

Standardisierung eines Testverfahrens zur bauseitigen Qualitätsbeurteilung der

# Beschichtungsausführung von Epoxidharz-beschichteten Trinkwasser-Stahlbehältern

Basierend auf den Erfahrungen des Wasserverbandes Bersenbrück bei der Inbetriebnahme eines beschichteten Stahlbehälters, hat das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser ein anwenderfreundliches Testverfahren entwickelt, um **unentdeckte Fehlstellen in der Epoxidharz-Beschichtung** zu finden. Der Beitrag fasst die im Rahmen des DVGW-geförderten Forschungsvorhabens (Fördernummer W 201411, vormals W 08/01/13) gemachten Erkenntnisse zusammen **und erläutert die genaue Funktionsweise** des neuen Prüfverfahrens.

von: Dr.-Ing. Robertino Turković & Frank Feinauer (beide: TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser)

Epoxidharzbeschichtungen werden seit mehreren Jahrzehnten als Korrosionsschutz für Stahlbehälter im Trinkwasserbereich angewendet. Für die Abnahme fertiger Beschichtungen in Stahlbehältern sind im DVGW-Arbeitsblatt W 628 [1] neben der visuellen Kontrolle weitere Tests wie z. B. die Schichtdickenmessung oder die Porenprüfung mittels Funkenschlagmethode gefordert. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass mit der Funkenschlagmethode nicht alle Poren sicher detektiert werden können, sodass trotz vorschriftsmäßiger Beschichtungsüberprüfung nach der Instandsetzung oder

Neubeschichtung immer wieder Schäden an Behältern auftreten, die auf einen fehlerhaften Korrosionsschutz zurückzuführen sind. Meist beginnen diese Schäden als punktförmige, lokal eng begrenzte Korrosionserscheinungen. Diese entstehen, indem das korrosive Medium, in diesem Fall Wasser, im Behälterinneren durch Fehlstellen in der Epoxidharzschicht bis an den darunter liegenden Stahl dringt und dort die Korrosion initiiert. Mit fortschreitender Korrosion wird die Beschichtung unterwandert, bis sie sich schließlich lokal ablöst und die betreffenden Bereiche ungeschützt weiteren Korro-

sionsangriffen ausgesetzt sind. Um solche Schäden zu vermeiden, ist es unumgänglich, Defekte in der Beschichtung bereits in der Abnahmephase der Bauausführung sicher und umfassend zu erkennen, um vor der endgültigen Inbetriebnahme schadhafte Stellen ausbessern zu können.

Aufgrund der beschriebenen Problematik, dass mit den klassischen Prüfmethoden nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 628 nicht alle Fehlstellen sicher erkannt werden können, wurde seit längerem in der Fachwelt die Anwendung eines alternativen bzw. zu-

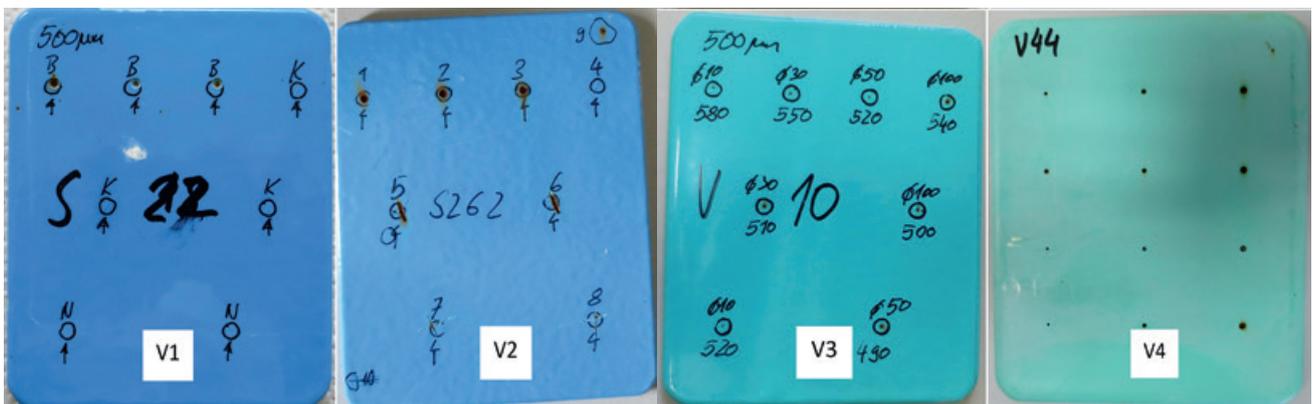


Abb. 1: Probeplatten mit Fehlstellen aus den Versuchsreihen 1 bis 4 mit Bohrungen, Kratzern, Nadelstichen (V1); Bohrungen, Fräsungen, Kratzern (V2); Mikrobohrungen, gelasert (V3); (Mikro-)Bohrungen, gebohrt (V4)

Quelle: TZW

**Tabelle 1: Wasseranalysen der Testwässer für die Laborversuche. Die Tabelle zeigt zusätzlich die elektrischen Leitfähigkeiten nach Zugabe von unterschiedlichen Mengen an Chlorid.**

