



Luca Reiter, Anya Vollpracht

Auslaugung von C³-Bewehrung – Screening auf organische Emissionen

Luca Reiter, Anya Vollpracht

Auslaugung von C³-Bewehrung – Screening auf organische Emissionen

T 3396

T 3396

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2023

ISBN 978-3-7388-0808-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB | Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



Institut für
Bauforschung
und Lehrstuhl für
Baustoffkunde

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

**FORSCHUNG
ENTWICKLUNG
ÜBERWACHUNG
PRÜFUNG
BERATUNG**

www.ibac.rwth-aachen.de

Forschungsbericht

F 7124

Auslaugung von C³-Bewehrung - Screening auf organische Emissionen





THEMA	Auslaugung von C ³ -Bewehrung - Screening auf organische Emissionen
Forschungsbericht-Nr.	F 7124 vom 14.10.2022
Projektbearbeitung	Luca Reiter, M.Sc. Apl. Prof. Dr.-Ing. Anya Vollpracht
Auftraggeber/Förderer	Deutsches Institut für Bautechnik Kolonnenstr. 30 B 10829 Berlin
Vertragsdatum / Auftragsbestätigung	
Ihr Aktenzeichen	P 52-5-20.106-2076/21

Dieser Bericht umfasst 15 Seiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet. Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung. Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des Lehrstuhls.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Stand der Forschung	3
3	Versuchsdurchführung	4
4	Ergebnisse	5
4.1	GC-MS-Screening.....	5
4.2	Bestimmung der biologischen Parameter	9
5	Zusammenfassung	10
6	Fazit	10
7	Literaturverzeichnis	10

1 Einleitung

In diesem Forschungsvorhaben wurden Vorversuche an gängigen Beschichtungsvarianten von Carbonfaser-Textilbewehrung durchgeführt. Es sollte festgestellt werden, welche der als Matrixharz in Carbonfaser-(CFK) Textilbewehrungen genutzten Kunststofftränkungen potentiell umweltrelevant sein könnten und welche organischen Verbindungen in den jeweiligen Eluaten in zukünftigen Forschungsvorhaben betrachtet werden müssen. Zu diesem Zweck wurden jeweils Probestücke mit einer Beschichtungsoberfläche von etwa 0,5 m² von drei mit Epoxidharz (EP), Styrol-Butadien (SBR) bzw. Polyacrylat (PA) getränkten Beispiel-Textilien in einem einstufigen Standtest ausgelaugt. Zur realitätsnahen Abbildung der Porenlösung von Beton und dessen hoher Alkalität wurde ein pH-Wert von 13,0 eingestellt. Die Eluate wurden mit Hilfe von Gaschromatographie mit gekoppeltem Massenspektrometer (GC-MS) auf organische Einzelkomponenten gescreent. Das ökotoxikologische Potential der organischen Summenparameter wird durch Daphnien- und Leuchtbakterientests (DIN EN ISO 6341:2013-01 bzw. DIN EN ISO 11348-1:2009-05) bewertet.

2 Stand der Forschung

Im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens Umweltverträglichkeit von C³ (FKZ 03ZZ0328A) wurde in Labor- und Freilandversuchen das Auslaugverhalten vorwiegend anorganischer Substanzen aus carbonbewehrtem Beton sowie einer Auswahl an möglichen Ausgangsstoffen untersucht. Die Auslaugung organischer Substanzen konnte aufgrund der begrenzten Mittel im BMBF-Vorhaben nicht abschließend untersucht werden. Während im Freilandversuch durchgeführte TOC-Messungen (Total Organic Carbon) an Textilbeton-Eluaten keine deutliche Abgrenzung zur Hintergrundkonzentration zuließen, wurde bei der Materialcharakterisierung und bei Auslaugversuchen im Labor am nicht eingebetteten Textil Forschungsbedarf festgestellt. Es wurde ein Auslaugversuch analog zum DSLT (Dynamic Surface Leaching Test, DIN CEN/TS 16637-2) mit deionisiertem Wasser bei einem V/O-Verhältnis von 20 L/m² durchgeführt. Die Auslaugversuche an den Carbonfaser-Textilien haben ergeben, dass wie erwartet keine polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ausgelaugt werden. Es konnten jedoch deutliche Unterschiede hinsichtlich der TOC-Freisetzung beobachtet werden (s. Bild 1) /Wei20/. Da die ausgelaugte Organik nicht genauer spezifiziert wurde, ist bisher nicht geklärt, ob es sich hierbei um unschädliche Substanzen handelt.

