

# Selbstheilender Beton

## Bakterien als Abdichter in der Rissanierung

**M**it dem weltweiten Bauboom und der Verknappung von Rohstoffen rücken seit einigen Jahren zunehmend Fragen der Nachhaltigkeit des Baustoffs Beton auf die Agenda. Dies betrifft die Herstellung ebenso wie die Instandhaltung. Die Baustoffforschung hat daher seit einigen Jahren Fahrt aufgenommen. Ein neuer Ansatz ist dabei die Entwicklung von selbstheilendem Beton auf der Basis natürlicher Mikroorganismen.

■ Von Jörg Wagener

Beton besteht aus Gesteinskörnungen wie Sand, Kies oder Splitt. In der Regel dient Zement als hydraulisches Bindemittel. Je nach Einsatzbereich werden verschiedene Zusatzstoffe hinzugefügt, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen. Meistverbreitet heute ist Stahlbeton, mit dem sowohl in der Tragwerksplanung als auch bei der Rissbildung Probleme unterbunden werden können. Zwei Herausforderungen bleiben jedoch bis heute: Rissbildung und Korrosion.

Beton ist bis heute kaum rissfrei herzustellen. So bekommt Beton bei einer Zugspannung von 0,01 % starke Risse und kann Lasten nicht mehr voll tragen [1]. Grund-

sätzlich sind Risse bis zu einem gewissen Grad jedoch kein Problem. Je nach Position der Risse, Funktion und Anforderung an den jeweiligen Beton genügt es, diese zu beobachten. Zudem können neue Betonmischungen z. B. Mikrorisse bis zu 0,15 mm unter gewissen Voraussetzungen aus sich selbst heraus durch nachquellende Zementpartikel abdichten [1].

Stahlbeton ist zwar stabil, aber korrosionsanfällig. Durch Karbonatisierung oder Chlorideinwirkung wird die Bewehrung angegriffen. Der Korrosionsdruck sprengt Teile des Betons ab und bewirkt Folgeschäden.

## Übliche Instandsetzungsmethoden

In der Praxis werden Schäden v. a. mit manuellen Verfahren abgedichtet. Je nach Situation muss gegebenenfalls zudem Material abgetragen oder aufgebracht werden. Neben dem Aufwand für die Instandsetzung kann dies Sperr- bzw. Ausfallzeiten verursachen.

Risse werden häufig mit **Injektionsharzen** behandelt. Schräg zum Rissverlauf werden dabei ventilartige Packer in Bohrungen gesetzt, durch die mit Druck (je nach Anforderung) Harze wie Epoxidharz (kraftschlüssig) oder Polyurethan (flexibel) injiziert werden [2]. Diese Harze stellen ein „Beton-fremdes“ Material im Beton dar. Bei großen Flächen mit hohem Rissanteil kann eine Injektionsanwendung zudem aufwendig sein.

Bei größeren Rissen werden auch Zementleimsuspensionen eingesetzt. Bei stark korrodierten Bauteilen wird der Beton bis auf die Bewehrungslage abgestemmt, der Stahl entrostet und mit **PCC-Mörtel** wieder verschlossen.

## Rissprävention bei Frischbeton

**WU-Beton** wird für wasserundurchlässige Stahlbetonkonstruktionen mit geplanten Dehnungs-, Arbeits- bzw. Sollrissfugen eingesetzt. Auf eine Außenabdichtung wird dabei verzichtet. Mögliche Ursachen für Rissbildung bei WU-Beton sind:

- Temperaturschwankungen oder Frost während der Hydratation
- Durchführungen wie Spannstellen oder Rohrdurchführungen
- Rissbildung zwischen Betonfertigteilen und Frischbeton, z. B. bei Dreischichtwänden
- Fehlstellen unterhalb der Bewehrung
- frühzeitige Austrocknung

