

Ergebnisse eines Forschungsvorhabens

Umweltverträglichkeit von Carbonbeton

Lia Weiler, Anya Vollpracht, Aachen; Frank Jesse, Bautzen; Christoph Müller, Jochen Reiners, Gerhard Spanka, Düsseldorf*)

Neben den bautechnischen Eigenschaften kommt der Umweltverträglichkeit von Bauprodukten eine immer größere Bedeutung zu. Ziel des in diesem Beitrag vorgestellten Forschungsvorhabens war es, durch Auslaug- und Beregnungsversuche (Labor- und Freilandversuche) an Carbonbetonprüfkörpern mit unterschiedlichen Betonüberdeckungen der Carbontextilien sowie mit unterschiedlichem Bewehrungsgrad der Carbontextilien eine breite, wissenschaftlich abgesicherte Datenbasis zu erstellen, um die Umweltverträglichkeit des Verbundbaustoffs „Carbonbeton“ hinsichtlich des Auslaugverhaltens in der Nutzungsphase beurteilen zu können. Bei den Freilandversuchen wurde weiterhin der Einfluss gezielt erzeugter Risse in den Carbonbetonprüfkörpern auf die Freisetzung umweltrelevanter Stoffe untersucht. Die Arbeit der VDZ gGmbH konzentrierte sich auf Charakterisierungsuntersuchungen an Feinbetonfertigmischungen, Zementen/Bindemitteln, Füllern und Carbon-textilien, sowie auf Auslaugversuche nach dem europäischen Langzeitstandtest DSLT an unbewehrten und bewehrten Feinbetonprobekörpern. Die „DSLT“-Auslaugungen der vier untersuchten Carbontextilien haben ergeben, dass diese praktisch keine polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe an das Auslaugwasser abgeben. Die „DSLT“-Auslaugungen der unbewehrten und der carbontextilbewehrten Feinbetone haben gezeigt, dass für die meisten Parameter nur sehr geringe Mengen ausgelaugt werden und dass die entsprechenden Anforderungswerte der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen sicher eingehalten werden. Weiterhin wurde festgestellt, dass für die einzelnen Parameter kein signifikanter Unterschied des Auslaugverhaltens der unbewehrten und bewehrten Feinbetone auftritt. Die Ergebnisse der Labor- und Freilandberegnungsversuche beim Projektpartner RWTH Aachen University, Institut für Baustoffforschung, bestätigen dieses Ergebnis. Darüber hinaus haben die Freilandberegnungsversuche gezeigt, dass einige Parameter, wie zum Beispiel Chlorid, Barium, Blei, Kupfer und Zink, die im natürlichen Regenwasser enthalten sind, sogar von dem Feinbeton gebunden werden. Die Ergebnisse lassen erwarten, dass der neue Werkstoff Carbonbeton als umweltverträglich hinsichtlich des Auslaugverhaltens in der Nutzungsphase eingestuft werden kann und damit keine weiteren Auslaugprüfungen notwendig sind.

1 Einleitung

In Deutschland werden die Eigenschaften von Textilbetonen seit mehr als 20 Jahren intensiv erforscht [1–6]. Zunächst wurden dabei im Wesentlichen Textilien auf der Basis von Polypropylen oder Polyvinylalkohol als Bewehrung verwendet. Es stellte sich jedoch heraus, dass diese Polymere zu vergleichsweise großen Rissbreiten in der zementgebundenen Matrix führen, da sie nur einen geringen Elastizitätsmodul aufweisen. Deshalb konzentrierten sich die Forschungsarbeiten dann vorrangig auf Fasern, Rovings und Gelege aus alkaliresistentem (AR) Glas, später dann verstärkt auf das Material Carbon, da dieses im Vergleich zu AR-Glas alkalibeständiger und somit voraussichtlich dauerhafter ist.

