

EPOXIDHARZE IN BESCHICHTUNGEN FÜR DEN SCHIFFSBAU

BEWERTUNG POTENZIELLER BPA-EMISSIONEN



Die Untersuchung der potenziellen Bisphenol A (BPA)-Emissionen durch die Herstellung, den Einsatz und die Entsorgung von Epoxidharzen für Beschichtungen im Schiffsbau 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 oder besuchen Sie die Website www.epoxy-europe.eu.

ANWENDUNGSBEREICHE UND TRENDS

Etwa 51 000 Tonnen BPA-haltiges Epoxidharz werden pro Jahr im europäischen Schiffsbau eingesetzt.¹ Für jedes in der EU gebaute neue Schiff werden durchschnittlich schätzungsweise rund 24 Tonnen BPA-haltiges Epoxidharz verbraucht.²

Epoxidbeschichtungen machen den Löwenanteil der im Schiffsbau verwendeten Beschichtungsstoffe aus. Sie werden seit den 1950er Jahren eingesetzt und heute beim Schiffsbau sowie bei der Wartung und Reparatur zahlreicher Schiffskomponenten, wie Unterwasserrümpfe, Ballasttanks, Ladetanks oder Laderäume, Decks, Oberseiten und Deckaufbauten usw., verwendet. Sie bieten einen hervorragenden Korrosionsschutz, sind äusserst langlebig und können problemlos überlackiert werden.

Epoxidharze finden als Grundierung, Haftvermittler und Decklack (als Bewuchsschutz, für dekorative Zwecke und in einigen Fällen als UV-Korrosionsschutz) Verwendung.

Schiffsteil	Definition	Epoxidhaltige Beschichtungen
Unterwasserrumpf	Der Körper des Schiffes, der ihm die Schwimmfähigkeit verleiht.	
Ballasttanks	Die Kammer, die das Wasser enthält, mit dem das Schiff stabilisiert wird.	
Ladetanks	Der Primärbehälter für die Flüssiglading des Schiffes.	
Laderäume	Der Primärbehälter für die Trockenfracht des Schiffes (in Containern, Säcken oder als lose Fracht).	
Decks	Die horizontale Abdeckung eines	

¹ Den verfügbaren Daten zufolge wurde im Jahr 2014 in Europa, dem Nahen Osten und Afrika eine Menge von 97 Millionen Litern epoxidhaltige Beschichtungen für den Schiffsbau verkauft; 84 % davon wurden allein in Europa verkauft (etwa 81 Millionen Liter). Bis zu 88 % dieser Menge an Epoxidharzprodukten (etwa 71 Millionen Liter) würde auf BPA basieren. Von dieser Menge würden max. 45 % (32 Millionen Liter) aus Epoxidharz selbst bestehen (der Rest sind Lösungsmittel, Pigmente, Additive usw.), was 51 000 Tonnen BPA-haltigem Epoxidharz entspricht (36 000 Tonnen halbfestes Epoxidharz und 15 000 Tonnen flüssiges Epoxidharz). Weiteren Schätzungen zufolge wurden in Europa gleichzeitig max. etwa 2,8 Millionen Tonnen Epoxidharzbeschichtungen für den Schiffsbau verwendet (was max. 135 800 Kilogramm Rest-BPA entspricht).

² Eine grobe Schätzung berücksichtigte 377 im Jahr 2013 in Europa gebaute Schiffe und ging von der Annahme aus, dass zur Beschichtung jedes Schiffes 250 000 Liter benötigt werden (was etwa 20 200 Tonnen Epoxidharz entspricht).

Schiffsrumpfs. Sorgt für die strukturelle Festigkeit des Schiffes und bietet Raum für Menschen und Ausrüstung.

Oberseiten und Deckaufbauten Besatzungsunterkünfte und feste Aufbauten über dem Oberdeck.

HERSTELLUNG (FLÜSSIGE UND FESTE EPOXIDHARZE)

Etwa 85 % der weltweit produzierten Epoxidharze – einschließlich der für Beschichtungen im Schiffsbau verwendeten Epoxidharze – entstehen durch die chemische Verbindung von BPA mit Epichlorohydrin (ECH). Flüssiges Epoxidharz wird normalerweise durch eine chemische Verbindung von 45 % BPA und 55 % ECH hergestellt; halbfestes Epoxidharz entsteht durch die Reaktion von 61 % BPA mit 39 % ECH. Um eine Beschichtung herzustellen, wird das Epoxidharz mit zusätzlichen Pigmenten, Füllstoffen und/oder Lösungsmitteln gemischt. Im Schiffsbau werden halbfeste Epoxidharze bei 70 % der Schiffe (36 000 Tonnen) eingesetzt, während flüssige Epoxidharze bei den restlichen 30 % (15 000 Tonnen) Verwendung finden.