| Wasser                          | Einheit | Wasser 1               | Wasser 2               | Wasser 3               | Wasser 4               |
|---------------------------------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                 |         | W1 / W1-Cl1/<br>W1-Cl2 | W2 / W2-Cl1/<br>W2-Cl2 | W3 / W3-Cl1/<br>W3-Cl2 | W4 / W4-Cl1/<br>W4-Cl2 |
| Elektr. Leitfähigkeit bei 25 °C | µS/cm   | 727/1.243/4.200        | 624/1.312/3.520        | 85/932                 | 136/964                |
| pH-Wert                         | -       | 7,29                   | 7,28                   | 6,75                   | 8,16                   |
| Säurekapazität bis pH = 4,3     | mmol/l  | 6,44                   | 5,42                   | 0,67                   | 1,15                   |
| Härte (Summe Ca- u. Mg-Ionen)   | mmol/l  | 3,84                   | 3,05                   | 0,37                   | 0,61                   |
| Härte                           | ° dH    | 21,5                   | 17,1                   | 2,1                    | 3,4                    |
| Calcium                         | mg/l    | 132                    | 108                    | 12,8                   | 22,3                   |
| Magnesium                       | mg/l    | 13,2                   | 8,6                    | 1,2                    | 1,2                    |
| Chlorid                         | mg/l    | 62,7/250/1.000         | 16,3/250/1.000         | 5/250                  | 5/250                  |
| Nitrat                          | mg/l    | 15,4                   | 1,8                    | 2,2                    | 2,3                    |
| Sulfat                          | mg/l    | 42,2                   | 53,2                   | 3,5                    | 3,5                    |
| TOC                             | mg/l    | 0,81                   | 1,5                    | 0,74                   | 0,73                   |

Quelle: TZW

sätzlichen Prüfverfahrens diskutiert. Dieses basiert auf den Erfahrungen des Wasserverbands Bersenbrück, bei dem im Anschluss an eine Behälter-sanierung eines Druckbehälters bereits nach einer Woche Betrieb an den Behälterinnenwänden Fehlstellen in Form von punktförmigen Roststellen auftraten; von diesen gingen jeweils mehrere Zentimeter lange Rostfahnen ab. Dieses Phänomen sollte in Form eines Forschungsvorhabens näher untersucht werden, um daraus eine standardisierte Prüfmethode zur Abnahme von Epoxidharz-beschichteten Stahlbehälter abzuleiten. Dabei galt es, insbesondere die Leistungsfähigkeit des Verfahrens unter Einbeziehung der Einsatzbedingungen sowie der Einsatzgrenzen zu untersuchen. Die erforderlichen Untersuchungen wurden im Rahmen eines DVGW-geförderten Forschungsvorhabens durch das TZW Karlsruhe durchgeführt. Hierzu wurden Labor- und Felduntersuchungen durchgeführt, um u. a. zu überprüfen, welche Art und Größe an Fehlstellen sicher mit der beschriebenen Methode detektiert werden können und welche Anforderungen an ein geeignetes Prüfmedium zu stellen sind – z. B., ob dem Trinkwasser eine definierte Menge an Salz zugegeben werden soll. Darüber hinaus sollten anhand der Untersuchungsergebnisse praxisgerech-

te Prüfbedingungen sowie eine optimierte Prüfdauer abgeleitet werden. Ein Vergleich der Leistungsfähigkeit der neuen Methode mit den bestehenden Methoden wie der Schichtdickenmessung und der Porenprüfung mittels Hochspannung rundete das Untersuchungsprogramm ab.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollten in ein Beiblatt zum bestehenden DVGW-Arbeitsblatt W 628, in Form einer Verfahrensanweisung zur Anwendung des „Bersenbrücker Wassertests“ einfließen. Dies wurde zwischenzeitlich bereits umgesetzt [2].

### Durchführung der Laborversuche

Die Laborversuche wurden zeitlich nacheinander in insgesamt vier Versuchsreihen durchgeführt, im Fokus stand dabei die Rostfahnenbildung der Poren. Maßgeblich wurde untersucht, wann sich die ersten Rostfahnen ausbilden und wie sich deren Ausprägung im Versuchsverlauf entwickelt. Als Testwässer wurden vier unterschiedliche Trinkwässer verwendet – eine Maßnahme, um zu eruieren, welchen Einfluss die Wasserzusammensetzung auf die Rostfahnenbildung im Zeitverlauf hat. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob höhere Chloridkonzentrationen die Rostfahnenbildung beschleunigen. Zu diesem Zweck wurden zusätzliche

Versuche mit Zugabe von Kochsalz (NaCl) zu den Testwässern bei Konzentrationen von 250 mg/l und 1.000 mg/l Chlorid gefahren. Die eingesetzten vier Testwässer lassen sich wie folgt charakterisieren; eine Übersicht über alle relevanten Parameter gibt **Tabelle 1**:

- Wasser 1 (W1): neutrales, hartes Wasser mit höherem Chloridgehalt
- Wasser 2 (W2): neutrales, hartes Wasser mit moderatem Chloridgehalt
- Wasser 3 (W3): saures, sehr weiches Wasser mit sehr niedriger Leitfähigkeit und sehr niedrigem Chloridgehalt
- Wasser 4 (W4): weiches Wasser mit hohem pH-Wert, niedriger Leitfähigkeit und sehr niedrigem Chloridgehalt

Für die Laborversuche standen zwei nach der Beschichtungsleitlinie des Umweltbundesamtes [3] und nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 270 [4] für Trinkwasser zugelassene Epoxidharzbeschichtungen (Bereich: Behälter außerhalb der Hausinstallation) von unterschiedlichen Herstellern zur Verfügung (Beschichtung A und Beschichtung B). Um die Varianten möglicher, in der Realität vorkommender Schichtdicken abzudecken, wurde ein Teil der Probekörper neben der üblichen Nennschichtdicke von 500 µm auch mit geringeren (ca. 300 µm) und mächtigeren Schichtdicken (ca. 1.000 µm) hergestellt. Pro Be-



Abb. 2: Zur Versuchsdurchführung verwendete Glasgefäße, bestückt mit Probeplatten