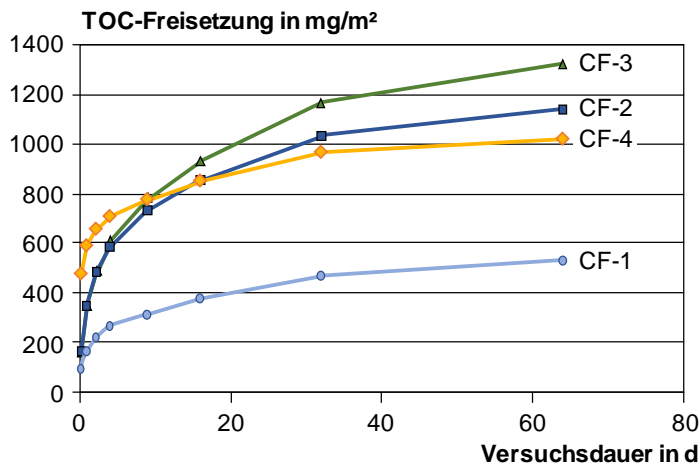


Bild 1: TOC-Freisetzung aus CFK im DSLT an Carbotextilien /Wei20/

3 Versuchsdurchführung

Für die Auslaugung der getränkten CFK-Textilbewehrungen wurden die Probekörper (je ein Probekörper pro Textilbewehrung) in Chromatographie-Behältern aus Glas mit 3,0 L Kaliumhydroxid-Lösung ($\text{pH}_{\text{KOH}} = 13,0$) beaufschlagt. Es ergibt sich ein Volumen/Oberflächen-Verhältnis von $V/O = 20 \text{ L/m}^2$. Die Probekörper wurden über einen Zeitraum von $t = 7 \text{ d}$ unter Luftabschluss ausgelaugt. Der pH-Wert des Elutionsmittels wurde über den gesamten Versuchszeitraum im Abstand von 24 h kontrolliert und bei Bedarf nachtitriert. Nach Ablauf der Versuchszeit von 7 d wurde das Eluat in Laborgewindeflaschen pipettiert und dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH zur Analyse übergeben. Es erfolgte ein GC-MS-Screening nach Lösemittelextraktion mit Hexan und Abgleich über die NIST (National Institute of Standards and Technology) Datenbank. Die Bewertung der kumulierten biologischen Parameter und der G-Werte der Eluate wurde durch die ökotoxikologische Abteilung des ISA mittels Daphnien- und Leuchtbakterientests durchgeführt.

Die verwendeten Textilbewehrungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zu den geprüften Textilbewehrungen

Kürzel	Matrixharz	Bewehrungsquer-	Maschenweite
		schnitt $0^\circ / 90^\circ$	$0^\circ / 90^\circ$
		mm^2/m	mm
EP	Epoxidharz	95 / 95	38 / 38
PA	Polyacrylat	21 / 22	18 / 18
SBR	Styrol-Butadien	150	10 / 8,5

4 Ergebnisse

4.1 GC-MS-Screening

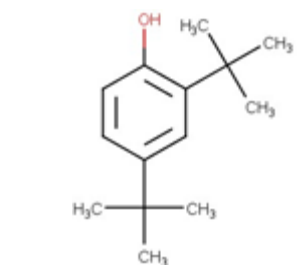
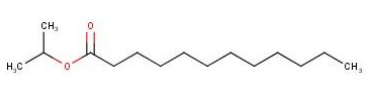
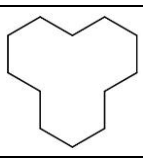
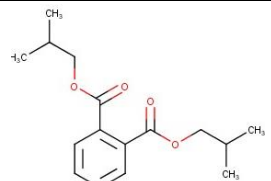
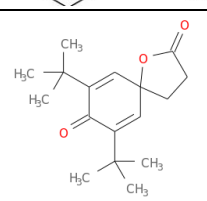
Aufgrund der noch unbekanntem Natur der zu erwartenden Organik wurde ein Screening nach einer Hausmethode des ISA durchgeführt. Es wurden die 20 größten Signale ausgewertet. Detektierte Substanzen wurden als relevant klassifiziert, wenn diese eine Übereinstimmung mit dem Referenzspektrum (Ref) > 80 % zeigten und somit der Einzelstoff oder die Stoffklasse angegeben werden kann. Eine Absicherung des Ergebnisses über RTI / Aufdotierung ist nicht erfolgt. Die Konzentration der identifizierten organischen Materie wird halbquantitativ angegeben und kann je nach Sensitivität und Natur der Substanz deutlich abweichen. Die berechnete theoretische Konzentration kann nur als Abschätzung der Größenordnung der Konzentrationen im Eluat genutzt werden. Zur quantitativen Bestimmung der Einzelstoffe wäre die Analyse mit Standard zu wiederholen. Da an dieser Stelle nur die potentiell relevanten Substanzen identifiziert werden sollten, wurde auf eine genaue Quantifizierung verzichtet.

