

Anforderungen an Epoxydharzbeschichtungen auf mineralischen Untergründen im Trinkwasserbereich

Neben den zementgebundenen Auskleidungssystemen von Trinkwasserbehältern aus Beton bietet der Markt weitere Systeme wie Platten, Folien und Verbundsysteme auf Kunstharzbasis für die Auskleidung von Trinkwasserbehältern an. Die technischen Randbedingungen für eine qualitativ hochwertige Verarbeitung dieser Produkte müssen eingehalten werden.

Epoxydharzsysteme werden wegen ihrer chemischen Beständigkeit sowie ihrer guten mechanischen und technischen Eigenschaften in vielen Hochleistungsanwendungen, wie beispielsweise Flügeln von Windkraftanlagen, eingesetzt. Im Trinkwasserbereich werden vor allem die dichten, glatten und nicht saugfähigen Oberflächen geschätzt (Abb. 1).

Die Anwendung entsprechend geprüfter organischer Beschichtungen auf dem Un-

tergrund Stahl ist im DVGW-Arbeitsblatt W 628 „Innenbeschichtung und Auskleidung von Stahlbehältern in Wasserwerken“ beschrieben und trotz gelegentlicher Schadensfälle durch Blasen (Abb. 2) und Verkeimungen allgemein akzeptiert. Die Anwendung auf mineralischen Untergründen wird intensiv diskutiert.

Der Umstand, dass es neben vielen Beispielen schadensfreier Epoxydharzbeschichtungen auch hier Schadensfälle in

Form von Blasen (Abb. 3) und Verkeimungen gibt, ist die Ursache weitreichender Bedenken. Die Ursachen dieser Schäden sind komplex und die Forschungen dazu nicht abgeschlossen. Zwei grundsätzliche Fragenkomplexe in Bezug auf die Eignung von Epoxydharzbeschichtungen bestimmen die Diskussion:

- toxikologische und mikrobiologische Eignung
- technische Eignung auf mineralischen Untergründen

Toxikologische und mikrobiologische Eignung

Grundlage zur Beurteilung der toxikologischen und mikrobiologischen Eignung von Epoxydharzen zur Beschichtung ist die „Epoxydharzleitlinie“ [1] des Umweltbundesamtes, die demnächst in die erweiterte Beschichtungsleitlinie „Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Beschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser“ [2] übergeht. In der aktuellen Leitlinie werden die zu verwendenden Materialien auf Stoffe begrenzt, deren Bewertung von der European Food Safety Authority (EFSA) übernommen oder vom BfR (Kunststoffkommission) bewertet wurden. Die geprüften Beschichtungen müssen den gestellten Anforderungen in drei Bereichen entsprechen:

- **Grundanforderungen:** Die äußere Beschaffenheit (Geruch/Geschmack und Klarheit/Färbung/Schaumbildung) des Prüfwassers darf nicht verändert werden.
- **Zusatzanforderungen:** Für verschiedene Beschichtungstypen sind Stoffe und Stoffgruppen festgelegt, bei denen maximal tolerierbare Migrationsraten eingehalten werden müssen.