Quelle: TZW

Tabelle 2: Übersicht über die Eckdaten der Laborversuche

|                        | Gesamtdauer     | Eingesetzte Wässer                       | Art der Fehlstellen in Probeplatten             |
|------------------------|-----------------|--|---|
| <b>Versuchsreihe 1</b> | 30 bzw. 66 Tage | W1, W1-CI1, W1-CI2                       | 1 mm Bohrungen, Kratzer, Nadelstiche            |
| <b>Versuchsreihe 2</b> | 30 Tage         | W2, W2-CI1, W2-CI2                       | 1 mm Bohrungen, Fräsungen, Kratzer              |
| <b>Versuchsreihe 3</b> | 30 Tage         | W1, W1-CI1, W1-CI2<br>W2, W2-CI1, W2-CI2 | Mikrobohrungen gelasert, 0,3 mm, 0,5 mm, 0,6 mm |
| <b>Versuchsreihe 4</b> | 14 Tage         | W3, W3-CI1, W4, W4-CI1                   | Bohrungen 0,5 mm, 1,0 mm, 1,6 mm                |

Quelle: TZW

schichtungstyp und Dicke standen jeweils 15–20 Probekörper zur Verfügung. Diese wurden mit folgenden künstlichen Poren bzw. Beschädigungen versehen (Abb. 1):

- händisch mit einem Schneidwerkzeug eingebrachte Kratzer und punktuelle Beschädigungen (Nadelstiche),
- händisch mit einem Handfräser eingebrachte Fräsungen über mehrere Millimeter,
- mechanische (Mikro-)Bohrungen mit Durchmessern von 0,5 mm, 1,0 mm und 1,6 mm und
- in Auftragsarbeit gelaserte Bohrungen mit 0,3 mm, 0,5 mm und 0,6 mm Durchmesser.

Alle Bohrungen bzw. Poren wurden per Makroskop vor den eigentlichen Versuchen vermessen und dokumentiert.

Die eigentlichen Versuchsansätze fanden in quaderförmigen Glasgefäßen im Dunklen statt. Die Glasgefäße besaßen jeweils ein Fassungsvermögen von vier Litern, wurden jeweils mit dem entsprechenden Versuchswasser befüllt und mit 5–6 Probeplatten pro Gefäß bestückt. Die Probeplatten wurden senkrecht stehend auf einem Gestell aus Kunststoff fixiert (Abb. 2).

Nach unterschiedlichen Versuchsdauern wurden die Platten entnommen und die Rostentwicklung in den Poren bzw. Fehlstellen makrosko-

pisch untersucht. Die Eckdaten aller Laborversuche sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

### Ergebnisse der Laborversuche

Um den Fortschritt der Korrosion in den Poren quantitativ bewerten zu können, wurde ein numerisches Bewertungssystem eingeführt. Dazu wurden unter dem Makroskop die Poren bei 15-facher Vergrößerung begutachtet und fotografisch erfasst. Je nach Menge und Verteilung der Korrosionsprodukte erfolgte die Bewertung des Korrosionsfortschritts in den Poren nach der folgenden Skala mit Werten zwischen 0 und 5.

- 0 – Keine Korrosionsprodukte in der Pore sichtbar
- 1 – Auf dem Boden der Pore sind Korrosionsprodukte zu erkennen
- 2 – Der Boden ist vollständig mit Korrosionsprodukten bedeckt
- 3 – **Korrosionsprodukte kriechen die Porenwand hoch, Testkriterium erfüllt**
- 4 – Korrosionsprodukte füllen die Pore aus
- 5 – Korrosionsprodukte quellen über den Porenrand, ggf. mit Fahneneubildung

In Abbildung 3 sind die einzelnen Bewertungsstufen anhand realer Poren visualisiert. Die Erfahrung bei der Auswertung hat gezeigt, dass Stufe 3 mit dem Auge auch ohne Vergrößerung sicher erkannt werden kann, sodass ab dem Erreichen der Stufe 3 das Testkriterium – optische Wahrnehmung einer Pore – als erfüllt gilt.

Bei den Laborversuchen wurde während der jeweiligen Versuchsdauer jede Pore einer entnommenen Versuchs-

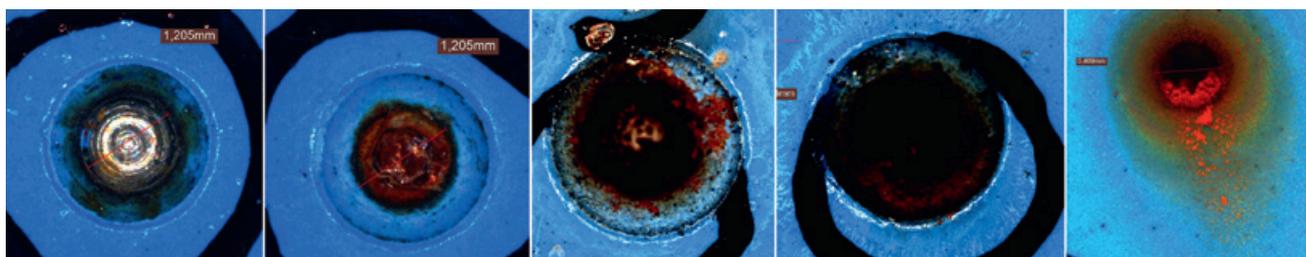


Abb. 3: Poren mit den Bewertungen 1–5 (v. l. n. r.)

Quelle: TZW

platte hinsichtlich des Korrosionsfortschritts unter dem Makroskop untersucht. Dadurch wurden ca. 1.000 Einzelwerte generiert, die in Kombination mit dem sechsstufigen Bewertungssystem die Grundlage zur Beantwortung der Fragen zur geeigneten Wasserbeschaffenheit, der optimalen Prüfdauer sowie der Art von Fehlstellen, die sicher detektiert werden können, bilden.

