

# EPOXIDHARZ IN WASSERLEITUNGEN

## BEWERTUNG POTENZIELLER BPA-EMISSIONEN



Die Untersuchung der potenziellen Bisphenol A (BPA)-Emissionen durch die Herstellung, den Einsatz und die Entfernung von Epoxidharzen in Wasserleitungen wurde von der Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen (BIPRO) im Auftrag des Epoxy Resin Committee (ERC) durchgeführt. Diese ist Teil einer Reihe, bei der fünf Hauptanwendungsbereiche von Epoxidharzen in Europa analysiert werden. Um weitere Informationen zu erhalten, senden Sie eine E-Mail an [info@epoxy-europe.eu](mailto:info@epoxy-europe.eu).

## ANWENDUNGSBEREICHE UND TRENDS

Seit etwa 1990 wurden in Europa rund 80 000 Tonnen BPA-haltiges Epoxidharz für Beschichtungen von Wasserleitungen eingesetzt.<sup>1</sup> Rund 60 000 Tonnen davon wurden auf unterirdische Leitungen aufgebracht, während die restlichen 20 000 Tonnen auf Hausinstallationen entfallen.<sup>2</sup>

Epoxidharzbeschichtungen werden dank ihres geringeren Marktpreises und geringer Personalanforderungen bei der Sanierung von Wasserleitungen bevorzugt. Dadurch kann der vollständige Austausch beschädigter Rohrleitungen vermieden werden. Neue Rohre können in ihrer ursprünglichen Auslegung für besondere Einsatzzwecke wie Entsorgungsleitungen ebenfalls mit Epoxidharz beschichtet werden.



## HERSTELLUNG (FLÜSSIGE UND FESTE EPOXIDHARZE)

Etwa 85 % der weltweit produzierten Epoxidharze – einschließlich der zur Beschichtung von Wasserleitungen eingesetzten Epoxidharze – entstehen durch die chemische Verbindung von BPA mit Epichlorohydrin (ECH). Sie werden als Zwischenprodukte im ersten Reaktionsschritt zur Erzeugung von Epoxidharzen verwendet. Die Monomer-Grundeinheit von Epoxidharz wird [BADGE](#) oder DGEBA genannt und ihre Eigenschaften (z. B. Viskosität, Schmelzpunkt, Löslichkeit usw.) hängen von dem BPA-ECH-Verhältnis ab. In Wasserleitungen verwendete Epoxidharze sind flüssige Epoxidharze, die aus der Verbindung von 45 % BPA und 55 % ECH erzeugt werden.

**BPA-Bewertung:** In einer Branchenuntersuchung des ERC wurden in derzeit produzierten BADGE-Einheiten geringe Mengen an unreaktiertem BPA festgestellt (<1 ppm). Da die wissenschaftliche Forschung zeigt, dass

<sup>1</sup> Bei der Analyse wurden zwei unterschiedliche Schätzungen berücksichtigt. Bei der ersten stand der Einsatz von Epoxidharz in alten (beschädigten oder nicht ordnungsgemäß funktionierenden) und neuen Rohren im Fokus. Brancheninformationen zufolge werden in Europa jährlich rund 4000 Tonnen ausgehärtetes Epoxidharz zur Innenbeschichtung gebrochener Wasserleitungsrohre verwendet; 2667 Tonnen davon bestehen aus BPA-haltigem Epoxidharz (nach Abzug von Härtern und Additiven). Weitere 206 Tonnen werden zur Direktbeschichtung eingesetzt, was zu einer Gesamtmenge von 2873 Tonnen führt. Da die Rohrleitungssanierung seit etwa 1990 mit Epoxidharz durchgeführt wird, dürfte die zu Sanierungszwecken eingesetzte Gesamttonnage 69 000 betragen. Diese Zahl umfasst nicht jenes Epoxidharz das in Rohren zu Spezialtanks, wie Abwasser mit Fettanteil und Hausinstallationen, verwendet wurde; hier dürfte der Anteil sehr gering sein.