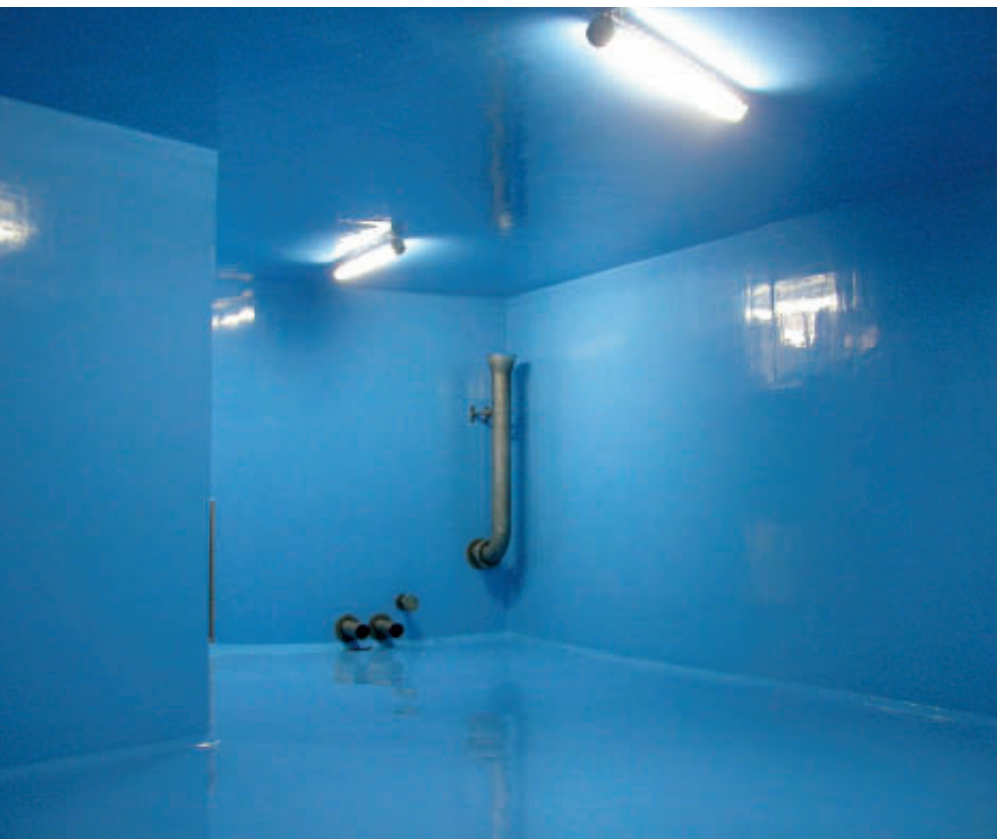


Abb. 1 Glatte, sich spiegelnde Oberfläche eines mit Epoxydharz beschichteten Betonbehälters

Quelle:

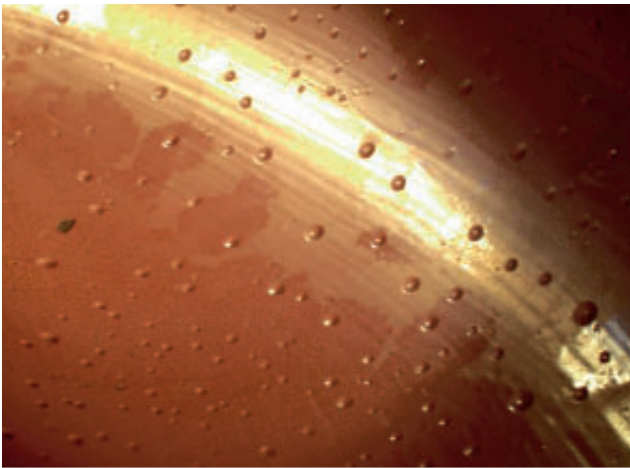


Abb. 2: Blasenbildung einer Epoxydharzbeschichtung auf kontaminiertem Stahluntergrund

Quelle:



Abb. 3: Blasen unter einer lösemittelhaltigen, 30 Jahre alten Epoxydharzbeschichtung auf lösemittelhaltigem Spachtel

Quelle:

- Rezepturabhängige Einzelstoffanforderungen: Überprüfung der maximal tolerierbaren Migrationsraten einzelner Inhaltsstoffe und gegebenenfalls des Restgehaltes eines Stoffes, wenn in der Positivliste vorgesehen.

Die maßgeblichen DWPLL Werte (Drinking Water Positive List Limit-Werte, aus toxikologischer Sicht noch tolerierbare Konzentrationen am Zapfhahn) werden aus den TDI- (Tolerable Daily Intake) bzw. den ADI-Werten (Acceptable Daily Intake) abgeleitet und liegen aufgrund der Berechnungsvoraussetzungen [Aufnahme von tägl. 2 l Wasser, anstatt 1 kg Lebensmittel/60 kg Körpergewicht; 10 Prozent Anteil der Gesamtexposition für den jeweiligen Stoff über das Trinkwasser (WHO-Konzept)] bei 1/20 der Werte, die für den Lebensmittelbereich gültig sind. Durch Kon-

versionsfaktoren für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche werden die zulässigen Migrationsgrenzwerte in Abhängigkeit vom Oberflächen- zum Volumenverhältnis für den entsprechenden Anwendungsbereich weiter reduziert.