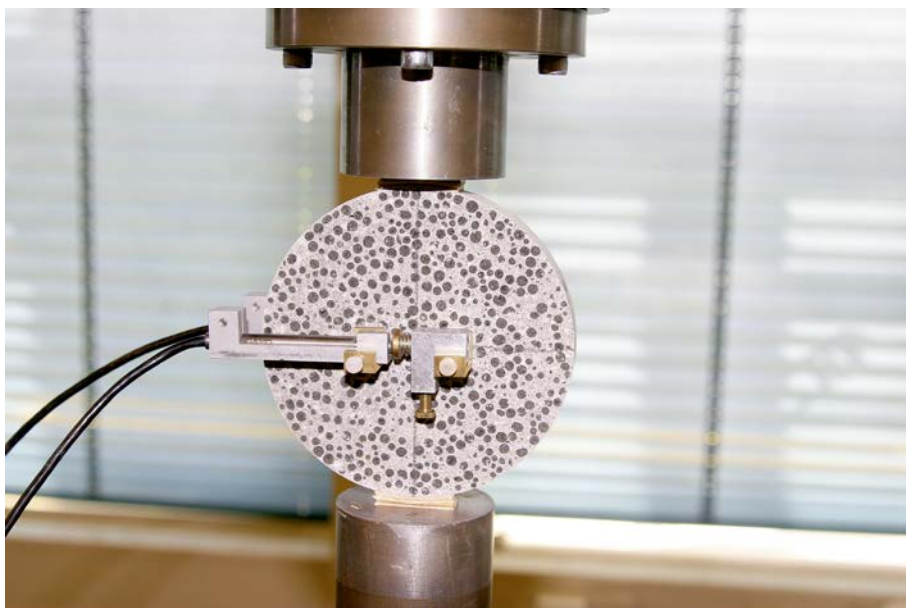


Bild: © Basilisk Concrete BV

(1) Labortests mit selbstheilendem Beton an der TU Delft

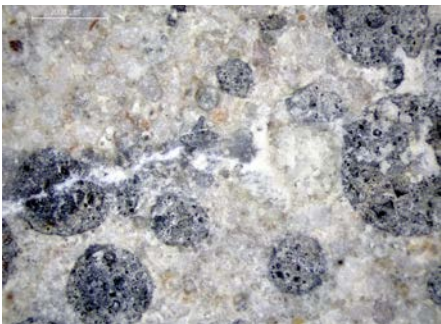
Als zusätzliche Abdichtung werden Frischbeton-Verbundfolien verwendet. Diese finden Anwendung bei WU-Bauwerken mit hochwertigen Untergeschossen der Nutzungsklasse A° bis A\*\*\* (z. B. Krankenhäuser, Museen, Laboratorien, Archive, öffentliche Gebäude und ausgebauten Kellerräume) [3]. Diese vor dem Betonieren in die Schalung eingebrachten Folien sollen die weiße Wanne schützen. Durchbohren der Folien für Schalungsanker, Rohrdurchführungen, Befestigungen (z. B. für Lichtschächte) oder Verletzungen beim Einbau der Bewehrung können jedoch zu Undichtheiten führen.

Bei **schwarzen Wann** erhalten die abzudichtenden Gebäudeteile auf allen Seiten eine flächige Dichtungshaut aus Folien oder Beschichtungen. Dabei können Verletzungen bei der Verarbeitung oder durch Fremdkörper im Erdreich, Hinterläufigkeit, unvorhergesehene Setzungen oder Materialermüdung zu Schäden führen. Voraussetzung ist zudem, dass der Beton bei der Anwendung entsprechender Produkte nur eine bestimmte Feuchte aufweisen darf, da die erforderliche Klebkraft des Folienklebers oder der Beschichtung sonst nicht erreicht wird oder das Produkt Blasen wirft.

### Selbstheilender Beton

Wissenschaftler befassen sich seit über zehn Jahren damit, Alternativen für die aufwendigen klassischen Verfahren der Sanierung zu entwickeln und die Lebensdauer von Beton zu erhöhen. Die Forscher suchten in der Natur nach vergleichbaren Stoffen und Prozessen in der Reproduktion von Gesteinsmaterial.

Für Schädigungen, die bei der Verarbeitung, durch mechanischen Abrieb oder physika-



(2) Die Vergrößerung zeigt einen Riss, der mit der mikrobiellen Wirkungsweise verschlossen wurde.

lische Umwelteinflüsse entstehen und bei denen es zu schwer nachvollziehbaren, gegebenenfalls auch langen Rissverläufen kommen kann, wurden Stoffe mit **mikrobieller Wirkungsweise** entwickelt. Dies gelang im Jahr 2015 einem Forscherteam um Prof. Dr. Hendrik Jonkers an der TU Delft. Sie entdeckten Mikroorganismen, die ihre Wirkung mit dem Eintritt von Wasser entfalten und lokal die „Wunde“ im „Gestein“ Beton wieder verschließen können.

### Mikrobielle Wirkungsweise

*„Wir haben Bakterien isoliert. Sie stammen von Orten auf unserem Planeten, die einen ähnlichen Zustand wie Beton haben. Ein Zustand ist felsenähnlich. Der andere Zustand ist sehr alkalisch. Diese Bakterien entwickeln sich gut unter diesen Bedingungen. Sie sind nicht krankheitserregend. Sie sind nicht gefährlich für Menschen oder Umwelt.“* So Prof. Dr. Hendrik Jonkers, Leiter der Delfter Forschungsgruppe [4].