Um neue, innovative Technologien in der Praxis einzuführen, wird in Deutschland im bauordnungsrechtlich relevanten Bereich im Allgemeinen nach folgender Systematik vorgegangen:

Sammlung von Erfahrungen durch projektbezogene Zustimmungen im Einzelfall

(ZiE) durch die zuständigen Landesbauaufsichtsbehörden, damit die Praxiseignung einer Neuentwicklung am Bauwerk verifiziert werden kann.

Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt), das die Interessen der Bundesländer in bauaufsichtlichen Fragestellungen vertritt. Durch die abZ bekommt der Zulassungsinhaber das Recht, die Neuentwicklung flächendeckend in Deutschland einzusetzen. Gegebenenfalls kommt in dieser Phase auch die Beantragung einer Europäischen Technischen Bewertung (ETA) in Frage.

Liegen bereits ausreichende Erfahrungen mit einer Neuentwicklung vor, zum Beispiel aus mehreren gleichartigen Zulassungen, so kann das Bauprodukt oder die Bauart in eine entsprechende Richtlinie oder Norm überführt werden.

Carbonbeton für Verstärkungsmaßnahmen hat mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für das Produkt Tudalits (Zulassungsnummer: Z-31.10-182 [7]) be-

reits die zweite Stufe dieser Systematik erreicht. Die Verstärkung darf gemäß der Zulassung für Biegeverstärkungen an Innenbauteilen mit einer maximal vorgesehenen Innenraumtemperatur von 40 °C und einer maximal vorgesehenen relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % r.F. erfolgen. Außerdem darf die Carbonbetonschicht keiner direkten Durchfeuchtung, keiner wechselnden Durchfeuchtung und keinen Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt sein. Für alle davon abweichenden Anwendungsfälle ist bis auf weiteres eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) notwendig.

In den Zulassungsprüfungen wurden ausschließlich bautechnische Anforderungen berücksichtigt, Gesichtspunkte der Umweltverträglichkeit des Tudalits wurden dabei nicht betrachtet. Neben den bautechnischen Eigenschaften kommt der Umweltverträglichkeit von Bauprodukten eine immer

*) Die Autorenbiografien sind am Ende des Beitrags zu finden.

Tafel 1: Kurzbezeichnungen der Ausgangsstoffe

Feinbetonausgangsstoffe	Kurzbezeichnung
Fertigmischungen	FM-1
	FM-2
Zement/ Bindemittelcompound	BM-1
	BM-2
	BM-3
Füller	FL-1
	FL-2
Carbontextil	CF-1
	CF-2
	CF-3
	CF-4

größere Bedeutung zu [8, 9]. Während in Deutschland bei genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Bauprodukten derzeit davon ausgegangen wird, dass sie alle Anforderungen an die Umweltverträglichkeit erfüllen [10], ist diese für neue, unbekannte Produkte, gegebenenfalls entsprechend den „Grundsätzen zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ [11, 12] des DIBt, nachzuweisen. Da in Deutschland sehr hohe Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Baustoffen gestellt werden [13], können offene Fragen hinsichtlich dieses Gesichtspunkts für neue, innovative Technologien gegebenenfalls ein Ausschlusskriterium darstellen.

2 Ziel des Forschungsvorhabens

Die für die Herstellung von Carbonbeton eingesetzten Carbontextilien werden von einer Textilmaschine zu einer gitterartigen Struktur verarbeitet und unter definierten Herstellungsbedingungen mit einer Beschichtung auf Polymerbasis imprägniert [1, 2]. Dadurch werden die einzelnen Filamente der so genannten Rovings umhüllt bzw. miteinander verklebt, wodurch der innere Verbund der Filamente in den Rovings und der äußere Verbund zum Beton eingestellt werden.