Nach den Vorschriften des DVGW-Arbeitsblattes W 270 „Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“ wird die mikrobiologische Eignung über einen Zeitraum von sechs Monaten geprüft. Die nach diesen Methoden untersuchten und zugelassenen Produkte sind nach dem Stand der Technik in Bezug auf toxikologische und mikrobiologische Eigenschaften unkritisch. Es besteht grundsätzlich die Notwendigkeit, dass die aufgetragenen Beschichtungen vor der Inbetriebnahme die durch die Zu-

lassungsprüfungen ermittelten Eigenschaften aufweisen.

Die dafür notwendigen Randbedingungen müssen vom Hersteller der Beschichtungsmaterialien definiert und deren Einhaltung, während der Verarbeitung vor Ort, kontrolliert und dokumentiert werden. Allgemeingültige Randbedingungen sind – anders als bei rein zementgebundenen Auskleidungen – nicht generell zu formulieren, da es sich über die Variation der Härter- und Harzkomponenten um Bindemittel mit verschiedenen Eigenschaften handeln kann. Es ist daher wünschenswert, den Einsatzbereich bzw. die Einsatzbedingungen materialspezifisch und auf der Grundlage anerkannter Prüfungen festzulegen und deren Einhaltung am ausgehärteten Produkt mit baustellentauglichen Methoden vor Ort überprüfbar zu machen. ►

1/3 Anzeige

Tabelle 1: Untergrundeigenschaften	
Stahluntergrund	Mineralischer Untergrund
Geschlossener Untergrund	Poröser Untergrund mit Kapillaren, Lufteinschlüssen
Keine Feuchtigkeit im Untergrund, Trockner nur zur Klimatisierung	Feuchte Untergründe, Trocknen notwendig
Homogener Untergrund	Mehrstoffsystem
Dichter Untergrund (keine rückwärtige Feuchtigkeit)	Diffusionsfähiger Untergrund
Keine wasserlöslichen Substanzen im Sinne von ausschwemmbar Salzen	Wasserlösliche Verbindungen im Untergrund wie z. B. CaOH, KOH, NaOH u.a.
Untergrund mit einheitlicher, hoher Oberflächenzugfestigkeit	Untergrund mit vergleichsweise niedriger Oberflächenzugfestigkeit
Fehlen Korrosionsnarben, reicht oftmals ein Dickschichtauftrag aus	Herstellen eines beschichtungsgerechten Untergrundes (Porenverschluss) notwendig
Nicht saugend, keine Penetration des Untergrundes	Saugend, Penetration des Untergrundes
Geringere Bauteilmasse, schneller auf Temperatur zu bringen	Höhere Bauteilmasse, aber auch größere Flächen, daher längere Strahlzeiten, die auch für die Klimatisierung genutzt werden

Quelle:

Technische Eignung von Beschichtungen auf mineralischen Untergründen

Die Bedenken gegen eine Beschichtung mineralischer Untergründe mit dichten Epoxidharzbeschichtungen resultieren aus den technischen Unterschieden zu den metallischen Untergründen (Tab. 1) und den sich daraus ergebenden Fragestellungen hinsichtlich einer grundsätzlichen Eignung. Für die Blasenbildung werden zurzeit unterschiedliche Ursachen und Mechanismen diskutiert [3-6].

Die Problematik insgesamt führte dazu, dass im aktuellen DVGW-Arbeitsblatt W 300 „Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Wasserbehältern“ die Kunststoffbeschichtungen lediglich als Möglichkeit bei aggressiven Wässern aufgeführt werden, wobei die Eignung und Dauerhaftigkeit im Einzelfall geprüft werden muss.

Aufgrund der positiven Oberflächeneigenschaften gibt es trotzdem ausreichend Beispiele für gelungene Beschich-

tungen auch großer Flächen mit Epoxidharzmaterialien im Trinkwasserbereich. Als ein Beispiel sei hier der Hochbehälter Reberg des Syndicat des Eaux du Sud in Luxemburg (Abb. 4) mit insgesamt 12.500 m² beschichteter Fläche erwähnt, bei dem eine zuvor aufgebrachte zementgebundene, kunststoffmodifizierte Auskleidung wegen Schimmel- und Blasenbildung sowie Auflösungserscheinungen jahrelang eine Inbetriebnahme verhinderte.

