

EMPA 

Beam #3

4

R3

R5

Formbewusste Legierungen

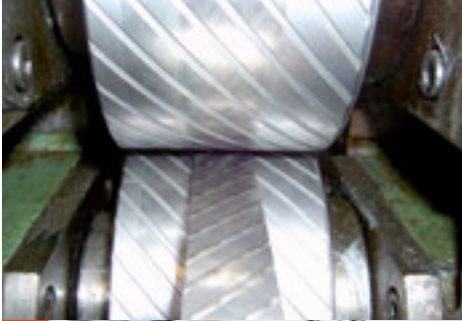
Eine verbogene Brille wieder in ihre Form zurückzubiegen, ist gar nicht so einfach. Wer allerdings ein Brillengestell aus einer Formgedächtnislegierung besitzt, ist das Problem los: Die Brille einfach in heisses Wasser legen, und schon findet sie zu alter Form zurück. Empa-Forscher zeigen, dass diese Materialien auch für Anwendungen im Bauwesen genutzt werden können.

TEXT: Martina Peter, Remy Nideröst / BILDER: Empa, TU Freiburg

Formgedächtnislegierungen (engl. shape memory alloy, SMA) nehmen selbst nach starker Verformung automatisch oder durch Wärmeeinwirkung wieder ihre ursprüngliche Gestalt an. Das macht sie zu einem interessanten Werkstoff, der heute ausser für Brillengestelle bereits für Thermostate, Stents und Mikroaktuatoren verwendet wird. Auch im Bauwesen sind Anwendungen denkbar, für die Verstärkung von Brücken etwa.

Wird ein Betonträger mit SMA-Stäben bewehrt, lassen sich diese durch Hitze «aktivieren»: Sie wollen sich in ihre ursprüngliche Form zusammenziehen. Da sie aber einbetoniert sind, geht das nicht, es entsteht eine Vorspannung. Der Effekt liesse sich somit nutzen, um zum Beispiel ganze Brückendecks vorzuspannen. Die SMA-Stäbe müssen lediglich mittels Durchleiten von Strom erhitzt werden, damit sie sich vorspannen. Eine aufwändige Spannvorrichtung und Hüllrohre entfallen.

Für den Bau wenig attraktiv sind Nickel-Titan-Legierungen, aus denen Brillengestelle oder Stents gefertigt werden. Interessant sind vielmehr Produkte auf Eisenbasis, da diese nicht nur



viel günstiger sind, sondern auch deutlich geringere Prozesskosten aufweisen. Bislang mussten sie zur Aktivierung des Formgedächtniseffekts allerdings auf bis zu 400 °C erhitzt werden. Das ist für den Einsatz in Beton und Mörtel oder anderen temperaturempfindlichen Materialien zu hoch. Empa-Forschern um Christian Leinenbach aus der Abteilung «Fügetechnologie und Korrosion» ist es nun gelungen, eine neuartige Eisen-Mangan-Silizium-Legierung zu entwickeln: Sie lässt sich bereits bei für Beton erträglichen Temperaturen um die 160 °C aktivieren. Dazu «designten» die Materialwissenschaftler mittels thermodynamischer Simulationen virtuelle Legierungen. Die aussichtsreichsten Kombinationen wurden daraufhin im Labor hergestellt und auf ihre Formgedächtniseigenschaften hin untersucht. Mit Erfolg: Gleich mehrere dieser neuen Materialien genügten den Anforderungen der Bauingenieurkollegen – ein Meilenstein auf dem Weg zum günstigen Formgedächtnisstahl für Anwendungen im Industrie- sprich Tonnenmassstab.

Der lange Weg vom Labor zum fertigen Produkt

Christoph Czaderski von der Empa-Abteilung «Ingenieur-Strukturen» sieht für eisenbasierte SMA im Bauwesen gute Chancen, weil das Vorspannen einfacher und deshalb günstiger ist als bei konventionellen Spannsystemen. Zudem sind sogar vorgespannte Systeme denkbar, die mit konventionellen Methoden nicht oder nur sehr schwierig machbar sind, wie Kurzfaserbeton, Stützenumwicklungen, Einschlitzlamellen oder gerippte Bewehrungsstähle. Eine von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) finanzierte Machbarkeitsstudie zeigte vor Kurzem, dass die neuen Legierungen nicht nur im Labormassstab von wenigen Kilogramm, sondern sogar im Industriemassstab hergestellt werden können. Der Herstellungsprozess wurde mit der österreichischen Universität Leoben, der deutschen TU Bergakademie Freiberg und der deutschen Firma G. Rau GmbH entwickelt.