Tabelle 2 zeigt die identifizierten, organischen Substanzen im Eluat des EP-getränkten Textils in absteigender Konzentration, verglichen mit dem zugesetzten Alkanstandard (AS) (C7 bis C40). In der Tabelle nicht aufgeführte Substanzen, deren Peaks im Chromatogramm sichtbar sind, deuten auf Analoge des zugesetzten AS und Paraffine oder deren Derivate hin.

Cyclododecan, Isopropyl laurat und 7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro [4,5]deca-6,9-diene-2,8-dione sind nach der aktuell geltenden ECHA Gefahrstoffklassifizierung als unbedenklich eingestuft /ECH22a, ECH21, NIH22a/. 7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro [4,5]deca-6,9-diene-2,8-dione ist ein Abbauprodukt des Polymeradditivs Irganox 1010, welches für Plastikverpackungen genutzt wird. Isopropyl laurat wird als Syntheschemikalie und Lösevermittler angewendet /NIH22b/.

2,4-Di-tert-butylphenol (2,4-DTBP) gehört zu der Gruppe der Alkylphenole und befindet sich aktuell in einer Neubewertung gemäß Verordnung EG Nr. 1907/2006 (REACH) im fortlaufenden Aktionsplan der Gemeinschaft CoRAP (Community Rolling Action Plan) /ECH22b, Eur06/. Die Substanz ist in Prüfung als CMR-Substanz sowie als potentieller endokriner Disruptor eingestuft zu werden. Die Neubewertung wird vom belgischen Föderalen Öffentlichen Dienst Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt durchgeführt und läuft seit 2017. Nach aktuellem Stand (2019) kann die Gentoxizität nicht ausgeschlossen werden und bedarf weiterer Betrachtung. 2,4-DTBP kann bei Fischen eine leichte östrogene Wirkung zeigen, die Steroid-Hormon-Homöostase durch Ligandenbindung beeinflussen und zeigt potentielle Wechselwirkung mit verschiedensten Rezeptoren. In Kombination mit der (noch unvollständigen) Betrachtung des reproduktionsverändernden Einflusses an Nagetieren kann eine Wirkung als endokriner Disruptor nicht ausgeschlossen werden /ECH22c/.

Tabelle 2: Identifizierte Organik im Eluat des EP-Textils in absteigender Konzentration (bezogen auf den AS) und in Abhängigkeit der Übereinstimmung mit dem Referenzspektrum.

Substanz	CAS-Nr.	Übereinstimmung mit Referenz	Konzentration*	Strukturformel
		%	µg/L	
2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	95	2,3	
Dodecansäure, 1-methylethylester (Isopropyl laurat)	10233-13-3	81	0,4	
Cyclododecan	294-62-2	96	< 0,1	
1,2-Benzoldicarboxylsäure, bis(2-methylpropyl) ester (Diisobutylphthalat)	84-69-5	83	< 0,1	
7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro [4,5]deca-6,9-diene-2,8-dione	82304-66-3	99	< 0,1	

* halbquantitativ ermittelt

Für Diisobutylphthalate (DIBP) liegt nach geltender REACH-Verordnung (Artikel 59 EC Nr 1907/2006) eine Klassifizierung als besonders besorgniserregender Stoff (SVHC) vor /Eur17/. DIBP ist unter anderem fruchtschädigend Kategorie 1B reproduktionstoxisch, fortpflanzungsgefährdend Kategorie 2 (GefStoffV) und stark wassergefährdend (WGK 3) /Bun10/. Diese Einordnung gilt ebenfalls für die DIBP-Derivate DEHP (CAS Nr. 117-81-7), DBP (CAS Nr. 84-74-2) und BBP (CAS Nr. 85-68-7) /GES21, GES22/. Da die halbquantitative Konzentrationsbestimmung eine reale Konzentration deutlich unterhalb der Nachweisgrenze (1 µg/L) vermuten lässt, ist eine signifikante Freisetzung von DIBP unwahrscheinlich.