Bei der Verwendung von zementgebundenen Beschichtungen und Auskleidungen sind seit langer Zeit Probleme wie Aufweichungen, Bewuchs, Verkeimung und unzureichende Dauerhaftigkeit bekannt und beschrieben. Das hat dazu geführt, dass sich der DVGW dieser Problematik angenommen und Anforderungen an Material und Ausführung formuliert hat.

Diffusionsfähigkeit und Dampfdruck

Häufig wird argumentiert, dass diffusionsdichte Beschichtungen auf diffusionsoffenen Untergründen zu Blasenbildungen führen müssen. Dabei wird oft auch der Begriff des Dampfdruckes angeführt.

Beton kann über seine Struktur Wasser einlagern und transportieren. Eine Epoxidharzbeschichtung mit einem wesentlich höheren Wasserdampfdiffusionswiderstand behindert den ansonsten schneller voranschreitenden Feuchtigkeitsaustausch. In der Folge kommt es zu einer Feuchteverteilung im Bauteilquerschnitt. Die Höhe des Wassergehaltes hängt von vielen Parametern wie rückseitiges Wasserangebot und Trocknungsmöglichkeiten ab. Der tatsächlich entstehende Dampfdruck von Wasser liegt bei den im Trinkwasserbereich vorherrschenden Temperaturen von 5 bis max. 25 °C (im geleerten Zustand) bei Werten von ca. 8,7-31,7 mbar. Das entspricht einem Druck von 0,00087-0,00317 N/mm², der bei der geforderten Haftzugfestigkeit von 1,5 N/mm² keine praktische Rolle spielt. Wesentlicher ist hier, dass Wasser unter der Beschichtung für andere Prozesse zur Verfügung steht.

Die Wasseraufnahme von Epoxidharzbeschichtungen selbst ist formulierungsabhängig und unterliegt unterschiedlichen Mechanismen [3]. Sie kann die mechanischen Festigkeiten der Beschichtung erhöhen oder erniedrigen und im letzteren Fall eine Blasenbildung fördern.

Quelle:

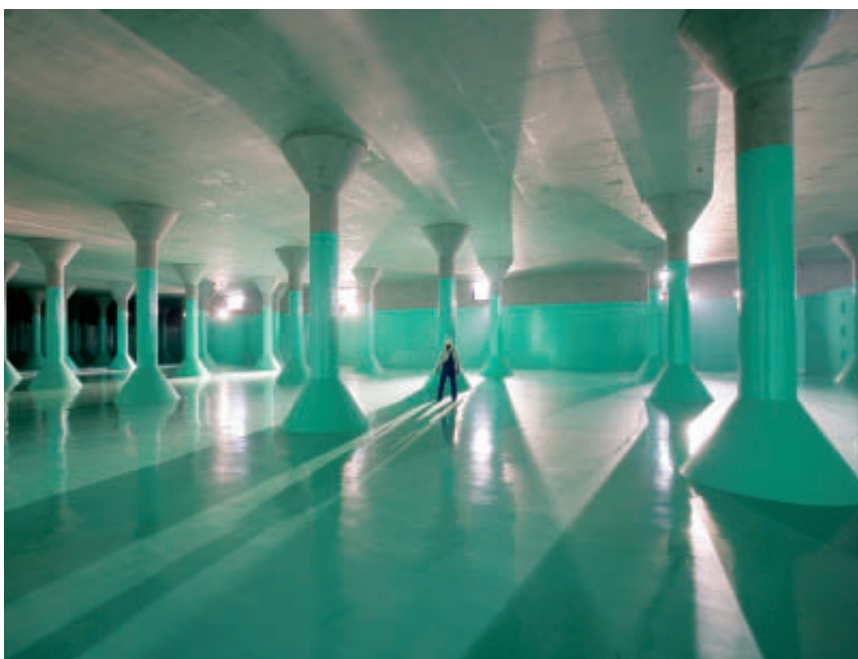


Abb. 4: Großflächige Beschichtung mit Epoxidharz. Im oberen Bereich nur gespachtelt, im wasserbeaufschlagten Bereich mit zusätzlicher Deckbeschichtung