Bei der BIPRO-Analyse wurden Restgehalte von jeweils 10 und 65 ppm unreaktiertes BPA für flüssiges bzw. halbfestes Epoxidharz berücksichtigt. Unter Berücksichtigung der Menge an Epoxidharzen, die jährlich in Europa in Anwendungen für den Schiffsbau verwendet wird, und unter Annahme des Worst-Case-Szenarios ergeben die Berechnungen der Analyse, dass im Jahr 2014 in Europa eine Höchstmenge von 2500 Kilogramm Rest-BPA aus Beschichtungen für den Schiffsbau festzustellen gewesen wäre (150 Kilogramm bei flüssigen Epoxidharzen; 2340 Kilogramm bei halbfesten Epoxidharzen).

BPA-Bewertung:

Nach der Reaktion zur Erzeugung von Epoxidharz wird es mit Wasser gewaschen. Es ist davon auszugehen, dass Restmengen, die während dieses Waschprozesses gelöst werden, über die Abwasserbehandlungsanlage in der Produktionsstätte entsorgt werden. ERC-Mitglieder teilten mit, dass in den letzten zehn Jahren zwischen 5 und 19 Gramm BPA pro produzierte Tonne Epoxidharz durch die vor Ort erfolgende Abwasserbehandlung freigesetzt worden seien, wobei die effektive BPA-Abbauraten zwischen 80 % und 90 % liegt. Unter Annahme des Worst-Case-Szenarios (höchste BPA-Menge und niedrigste Abbauraten, auch unter Berücksichtigung der weiteren Behandlung durch die städtische Kläranlage) wurde geschätzt, dass pro Jahr 776 Kilogramm BPA abgebaut werden, während 194 Kilogramm die Kläranlage verlassen und in Gewässer gelangen, wo sie möglicherweise durch Bakterien oder andere biologische Faktoren zersetzt oder durch UV-Licht abgebaut werden.

Bei der Herstellung von Epoxidharz verwendete Behälter werden mit Lösungsmitteln gereinigt und dieses gemäß den erhaltenen Brancheninformationen als Restmüll behandelt. Kleine Mengen an BPA setzen sich als Schlamm ab und werden einer thermischen Zersetzung durch Verbrennen unterzogen.

ANWENDUNGSSTADIUM

BPA-haltiges Epoxidharz wird in Beschichtungen für den Schiffsbau universell als Grundierung eingesetzt. Für alle zu beschichtenden Schiffsteile sind gemäß dem Beschichtungsprotokoll eine Reihe strenger Standardverfahren einzuhalten, wie z. B. Reinigung der zu beschichtenden Stahlstruktur; Aushärtung des Epoxidharzes mit einem Polyaminhärter (zur Erhöhung der mechanischen Belastbarkeit und der Chemikalien- und die Hitzebeständigkeit); Aufbringen der Beschichtung durch Sprühen oder Pinsel; Trocknung jeder Deckschicht vor Anbringung der nächsten Schicht. Im Detail:



- Schiffsbau: Die Grundierung ist im Wesentlichen eine Zweikomponenten-Epoxidharz-Beschichtung zum Schutz des Stahls vor Korrosion und Verschmutzung. Die BPA-Freisetzung ist sehr gering oder gar nicht vorhanden, da dieser Vorgang an Land durchgeführt wird und das funktionale Beschichtungssystem kurz nach der Montage des Schiffes über der Grundierung aufgebracht wird. Die Freisetzung von BPA durch

mehrere Schichten Schiffslack hindurch ist aufgrund der Dicke der Beschichtung und häufiger Wartungsmaßnahmen unwahrscheinlich.