Tabelle 3 zeigt die identifizierte Organik aus dem Eluat des SBR-Textils. Die höchsten aus dem Peakflächenvergleich mit dem Alkanstandard ermittelten und gleichzeitiger Übereinstimmung der Spektren mit der Datenbank-Referenz > 80 % sind aufgelistet. 2,4-DTBP und Isopropyllaurat wurden identifiziert. Die Konzentration von 2,4-DTBP ist etwa doppelt so hoch wie im EP-Eluat. Im Eluat des SBR-Textils wurde Cyclooctan identifiziert, dessen Eigenschaften n-Alkan analog einzuordnen sind. Verwendung findet dieses als Ausgangsstoff der Polyamid-Synthese. Cyclooctan könnte in diesem Fall bei der Herstellung des Matrixharzes durch Ringschlussreaktion des Monomers 1,3-Butadien entstanden sein. Es liegt keine Einstufung in Wassergefährdungsklassen, in die Substanzklasse der endokrinen Disruptoren oder als CMR-Substanz vor /ECH22d/.

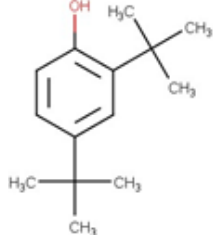
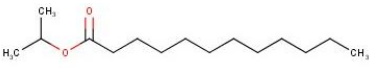
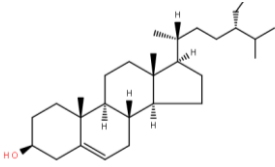
Tabelle 3: Identifizierte Organik im Eluat des SBR-Textils in absteigender Konzentration (bezogen auf den AS) und in Abhängigkeit der Übereinstimmung mit dem Referenzspektrum.

Substanz	CAS-Nr.	Übereinstimmung mit Referenz	Konzentration*	Strukturformel
		%	µg/L	
2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	94	4,1	
Cyclooctan	292-64-8	96	1,7	
Dodecansäure, 1-methylethylester (Isopropyl laurat)	10233-13-3	90	0,8	

* halbquantitativ ermittelt

Tabelle 4 stellt analog die identifizierte Organik im Eluat des PA-Textils dar. Es wurde abgesehen von 2,4-DTBP keine umweltrelevante Organik identifiziert. Clionasterol wurde im Datenbank-Abgleich mit einer Übereinstimmung von > 99 % identifiziert. Clionasterol ist ein Pflanzenmetabolit aus der Gruppe der Phytosterole und ebenfalls toxikologisch unbedenklich /NIH22a/. Im GC-MS-Spektrum sind einige unidentifizierte Substanzen (Übereinstimmung Referenzspektren < 50 %) in Konzentrationsbereichen < 1 µg/L erkennbar.

Tabelle 4: Identifizierte Organik im Eluat des PA-Textils in absteigender Konzentration (bezogen auf den AS) und in Abhängigkeit der Übereinstimmung mit dem Referenzspektrum.

Substanz	CAS-Nr.	Übereinstimmung mit Referenz	Konzentration*	Strukturformel
		%	µg/L	
2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	95	2,0	
Dodecansäure, 1-methylethylester (Isopropyl laurat)	10233-13-3	81	0,3	
Gamma-Sitosterol Clionasterol	83-47-6	99	0,2	

* halbquantitativ ermittelt

Die restlichen Peaks der Chromatogramme aller Eluate bestätigen das Vorhandensein langkettiger aliphatischer Kohlenwasserstoffe. Wahrscheinlich wurden diese Paraffine als Additive während oder nach der Polymersynthese zugesetzt.

Es wurden sechs Blindproben im Auslaugbehälter ohne Textilbewehrung durchgeführt und auch in den Blindproben 2,4-DTBP detektiert. Eine eindeutige Zuordnung der Konzentrationen von 2,4-DTBP in den Eluaten ist nicht möglich, da sich die Konzentrationen in den Blindproben deutlich unterscheiden (s. Tabelle 5).