Bei der zweiten Schätzung wurde der Standort der mit Epoxidharz beschichteten Rohre berücksichtigt, der wiederum ihren Durchmesser (1-3 cm bei Hausinstallationen und 1-1,5 m bei Erdverlegung) und die anderen im Rohr verwendeten Materialien beeinflusst. In diesem Fall wurde geschätzt, dass derzeit in unterirdischen Rohrleitungen in Europa 53 000 Tonnen Epoxidharz enthalten sind. 17 700 Tonnen würde die Gesamtmenge an derzeit in Hausinstallationen verwendetem Epoxidharz betragen (rund 739 Tonnen jährlich). Die Zahl der von vornherein mit Epoxidharz beschichteten Rohre war unbekannt, wenngleich die Hersteller erneut bestätigten, dass diese nur in speziellen Abwasseranwendungen eingesetzt würden.

Insgesamt ergab die Analyse, dass in Europa zwischen 70 000 und 80 000 Tonnen Epoxidharz zur Beschichtung von Rohrleitungen verbraucht werden.

<sup>2</sup> Die Schätzung wurde von einem Epoxidharzhersteller als realistisch eingestuft. Der Prozentsatz für in Hausinstallationen verbaute Rohre wurde auf 25 % geschätzt.

BADGE eine Höchstmenge von 10 ppm BPA enthalten kann, wurde letzterer Wert verwendet, um ein Worstcase Szenario darzustellen. Angesichts der geschätzten 80 000 Tonnen BADGE-haltiger flüssiger Epoxidharze in europäischen Wasserleitungen würde die maximale Gesamtmenge an unreaktiertem BPA 2873 Tonnen entsprechen (was einer jährlichen Verwendung von 29 Kilogramm an unreaktiertem BPA entspricht).

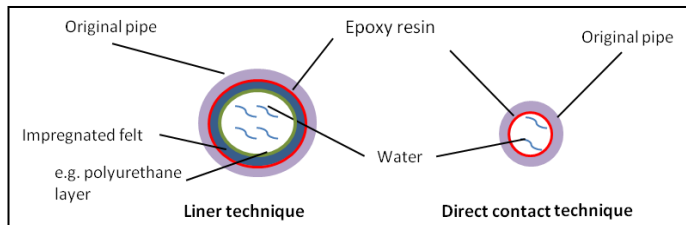
Zusätzliches BPA kann freigesetzt werden, wenn Rückstände und überschüssige Mengen an BADGE während der Herstellung der flüssigen Epoxidharze gewaschen werden. Es ist davon auszugehen, dass in Wasser gelöstes BPA über die Abwasserbehandlung in der Produktionsstätte und Abwasserleitungen entsorgt wird. ERC-Mitglieder teilten mit, dass in den letzten zehn Jahren zwischen 5 und 19 Gramm BPA pro produzierter Tonne Epoxidharz durch die vor Ort erfolgende Abwasserbehandlung freigesetzt worden seien, wobei die effektive BPA-Abbaurate zwischen 80 % und 90 % betragen habe. Unter Annahme des Worst-Case-Szenarios (höchste BPA-Menge und niedrigste Abbaurate) wurde geschätzt, dass pro Jahr 304 Kilogramm BPA (bzw. 11 Kilogramm jährlich) die Kläranlage verlassen und in Gewässer gelangen würden, wo sie möglicherweise durch Bakterien oder andere biologische Mittel zersetzt oder durch UV-Licht abgebaut würden.

In der Produktion von BADGE verwendete Behälter werden mit Lösungsmitteln gereinigt, die dann als Sondermüll behandelt, d. h. thermisch zersetzt, werden.

## ANWENDUNGSSTADIUM

Epoxidharzbeschichtungen können unter Einsatz von zwei verschiedenen Techniken aufgebracht werden:

- **Liner-Technik:** Ein neues Rohr aus Filz (mit einer Polyurethanschicht im Inneren des Rohres) wird über dem beschädigten Teil oder Abschnitt des Rohres plaziert. Das Filzrohr ist mit dem Epoxidharz getränkt und wird mittels Druckluft an den beschädigten Abschnitt der Rohrleitung angepresst. Vor



Ort erfolgt der Einbau des Filzes durch Umstülpen, d. h., das Epoxidharz wird zwischen dem neuen und dem alten Rohr aufgebracht. Die Epoxidbeschichtung dient als Bindemittel, d. h., es kommt während des Lebenszyklus nicht in direkten Kontakt mit Wasser.