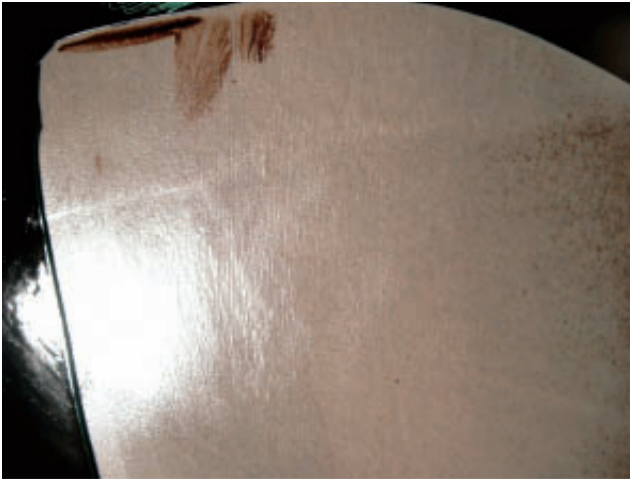


Abb. 5: Nicht abgestreute glatte Epoxydharzspachtelfläche (grau-braun) ohne Haftung zur Epoxydharzdeckbeschichtung (durch Manganablagerungen schwarz verfärbt, linker Rand)

Quelle:



Abb. 6: Rückseite einer sich ablösenden Epoxydharzdeckbeschichtung. Das Abstreukorn haftet auf der Rückseite der Deckbeschichtung, die Einbindung in der darunter liegenden Schicht war mangelhaft

Quelle:

Hydrostatischer Druck, Kapillardruck und Osmotischer Druck

Der hydrostatische Druck (0,1 N/mm₂ bei 10 m Wassersäule), Kapillardruck (max. 0,29 N/mm₂, [3]) und osmotische Drücke werden als Ursachen für Blasenbildung diskutiert. Dabei erreichen die osmotischen Drücke theoretisch die höchsten Werte, sind aber aufgrund der Komplexität der osmotischen Prozesse auch am schwierigsten auf reale Systeme zu übertragen. Randzoneneffekte im Bereich von Poren und Fehlstellen komplizieren die Betrachtungsweise [3-6].

Die verschiedenartigen Konzepte zu Ursachen und Mechanismen der Entstehung von Blasen lassen erwarten, dass die Forschungen in diesem Bereich weitergeführt und tiefer in rezepturabhängige Fragestellungen eintauchen werden. Unabhängig davon welche Mechanismen für die Blasenbildung als ursächlich angesehen werden, sind die daraus abgeleiteten Bedingungen, die zur Erzielung blasenfreier Beschichtungen gefordert werden, im Prinzip gleich und ihr Erfolg bei konsequenter Anwendung durch die Praxis belegt.

Haftverbund zu mineralischen Untergründen

Alle auftretenden Spannungen, die sich aus den unterschiedlichen Materialeigenschaften und anschließenden Belastungen ergeben, müssen im Verbundsystem von der Haftfläche aufgenommen werden. Die auf Temperaturdifferenzen zurückzuführenden Spannungen sind bei Trinkwasserbehältern im Vergleich zu Fassaden- oder Parkhaus oder Industriebodenbeschichtungen, aus deren Umfeld die meisten Untersuchungen

stammen, geringfügig und belasten die Beton-/Polymergrenzfläche kaum.

Die generelle Forderung lautet, einen guten Haftverbund zum Untergrund und zwischen den einzelnen Schichten sicherzustellen. Der Haftverbund kann chemischer Natur (Überschichtungsintervall, chemische Reaktionen zwischen den Schichten) oder mechanischer Natur (abgestreute, aufgeraute Oberflächen) sein. Für beide Mechanismen ist es erforderlich, dass ein guter Kontakt zum jeweiligen Untergrund erfolgt und keine Trennschichten eine Benetzung verhindern.

Als Trennschichten kommen auf dem mineralischen Untergrund Anreicherungen von Zement und Feinfüllstoffen, Carbonatschichten aus dem Verdampfen von Porenwasser, Schalöl, Wasser und u. U. auch Anreicherungen von Additiven u. a. in Betracht. Diese haftungsmindernden Oberflächenbeläge werden in der Regel durch Feststoffstrahlen des Untergrundes entfernt, das im Vergleich zum Nassstrahlverfahren den Vorteil einer höheren Mikrorauigkeit des Zuschlages und einer Trocknung des Untergrundes bereits während der Strahlzeit bietet. Eine manuelle Verarbeitung der Grundschichten ist wegen der damit verbundenen besseren Benetzung des Untergrundes vorteilhaft.