Zur Frage der Wasserbeschaffenheit ist zunächst festzustellen, dass in jedem der vier Testwässer Korrosion an Fehlstellen auftrat. Der Sauerstoffgehalt lag während des gesamten Untersuchungszeitraums in jedem Prüfbehälter bei über 5 mg/l. Hinsichtlich der Zugabe von Kochsalz konnte in der Regel kein signifikant unterschiedliches Verhalten zwischen den Wässern ohne und mit Salzzugabe bezüglich des Anteils angeschlagener Poren bzw. des Anteils angeschlagener Poren  $\geq$  Stufe 3 festgestellt werden. Ebenso ließ sich kein Hinweis darauf finden, dass sich die beiden Beschichtungstypen beim Wassertest grundsätzlich unterschiedlich verhalten. Auch konnte kein Einfluss der Schichtdicke der Beschichtung auf das Anschlagen der Poren beobachtet werden. Vielmehr zeigen die Laboruntersuchungen, dass Porenart und -geometrie einen deutlich höheren Einfluss auf die Korrosionsvorgänge besitzen als die anderen genannten Faktoren. Grundvoraussetzung für das Initiieren der Korrosionsvorgänge sind demnach durchgängige Poren bis auf den Grundwerkstoff, damit ein direkter Kontakt zwischen dem Prüfwasser und dem Grundwerkstoff entstehen kann. Hinsichtlich des Porendurchmessers zeigen die Versuche, dass die Korrosionsvorgänge insbesondere in klar definierten Poren mit geringerem Durchmesser, wie z. B. den gelaserten Poren in Versuchsreihe 3, am schnellsten vorstattengehen. Dies ist vermutlich auf die

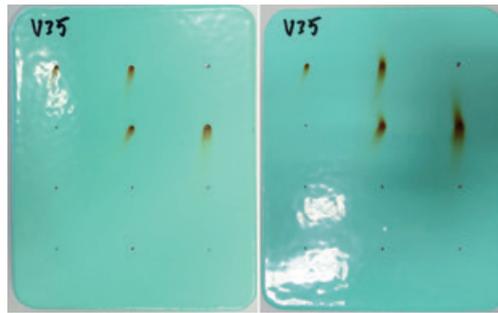


Abb. 4: Roststellen an einer Probeplatte nach einer Versuchsdauer von drei Tagen (links) und 14 Tagen (rechts)

Quelle: TZW



Quelle: TZW

ausgeprägte Spaltwirkung (einhergehend mit Bildung und Aufkonzentrierung von Stoffen wie beispielsweise Salzsäure) im abgetrennten Porenraum zurückzuführen.

Abb. 5: Hochspannungs-Porenprüfgerät, bestückt mit Besenelektrode und bereit zum Abfunken einer Epoxidharz-beschichteten Probeplatte. Alternativ kann die daneben liegende Gummi-Elektrode verwendet werden.

Des Weiteren zeigte sich bei Fehlstellen in Form von Bohrungen, dass sich die einzelnen Bohrungen auf einer Probeplatte hinsichtlich der Korrosion teilweise deutlich unterschieden: Auf manchen Bohrungen waren so gut wie keine Korrosionsprodukte erkennbar, andere Bohrungen schlugen korrosionstechnisch deutlich aus. Dieses Verhalten ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Bohrungen miteinander in



Die SHT, Sanitär- und Heizungstechnik Ausgabe 1-2018, enthält Beiträge zu den Themen Sanitär-, Heizungs- sowie Klima- und Lüftungstechnik und stellt Referenzobjekte sowie neue Produkte und Normen aus diesen Bereichen vor. Lesen Sie darüber hinaus u.a. mehr zu den Themen:

- **Digitalisierung**  
Aufbereitete Daten sind das „A“ und „O“
- **Holzheiztechnik**  
Modernste Verbrennungstechnik ist da
- **Fußbodenheizung**  
Rohrinnensanierung diffusionsoffener Kunststoffrohre

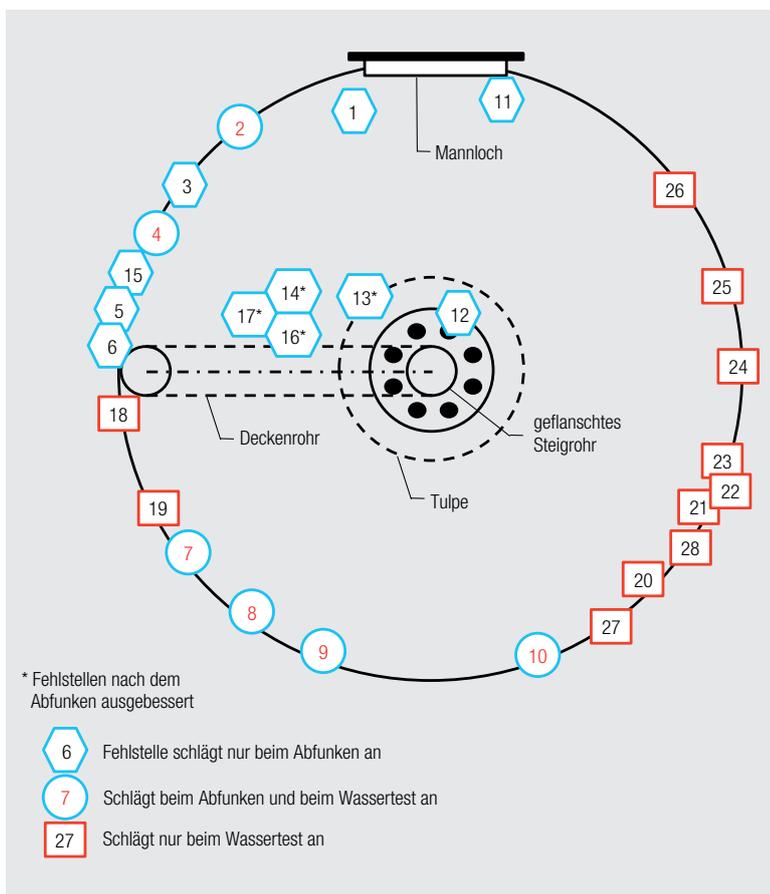
Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter [www.sht-online.de](http://www.sht-online.de).  
Kostenloses Probeheft unter [vertrieb@krammerag.de](mailto:vertrieb@krammerag.de)



