

Spannstahl mit Formgedächtnis

Prestressing Steel with Shape Memory

Das Schweizer Materialforschungsinstitut Empa und das Spin-off re-fer haben ein neues Bewehrungsmaterial entwickelt, das erweiterte Anwendungsmöglichkeiten für die Verstärkung bestehender Betonbauwerke verspricht. Eine Formgedächtnislegierung aus Eisen, der sogenannte memory-steel, erhöht sowohl die Bruch- als auch die Gebrauchslast von Stahlbetonbauteilen. Die im Werk vorgedehnten Stahllamellen und der Rippenstahl aus der Legierung haben den Vorteil, dass diese durch einmaliges Erhitzen in ihre alte Form zurückspringen und sich dadurch selbst vorspannen. Bislang musste Stahl in Betonbauwerken meist hydraulisch mit Hüllrohren für die Führung der Spannkabel, Anker zur Kraftübertragung und ölgefüllten Hydraulikpressen vorgespannt werden. Der dafür notwendige Raum steht im Bestand häufig nicht zur Verfügung.

In einem über 20 Jahre andauernden Entwicklungsprozess haben die Forschungspartner eine alternative Methode gefunden, die vor Ort weder Spannkabel noch Hydraulikpressen benötigt. Der Baustahl mit eisenbasierter Formgedächtnislegierung wurde vor etwa zwei Jahren unter der Bezeichnung „memory-steel“ in den Markt eingeführt. Inzwischen wurden damit über 30 Projekte realisiert, darunter Ein- und Mehrfamilienhäuser, ein Hochhaus und Tunnelgewölbe.

Verformter Stahl erinnert sich

Erste Anwendungen zur Bauwerksverstärkung durch Formgedächtnislegierungen (SMA = Shape Memory Alloys) wurden mit Nickel-Titan-Legierungen durchgeführt, einem Material aus dem medizinischen Bereich. Trotz sehr guter statischer Eigenschaften eignet sich das Material aufgrund seiner hohen Kosten nicht für den breiten Einsatz im Baubereich. Die neuentwickelte Formgedächtnislegierung auf Eisen-Basis (Fe-SMA) besitzt vergleichbare Eigenschaften, der Rohstoff ist jedoch wesentlich günstiger.



„Wird Stahl plastisch verformt, werden in Regelfall die Bindungen zwischen den Atomen zerstört und neue Bindungen gebildet. Das Kristallgitter und der Atomabstand bleiben dieselben. Diese plastischen Verformungen sind nicht reversibel. Wenn man dagegen Fe-SMA plastisch verformt, entstehen Teilversetzungen und eine neue Kristallstruktur. Die Phasenumwandlungen sind reversibel und lassen sich beliebig oft wiederholen“, erläutert Christoph Czaderski, einer der Entwickler im Team der Empa, das Wirkprinzip. Dazu werden die 1,5 mm dicken und 120 mm breiten Stahllamellen oder der Rippenstahl mit 12 mm Durchmesser vorab im Werk plastisch verformt. Durch das kurze Erhitzen vor Ort mittels Strom oder Infrarotstrahlern auf über 160 °C nimmt das Material wieder seine ursprüngliche und stabilere Gitterstruktur ein. Durch die vorherige Verankerung der Elemente im Bauwerk wird auf diese Weise eine Vorspannung erzeugt.

Neue Kraft für alte Gebäude

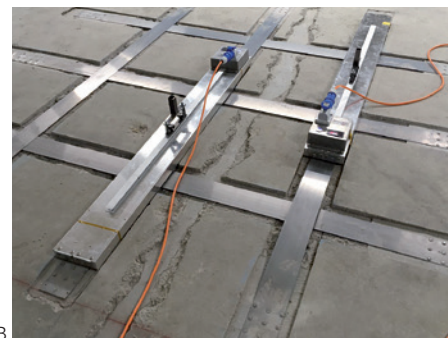
Großes Potenzial für die Formgedächtnislegierung sehen die Entwickler und Industriepartner bei der Biegezug- und Schubverstärkung von Stahlbetondecken bei Bestandsgebäuden. Sobald in die Betonstruktur eines Altbaus neue Fenster, Türen oder Aufzugsschächte eingebaut werden sollen, ist eine Verstärkung der Tragstruktur oft unumgänglich. Bei Industriegebäuden muss nicht selten die Traglast bestehender Zwischendecken erhöht werden. Die Fe-SMA-Bänder werden dazu mittels Dübeln an bereits vorgestanzten

