

## Hybrid, leicht, robust und nachhaltig

Hybride Konstruktionen haben Konjunktur. Dass solche auch mit «neuen» Baustoffen nachhaltiges Potenzial haben, zeigen die Entwicklungen mit Faserverbundwerkstoffen an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW in Winterthur.

Text: Ulrich Stüssi

**W**ährend die Beton- und Zementindustrie ihre Produkte mit neuen Rezepturen auf Nachhaltigkeit trimmt und ihre Umweltauswirkung mit Zertifikaten kompensiert, tüftelt die Forschung an alternativen Baumaterialien, die natürliche Rohstoffe schonen. Solche Alternativen sind für eine klimafreundlichere Bauindustrie auch dringend nötig: Sie wirken nicht nur der global zunehmenden Ressourcenknappheit und Nutzungskonflikten entgegen, sondern vermögen im Vergleich zu konventionellen Bauten aus Stahlbeton zudem das Treibhauspotenzial zu senken.

### Gestresste Fasern und vakuumierte Halbträger

Seit knapp 25 Jahren befasst sich die Fachgruppe Faserverbundkonstruktionen der ZHAW in Winterthur mit der Forschung und dem Engineering von Komposit-, Carbon- und Naturfaserbaustoffen. Einen Forschungsschwerpunkt bildet die Entwicklung und Anwendung von Carbon Prestressed Concrete (CPC), einem Carbonbeton. Entsprechende Platten werden industriell in Dicken von 24, 40 oder 60 mm gefertigt und sind mehrlagig mit fein verteilten, vorgespannten Carbonfasern bewehrt. Bezogen auf eine in Sachen Tragfähigkeit ebenbürtige Stahlbetonplatte kommt eine CPC-Betonplatte mit deutlich weniger Kies, Sand, Zement und gänzlich ohne Stahl aus. Die Platten werden grossformatig mit Abmessungen von 10 m x 2.4 m produziert und können mit handelsüblichen Geräten auf eine beliebige Form und Abmessung nachbearbeitet werden.



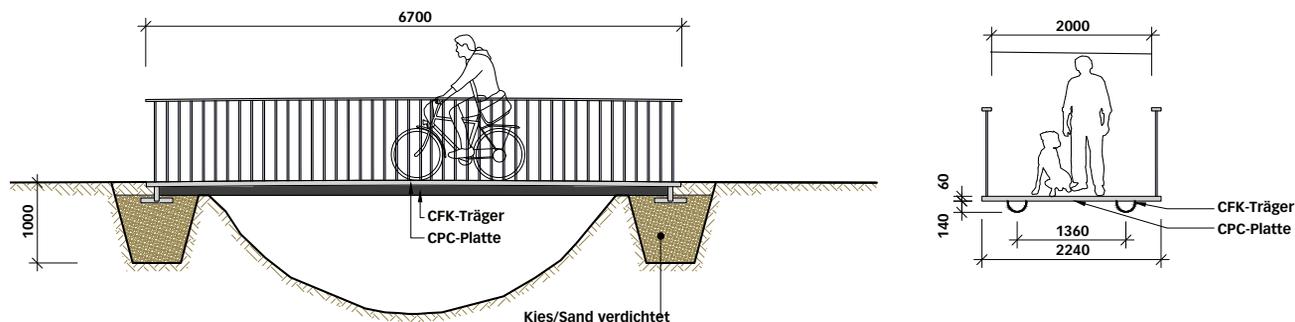
**Die Hybridbrücke für den Langsamverkehr in Turbenthal ZH** ist eine von drei bereits fertiggestellten Kleinbrücken.

Bislang realisierte die Fachgruppe drei Kleinbrücken an unterschiedlichen Standorten in der Schweiz (vgl. «Dünne Brücke über die Eulach», TEC21 10–11/2018). Eine davon entwarf sie als Hybridbrücke für den Langsamverkehr in Turbenthal ZH: Die 6.7 m x 2.24 m grosse und in acht Lagen faserbewehrte Brückenplatte aus CPC liegt kraftschlüssig verbunden auf zwei Carbonhalbrohren. Sie ist für zwei Lastmodelle des nicht motorisierten Verkehrs dimensioniert (eine verteilte Last von 4 kN/m<sup>2</sup> und eine Einzellast von 10 kN) und wiegt bei einer Dicke von 60 mm selbst nur 170 kg/m<sup>2</sup> – die Carbonhalbträger schlagen hierbei mit je 23 kg kaum zu Buche. Letztere bestehen aus einem carbonfaserverstärkten Kunststoff, der in einem Vakuum zwischen einer Form und einer Folie geformt, ausgehärtet und anschliessend zwecks Temperaturwiderstandsfähigkeit bei 140 °C gebacken wird.

### Gesteckt und vergossen

Das verwendete System ist massgeschneidert, aber verblüffend simpel: Die CPC-Platte ist über eine Verzahnung mit den Carbonhalbträgern verbunden. Grundlage dafür bilden kreuzförmig gefräste Aussparungen, die nach dem Einsetzen der Träger mit einem einkomponentigen, zementgebundenen, expandierenden und schwindkompensierten Vergussmörtel verfüllt werden. Damit ist der Überbau gebrauchsfertig: Die Oberfläche der CPC-Platte ist gebürstet und direkt als Geh- bzw. Fahrbelag nutzbar – eine zusätzliche Verschleisschicht entfällt.

