**Stützkorsett für historische Stahlbrücken**

**Ein Empa-Team rettet alte Eisenbrücken aus dem 19. Jahrhundert vor dem Verfall. Carbonfaser-Pflaster verstärken die mürbe werdenden Konstruktionen. Eine Eisenbahnbrücke in der Schweiz und eine Strassenbrücke in Australien wurden bereits erfolgreich verstärkt. Viele historische Brücken könnten folgen. Forschungspartner ist ein Spezialist für Stahl-Ermüdung an der EPFL.**

Bewahren statt wegwerfen – das gilt nicht nur für Jugendstil-Villen, für Vorkriegs-Sportwagen oder Hammond-Orgeln aus den 1950ern; bewahren statt verschrotten ist auch für alte Eisenbahn- oder Strassenbrücken eine gute Idee. Die Industriedenkmäler, oft erdacht und errechnet von Stahlbauingenieuren aus dem 19. Jahrhundert, rosten leise vor sich hin oder knirschen lautstark unter modernen Intercity-Zügen und schweren Sattelschleppern.

Die gute Nachricht: Man kann sie retten. Ein Stützkorsett aus CFK (Carbonfaser-verstärkter Kunststoff), reversibel und denkmalschutzkonform an der Brücke fixiert, stärkt die Widerstandskraft der alten Bauwerke, macht sie sicher und lässt sie ihr Alltagsleben länger und besser überstehen.

Masoud Motavalli und Elyas Ghafoori haben bereits zwei alte Brücken mit dieser «sanften» Methode gestützt: die Münchenstein-Eisenbahnbrücke bei Basel, Baujahr 1892, und die Diamond-Creek-Strassenbrücke in Australien, Baujahr 1896. Falls ihr System sich weltweit durchsetzt, gäbe es genug zu tun: In Europa sind rund 30 Prozent aller Brücken älter als 100 Jahre. Ganz ähnlich sieht es in den USA, Australien und Japan aus. Strassenbehörden und Eisenbahngesellschaften weltweit suchen nach Methoden, diese Bauwerke am Leben zu halten. Möglicherweise hat die Empa den Schlüssel dazu in der Hand. Forschungspartner der Empa ist Alain Nussbaumer, der an der EPFL über Ermüdung und Bruchmechanik von Stahlstrukturen forscht. Nussbaumer betreut auch die Dissertationen, die im Zuge dieser Forschungsprojekte an der Empa laufen.

CFK ist für Verstärkungen von Bauwerken oft Mittel der Wahl. Es ist korrosionsbeständig und zeigt keine Materialermüdung, ausserdem ist es leicht und belastet das Bauwerk nicht mit zusätzlichem Gewicht, wie es eine Stahlverstärkung tun würde. Die Empa hat unter ihrem früheren Direktor Urs Meier in den 1990er-Jahren grosse Erfahrungen mit CFK-Verstärkungen von Beton- und Holzkonstruktionen gesammelt.

Im Gegensatz zu Holz oder Beton, bei dem man die CFK-Verstärkung einfach aufkleben kann, ist die Befestigung an alten Stahlträgern jedoch deutlich komplizierter. Oft sind die Brückenträger rostig oder mit dicken Schichten Farbe überstrichen. Manchmal verhindern Nieten in den Stahlträgern ein flaches Aufkleben der CFK-Pflaster. Ghafoori umgeht diese Probleme, indem er CFK nicht direkt auf die Brücke klebt, sondern die Platten mit Verankerungen an der Brücke befestigt. Das spart das Blankschleifen grosser Flächen. Zusätzliches Plus: Die Brücke muss während der Montage des CFK-Streifen nicht für den Verkehr gesperrt werden. Auch das Einwickeln der Brücke mit Folie entfällt – das wird oftmals nötig, wenn alte Brücken über Flüsse führen und keine Schwermetallhaltigen Farbsplitter ins Gewässer gelangen dürfen.

Die Verankerungen, mit denen Ghafoori seine CFK-Pflaster anbringt, sind nicht ganz einfach nachzubauen. «Entscheidend ist, dass beim Festklemmen des CFK die Carbonfasern nicht zerbrechen», sagt Ghafoori. Seit mehr als zehn Jahren beschäftigt er sich an der Empa mit dieser Technik und nützt die schweren Hydraulikpressen in der Bauhalle für seine Experimente. Das Büro, in dem er seine Publikationen verfasst, befindet sich direkt darüber. «Der Anfang war nicht einfach», erinnert sich der Forscher. «Als ich 2009 im Zuge meiner Masterarbeit die ersten Verankerungen in einem Zugversuch testete, fielen sie über Nacht ab. Das hat mir nicht gerade Respekt bei meinen Kollegen verschafft. Ich erhielt sogar für einige Tage Besuchsverbot im Labor, meine Arbeit galt als zu gefährlich.»