Tabelle 5: 2,4-DTBP-Konzentrationen in den Blindproben.

Blindprobe	Konzentration* 2,4-DTBP µg/L
1	1,1
2	0,9
3	1,1
4	nicht nachweisbar
5	2,3
6	1,8

*halbquantitativ ermittelt

Eine Blindprobe weist kein 2,4-DTBP auf. Die Konzentrationen von 2,4-DTBP der verbleibenden fünf Blindproben wurden halbquantitativ durch Peakflächenvergleich mit dem zugesetzten AS abgeschätzt und maximal 2,3 µg/L ermittelt. Durch diese Unregelmäßigkeiten ist es nicht möglich, die Hintergrundkonzentration von der gemessenen Konzentration des 2,4-DTBP in den Eluaten der Auslaugversuche herauszurechnen. Ohne den Einsatz einer GC-MS mit 2,4-DTBP-Standard und Einzelstoffanalytik kann nicht eindeutig beschrieben werden, ob die Konzentrationen des 2,4-DTBP in den Eluaten auf Verunreinigung zurückzuführen sind, aus der Auslaugung aus dem Textil stammen, oder einer Kombination aus beiden Einflussfaktoren. Durch die Inkonsistenz in den Blindproben ist ebenfalls eine Verunreinigung aus anderen Quellen, wie der Zwischenlagerung des Elutionsmittels denkbar. In Anbetracht der erhöhten Konzentration des 2,4-DTBP im Eluat des SBR-Textils ist eine Auslaugung aus den Bewehrungstextilien jedoch nicht auszuschließen.

4.2 Bestimmung der biologischen Parameter

Zur Einordnung der Ökotoxizität und der unter Umständen kumulierten Wirkung ausgelaugter Substanzen wurden ein Leuchtbakterientest nach DIN EN ISO 11348-1:2009-05 und ein Daphnientest nach DIN EN ISO 6341:2013-01 durchgeführt. Im Leuchtbakterientest wird die Hemmwirkung von Wasserproben auf die Lichtemission von *Vibrio fischeri* bestimmt. Der Daphnientest ermittelt die Hemmwirkung von Wasserproben auf die Schwimffähigkeit von *Daphnia magna Straus*. Für alle Eluate wurden die Verdünnungsstufen (G_L - bzw. G_D -Wert) bestimmt, bei der die zulässige Hemmung gemäß der jeweiligen Norm unterschritten wurde (s. Tabelle 6). Der pH-Wert der Eluate wurde an die zulässigen pH-Spannen der jeweiligen Normen angepasst.

Tabelle 6: Ermittelte Verdünnungsstufen im Leuchtbakterien- (G_L) und im Daphnientest (G_D)

Textiltrückung	G_L	G_D
Epoxidharz	3	12
Styrol-Butadien	8	8
Polyacrylat	3	8

Der Leuchtbakterientest gilt nach den „Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ des DIBt (Stand 2011) bei einem G_L -Wert von ≤ 8 als bestanden und das Eluat somit als unbedenklich. Dieser Wert wird bei allen gemessenen Proben eingehalten.

Für den Daphnientest weist das Grundsatzpapier einen G_D -Wert von ≤ 4 als bestanden aus. Diese Verdünnungsstufe wird bei allen untersuchten Proben überschritten, der Daphnientest wurde in diesem worst-case Screening-Test in Hinblick auf die Unbedenklichkeit des Eluats auf Boden und Grundwasser somit nicht bestanden.

5 Zusammenfassung

In einem BMBF-Verbundvorhaben zur Umweltverträglichkeit von Carbon bewehrtem Textilbeton (C³ - Carbon Concrete Composite), FKZ 03ZZ0328A, wurden TOC-Messungen an Eluaten von Textilbewehrungen durchgeführt. Es wurden Freisetzungen organischer Natur nachgewiesen, die jedoch im Rahmen des BMBF-Projekts nicht näher untersucht werden konnten. Um die entstandene Forschungslücke zu schließen, wurde in dem vorliegenden Forschungsvorhaben ein GC-MS-Screening zur Identifikation potentiell umweltrelevanter Organik an den Eluaten von Carbontextilien für C³ durchgeführt. Zur Untersuchung der Summenwirkung organischer Substanzen im Eluat wurden darüber hinaus ökotoxikologische Untersuchungen an den Eluaten durchgeführt.