Löchern unter der Decke in Position gebracht, um als externes Zugband zu wirken. Alternativ kann die Verstärkung auch als gerippter Bewehrungsstab in einen eingefrästen Schlitz in die Betondecke eingelegt und mit Reprofilermörtel verfüllt werden. Auch das Einbetten des Bewehrungsstabs in eine zusätzliche Spritzbetonschicht zur Biege- und Schubverstärkung ist möglich. Im Anschluss werden Bänder und Bewehrungsstäbe in einem kontrollierten Prozess erhitzt, um die Vorspannkraft zu aktivieren. Dank der mechanischen Kraftübertragung ohne Klebstoff erfüllt die neue Technologie alle Brandschutzanforderungen.

Potenziale für die Zukunft

Weitere Anwendungsmöglichkeiten für memory-steel sehen die Entwickler in der Verstärkung von Stahlbauteilen und der Überbrückung von Ermüdungsrissen beispielsweise bei Brückenbauwerken sowie der Herstellung von Betonfertigteilen mit gekrümmten Geometrien, bei denen das einbetonierte Profil die Spannung auf den Beton ohne Reibung überträgt.

Bettina Sigmund



Empa, the Swiss material research institute, and the spin-off re-fer have developed a new steel reinforcement material that could extend the options for strengthening existing reinforced concrete structures. A shape-memory steel alloy, often referred to as memory-steel, can be used to increase the ultimate strength and allowable serviceability loads on reinforced concrete components. The strips and ribbed reinforcing bars made from the alloy and prestained in the factory have the advantage that they “jump” back to their original shape the first time they are heated and can therefore prestension themselves. Up to now, steel in concrete components usually had to be prestressed hydraulically using ducts to align them in the case of cables, anchor plates to transfer the forces and oil-filled hydraulic jacks. Quite often older buildings did not have enough room for this type of solution. After over twenty years of development, the project’s research partners have come up with an alternative method of strengthening by prestressing that requires neither prestressing cable nor hydraulic jacks. Reinforcing steel made from an iron-based shape-memory alloy was brought onto the market about two years ago and given the name “memory-steel”. In the meantime, it has been used on over 30 completed projects, including detached houses and multiple occupancy dwellings, a high-rise building and tunnel arches.

Trained steel remembers

The first applications of shape memory alloys (SMA) for strengthening structures were completed using nickel-titanium alloys, a material generally used in medical science. Despite its good structural properties, the material was unsuitable for widespread use in the construction industry because of its high cost. The newly developed shape memory alloy based on iron (Fe-SMA) has comparable properties but the material is considerably cheaper. “When steel is plastically deformed, the original bonds between the atoms are normally destroyed and new ones formed. The crystal lattice and the interatomic distance remain the same. These plastic deformations are not reversible. On the other hand, plastically deforming Fe-SMA results in some dislocations and a new crystal structure. These phase changes

are reversible and can be ‘remembered’ as often as required,” explains Christoph Czaderski, one of the developers in the Empa team. For instance, 1.5 mm thick, 120 mm wide steel strips or 12 mm diameter ribbed steel reinforcing bars are plastically deformed in the factory. After a short period of heating on site using electricity or special infrared radiators to a temperature above 160 °C, the material reverts to its original and more stable lattice structure. If the reinforcing element is anchored in the building component before heating takes place, this reversion creates a prestressing force in the component.