Entsteht ein Riss, vermischen sich die Bakterien, die in dem Beton enthalten sind oder im Nachhinein zugefügt werden, mit dem eingedrungenen Wasser. Daraufhin entsteht im Rahmen ihres Stoffwechsels Kalziumkarbonat, das die Risse verschließt. Sie „vernarben“ sinnbildlich. Da die Bakterien ausschließlich in alkalischem Umfeld leben können, sterben sie ohne Rückstände ab, sobald dieses nicht mehr gegeben ist [4, 5].

Die Länge der Risse und der Tiefenverlauf erwiesen sich gemäß der Forschungsergebnisse als unerheblich, da sich die Bakterien durch natürliche Aktivität den Weg entlang der Leckagen ins Material hinein suchen. Sie sollen Breiten bis zu 0,8 mm abdichten [5]. Die bis zum Eintritt eines Schadensfalls „ruhenden“ Bakterien bilden einen prophylaktischen Schutz und entfalten ihre Aktivität bei Eintreten von Wasser. Gleichzeitig dienen Sauerstoffanteile im Rost und Wasser den Bakterien als Nahrung. Dadurch soll sich Korrosion nicht weiter fortsetzen können [5].

Dem Forscherteam der TU Delft gelang es, entsprechende Produkte zu entwickeln, mit denen sie im Jahr 2015 zu den Finalisten des Europäischen Erfinderpreises in der Kategorie Forschung gehörten.

### Anwendungsbeispiel

Das Prinzip „selbstheilender Beton“ soll sowohl bei der Herstellung von Frischbeton als auch bei der Instandsetzung von Betonflächen mit Rissbildung eingesetzt werden. Dabei wurden die Basilisk-Produkte bereits als Flüssigabdichtung sowie als Reparaturmörtel bei zwei Sanierungsprojekten eingesetzt [6].



(3) Flächensanierung mit einer Lösung, die auf Risse aufgesprüht werden kann

Im Fall eines Parkhauses in Apeldoorn lagen bereits Risse im Boden mit Wasserdurchsickerung vor, sodass die Gefahr von Bewehrungskorrosion bestand. Im Oktober 2014 und im März 2015 wurden an je einem Wochenende jeweils 6.000 m<sup>2</sup> Fahrbahndecke des Parkhauses mit Basilisk ER7 behandelt [7]. Dabei wurde der Wirkstoff im Niederdruckverfahren ohne Abtrag der bestehenden Fahrbahnbeschichtung aufgetragen [6].

Während der Wirkphase, in der die Mikrobakterien Kalkstein bildeten, wurde die Wasserdurchlässigkeit in regelmäßigen Abständen geprüft. Nach sechs Wochen wurde diese deutlich reduziert. Nach bis zu sechs Monaten waren auch während Regenperioden keine sichtbaren Feuchteschäden mehr erkennbar [6]. Die Bohrkernprüfung ergab nach der ersten Behandlungsphase eine Rissabdichtung bis 0,4 mm. Eine Wiederholung der Behandlung für Risse über 0,4 mm ist geplant. [8].

Die Begleitforschung zu diesem Projekt ergab, dass die Risse im Boden des Parkhauses wirksam behandelt werden konnten. Darüber hinaus hat sich diese biologische Abdichtung, so die Forscher, haltbarer als herkömmliche Methoden erwiesen [9].

### Anwendungsbereiche

Zurzeit gibt es verschiedene Produkte für unterschiedliche Anwendungsbereiche:

## Literatur

[1] Saße, D.: Selbstheilender Beton – In gelegentlich feuchter Umgebung reparieren sich Risse im neuen Material von allein, in: Wissenschaft aktuell vom 24.04.2009, [http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Selbstheilender\\_Beton1771015585952.html](http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Selbstheilender_Beton1771015585952.html)

[2] Langner, F.: Instandsetzung von WU-Konstruktionen. Vortrag 4. Betonfachtagung Nord vom 12.10.12 Hannover

[3] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (Hrsg.): Merkblatt Hochwertige Nutzung von Untergeschossen – Bauphysik und Raumklima. Berlin 2009

[4] López Gómez, J.: Selbstheilender Beton, in: euronews vom 30.03.2015, <http://de.euronews.com/2015/03/30/selbstheilender-beton>