- **Direktbeschichtung:** Eine neue Schicht wird in dem beschädigten Rohr aufgebracht. Letzteres wird getrocknet und gereinigt und anschließend mit Epoxidharz besprüht. Danach kann das reparierte Rohr seine ursprüngliche Funktion wieder erfüllen. Die Technik kann nur bei Wasserleitungen in Hausinstallationen Anwendung finden, da sie anders als die Liner-Technik nicht für zusätzliche Stabilität sorgt. Die Epoxidbeschichtung dient als Versiegelungsmittel, indem sie eine neue Schicht über dem beschädigten Rohr erzeugt.

**BPA-Bewertung:** Die Größe eines potenziellen BPA Verlustes hängt von der gewählten Technik des Auftrags ab. Im Hinblick auf die Direktkontakttechnik stellte ein deutsches Rohrreparaturunternehmen fest, dass die BPA-Mengen in Trinkwasserleitungen nach Anwendung der Liner-Technik zwischen 0,01 und 0,05 mg/l lagen (gemäß nationalen und internationalen Normen ein akzeptables Niveau, siehe nächster Abschnitt „Lebenszyklus“).

Mit dem Liner-Verfahren werden BPA-Freisetzungen in der Regel minimiert, wenn das vom Hersteller im Bedienungshandbuch angegebene Verhältnis von flüssigem Epoxidharz zu Härter genau befolgt wird. Wenn die Installation ordnungsgemäß durchgeführt wird, ist also keine BPA-Freisetzung ins Wasser zu erwarten, da es zu keinem direkten Kontakt zwischen dem Epoxidharz und dem Wasser kommt.

Über Austreten von BPA während der Herstellung von Rohren, die von Produktionsseite her bereits mit Epoxidharz beschichtet sind, liegen keine Informationen vor.

Schließlich wird die aus dem Beschichtungsprozess resultierende Abfallmenge auf etwa 1 % der gesamten verwendeten Beschichtung mit Epoxidharz geschätzt. Daher würde ein in diesem Stadium des Lebenszyklus verwendeter 1-kg-Eimer einen Harzrest von 10 Gramm aufweisen. Eimer werden thermisch recycelt; darum würde kein weiteres BPA freigesetzt. Bei anderen Restmengen (z. B. Werkzeuge, die zu Reinigungszwecken mit Wasser gewaschen werden) ist keine Quantifizierung möglich.

## LEBENSZYKLUS

Rohre, bei denen das Epoxidharz durch Direktbeschichtung aufgebracht wird, sind während des Lebenszyklus häufig verschiedenen Flüssigkeiten (Säuren, Basen, Salze, Keime) bei verschiedenen Temperaturen ausgesetzt. Mit der Liner-Technik beschichtete Rohre werden hier nicht berücksichtigt, da das Epoxidharz hier keinen direkten Kontakt mit Wasser hat.

**BPA-Bewertung:** Es ist nur eine geringe Hydrolyse oder Thermolyse des gehärteten Epoxidharzes zu erwarten, insbesondere wenn die Temperaturen in Wasserleitungen auf deutlich unter 100 °C geschätzt werden (die thermische Stabilität von Epoxidharzen wird auf mindestens 100 °C und in einigen Fällen auf bis zu 200 °C geschätzt). Die physikalische Alterung des gehärteten Harzes ist ein wahrscheinlicheres Szenario und kann abnehmende Permeabilität, Enthalpie und Entropie, eine Erhöhung der Relaxationszeit usw. beinhalten. Epoxidharze können Wasser aufnehmen und ein Aufquellen des Harzes verursachen. Derzeit liegen keine Daten über den Zusammenhang zwischen den BPA-Mengen und physikalischer Alterung oder Wasserdiffusion im ausgehärteten Harz vor.

Zahlreichen Studien zufolge wurde Bisphenol A im Trinkwasser nachgewiesen. Es ist unklar, ob aus den mit Epoxidharz beschichteten Rohren herausgespültes BPA die Ursache hierfür ist. Es sollte jedoch darauf hingewiesen werden, dass der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und der US Food and Drug Administration zufolge der derzeitige Einsatz von BPA kein Gesundheitsrisiko darstellt (Details hierzu).