Das GC-MS Screening ermöglicht eine halbquantitative Abschätzung der Konzentrationen organischer Substanzen im Eluat. Bei allen untersuchten Textilbewehrungen wurde 2,4-Di-tert-butylphenol im Eluat nachgewiesen. Für die Textilbewehrungen mit PA- und EP-Tränkung ergab sich eine Konzentration von etwa 2 µg/L, für das mit SBR getränkte Textil eine Konzentration von etwa 4 µg/L. Die Blindwerte ergaben Konzentrationen im Bereich von 0 – 2 µg/L und lassen eine Abgrenzung zum Eluat der Textilbewehrung nicht zweifelsfrei zu. Da die Summenwirkung der organischen Substanzen auf Organismen und Umwelt nicht abzuschätzen ist, wurden Leuchtbakterien- und Daphnientests durchgeführt. Die G-Werte der Leuchtbakterientests unterschreiten die im DIBt Grundsatzpapier gegebenen Grenzwerte, die G-Werte der Daphnientests überschreiten den Grenzwert. Somit ist eine Umweltwirkung der ausgelaugten, organischen Substanzen nicht auszuschließen.

6 Fazit

Zur vollständigen Erfassung ausgelaugter Organik und Bewertung der Umweltverträglichkeit der beprobten Textilbewehrungen ist der Umfang der Versuche und Analytik dieses Forschungsvorhabens nicht ausreichend. Die Gesamtheit der ausgelaugten, organischen Substanzen (TOC) konnte durch das durchgeführte GC-MS-Screening nicht erfasst werden. Zur Abgrenzung der Hintergrundkonzentrationen oder Verunreinigungen zu aus den Probekörpern ausgelaugtem 2,4-DTBP wird eine Einzelstoff-Analytik benötigt. Die nachgewiesene toxische Wirkung im Daphnientest bestätigt eine potentielle Umweltwirkung des Eluats. Um eine vollständige Bewertung der Umweltverträglichkeit der CFK-Textilbewehrungen durchzuführen und eine potentielle Auslaugung umweltrelevanter Organik zu identifizieren wird somit eine umfassendere Analytik benötigt. Die Quantifizierung ausgelaugten 2,4-DTBPs kann mit GC-MS-Einzelstoffanalytik durchgeführt werden. Der Einfluss weiterer, nicht identifizierter organischer Substanzen und deren Summenwirkung auf Boden, Gewässer und Organismen kann durch weitere ökotoxikologische Untersuchungen eingeschätzt werden.

7 Literaturverzeichnis

/Bun10/ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV), 2010.

- /ECH21/ ECHA - European Chemicals Agency: Isopropyllaurate.
<https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.030.496>.
- /ECH22a/ ECHA - European Chemicals Agency: Cyclododecane.
<https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.005.486>.
- /ECH22b/ ECHA - European Chemicals Agency: 2,4-di-tert-butylphenol.
<https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.002.303>.
- /ECH22c/ ECHA - European Chemicals Agency: Decision On Substance Evaluation. Evaluation of 2,4-di-tert-butylphenol.
- /ECH22d/ ECHA - European Chemicals Agency: Cyclooctane.
<https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.005.484>.
- /Eur06/ Europäisches Parlament und Europäischer Rat: Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. REACH.
- /Eur17/ European Commission: Commission Implementing Decision on the identification of DEHP, DBP, BBP, DIBP as substances of very high concern according to Article 57 (f) of Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council, Brussels, 2017.
- /GES21/ GESTIS-Stoffdatenbank: Datenblatt Dibutylphthalat. Stand 28.05.2021.
<https://gestis.dguv.de/data?name=021620>.
- /GES22/ GESTIS-Stoffdatenbank: Datenblatt Benzylbutylphthalat. Stand 17.06.2022
<https://gestis.dguv.de/data?name=026960>
- /NIH22a/ NIH - National Library of Medicine: 7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro[4.5]deca-6,9-diene-2,8-dione. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/545303>.
- /NIH22b/ NIH - National Library of Medicine: Clionasterol / γ - Sitosterol.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Clionasterol>.
- /Wei20/ Weiler, L.; Vollpracht, A.; Jesse, F.; Müller, C.; Reiners, J.; Spanka, G.: Umweltverträglichkeit von Carbonbeton, BETON 70 (2020); S. 166–178.