Haftverbund zwischen den Schichten

Blasenbildungen treten nach meinen Erfahrungen vornehmlich zwischen Deck- und Grundbeschichtungen und selten zwischen Grundbeschichtung und Untergrund auf. Diese Beobachtungen sind auch in der Literatur beschrieben [4; 7].

Der Einhaltung aller Arbeitsschritte und Arbeitsbedingungen, die Einfluss auf den Haftverbund zwischen den Schichten haben, ist große Aufmerksamkeit zu widmen. Auf den Grund- und Spachtelschichten kann es durch Reaktion der Härterkomponenten mit Feuchtigkeit und Kohlendioxid aus der Luft zu Carbamatbildungen kommen, die zur Minderung einer chemischen Haftung auch innerhalb des Überarbeitungsintervalls führen können (Abb. 5). Diese Oberflächeneffekte können neben einer optimierten Formulierung am sichersten durch eine wirksame Abstreuerung kompensiert werden, der damit die entscheidende Rolle bei der Verhinderung von Blasenbildungen zukommt.

Das Abstreukorn muss ausreichend in den Untergrund eingebunden werden, um seine haftvermittelnde Funktion übernehmen zu können (Abb. 6) und sollte gleichzeitig die Grundschicht nicht perforieren. Um das zu gewährleisten, muss die Abstreuerung innerhalb kurzer Zeit nach dem Aufbringen der Schicht appliziert werden, und die ausreichend dicke Grundschicht muss in ihrer Oberfläche genügend Bindemittel mit benetzenden Eigenschaften enthalten. Die Haftfestigkeit des Kornes kann durch den Versuch des Abschabens mit einem metallischen Spachtel überprüft werden. Unterschiede in der Färbung des einzustreuenden Untergrundes und des Einstreumaterials ermöglichen eine Kontrolle der Gleichmäßigkeit der Abstreuerung (Abb. 7).

Materialeigenschaften

Die Materialien müssen hoch alkalibeständig sein, um vom Porenwasser des Betons nicht verseift oder beeinträchtigt zu werden, und sollten eine geringe Neigung zum



Abb. 7: Aufbau eines Epoxydharzsystems auf Beton mit zwei abgestreuten Spachtelschichten und einer Deckbeschichtung

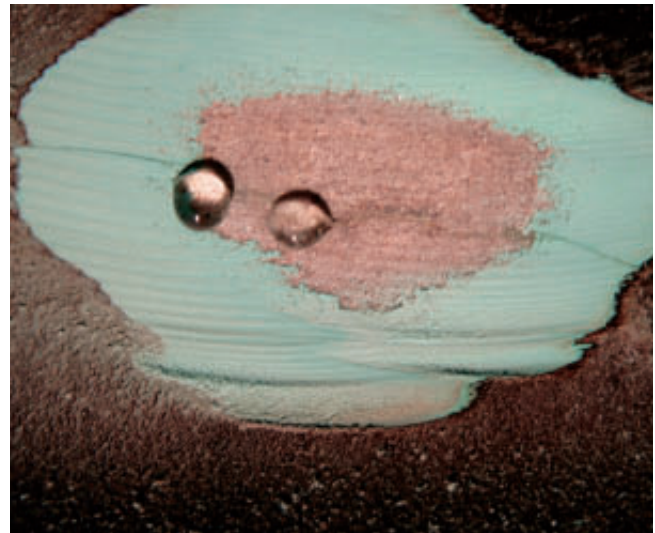


Abb. 8: Angeschliffene Deckbeschichtung im Bereich eines dynamischen Risses

Quellen durch Wasser aufweisen. Eine niedrige Viskosität der eingesetzten Harz und Härterkomponenten beeinflusst die Benetzung des Untergrundes und damit die Haftung positiv.

Durch eine niedrige Elastizität und eine hohe Schichtdicke wird die Energie, die für die Verformung zu einer Blase aufgewendet werden muss, erhöht. In der Folge weisen die klassischen Epoxydharzbeschichtungen ohne weitere Maßnahmen bei dynamischen Rissen keine überbrückenden Eigenschaften auf (Abb. 8).