Inzwischen ist das an der Empa entwickelte Verankerungssystem mit einem Patent geschützt und hat seine Bewährungsprobe längst bestanden: Seit 2015 ist die Münchenstein-Brücke mit den vorgespannten CFK-Pflastern verstärkt. Täglich rollen mehrere Dutzend Personen- und Güterzüge über die historische Stahlkonstruktion. Ein Langzeit-Überwachungssystem bestehend aus einem drahtlosen Sensornetzwerk misst Belastung und Bewegungen der Brückenteile und liefert die Daten in Echtzeit an die Empa.

Das Projekt, mit dem Ghafoori zugleich seine Dissertation bestritt, wurde rasch in der Fachwelt bekannt. So kam es, dass im Januar 2018 eine ganz ähnliche Brücke in Australien mit dem CFK-System verstärkt werden konnte: die 122-jährige Diamond-Creek-Brücke in der Nähe von Melbourne. «Wir haben seit Münchenstein einiges dazugelernt», betont Ghafoori. So konnten die Forscher die Form der Verankerungen verbessern und die ganze Konstruktion flacher machen. Das ist wichtig, weil unter vielen Brücken Lastwagen durchfahren. Würde die Verspannung zu weit nach unten ragen, könnten besonders hohe Anhänger mit der neuen Technik kollidieren. Zudem hat das Team die Temperaturschwankungen zwischen Sommer und Winter ins Kalkül mit gezogen: Die Messungen an der Münchenstein-Brücke hatten gezeigt, dass die CFK-Versteifung der Brücke an heissen Sommertagen wesentlich besser funktioniert als im Winter. Der Grund: In der Sommerhitze dehnt sich die Stahlbrücke aus, die Länge der CFK-Verstärkung bleibt jedoch fast gleich. So wird die Brücke im Sommer von ihrem Stützkorsett stärker zusammengerafft als im Winter.

Auch die Diamond-Creek-Brücke, verstärkt im Januar 2018, trägt Sensoren und wird für mindestens anderthalb Jahre online Belastungsdaten an die Empa liefern. Um zu sehen, ob die Versteifung Wirkung zeigt, hatten die Forscher vor und nach dem Befestigen der CFK-Streifen einen 42-Tonnen-Sattelschlepper über die Brücke rollen lassen. «Die ersten Daten zeigen, dass die Kräfte, die auf die Brücke wirken, um die Hälfte zurückgehen», sagt Ghafoori. «Das könnte, vorsichtig geschätzt, dazu führen, dass sich ihre Rest-Lebenszeit verdoppelt.»

Inzwischen bekommen Ghafoori und Motavalli immer öfter Besuch aus dem Ausland. Das französische Forschungsinstitut für Verkehr (IFSTTAR), das französische Zentrum für Mobilität (CEREMA) und eine chinesische Delegation haben sich angekündigt, eine US-Delegation war ebenfalls schon zu Besuch an der Empa. Die Methode ist ohne grossen Aufwand weltweit einsetzbar. «Für Australien haben wir die Klammern mit den CFK-Streifen bei uns an der Empa vormontiert, getestet und dann einfach per Paketpost zur Baustelle geschickt», sagt Ghafoori. «Wir mussten später nur hinfliegen und alles vor Ort montieren.»

Natürlich wollen die Forscher nicht auf dem aktuellen Wissensstand stehen bleiben. Nach dem Verstärken von geraden Stahlträgern sollen nun auch die X-förmigen Verbindungsstücke zwischen den Trägern verstärkt werden. Dort, an den Schweissnähten und Verbindungsfugen, blüht besonders gerne der Rost, und es zeigen sich Ermüdungsrisse, die die Brücke instabil machen können. Ein neu entwickeltes CFK-Streifen-System könnte das Problem bald lösen. Mit dieser Art Unterstützung könnten viele Stahlbrücken aus dem 19. Jahrhundert zukunftsfest gemacht werden – und so am Ende ihre jüngeren Geschwister aus Stahlbeton noch deutlich überleben.