So beträgt z.B. für das Produkt Tudalit der Anteil des Beschichtungsmittels im Mittel 15 M.-%, bezogen auf die Fertigflächennasse. Da das Beschichtungsmittel niedermolekulare organische Bestandteile enthalten kann oder diese in geringem Umfang im hochalkalischen Milieu des Betons aus dem Beschichtungsmittel abgespalten werden können (Hydrolysebeständigkeit [14]), sollte die mögliche Auslaugung dieser Substanzen aus dem Carbonbeton untersucht werden. Dazu sollten der europäischen Langzeitstandtest DSLT (Dynamic Surface Leaching Test) [14, 15] für den ständigen Wasserkontakt sowie Laborberechnungsversuche und Freilandberechnungsversuche [17] für intermittierende Beaufschlagungen eingesetzt werden. Dabei wird davon ausgegangen,

dass auch das Auslaugverhalten der anorganischen Parameter aus dem Beton durch die Carbonbewehrung beeinflusst werden kann.

Neben einer schnelleren Diffusion entlang der Bewehrung ist auch eine Komplexierung der Spurenelemente durch die eventuell vorhandenen/gebildeten niedermolekularen organischen Verbindungen und eine damit einhergehende bessere Löslichkeit der Spurenelemente im Porenwasser des Zementsteins denkbar [18–20]. Da die Stoffkonzentration im Porenwasser die Diffusionsgeschwindigkeit und damit auch die Auslaugung beeinflusst [21, 22], liegt der wesentliche Teil der vorgesehenen Untersuchungen neben der Freisetzung organischer Substanzen auf der Ermittlung der Spurenelementfreisetzung. Außerdem soll festgestellt werden, ob der ständige Wasserkontakt die höchsten Auslaugmengen ergibt oder ob die intermittierende Beaufschlagung bei den Berechnungsversuchen über „Pumpeffekte“, die z.B. bei der Frost-, Frost-Taumittelbeanspruchung von Betonen diskutiert werden [23], zu einer höheren Freisetzung der organischen Substanzen bzw. der anorganischen Parameter führt. Bei den Freilandversuchen soll weiterhin der Einfluss gezielt erzeugter Risse in den Carbonbetonprüfkörpern auf das umweltrelevante Auslaugverhalten untersucht werden.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, eine breite, wissenschaftlich abgesicherte Datenbasis zum Umweltverhalten von Carbonbetonen zu erstellen, um auf dieser Basis den Nachweis zu führen, dass der neue Werkstoff als umweltfreundlich hinsichtlich des Auslaugverhaltens in der Nutzungsphase eingestuft werden kann und damit keine weiteren Auslaugprüfungen notwendig sind (Without Further Testing (WFT) [24]).

Die Forschungsergebnisse sollen in eine Richtlinie des Deutschen Ausschusses für

Stahlbeton (DAfStb) zur Herstellung und zur Verwendung von Carbonbeton einfließen. In dieser Richtlinie sollen neben Bemessungsverfahren für konstruktive Bauteile und Verstärkungsmaßnahmen mit Carbonbeton Anforderungen an den Beton und die Carbonbewehrung enthalten sein sowie Hinweise für die Ausführung gegeben werden. So könnten sich zum Beispiel bei einer erhöhten Abgabe organischer Substanzen aus der Beschichtung der Carbontextilien Anforderungen an die minimale Betonüberdeckung der Carbontextilien ergeben.

3 Charakterisierung der Carbonbetonausgangsstoffe

Von der Hentschke Bau GmbH wurden der VDZ gGmbH vier unterschiedliche Carbontextilien und sieben verschiedene anorganische Ausgangsstoffe für die Charakterisierungsversuche zur Verfügung gestellt. Tafel 1 gibt einen Überblick über die Kurzbezeichnungen der Ausgangsstoffe.

Für diese Ausgangsstoffe wurden zunächst die Spurenelementgehalte nach dem Mikrowellengesamtaufschluss mit einem Flusssäure/Salpetersäure-Gemisch mittels geeigneter Analysetechniken, wie z.B. Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS), quantifiziert. Für die Fertigmischung FM-1 wurde dazu der Feinanteil < 63 µm abgesiebt und analysiert. In den Tafeln 2 und 3 sind die Spurenelementgehalte für die Ausgangsstoffe zusammengefasst. Um die chemische Stabilität der Carbontextilien bzw. der Beschichtungen zu ermitteln, wurden mit den Textilien Hydrolyseversuche, Soxhletextraktionen und „DSLIT“-Auslaugungen durchgeführt.