Formulierungen, die lösliche, nicht chemisch gebundene und migrationsfähige Anteile minimieren sind vorteilhaft in Bezug auf Blasenbildung [3-6] und Verkeimungspotential. Die tatsächlich ablaufenden Prozesse sind komplex. Stichworte sind hier Chromatographieeffekte, Migration löslicher Bestandteile und Platzwechselvorgänge mit Veränderung der mechanischen und gegebenenfalls chemischen Eigenschaften der Beschichtung sowie die Lösemittelretention, die in der Vergangenheit für viele Schäden verantwortlich war.

Die niedrigen Migrationsgrenzwerte der UBA-Epoxydharzleitlinie wirken insofern auch technisch in eine positive Richtung.

Baustellenbedingungen

Die Klimabedingungen auf der Baustelle lassen sich über Trockner- und Heizgeräte so einstellen, wie es die Systeme erfordern. Der Vorteil der klassischen Epoxydharzbeschichtungen liegt darin, dass man nur die minimale Temperatur und maximale Feuchtigkeit kontrollieren muss. Abweichungen bei der Temperatur nach oben

und der Feuchtigkeit nach unten machen sich unter Umständen arbeitstechnisch, nicht aber in Bezug auf die Materialeigenschaften, negativ bemerkbar.

Temperatur

Ausschlaggebend ist hier, dass die Untergrundtemperatur während der Aushärtphase oberhalb der Mindesttemperatur liegt, die ein gegebenes System für eine einwandfreie Aushärtung benötigt. Höhere Temperaturen wirken sich auf die Topfzeit negativ, auf die Durchhärtung und die Benetzung der Oberfläche positiv aus. Da es sich in der Regel um lösemittelfreie Systeme handelt, erschweren niedrige Temperaturen eine manuelle Applikation, z. B. bei Spachtelarbeiten wegen der zunehmenden Viskosität deutlich. Damit liegt es im ureigensten Interesse des Verarbeiters – und das ist bei Baustellenanwendungen nicht zu unterschätzen – bei nicht zu niedrigen Temperaturen zu arbeiten.

Eine Lösemittelzugabe zur Viskositätsniedrigung ist unter allen Umständen zu vermeiden, weil dadurch die Anfälligkeit für Blasenbildungen deutlich steigt und die technischen und hygienischen Eigenschaften der Beschichtung beeinflusst werden. Ist der Gebrauch von Lösemitteln vorgesehen oder sind diese in den geprüften Beschichtungen bereits enthalten, müssen zusätzlich zu den Temperaturen auch Luftwechsel und Schichtdicken beachtet werden, um eine Lösemittelretention zu verhindern.

Die Praxis zeigt, dass die Frage der Aushärtebedingungen in Bezug auf die Gebrauchseigenschaften bei den lösemittelfreien 2 K-Epoxydharzbeschichtungen nicht so kritisch ist, wie im Allgemeinen an-

genommen wird. Dies hängt damit zusammen, dass die meisten der in diesem Bereich verwendeten Epoxydharzsysteme eine hohe Reaktivität aufweisen und niedrigere Temperaturen als 10 bis 12 °C in Wasserbehältern eher die Ausnahme sind.

Die Systeme unterliegen im Grundsatz oberhalb von kritischen Mindesttemperaturen der RGT Regel, nach der sich die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt, wenn die Temperatur um 10 °C ansteigt. Bei sehr niedrigen Temperaturen findet praktisch keine durchgängige Reaktion mehr statt. Kommt es während der Verarbeitung zu niedrigen Temperaturen, wenn beispielsweise die Heizgeräte ausfallen, verlangsamt sich die Reaktion und beschleunigt sich wieder bei einem Ansteigen der Temperaturen.

Untergrundfeuchtigkeit

Ein Taupunktabstand von mind. 3 °C ist einzuhalten, um Kondensatbildung und eine dadurch verminderte Haftung des Epoxydharzmaterials zu verhindern. In der Regel sind trockene Untergründe erwünscht, weitergehende Forderungen sind produktspezifisch zu betrachten, da es auch für feuchte Untergründe formulierte Systeme gibt.