New strength for old buildings

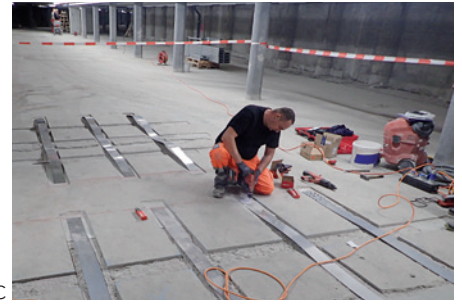
The developers and industrial partners foresee great potential for the shape-memory alloy in improving the bending and shear strength of reinforced concrete floors in existing buildings. As soon as new windows, doors or lift shafts have to be retrofitted into the concrete structure of an old building, it is often impractical to strengthen the load-bearing structure.

In the case of industrial buildings, it is not unusual for existing floor slabs to be upgraded to carry heavier loads. The Fe-SMA strips are attached to the underside of the slab by dowels fitted through pre-punched holes to act as an external tension strap. Alternatively, the strengthening can take the form of ribbed reinforcing bars inserted into milled slots in the underside of the concrete and the slots filled with reprofiling mortar. Another method is to embed reinforcing bars in an additional spray-applied concrete layer to improve the bending and shear strength of the component. The strips and reinforcing bars are then heated in a controlled process to activate the prestressing force. The new technology fulfils all fire-protection requirements because the force is transferred mechanically rather than through an adhesive.

Potential for the future

Other applications for memory-steel identified by the developers include strengthening steel components and bridging fatigue cracks, for example in bridges, and in the manufacture of precast concrete units with curved geometries, where the concreted-in shape-memory element transfers its prestress into the concrete without friction.

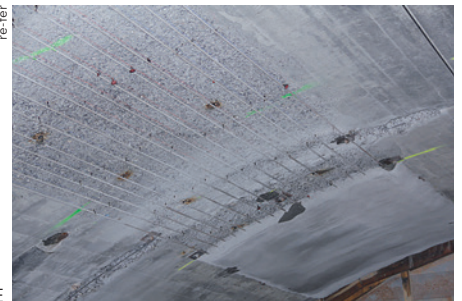
Bettina Sigmund



C



D



E

- A Memory-steel eignet sich als Biegebewehrung zur Schubverstärkung und Erdbebenertüchtigung von Bauteilen, für Umwicklungen und zum Überdrücken von Fugen.
- B Spezialinfrarotstrahler erhitzen die Legierung auf über 160 °C.
- C Um die fehlende Biegezug- und Durchstanzbewehrung auszugleichen, werden vorgespannte Lamellen aus memory-steel auf eine Bestandsdecke appliziert.
- D Spannstahl aus memory-steel
- E Tunnelgewölbeverstärkung mit Rippenstahl auf dem Schweizer Jungfraujoch

- A memory-steel is suitable as bending reinforcement, for shear strengthening, earthquake resistance and prestressing e.g. frictional joints.
- B infrared radiators heat the alloy > 160 °C.
- C memory-steel strips augment inadequate bending and punching-shear reinforcement.
- D memory-steel used as prestressing steel
- E tunnel arch roof strengthening with ribbed reinforcing bars on Jungfraujoch, Switzerland

Partner/Partners:

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa, Dübendorf, CH
re-fer AG, Seewen, CH

structure research
DETAIL
Building the Future

Besuchen Sie unsere Online-Plattform
Visit our online platform
→ detail.de/research

Partner von/Partners of structure research:
Messe BAU 2019
Forschungsiniziative Zukunft BAU

Hyperbolische Stabwerke

Leichte Konstruktionen

Vladimir G. Šuchov gilt als der Entwickler hyperbolischer Stabwerke. Dieser Tragwerkstyp, der in der Baugeschichte keinerlei Vorläufer hat, zeichnet sich durch hohe Stabilität und Materialökonomie, vor allem aber durch die große Bildkraft seiner gespinstartigen Strukturen aus. Diese Publikation analysiert erstmals die Wechselwirkungen zwischen der Form und dem Tragverhalten hyperbolischer Stabwerke. Die Auswertungen der historischen Berechnungen und die Rekonstruktion des Entwurfsprozesses und der Entwicklung der Gittertürme zeigt, warum der russische Ingenieur als Wegbereiter gilt.