- Unterwasserrumpf: Beschichtungen werden als Schutz gegen Korrosion, Bewuchs, Abnutzung und andere Widrigkeiten aufgebracht. Wird die Wartung ordnungsgemäß durchgeführt, ist eine minimale Freisetzung zu erwarten. Als „Eisklasse“ klassifizierte Schiffe sind für die Fahrt in Polareisgewässern extra mit einer speziellen verstärkten BPA-Epoxidharz-Deckschicht versehen. Allerdings befahren im Laufe eines Jahres nur eine Handvoll Schiffe eisige Gewässer, weshalb die BPA-Freisetzung vernachlässigbar ist.
- Ballasttanks: Dieser Teil ist in sehr hohem Maße Korrosion durch Meerwasser ausgesetzt und deshalb in der Regel mit zwei Schichten Epoxidharz versehen, um die Korrosionsbeständigkeit zu erhöhen. Die erwartete Lebensdauer beträgt 15 Jahre, wobei auf der gesamten beschichteten Fläche wahrscheinlich höchstens 3 % Rost auftritt. Unter Berücksichtigung der häufigen Erneuerung der Beschichtung ist die potenzielle BPA-Freisetzung minimal.
- Ladetanks und Laderäume: Diese verfügen vor allem über Beschichtungen zum Schutz gegen Korrosion, aber auch gegen Stoffe, die während des Transports freigesetzt werden können (insbesondere jene, die zur Korrosion von Stahl führen). Außerdem müssen sie die im Tank befindlichen Güter schützen. In den meisten Fällen sind diese Tanks mit einer Schicht Epoxidharzgrundierung und zwei Schichten anderer Lacke versehen. Seit 2013 benötigen internationale Frachten eine Zulassungsbescheinigung und werden einer regelmäßigen Wartung unterzogen. Kontrolldaten über die BPA-Freisetzung während der Lebensdauer liegen nicht vor.
- Oberseiten und Deckaufbauten: Hierbei handelt es sich um diejenigen Teile, die am stärksten dem Sonnenlicht und UV-Strahlung, aber auch anderen Witterungsbedingungen ausgesetzt sind. Sie sind in der Regel nicht mit Epoxidharz beschichtet, wenngleich Letzteres zuweilen als Korrosionsschutz aufgebracht wird. Es ist eine geringe BPA-Freisetzung zu erwarten (Epoxidharz wird meistens als Grundierung und Haftvermittler eingesetzt).

BPA-Bewertung: Lackverlust während des Auftrags ist unvermeidlich. Der Lack kann während des Auftrags auf die zu beschichtenden Flächen von Pinseln oder Farbwalzen tropfen oder während des Sprühvorgangs weggeblasen werden. Bis zu 20 % des Lackes könnten verloren gehen, was pro Jahr konkret 5100 Tonnen Lack auf Epoxidbasis während der Aufbringung und weiteren 5100 Tonnen als Lackabfall in Europa entspricht. Letzterer würde als Sondermüll eingestuft und der Verbrennung zugeführt werden, was zum Abbau von 247 Kilogramm Rest-BPA führen würde. Während der Aufbringung verschüttetes Epoxidharz würde womöglich mit Wasser gewegewaschen. Unter der Annahme derselben Leistungsdaten der städtischen Abwasserentsorgung wie bei der Herstellung von Epoxidharz würden durch die Abwasserbehandlung 151 Kilogramm Rest-BPA entfernt und maximal 96 Kilogramm Rest-BPA würden in die Umwelt freigesetzt werden.

LEBENSDAUER

Hochseeschiffe könnten verschiedenen Witterungsbedingungen wie Meerwasser, mechanische Belastung, UV-Strahlung, Temperaturschwankungen usw. ausgesetzt sein:

BPA-Bewertung: Schätzungen von Verlusten in diesem Stadium weisen zahlreiche Unsicherheiten auf.

- Salzwasser: Alle Teile des Schiffes können mit Salzwasser in Berührung kommen, was zu Hydrolyse und Wasseraufnahme führen könnte. Die Freisetzung von BPA aus ausgehärtetem Epoxidharz ist vernachlässigbar, insbesondere bei den sehr niedrigen Temperaturen, denen Schiffe ausgesetzt sind. Wasser kann durch Epoxidharzbeschichtungen hindurchdringen oder von ihnen absorbiert werden, was zu einem Aufquellen des Harzes führt. Entsprechende Daten liegen nicht vor, jedoch ist nur eine geringe Freisetzung von BPA zu erwarten, insbesondere bei ordnungsgemäßer Wartung.
- Mechanische Belastung: Rümpfe, Decks und Laderäume sind drei Bereiche, die hohen Belastungen ausgesetzt sind – ein entscheidender Faktor für die Zersetzung von Beschichtungen für den Schiffsbau (Flächen können sich bei hohen Temperaturen verformen). Die Wahrscheinlichkeit, dass die Epoxidharzbeschichtung in solch einem Fall zerstört wird, hängt in erster Linie von der Trockenfilmdicke (TFD) der Beschichtung ab, die in der Regel zwischen 250 und 500 µm beträgt. Zuverlässige Daten liegen

nicht vor, obgleich mehrere Lieferanten von Beschichtungen eine Beständigkeit der Beschichtungen von 5 bis 15 Jahren angaben, was in Verbindung mit regelmäßigen Wartungen eine geringe BPA-Freisetzung wahrscheinlich macht.