Abb. 6: Abfunken einer Behälteroberfläche mit einer Gummi-Elektrode

Quelle: TZW

Unabhängig vom Testwasser konnte an einem Großteil der Fehlstellen bereits bei der ersten Entnahme nach zwei bis fünf Tagen fortschrittliche Korrosion festgestellt werden: Die Korrosionsprodukte lagerten sich bereits entlang der Porenwand an und waren für das bloße Auge sichtbar (Bewertungsstufe 3). Eine Verlängerung der Versuchsdauer führte nicht dazu, dass weitere Poren anschlügen, sondern vielmehr dazu, dass die Menge an Korrosionsprodukten in den bereits angeschlagenen Poren zunahm (Abb. 4). Spätestens nach einer Versuchsdauer von sieben Tagen konnten alle angeschlagenen Poren optisch wahrgenommen werden. Zusammengefasst bedeutet dies, dass ein Wassertest sichere Erkenntnisse bereits nach sieben Tagen Testdauer liefert; länger andauernde Tests bringen folglich keinen Mehrwert.



Quelle: TZW

Abb. 7: Dokumentation der Fehlstellen in Feldversuch 2, Draufsicht auf den Behälter

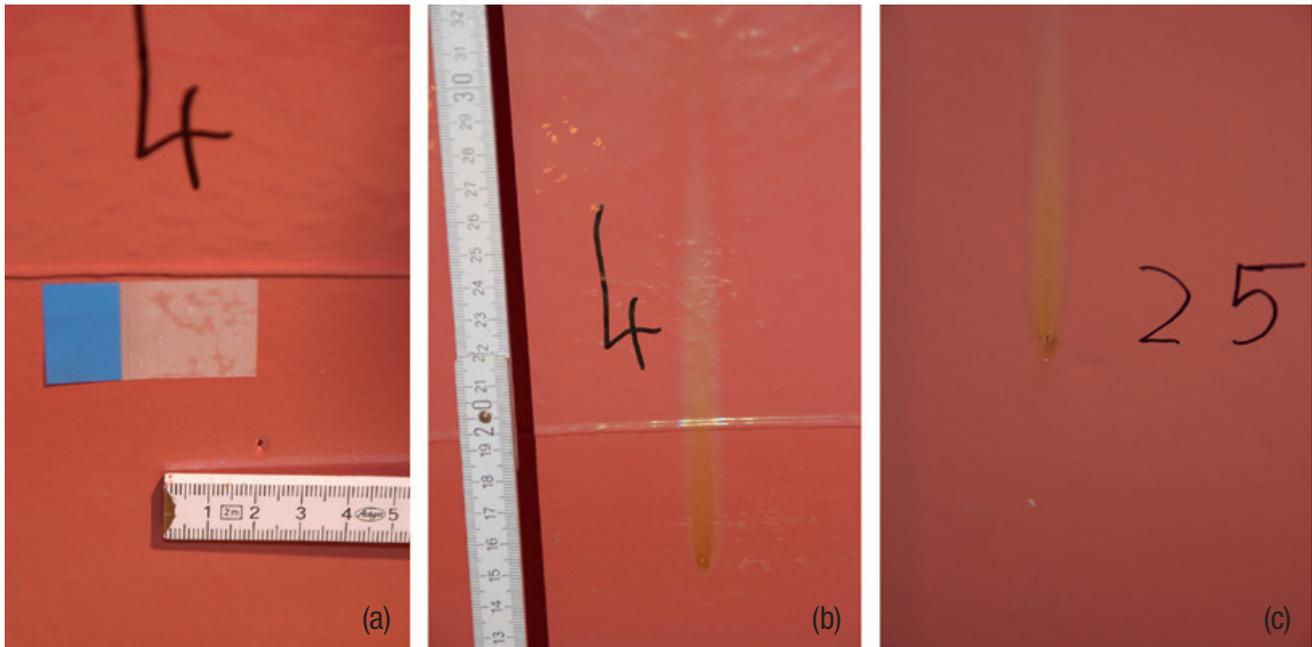
Wechselwirkung stehen und an einem Teil der Bohrungen die anodische Teilreaktion (Lösen des Eisens und Bildung von Korrosionsprodukten) und an dem anderen Teil die kathodische Teilreaktion (Sauerstoffreduktion, keine Korrosionsprodukte) abläuft. Dieser Prozess ist spezifisch für die Versuchsanordnung und kann nicht direkt auf die Praxis in beschichteten Behältern übertragen werden.

### Durchführung der Feldversuche

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde es dem TZW seitens vier verschiedener Wasserversorger bzw. Wasserwerksbetreiber ermöglicht, den Wassertest im Feld an insgesamt vier im Rahmen einer Instandsetzung neu beschichteter Behälter durchzuführen. Der Fokus der Feldversuche lag auf dem Vergleich der Leistungsfähigkeit des Abfunkens und der Anwendung des Wassertests in der Praxis.