Zur Bestimmung der Hydrolysebeständigkeit der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 wurden jeweils etwa 5 g der grob zerkleinerten Textilien (Länge der einzelnen Ver-

Tafel 2: Spurenelementgehalt der Fertigmischungen (FM), der Zemente/Bindemittel (BM) und der Füller (FL)

	Spurenelementgehalt der Fertigmischungen, der Zemente/ Bindemittel und der Füller [ppm]						
	FM-1	FM-2	BM-1	BM-2	BM-3	FL-1	FL-2
Antimon (Sb)	1,10	5,22	5,00	2,50	0,72	2,23	< 0,30
Arsen (As)	7,24	11,9	4,06	4,21	1,26	0,97	0,73
Barium (Ba)	252	366	377	478	592	43,9	42,3
Blei (Pb)	26,5	25,3	30,4	42,7	3,80	33,2	7,14
Cadmium (Cd)	0,34	0,32	0,30	0,69	0,51	0,76	0,11
Chrom (Cr)	64,4	82,5	60,5	55,7	54,7	6,39	1,60
Kobalt (Co)	6,91	9,71	5,35	3,92	1,17	1,09	1,10
Kupfer (Cu)	32,1	107	70,0	49,2	18,8	7,20	1,98
Molybdän (Mo)	3,74	3,92	4,05	2,31	< 1,60	< 1,60	17,8
Nickel (Ni)	38,9	34,0	21,4	13,2	5,63	3,06	3,86
Quecksilber (Hg)	0,10	0,22	0,18	0,19	0,49	0,28	0,14
Thallium (Tl)	1,53	1,18	0,08	0,21	0,05	0,12	< 0,05
Vanadium (V)	52,8	79,6	70,6	71,8	35,5	10,3	1,13
Zink (Zn)	63,1	153	322	270	79,3	131	1,93

Tafel 3: Spurenelementgehalt der textilen Bewehrungen (CF)

	Spurenelementgehalt der textilen Bewehrungen [ppm]			
	CF-1	CF-2	CF-3	CF-4
Antimon (Sb)	0,31	0,65	0,90	0,86
Arsen (As)	0,69	2,32	2,07	1,95
Barium (Ba)	6,70	12,3	11,0	11,1
Blei (Pb)	0,59	0,99	0,86	0,81
Cadmium (Cd)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Chrom (Cr)	54,2	229	206	189
Kobalt (Co)	1,29	2,71	2,44	2,26
Kupfer (Cu)	13,2	50,8	45,7	41,7
Molybdän (Mo)	< 1,60	5,22	4,77	4,15
Nickel (Ni)	13,1	63,1	57,9	50,0
Quecksilber (Hg)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Thallium (Tl)	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Vanadium (V)	0,65	1,49	1,25	1,24
Zink (Zn)	55,0	75,2	93,8	89,9

bundfaserstücke etwa 15 mm) in chemikalienbeständige Kunststoffflaschen aus Perfluorethylenpropylen (FEP) mit der zehnfachen Menge 1 normaler Kaliumhydroxidlösung (1 N KOH) versetzt und die verschlossenen FEP-Flaschen für 24 Stunden in einem

Trockenschrank bei 80 °C gelagert. Nach dem Abkühlen wurden die Kaliumhydroxidlösungen mit Salzsäure zurücktitriert. In Bild 1 sind die zurücktitrierten KOH Konzentrationen für die einzelnen Carbontextilien graphisch dargestellt (Mittelwerte der

Dreifachbestimmung). Aus dem Bild geht hervor, dass das Carbontextil CF-3 den größten Kaliumhydroxidverbrauch und damit die geringste Hydrolysebeständigkeit aufweist.

Bei den Soxhletextraktionen der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 wurden jeweils etwa 25 g der grob zerkleinerten Textilien (Länge der einzelnen Verbundfaserstücke etwa 15 mm) mit 175 ml Reinstwasser für 24 Stunden extrahiert. In Tafel 4 sind die Mittelwerte der Spurenelement- und TOC-Gehalte in den Soxhletextrakten der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 zusammengefasst. In Bild 2 sind die TOC-Gehalte in den Soxhletextrakten grafisch dargestellt (Mittelwerte der Dreifachbestimmung).