- **Sonneneinstrahlung:** Deckschichten auf Epoxidbasis auf Decks können durch UV-Strahlung zerstört werden – ein Prozess, der durch Feuchtigkeit von außen (z. B. Salzwasser) noch verstärkt werden kann. Es ist nicht möglich, eine genaue Menge an freigesetztem BPA anzugeben, da nicht bekannt ist, wie viele Decks in Europa mit Epoxidharz beschichtet werden. Dennoch bleibt dies die wahrscheinlichste Quelle für die Freisetzung von BPA in diesem Lebenszyklus-Stadium.
- **Temperaturänderungen:** Ausgehärtete Epoxidharze bleiben bis zu einer Temperatur von 200 °C stabil. Daher ist eine BPA-Freisetzung durch Thermolyse sehr unwahrscheinlich. Die regelmäßige Erneuerung der Beschichtung im Rahmen der Wartung macht dies noch unwahrscheinlicher.
 - **Wartung und Reparatur des Schiffes:** Der Wartungszustand der Schiffe wird von spezialisierten Abnahme-gesellschaften (z.B.. Lloyd's Register, Det Norske Veritas, etc.) überprüft, die regelmäßige Untersuchungen durchführen (in der Regel alle fünf Jahre). Diese umfassen oftmals Sichtprüfungen und Dickenmessungen. Je nach Schiffstyp und Abnahme-gesellschaft würde der Zustand der Beschichtung bei einem Rückgang der Trockenfilmdicke um 20 bis 30 % als mangelhaft eingestuft. Es lässt sich nicht feststellen, wie viele Schiffe aufgrund zerstörter BPA-haltiger Epoxidharzbeschichtungen Reparaturen unterzogen werden, wenngleich während der Lebensdauer langlebiger Beschichtungen (5-15 Jahre) regelmäßige Wartungen zu erwarten sind.

ENDE DES LEBENSZYKLUS

Im Jahr 2013 wurden 350 europäische Schiffe zur Demontage vorgesehen. Nur 18 von ihnen (5 %) wurden in Europa demontiert (vor allem in Dänemark), während der Rest nach Asien verbracht wurde. Die konkreten Entsorgungsbedingungen in Asien sind nicht bekannt, sie sollen jedoch nicht so streng sein wie in der EU, wodurch das Risiko der Freisetzung einer Höchstmenge an Rest-BPA von 388 Kilogramm (von insgesamt 8000 Tonnen Epoxidharz) entsteht.

BPA-Bewertung: Die Europäische Kommission hat einen Rechtsrahmen für die Behandlung von Schiffen am Ende ihres Lebenszyklus festgelegt und bestimmt, dass diese nur in von der EU zugelassenen Anlagen abgewrackt werden dürfen. Beschichtungen für den Schiffsbau werden als gefährliche Stoffe eingestuft und enthalten brennbare Lacke, Lösungsmittel und andere Verbindungen, weshalb sie im Abfallstadium einer entsprechenden Behandlung zu unterziehen sind. In der Beschichtung enthaltenes BPA wird während des Verbrennungsprozesses zersetzt (21 Kilogramm Rest-BPA pro Jahr für alle 18 Schiffe). Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Verordnung stufenweise in Kraft tritt. Die Verordnung findet nur Anwendung für Schiffe, die unter EU-Flagge fahren, was Anlass zur Sorge bietet.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Eine geschätzte Höchstmenge von 290 Kilogramm BPA könnte in Europa pro Jahr von Beschichtungen für den Schiffsbau freigesetzt werden. Am wahrscheinlichsten wäre die BPA-Freisetzung während der Herstellung des Epoxidharzes (max. 194 Kilogramm, in Gewässer freigesetzt) und während der Aufbringung der Beschichtung (max. 96 Kilogramm). Auch wenn die Freisetzung während des Lebenszyklus nicht quantifizierbar war, ist die Freisetzung aufgrund der Zersetzung des Epoxidharzes in Deckschichten durch UV-Strahlung am wahrscheinlichsten. Das Abfallstadium weist aufgrund der Demontage von Schiffen außerhalb Europas und des gegenwärtigen EU-Rechtsrahmens erhebliche Unsicherheiten auf.

Beschichtungen für den Schiffsbau

Jahresverbrauch an Epoxidharzen (2014)	Menge an in die Umwelt freigesetztem BPA pro Jahr				
	Herstellung	Anwendung	Lebenszyklus	Abfall	Gesamt
51 000 t	max. 194 kg	max. 96 kg	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar	> 290 kg

ANHANG: Lebenszyklusstadien und die jeweilige Menge an freigesetztem BPA für Epoxidharzbeschichtungen im Schiffsbau