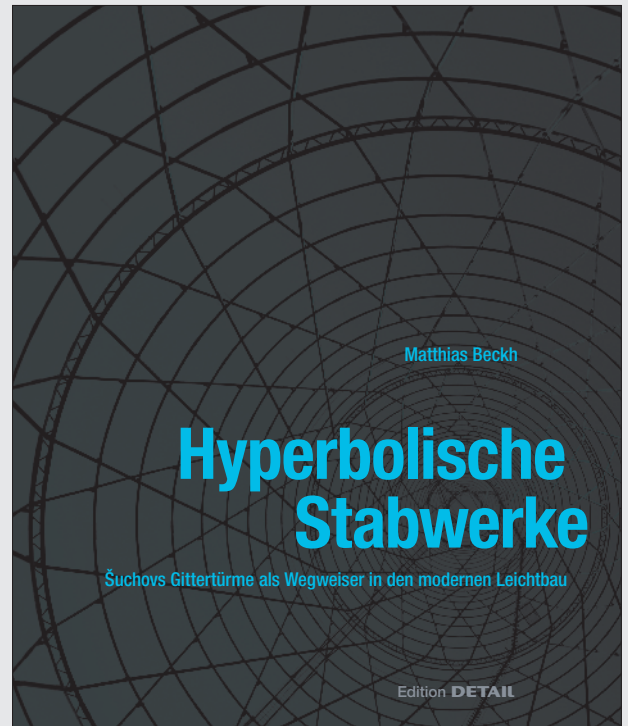
Lightweight structures

Vladimir G. Šuchov is considered to be the father of hyperbolic frameworks. This type of structure, which is totally unique in the history of architecture, is known for its superior stability and economic use of materials and, above all, for the striking and unmistakable form of its web-like structures.

This publication is the first to analyse the interplay between the form and structural behaviour of hyperbolic frameworks.

The effects of various factors are determined using parametric studies and load calculations.

Analyses of Šuchov's original calculations, the reconstruction of the design process and the development of water towers show why Šuchov is considered to be a pioneer.

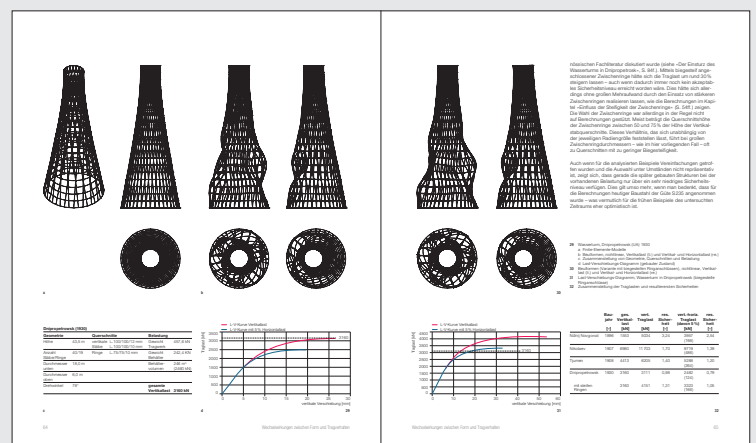


Hyperbolische Stabwerke

2012. Matthias Beckh.
152 Seiten. Format 22,5 x 26,8 cm. Deutschsprachige Ausgabe.
Softcover: EUR 39,- / CHF 61,-
ISBN 978-3-920034-69-0

Hyperbolic Structures

2012. Matthias Beckh.
152 pages. Format 22.5 x 26.8 cm. German-language edition.
Paperback: EUR 39,- / GBP 32,- / USD 55,-
ISBN 978-3-920034-69-0



Erhältlich unter Available at

detail.de/shop