Die Eindringtiefe von Kunstharzsystemen in den Untergrund beträgt max. 1-2 mm. Wenn diese Zone im Zeitraum zwischen Applikation und Aushärtung des Materials sicher trocken bleibt, sind keine negativen Auswirkungen zu erwarten. Nach dem Aufbringen der Beschichtung wird sich mit der Zeit eine Ausgleichsfeuchte bis zur Grenzfläche der Beschichtung einstellen. Nicht geeignete Formulierungen, die beispiels-

weise verseifen oder erweichen, können auf diesem Wege zu Schäden führen. Neuere Untersuchungen zur Blasenbildung [6] zeigen, dass sich feuchte Untergründe nicht negativ auswirken müssen. In der Praxis hat sich der Wert kleiner vier Prozent bewährt.

Luftfeuchtigkeit

Die vorhandene Luftfeuchtigkeit kann zusammen mit dem Kohlendioxidanteil der Luft und den reaktiven Aminen in der ersten Phase der Aushärtung auf der Oberfläche Carbamate bilden. Die Neigung zur Carbamatbildung ist produktspezifisch und mit der Temperatur korreliert. In der Regel werden als Obergrenze für die Luftfeuchtigkeit Werte von 80 Prozent rF angegeben.

Fazit

Epoxydharzsysteme sind wegen ihrer Oberflächenqualität, ihrer chemischen Beständigkeit gegenüber Reinigungsmitteln und allen Trinkwasserqualitäten sowie ihrer technischen Eigenschaften gut geeignete Auskleidungsmaterialien im Trinkwasserbereich. Bei der Formulierung und der Verarbeitung dieser Systeme müssen die anerkannten Regeln der Technik und einige

grundlegende Prinzipien eingehalten werden, um den Anforderungen, die sich aus der UBA-Leitlinie und den Besonderheiten des mineralischen Untergrundes ergeben, zu genügen.

Die verarbeitungstechnischen Abweichungen der Epoxydharzmaterialien von den üblichen Malerprodukten und die Besonderheiten der Behälterbeschichtung erfordern eine auf das entsprechende System trainierte und für die Belange der Qualitätssicherung und Trinkwasserhygiene sensibilisierte Verarbeitermannschaft.

Literatur:

- [1] Epoxidharzleitlinie, Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von Epoxidharzbeschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser, veröffentlicht: Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 2003 46:1797-817, letzte Änderung: 24.05.2007.
- [2] Beschichtungsleitlinie, Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Beschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser, veröffentlicht: Internetseite des Umweltbundesamtes (wird demnächst veröffentlicht in: Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz), letzte Änderung: 25.05.2007.
- [3] Günter, M.: Beanspruchung und Beanspruchbarkeit des Verbundes zwischen Polymerbeschichtungen und Beton, Schriftenreihe des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie; Prof. Dr.-Ing. E. h.

Dr. techn. h.c. J. Eibl, Prof. Dr.-Ing. H.S. Müller Massivbau Baustofftechnologie Karlsruhe, Heft 32.

- [4] Raddatz, J.; Stenner, R.: Blasenbildung unter Reaktionsharzbeschichtungen, Technische Akademie Esslingen, Internationales Kolloquium 1999, in: Industrieböden '99 Bd 1, S. 545-556.
- [5] Wolff, L.; Raupach, M.; Hailu, K.: Mechanismen der Blasenbildung bei Reaktionsharzbeschichtungen auf Beton – Ergebnisse eines DFG-Forschungsvorhabens, Technische Akademie Esslingen, 2007, in: Industrieböden '07, Internationales Kolloquium, Ostfildern, 16.-18. Januar 2007, (Seidler, P. (Ed.)), S. 35-46.
- [6] Mühlenbrock, P.; Riviere, J.; Schubert H.: Osmosis Resistant Epoxy Primer, Technische Akademie Esslingen, 2007, in: Industrieböden '07, Internationales Kolloquium, Ostfildern, 16.-18. Januar 2007, (Seidler, P. (Ed.)), S. 261-268.
- [7] Wolff, L.: Aktuelle Forschungsergebnisse zur „osmotischen Blasenbildung“ von Epoxidharzgrundierungen auf Beton, 35. Baustofftag Aachen, Vortrag.

Autor:

Dr. Ludger Boonk
Vorrink Stahl- und Betonschutz GmbH & Co. KG
Marschallstr. 6
48599 Gronau
Tel.: 02562 7007-32
Fax: 02562 7007-88
E-Mail: boonk@vorrink.de
Internet: www.vorrink.de

1/2 Anzeige