Für die „DSLIT“-Auslaugung der Carbontextilien CF-1 bis CF-4, die in Anlehnung an DIN CEN/TS 16637-2:2014 durchgeführt wurde, wurden jeweils etwa 5 g der grob zerkleinerten Textilien (Länge der einzelnen Verbundfaserstücke etwa 15 mm) mit der vierzigfachen Menge Reinstwasser ausgelaugt. Das entspricht einem Auslaugwasser/Prüfkörperoberflächen-Verhältnis von 20 l/m². Gemäß DIN CEN/TS 16637-2:2014 beträgt dieses Verhältnis üblicherweise 80 l/m², für plattenförmige Prüfkörper kann das Verhältnis jedoch bis auf 20 l/m² verringert werden. Dieses Verhältnis wurde gewählt, um möglichst hohe TOC-Konzentrationen in den Eluaten zu erhalten. Bild 3 zeigt beispielhaft die Ergebnisse der TOC-

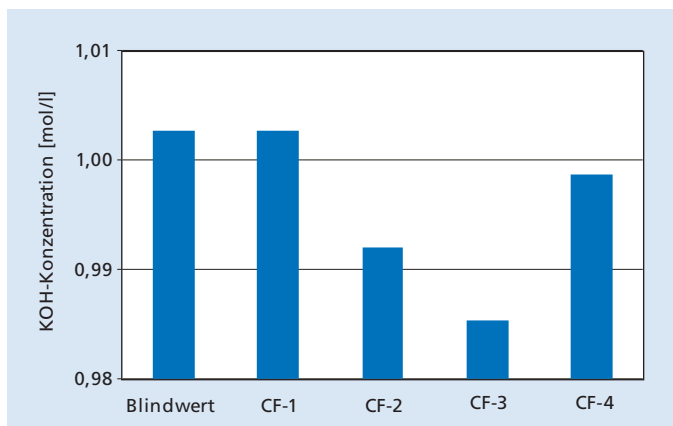


Bild 1: Hydrolyse der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 (Mittelwerte der Dreifachbestimmungen)

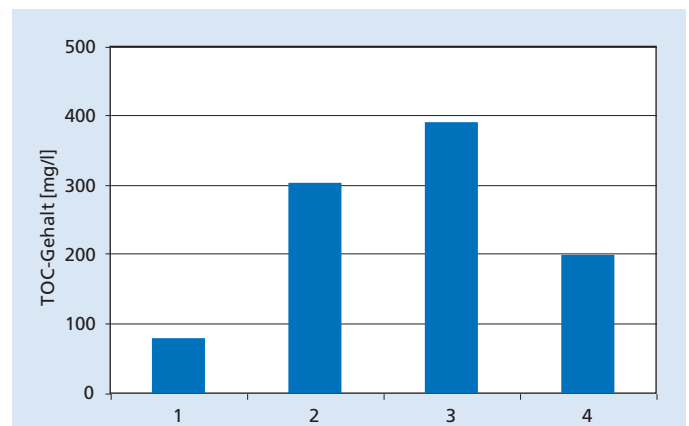


Bild 2: TOC-Gehalte in den Soxhletextrakten der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 (Mittelwerte der Dreifachbestimmungen)

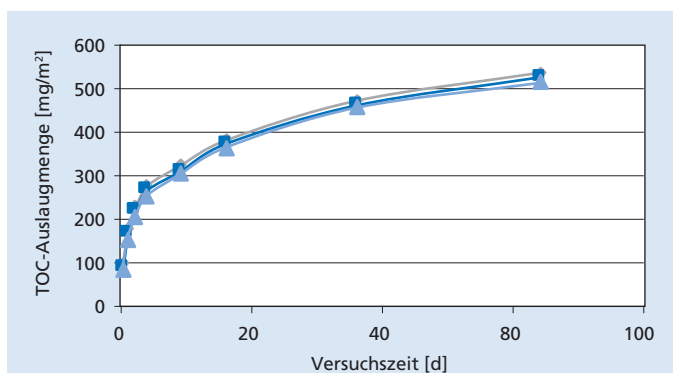


Bild 3: „DSLIT“-Auslaugung des Carbontextils CF-1 (Dreifachbestimmung)