Die Umformung von rund 100 kg schweren Gussblöcken zu etwa zwei Millimeter dünnen Lamellen oder zu gerippten Bewehrungsstäben bei Temperaturen von mehr als 1000 °C benötigt ein enormes Fachwissen – und die entsprechende Ausrüstung. Auch mussten die Umformungsprozesse auf die neuartigen Legierungen angepasst werden. Die so hergestellten Lamellen bewährten sich in den nachfolgenden Tests, bei denen sie in Schlitz in der Betonoberfläche von Stahlbetonträgern einbetoniert wurden. Aufbauend auf den Empa-Entwicklungen, wurde 2012 das Start-up-Unternehmen re-Fer AG gegründet, das künftig eisenbasierte SMA für das Bauwesen produzieren und vertreiben wird. Die Kosten sollen dabei in der Grössenordnung von rostfreiem Edelstahl liegen. //

So entsteht Formgedächtnis-Stahl (von oben nach unten): Der Gussblock wird im Spezialofen der TU Freiberg aufgeheizt, dann wird der Stahl heiss gewalzt. Im kalten Zustand prägt eine Maschine Rippen in den Stahl. Empa-Techniker mörteln zwei Lamellen aus Formgedächtnis-Stahl in einen Stahlbetonträger ein. Wärmebild: der elektrisch aufgeheizte Stahl erreicht im Betonbalken 160 Grad Celsius und zieht sich zusammen. Belastungsprobe des fertig verspannten Betonträgers nach dem Abkühlen: Experiment geglückt.



Video

Formgedächtnislegierungen /
shape memory alloys.

http://youtu.be/eWgOa0Y4R_I

Brücken- heilkunde



In unserem nördlichen Nachbarland wird zurzeit hitzig über die dringend notwendige Sanierung maroder Verkehrswege – vor allem Brücken – diskutiert. Vielerorts dürfen Strassenbrücken nur noch einspurig befahren werden, um sie nicht über Gebühr zu belasten. Masoud Motavalli entwickelt an der Empa Lösungen, mit denen alte Brücken wieder fit gemacht werden können.

INTERVIEW: Martina Peter / BILD: Empa

Herr Motavalli, sind die Brücken in der Schweiz auch so marod wie in Deutschland?

Zum Glück nicht. Wir verfügen über ein engmaschiges Überwachungssystem. Wo repariert werden muss, wird repariert. Das Problem der maroden Brücken gibt es allerdings nicht nur in Deutschland. In den USA geht man davon aus, dass jede vierte der etwa 600 000 Brücken Mängel aufweist und dringend repariert werden müsste. 50, 60 Jahre nach Bau der Tragwerke stellt man fest, dass der Beton beschädigt und das Metall korrodiert ist.

Wurde damals schlechtes Material verwendet?

Nein, das kann man nicht behaupten. Material ermüdet. Zudem wurde das Material viel stärker belastet als ursprünglich angenommen. Denken Sie nur daran, wie massiv der Verkehr in den letzten 50 Jahren zugenommen hat.

Wie kann eine alte Brücke wieder fit gemacht werden?

Wir forschen an unterschiedlichen Reparaturmethoden. Seit Jahren entwickeln wir daraus praktikable Lösungen. Vor gut 20 Jahren hat Urs Meier mit seinem Empa-Team in einer Weltpremiere kohlenfaserverstärkte Lamellen (CFK für carbonfaserverstärkter Kunststoff) an eine havarierte Stahlbeton-Brücke geklebt. Dadurch wurde die Ibachbrücke bei Luzern vor dem Einsturz gerettet. Heute verstärken wir sogar Stahlbrücken mit vorgespannten CFK-Lamellen. Aber anstatt sie anzukleben, klemmen wir die Lamellen an Stahlprofile. So können wir sie auch an Stellen be-

festigen, wo Kleben schwierig ist, etwa da, wo Bolzen hervorste-
hen. Ausserdem können CFK-Lamellen sehr einfach, diskret und ohne die Struktur zu beschädigen wieder entfernt oder ersetzt werden, falls dies erforderlich ist. Genau so haben wir übrigens kürzlich in einem Projekt mit den SBB eine von Gustave Eiffel konstruierte Eisenbahnbrücke nachträglich verstärkt. (Anm. der Redaktion: 1891 ereignete sich im basellandschaftlichen Münchenstein ein schweres Eisenbahnglück: Eine von Gustave Eiffel konstruierte Eisenbahnbrücke stürzte ein. Mit einer ihrer allerersten Untersuchungen überhaupt brachte die Empa zutage, dass zur Berechnung eine ungeeignete Formel verwendet worden war.)

Gibt es noch andere Methoden?

Wir wollen vermehrt auch Metalllegierungen mit «Gedächtnis» benutzen, um Brücken zu reparieren. (siehe Artikel nebenan) Das funktioniert im kleineren Massstab schon sehr gut. Nächstens führen wir Versuche an knapp sieben Meter langen Betonbalken durch. Sie sollen mit Spritzbeton, der mit Formgedächtnislegierungen bewehrt ist, verstärkt werden. Uns interessiert, wie viel Energie nötig ist, damit die nachträglich angebrachte Verstärkung aus «Gedächtnismetall» die Brücke wieder tragfähig macht. Schliesslich wollen wir ja auch wissen, wie wir das in der Praxis am besten durchführen. Mit den geeigneten Massnahmen kann die Lebensdauer einer Brücke also noch einmal um gut 50 Jahre verlängert werden – egal, was vorher passiert ist. //