Auch die Unterbauten sind denkbar einfach konstruiert. Die beiden Widerlager bestehen aus einem Sand-Kies-Koffer sowie Auflagerplatten und Querstegen aus CPC. Die Lasteinwirkungen der Brücke werden über den Überbau auf die stehenden Querstege abgeleitet



**Längs- und Querschnitt der Langsamverkehrsbrücke in Turbenthal.** Die filigrane Brückenkonstruktion ist für eine verteilte Last von  $4 \text{ kN/m}^2$  und eine Einzellast von  $10 \text{ kN}$  dimensioniert.

und durch die Auflagerplatten in den Untergrund abgetragen. Die drei Bauteile – Überbau, Querstege und Auflagerplatte – sind über Aussparungen und Nuten, die nachträglich mit dem genannten Mörtel vergossen werden, miteinander verbunden.

Ausrüstung und Entwässerung sind schlicht, aber effektiv gelöst. Das Chromstahl-Staketengeländer ist über ein Gewinde direkt mit der Brückenplatte verschraubt und so dimensioniert, dass es Horizontaleinwirkungen problemlos aufnimmt und bei Brückenüberlast vor einer Beschädigung der Brückenplatte zuerst die Fliessspannung erreicht. Auch der Handlauf des Geländers besteht aus CPC-Plattenstreifen. Eine Überhöhung der Brückebewerkstelligt die Entwässerung, die Wassernasen sind direkt ins Brückendeck eingefräst.

## Erwartungen übertroffen

Bevor es aber an die Fertigung der Brücke ging, wurde die Hybridbauweise verschiedenen Laborversuchen unterzogen. In einem ersten galt es, die der Fachgruppe bereits bekannten Probleme beim Fliessverhalten des Vergussmörtels (nicht vollständige Auffüllung der Fräsungen mit dem Fliessmörtel) zu lösen. Dies gelang, indem das Vornässen der Fräsung optimiert wurde. Weitere Verbindungsprüfungen betrafen den Versagensmechanismus der Verzahnung zwischen der CPC-Platte und den Carbonhalbträgern (Scherversuch) sowie den Geländeranschluss. Ersterer zeigte, dass die Versagenslast aus den Versuchen

wesentlich über der rechnerisch erwarteten Kraft liegt. Der Test am Geländeranschluss half letztlich, die optimale Befestigungsart (Geländerstakete mit Innengewinde) und Schraublänge zu finden.

Neben den aktuellen Untersuchungen kamen bereits in einer früheren Testreihe auch Grossversuche auf den Prüfstand. Dabei wurde ein repräsentativer Ersatzträger mit  $0.86 \text{ m}$  Breite und  $40 \text{ mm}$  Dicke und nur einem Carbonhalbträger geprüft. Bei zwei verschiedenen Anordnungen (Belastung mit der Kombination von maximaler Querkraft und Moment gemäss Lastmodell sowie Schubversuche) hielt die Fachgruppe fest, dass die Traglast des Trägers gegenüber dem jeweiligen Lastmodell bei einem Faktor  $>2$  liegt. Eine zusätzliche Reihe zur Gebrauchstauglichkeit zeigte schliesslich die Notwendigkeit für eine Verstärkung der CPC-Platte auf eine Dicke von  $60 \text{ mm}$ .

Doch nicht nur aus konstruktiver Sicht zeigt die Hybridbauweise Vorteile. So konnte die Brücke in Turbenthal mit nur wenig Terrainarbeiten (Aushub für die Kiespackung) praktisch direkt ins Erdreich eingebaut werden. Zusammen mit der umfangreichen Vorfertigung reduziert sich die Bauzeit vor Ort deutlich; das Versetzen ist zudem weitgehend wetterunabhängig. In einer selbst durchgeführten  $\text{CO}_2$ -Bilanzierung verglich die Winterthurer Fachgruppe auf Grundlage der einschlägigen Literatur auch die Turbenthaler Hybridbrücke mit einer äquivalenten Brücke in konventioneller Stahlbetonbauweise. Daraus

ergeben sich rund  $55\%$  geringere  $\text{CO}_2$ -Emissionen für die Hybridbrücke. Dafür verantwortlich ist insbesondere der Verzicht auf Stahl und der wesentlich geringere Masseneinsatz von Beton. Auch in der Massenbilanz der Baustoffe aus nicht nachwachsenden Rohstoffen ist die Hybridbrücke einer konventionellen Brücke überlegen: Neben dem Wegfall von Stahl benötigt sie bedeutend weniger Kies, Sand und Zement.

## Brücke in die Zukunft

Dem Carbonbeton sind laut Prof. Josef Kurath, dem Leiter Winterthurer Fachgruppe, als Baustoff kaum Grenzen gesetzt. So sieht er schon in wenigen Jahren mögliche Anwendungen im Hochbau oder bei Strassenbrücken. Zunächst ist allerdings eine Produktionsstätte geplant, in der sich Platten in einem grösseren Format von  $60 \times 7 \text{ m}$  herstellen lassen. Das neue Werk soll dieses Jahr den Betrieb aufnehmen.

Derweil werden wohl noch weitere kleinere und grössere Bauwerke aus Carbonbeton entstehen. Heute bereits sichtbar ist eine Passerelle zwischen zwei Gebäuden der Forschungsstätte an der ZHAW oder die «Bridge to the future», eine freitragende Plattform aus CPC mit klinkerfreiem Zement nahe einem Holcim-Werk in Hüntwangen ZH. •

Ulrich Stüssi,  
Redaktor Bauingenieurwesen



Weitere Pläne und Bilder  
auf [espazium.ch](http://espazium.ch).  
Kurzlink: [bit.ly/zhaw-cpc](https://bit.ly/zhaw-cpc)