concrete rival.

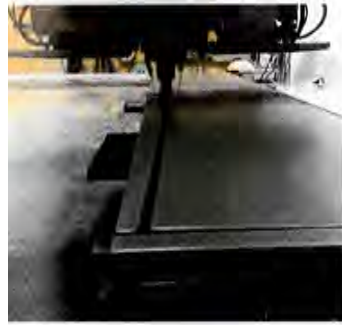
An alternative solution for the deck replacement in which two additional steel beams were inserted would have cost an estimated CHF 22,000; one with additional in situ concrete beams CHF 27,000. Another alternative was a replacement new bridge in concrete to a similar design as the existing. The estimated cost for this was CHF 77,000. The constructed design with CPC panels was completed for CHF 39,500 and in terms of quality is as good as a new build.

## Use in building structures as lost formwork

An interesting application in building structures would be the use of a composite slab as a floor slab. In this, the CPC panels would act as lost formwork and would contain the bottom layer of reinforcement. These composite floors are considerably stiffer than reinforced concrete floors. Instead of 100 kg of steel reinforcement, we would need only 2.5 kg carbon to keep deflection below the specified limiting value. A master's degree study of fatigue behaviour, bending and shear stresses with various surface roughnesses between the CPC formwork and the applied in situ concrete showed that this type of composite deck complied with all the applicable standards and could be designed in accordance with Eurocode 2. CPC panels placed on both sides of in situ concrete wall elements replace both reinforcement and formwork. However, the costs for these applications are still too high but, if enough of them were constructed as part of a project, the solution would become increasingly economic.



CPC-AG



CPC-AG

- J Ausblick: Anwendung als Geschossdecke im Hochbau, CPC-Platte als Halbfertigteil.
- K CPC-Platte als Balkonplatte, Im Werk lassen sich feinste Aussparungen einfräsen.
- J future application: use as structural floor in building structures, CPC panel as semi-finished component.
- K CPC panel used as a balcony slab, milling out of narrow recesses

## Forschungsprojekt CPC/ research project CPC:

**Start-up / Start up:**  
CPC AG Andelfingen, CH

**Entwicklungspartner /  
Development partners:**  
Silidur AG, Andelfingen, CH  
Philipp Steiner  
Zürcher Hochschule für  
Angewandte Wissenschaften,  
Winterthur, CH  
Departement A  
Fachgruppe für Verbund-  
kunststoffe  
Josef Kurath  
Antje Sydow

**Unterstützung / Sponsoring:**  
Innosuisse - Schweizerische  
Agentur für Innovations-  
förderung