Nach der Instandsetzung der Behälter erfolgte eine Abnahme der Beschichtung nach DVGW-Arbeitsblatt W 628 [1] durch das Beschichtungsunternehmen einschließlich visueller Kontrolle, Trockenschichtdickenmessung und Hochspannungsporenprüfung (Abfunken). In zwei der vier Fälle erfolgte die Schichtdickenmessung und das Abfunken zusätzlich durch einen Mitarbeiter des TZW, wobei die detektierten Poren markiert und dokumentiert wurden. **Abbildung 5** zeigt das vom TZW verwendete Hochspannungsporenprüfgerät samt Zubehör, **Abbildung 6** das Abfunken vor Ort mittels Gummi-Elektrode.

Anschließend wurde der Wassertest in allen vier Behältern durchgeführt, indem der betreffende Behälter mit dem im jeweiligen Wasserwerk anstehenden Wasser befüllt und für sieben Tage in diesem Zustand belassen wurde. Bei den Wässern handelte es sich um neutrale bis leicht basische Wässer mit moderaten Leitfähigkeiten. Bei einem Versorger wurde für den Wassertest dem Wasser Salz zugegeben.



Quelle: TZW

Die Testdauer von sieben Tagen wurde auf Grundlage der Erfahrungen aus den Laborversuchen abgeleitet. Nach dieser einwöchigen Periode, in der die Korrosionsvorgänge in den Fehlstellen ablaufen konnten, wurde der Behälter vollständig entleert und durch das TZW optisch inspiziert. Alle durch Rostfahnen angezeigten Poren oder andere Fehlstellen wurden fotografisch dokumentiert und deren Lage in einem Übersichtsplan eingezeichnet.

### Ergebnisse der Feldversuche

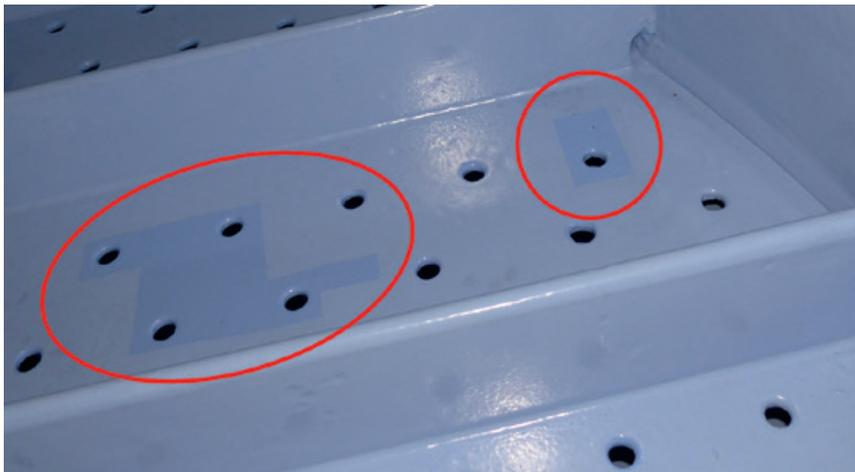
Stellvertretend für alle Feldversuche werden im Folgenden die Ergebnisse an zwei der untersuchten Behälter exemplarisch vorgestellt. Im ersten Fall handelte es sich um einen Kiesfilter mit einem Fassungsvermögen von ca. 85 m<sup>3</sup>, der nach ca. 15–20 Jahren Betrieb aufgrund festgestellter Fehlstellen in der vorhandenen Epoxidharzbeschichtung zur Sanierung anstand. Für die Neubeschichtung wurde als Beschichtungsmaterial eine für den Trinkwasserbereich zugelassene Epoxidharzbeschichtung eingesetzt, die mit einer Sollsichtdicke von 500 µm im Heißspritzverfahren appliziert wurde. Nach dem Ende der Beschichtungsarbeiten fand eine Abnahme der Beschichtung gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 628 [1] mittels Schichtdickenmessung und Funkenschlagmethode statt. Hierbei wurden insgesamt 17 Fehlstellen erkannt, die mit einem wasserfesten Stift markiert und in einen Übersichtsplan eingetragen wurden. Vier dieser Fehlstellen wurden sofort ausgebessert. Anschließend wurde der Wassertest mit dem im Wasserwerk anstehenden Was-

ser (Leitfähigkeit 265 µS/cm, Chlorid 24 mg/l) über einen Zeitraum von sieben Tagen durchgeführt. Nach Ablassen des Wassers wurde der Behälter optisch inspiziert und die entstandenen Rostfahnen an den Fehlstellen dokumentiert. Es zeigte sich, dass von den 13 durch das Abfunken detektierten und nicht ausgebesserten Fehlstellen sechs Stück auch durch den Wassertest angeschlagen haben. Zusätzlich konnten durch den Wassertest weitere elf Fehlstellen nachgewiesen werden.

**Abbildung 7** zeigt schematisch in der Draufsicht die Lage der Fehlstellen und mit welcher Methode diese detektiert werden konnten. Auffällig ist, dass sich die meisten Fehlstellen, die ausschließlich durch den Wassertest sichtbar wurden, auf einer Seite der Behälterwand (in der gewählten Draufsicht rechts) konzentrieren, was vermuten lässt, dass diese Seite nicht akribisch genug abgefunkt wurde. Optisch unterscheiden sich die Fehlstellen nicht von denen, die auch mittels Abfunken an der anderen Behälterseite detektiert werden konnten (**Abb. 8**).

Im zweiten Beispiel handelte es sich um einen Stahlbehälter als Aktivkohlefilter, der mit ozonhaltigem Wasser betrieben wird. Die bisherige Beschichtung aus Zementmörtel sollte durch eine Epoxidharzbeschichtung ersetzt werden. Dabei forderte der Betreiber aufgrund der Ozonierung statt der üblichen 500 µm eine Sollsichtdicke von 800 µm. Konstruktiv handelt es sich um einen Behälter mit zwei Ebenen, wobei die beiden Düsenböden nicht von Stützen, sondern jeweils durch neun ca. 50 cm hohe

**Abb. 8:** Durch Abfunken detektierte Fehlstelle vor (a) und nach (b) dem Bersenbrücker Wassertest. Vergleichbare Pore, die ausschließlich durch den Bersenbrücker Wassertest detektiert werden konnte (c).