Die vorhandene Literatur über nachweisbare BPA-Mengen in Leitungswasser weist unterschiedliche Ergebnisse auf (darunter das Internationale Forschungszentrum für Wasser und Umwelt, die schwedische Agentur für chemische Stoffe und die britische Trinkwasseraufsicht). Die Erklärung für diese Unterschiede hat größtenteils mit der chemischen Zusammensetzung der Zusatzstoffe in flüssigen Epoxidharzen zu tun. Sowohl der deutsche Rohrleitungssanierungsverband als auch das ERC (PlasticsEurope) vertreten die Ansicht, dass spezielle Zulassungen eingeführt werden sollten (z. B. regelmäßige Prüfung potenziell gefährlicher Verbindungen in zur Sanierung von Wasserleitungen verwendeten ursprünglichen Epoxidharzformulierungen). Es ist darauf hinzuweisen, dass die in Oberflächengewässern und im Grundwasser festgestellten Höchstmengen an BPA (jeweils 2,97 µg/l bzw. 2,3 µg/l) deutlich unter dem Grenzwert der Positivliste für Trinkwasser von 30 µg/l liegen, der vom deutschen Umweltbundesamt festgelegt wurde.

Außerdem ist zu beachten, dass die Aufnahme über das Trinkwasser weniger als 3 % der Gesamtaufnahme von BPA ausmacht. Die deutsche Bundesregierung hat erklärt, dass die BPA-Mengen im Trinkwasser im Vergleich zu anderen bekannten Emissionspfaden zu vernachlässigen seien. Die Trinkwassergrenzwerte für BPA sind weltweit weiterhin unterschiedlich (100 ng/l wurde von den französischen Gesundheitsbehörden festgelegt; in Japan beträgt der vorläufige Grenzwert in Trinkwasser 100 µg).

## ENDE DES LEBENSZYKLUS

Unter Berücksichtigung der oben genannten Menge an Epoxidharzen und unter Annahme eines Worst-Case-Szenarios (10 ppm als maximale Restmenge an unreaktiertem BPA) beträgt die berechnete potenzielle Menge an BPA-Rückständen aktuell 200 Kilogramm für überirdische Leitungen und 600 Kilogramm für unterirdische Leitungen in Europa. Sie werden für diese Phase der Lebenszyklusanalyse vollständig berücksichtigt, da während der Lebensdauer (unter der Annahme, dass die Installation korrekt und nach den Anweisungen des Herstellers erfolgt) keine Verluste zu erwarten sind. Die Gesamttonnage des Epoxidharzes in Wasserleitungen wird zu unterschiedlichen Zeiten ins Abfallstadium eintreten, da die Installation in den vergangenen 24 Jahren nicht gleichzeitig erfolgt ist.

**BPA-Bewertung:** Entsorgte Epoxidharzleitungen würden gemäß den bestehenden europäischen Rechtsvorschriften als Bau- und Abrisschutt eingestuft. Der Anteil der Kunststoffe an dieser Art von Abfällen beträgt allerdings insgesamt nur zwischen 0,1 bis 2 % für alle Arten (einschließlich Epoxidharze). Da Epoxidharze Duroplastische Kunststoffe und somit schwierig zu recyceln sind, werden sie nicht einzeln wiederverwertet.

Die übrigen Erwägungen hinsichtlich der Entsorgung von Epoxidharzen hängen von anderen Rohrleitungskomponenten ab. In der Tat kann Epoxidharz thermisch zersetzt werden, wenn es mit anderen in den Leitungen verbauten Materialien, wie Metalle (Stahl, Kupfer) oder Beton, verbunden wird. Diese Stoffe schmelzen während des Recyclingprozesses und ihre Schmelzpunkte sind deutlich höher als der von

Epoxidharz. Die Recyclingquoten für diese Art von Abfall sind in Europa sehr unterschiedlich, wobei das Spektrum von 5 % bis zu 40 % reicht. Es ist daher schwierig, eine aussagekräftige Schätzung für Epoxidharz abzuleiten.