[5] Stoller, D.: Zusatz von Bakteriosporen – Beton der Zukunft repariert sich ganz von selbst, in: INGENIEUR.de vom 26.05.2015, [www.ingenieur.de/Branchen/Bauwirtschaft/Beton-Zukunft-repariert-selbst](http://www.ingenieur.de/Branchen/Bauwirtschaft/Beton-Zukunft-repariert-selbst)

[6] [www.basiliskconcrete.com/portfolio-items/parkeergarage-apeldoorn/](http://www.basiliskconcrete.com/portfolio-items/parkeergarage-apeldoorn/)?lang=en, abgerufen am 30.01.2017

[7] Hofboer, N.: Self-Healing Concrete, in: LinkedIn v. 17.06.2015, [www.linkedin.com/pulse/self-healing-concrete-nick-nevada](http://www.linkedin.com/pulse/self-healing-concrete-nick-nevada)

[8] van Driel, J.; Jonkers, H.: Proefprojecten met twee systemen voor zelfherstellend beton. Zelfherstel bewezen in de praktijk, TU Delft 2016

[9] Wiktor, V.; Jonkers, H.: Practical applications of bacteria-based protective systems: self-healing concrete and repair systems, in: Virginie Wiktor u.a. International RILEM Conference on Microorganisms-Cementitious Materials Interactions, 147-155

- ein Reparaturgel für den Flächenauftrag,
- einen Mörtel zur Abdichtung von Schlaglöchern, großen Rissen oder Abplatzungen sowie
- ein Zusatzmittel, das bereits bei der Herstellung des Betons eingearbeitet werden kann.

Für die Flächensanierung wird „Basilisk HR7“ als Zwei-Phasen-Mittel einer Lösung beige-mengt, die zur reaktiven Verfüllung der Risse aufgesprüht werden kann. Die Bakterien dringen so in die Leckagen ein. Im Anschluss wird ein nährstoffhaltiges Versiegelungsgel aufgebracht (enzymatischer Katalysator). Überschüssiges Material kann nach 24 Stunden mit Wasser entfernt werden.

Für die Einzelschadenbehandlung wird „Basilisk Self Healing Agent“ als Granulat Reparaturmörteln und Betonmischungen zugesetzt. Es kann als Fertigmischung oder bei der Herstellung von Frischmörtel vor Ort zugesetzt werden, wobei die Verarbeitung entsprechend den Herstellervorgaben des Frischmörtels erfolgen kann. Demgemäß verändern sich weder die Abbindezeit des Betons noch der Wasser-/Zementwert. Basilisk Self Healing Agent ist laut Hersteller

- kompatibel mit allen standardisierten Betonmischungen (Beigabe ohne Veränderung der verarbeitungsrelevanten Konsistenz),
- ohne Effekte auf den Wasser-/Zementwert,
- einsetzbar bis zu 0,8 mm Rissbreite (gegebenenfalls in zwei Verarbeitungsphasen),
- nicht brennbar oder explosiv,
- schadstofffrei und biologisch abbaubar.

Gemeinsam mit den wissenschaftlichen Partnern der Universität Delft kann die Produktzusammensetzung für den jeweiligen Einsatz nach einer individuellen Bestandsaufnahme angepasst werden.

## Anwendungsgrenzen

Die Wachstumskapazitäten der eingesetzten Bakterien sind begrenzt. So ist eine Rissabdichtung bis 0,8 mm unter Umständen nicht in einem Schritt erreichbar. Es kann erforderlich sein, die behandelten Flächen nach sechs bis acht Wochen einem weiteren Behandlungsgang zu unterziehen,



(4) Das Granulat „Basilisk-Healing Agent“

damit die volle Wirksamkeit erreicht wird. Angesichts der Schlichtheit und Kürze des neuen Sprühverfahrens ist dies gegenüber herkömmlichen Verfahren abzuwägen.

Eine vergleichbare Wirksamkeit auf horizontalen Flächen ist aktuell noch nicht hinreichend mit wissenschaftlichen Daten belegt. Aussagekräftige Ergebnisse werden bis Ende 2017 erwartet.

## Fazit

Selbstheilender Beton hat den Sprung vom wissenschaftlichen Versuchsstadium in die Praxis geschafft. Die Sanierung von großen Flächen mit einem Sprühverfahren zeigte in der Praxis gegenüber klassischen Verfahren meines Erachtens erstaunliches Potenzial. Wachsende ökonomische und ökologische Anforderungen erfordern weitere intensive Auseinandersetzungen um das Thema selbstheilender Beton. ■

## Zur Person



**Jörg Wagener**

Jörg Wagener war bis 2015 Geschäftsführer der Wagener Bauartikel GmbH und gründete 2014 die Fa. WBA Abdichtungssysteme.