Quelle: TZW

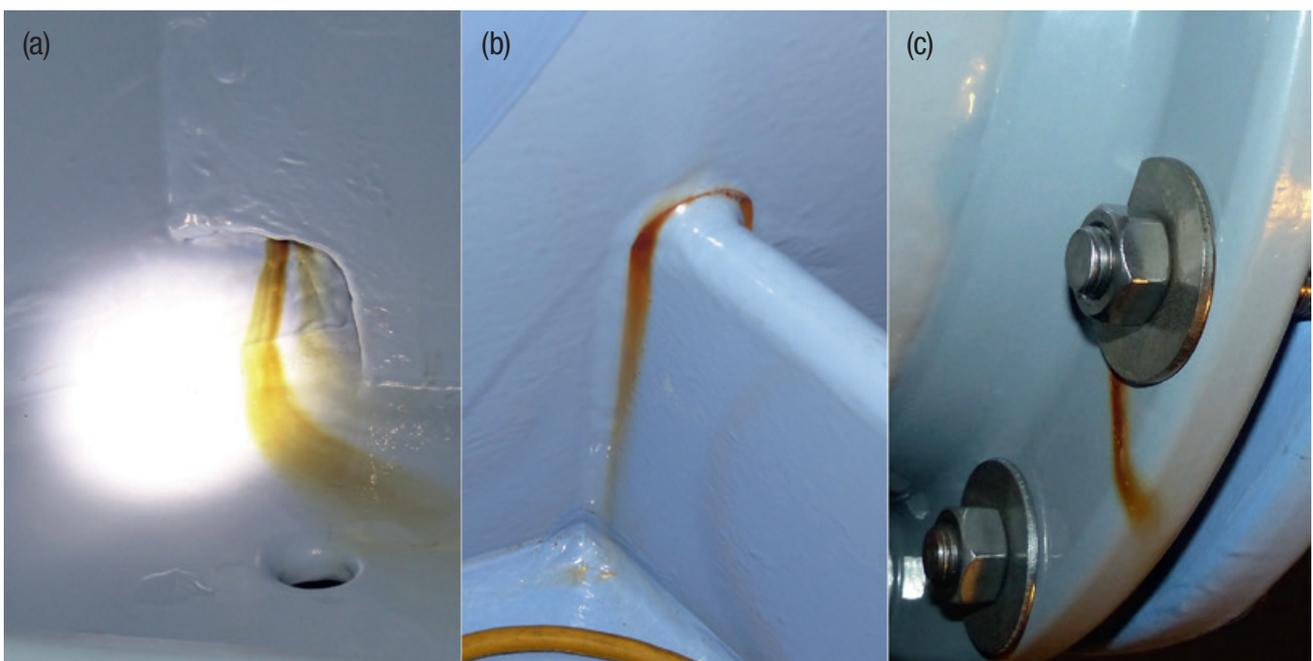
**Abb. 9:** Beispiel für bei dem Abfunken detektierte und anschließend ausgebesserte Fehlstellen im Bereich des Düsenbodens

und 10 cm breite Längsrippen und eine ca. 60 cm hohe und 20 cm breite Mittelrippe, die quer zu den anderen verläuft, getragen werden. Böden und Rippen sind mit dem Stahlbehälter verschweißt. Aufgrund der Konstruktion existieren gleich mehrere beschichtungstechnische Herausforderungen, wie beispielsweise vorhandene Aussparungen an den Enden der Längs- und Querrippen in Kombination mit Hinterschneidungen. Diese Stellen waren per Spritzverfahren nicht direkt zugänglich und mussten von Hand gestrichen werden. Nach Fertigstellung der Beschichtungsarbeiten fand eine Prüfung auf Porenfreiheit mittels Abfun-

ken durch den Beschichter statt. Die vorgefundenen Fehlstellen wurden umgehend ausgebessert. Von den ausgebesserten Stellen befanden sich die meisten im Bereich der Düsenböden und unterschieden sich farblich von den intakten Bereichen (Abb. 9). An Wänden und Einbauten fanden sich lediglich vereinzelt kleinere ausgebesserte Stellen. Nach den Ausbesserungsarbeiten wurde der Behälter von TZW-Mitarbeitern optisch inspiziert sowie ergänzende Schichtdickenmessungen durchgeführt. Mit beiden Methoden konnten keine weiteren Auffälligkeiten an der Beschichtung festgestellt werden. Im Anschluss folgte der Wasser-

test mit dem anstehenden Trinkwasser über eine Dauer von sieben Tagen. Dabei wurden insgesamt 16 Fehlstellen identifiziert, die zuvor durch das Abfunken nicht detektiert werden konnten. Unter den Fehlstellen befanden sich vor allem Bereiche, an die ein Abfunkgerät typischerweise nicht herankommt, wie z. B. überlappte bzw. verdeckte Bereiche, Schweißnähte oder Beschädigungen der Beschichtung im Bereich von Schraubverbindungen (Abb. 10).