Die Metallrecyclingquoten von Bauschutt bewegen sich zwischen 0,2 bis 4 %, was keine bedeutende Menge ist. Allgemeiner Metallabfall (nicht nur Bauschutt) weist sehr viel höhere Recyclingquoten auf (etwa 99 %). In den Schätzungen sind Hausleitungen aus Metall berücksichtigt, die wiederverwertet würden. Dabei würden aus allen installierten Rohrleitungen bis zu 196 Kilogramm BPA zersetzt. Weitere 6 Kilogramm BPA würden durch das Recycling von Metalleimern zerstört. Betonrecycling beinhaltet nicht notwendigerweise eine Hitzebehandlung. Nach dem Zerkleinern, Sortieren und Entfernen von Metallen wird das Granulat als Füllmaterial, Schotterersatz, Unterbau, zur Herstellung von neuem Beton oder als Oberflächenmaterial in Straßenbelägen verwendet. Letzterer ist der hauptsächliche Verwendungszweck von recyceltem Beton und beinhaltet keine thermische Behandlung. Es ist daher nicht klar, ob mit Epoxidharz beschichteter Beton überhaupt als wiederverwertbar eingestuft würde. Folglich liegen keine Daten vor, die zur Schätzung einer potenziellen Recyclingquote herangezogen werden könnten.

Eine große Zahl an Rohrleitungen wird potenziell in der Erde belassen und ihre Entsorgung wird nicht kontrolliert. Dennoch wird davon ausgegangen, dass in diesem Stadium keine Flüssigkeit durch diese Rohre laufen würde. Somit wäre die BPA-Freisetzung minimal (wenngleich eine Belastung durch Flüssigkeit oder Hitze nicht völlig ausgeschlossen werden kann).

Ausrangierte Rohre in Deponien (ohne Abdeckung) sind Witterungsbedingungen wie Sonneneinstrahlung, Ozon und Temperaturschwankungen, Feuchtigkeit und Photooxidation ausgesetzt. Sollte die Epoxidharz-Polymermatrix brechen und BPA freigesetzt werden, wird es mit großer Wahrscheinlichkeit vom Sonnenlicht abgebaut oder sich in den Deponien ansammeln. Werden die Rohre am Grund der Deponien gelagert, kann BPA in städtische Kläranlagen und von dort aus in Gewässer gelangen (und würde somit weiter zersetzt). Eine Worst-Case-Annahme wäre ein potenzielles Austreten der Gesamtmenge von 600 Kilogramm BPA aus unterirdischen Rohren, es lässt sich aber nicht vorhersagen, wie viel von diesem Restkontingent als mineralischer Abfall behandelt und verbrannt würde.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Schätzungsweise 80 000 Tonnen Epoxidharz sind derzeit in Beschichtungen von Wasserleitungen in Europa enthalten (es werden etwa 2873 Tonnen jährlich aufgebracht). Die größte Freisetzung von BPA dürfte während der Herstellung und über das Abwasser erfolgen, wobei eine Höchstmenge von 304 Kilogramm erzeugt werden dürfte. Eine Schätzung von Verlusten, die während der Lebensdauer durch nicht sachgemäße Installation oder Wartung entstehen, ist nicht möglich. Mit großer Wahrscheinlichkeit sind diese Verluste vernachlässigbar und keine wichtige Quelle des potenziellen Kontaktes von Menschen mit BPA. Schätzungen zufolge sind in überirdischen und unterirdischen Rohrleitungen jeweils 200 Kilogramm und 600 Kilogramm potenziell unreaktiertes BPA vorhanden. Ein Teil dieser Menge wird voraussichtlich thermisch zersetzt, während der Rest als Restmüll enden dürfte. Eine Quantifizierung von in diesem Stadium potenziell freigesetztem BPA ist nicht möglich.

### Wasserleitungen

Gesamtverbrauch an Epoxidharzen	Gesamtmenge an in die Umwelt freigesetztem BPA				
	Herstellung	Anwendung	Lebenszyklus	Abfall	Gesamt
80 000 t	max. 304 kg	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar	> 304 kg

Jahresverbrauch an Epoxidharzen (2014)	Menge an in die Umwelt freigesetztem BPA pro Jahr				
	Herstellung	Anwendung	Lebenszyklus	Abfall	Gesamt

2873 t

max. 11 kg

nicht bestimmbar

nicht bestimmbar

nicht bestimmbar

> 11 kg

### ANHANG: Lebenszyklusstadien und die jeweilige Menge an freigesetztem BPA für Wasserleitungen