Die Ergebnisse aus den Feldversuchen an insgesamt vier mit Epoxidharz neu beschichteten Stahlbehältern an unterschiedlichen Standorten bestätigen den erfolgreichen Einsatz des Bersenbrücker Wassertests. Dies gilt unabhängig von der Wasserbeschaffenheit und von einer Zugabe von Salz. In jedem der begleiteten Fälle wurden durch den Wassertest zusätzliche Fehlstellen identifiziert, die allein durch die Funkenschlagmethode unentdeckt geblieben wären. Neben Poren, die vermutlich aufgrund zu geringer Sorgfalt beim Abfunken übersehen wurden, handelte es sich auch um Fehlstellen, die mit der Funkenschlagmethode an sich nicht detektierbar sind. Dabei handelt es sich zu meist um überdeckte bzw. überlappende Bereiche, die mit der Elektrosonde



**Abb. 10:** Mit dem Wassertest detektierte Fehlstellen: Pore in einem verdeckten Hohlraum (a), Schweißnaht (b), Schraubverbindung an einem Flanschübergang (c)

Quelle: TZW

nicht erreicht werden können. Sofern die Fehlstellen an den Behälterwänden auftraten, bildeten sich in der Regel mehrere Zentimeter lange Rostfahnen aus, die von der Fehlstelle aus senkrecht nach oben abgingen.

Der Wassertest weist jedoch auch Schwächen auf: Ein Teil der Fehlstellen, die durch das Abfunken angezeigt wurden, schlugen beim Wassertest nicht an. Die Ursache hierfür wurde nicht weiter untersucht, könnte aber damit zusammenhängen, dass durch das Abfunken auch Fehl- bzw. Schwachstellen sowie Poren, die nicht ganz bis auf den Grundwerkstoff reichen, aufgrund des Durchschlagens der Hochspannung durch die Beschichtung angezeigt werden. Im Gegensatz dazu werden beim Wassertest nur durchgehende Poren angezeigt.

### Zusammenfassung

Im Rahmen eines DVGW-geförderten Forschungsvorhabens wurde die Leistungsfähigkeit eines anwenderfreundlichen Testverfahrens zur Feststellung der Porenfreiheit von Epoxidharzbeschichtungen in Stahlbehältern in Wasserwerken untersucht. Das Prinzip des sogenannten Bersenbrücker Wassertests beruht dabei auf der optisch leicht wahrnehmbaren Rostfahnenbil-

dung an Poren und Fehlstellen in der Beschichtung, die durch mehrtägigen Wasserkontakt initiiert wird. Hierzu wurden Laborversuche an beschichteten Platten sowie Feldversuche an mehreren neu beschichteten Behältern durchgeführt. Durch Laboruntersuchungen konnten die Randbedingungen (wie z. B. Prüfwasser und Prüfdauer) bei der Anwendung des Tests abgeleitet werden. In den Feldversuchen wurde anschließend nachgewiesen, dass durch die Anwendung des Tests im Vergleich zu den bestehenden Prüfmethoden zusätzliche Poren und Fehlstellen detektiert werden können. Somit ist der Bersenbrücker Wassertest als robuste Ergänzungsprüfung zu den etablierten Prüfverfahren anzusehen, wodurch die Sicherheit für Betreiber und Beschichter bei der Endabnahme von Behälterbeschichtungen erhöht wird. Die Vorgehensweise bei der Anwendung des Tests wurde zwischenzeitlich in einem Beiblatt zum DVGW-Arbeitsblatt W 628 aufgenommen.

### Danksagung

Die Autoren danken den beteiligten Beschichtungsherstellern für die Herstellung der beschichteten Probekörper, den Wasserversorgern für die Möglichkeit zur Durchführung der Feldversuche und dem DVGW W-PK-2.6.2 „Ma-

schinelle Einrichtungen in Aufbereitungsanlagen“ für die tatkräftige Unterstützung und die gute Zusammenarbeit sowie dem DVGW für die Förderung des Forschungsvorhabens. ■

### Literatur

- [1] DVGW-Arbeitsblatt W 628 „Innenbeschichtung und Auskleidung von Stahlbehältern in Wasserwerken“.
- [2] Gies, W.: DVGW-Arbeitsblatt W 628-B1, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 4/2017, S. 64.
- [3] Empfehlung des Umweltbundesamtes: Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Beschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser – Beschichtungsleitlinie (2008).
- [4] DVGW-Arbeitsblatt W 270 „Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“.

### Die Autoren

**Dr.-Ing. Robertino Turković** ist Abteilungsleiter der Abteilung Korrosion und stellvertretender Leiter der Prüfstelle Wasser am DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe.

**Dipl.-Ing. Frank Feinauer** war bis Mai 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter am DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe.

### Kontakt:

Dr.-Ing. Robertino Turković  
DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW)  
Wasserwerkstr. 4, 76137 Karlsruhe  
Tel.: 0721 93163-13  
E-Mail: robertino.turkovic@tzw.de  
Internet: www.tzw.de



WIE NACHHALTIG  
HANDELN SIE?



WIE ZUKUNFTS-  
ORIENTIERT IST  
IHRE INVESTITION?



WIE EFFIZIENT  
MESSEN SIE IHREN  
VERBRAUCH?

### Unsere Antwort auf alle Herausforderungen

- HYDRUS 2.0 ist **hochkonnektiv** – bereit für das Internet der Dinge (IoT)
- HYDRUS 2.0 steht für **höchste Datensicherheit** Ihrer Kundendaten – BSI konform nach OMS Generation 4, Security Profile B
- HYDRUS 2.0 ist bereit für die **Digitalisierung** – für zukunftsfähige Geschäftsmodelle

Alle Vorteile der legendären HYDRUS Technologie sind jetzt auch in Form eines **Großwasserzählers** verfügbar. Weitere Informationen unter: [www.diehl.com/metering](http://www.diehl.com/metering)

Besuchen Sie uns vom 6. – 8. Februar 2018 auf der E-world in Essen:  
**Halle 2, Stand 2-514**

 smart in solutions

**DIEHL**  
Metering