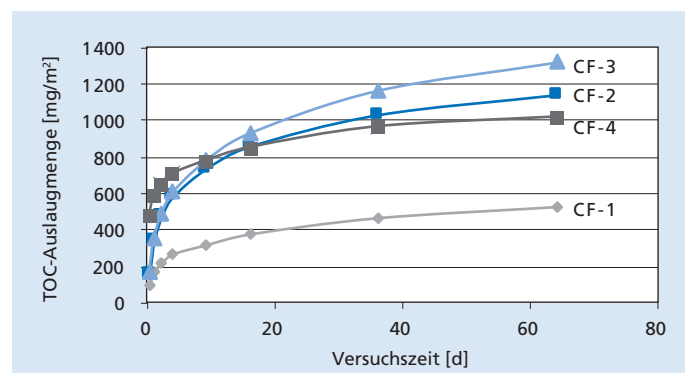


Bild 4: „DSLIT“-Auslaugung der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 (Mittelwerte der Dreifachbestimmungen)

Tafel 4: Mittelwerte der Spurenelement- und TOC-Gehalte in den Soxhletextrakten der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 (Dreifachbestimmung)

		CF-1	CF-2	CF-3	CF-4
Antimon	µg/l	0,13	0,27	0,34	7,72
Arsen		0,16	0,32	0,24	< 0,20
Barium		5,69	9,18	7,84	0,48
Blei		0,33	0,66	0,71	0,52
Cadmium		0,02	0,07	0,05	< 0,10
Chrom		0,51	0,99	1,02	0,43
Cobalt		0,12	0,38	0,25	< 0,10
Molybdän		0,25	0,59	0,44	< 1,60
Nickel		1,57	6,89	5,36	2,16
Quecksilber		< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Thallium		0,10	0,05	0,21	< 0,05
Vanadium		0,21	0,64	0,45	< 0,30
Zink		6,19	45,9	53,4	25,8
TOC		mg/l	78,8	303	392

Auslaugung (Total Organic Carbon) für das Carbontextil CF-1. Aus dem Bild geht hervor, dass die Dreifachbestimmung zu einer sehr guten Übereinstimmung der Auslaugkurven führt.

In Bild 4 sind die Mittelwerte der TOC-Auslaugung der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 zusammengefasst. Aus dem Bild geht hervor, dass das Carbontextil CF-4 anfänglich die größte TOC-Freisetzung aufweist, die dann jedoch schnell zurückgeht. Damit dürfte es sich in diesem Fall eher um einen Abwascheffekt („Wash-Off-Effekt“) handeln. Die TOC-Freisetzung für das Carbontextil CF-3 zeigt zunächst einen mittleren Verlauf, erreicht aber nach 64 Tagen den höchsten Wert. Dieses Verhalten passt sehr gut zu den Ergebnissen der Soxhlet-extraktionen und den Hydrolyseversuchen, bei denen das Carbontextil CF-3 die höchste TOC-Abgabe bzw. den höchsten Kaliumhydroxidverbrauch gezeigt hat. Zwar beträgt die Versuchsdauer bei den Soxhletextraktionen und den Hydrolyseversuchen nur 24 Stunden. Allerdings werden bei den Soxhletextrak-

tionen die TOC-Abgabe durch das ständig erneuerte Auslaugwasser und bei den Hydrolyseversuchen die chemischen Reaktionen durch die erhöhte Versuchstemperatur von 80 °C stark beschleunigt. So bewirkt eine Temperaturerhöhung von 10 °C nach Arrhenius eine Verdopplung bis Vervierfachung der Reaktionsgeschwindigkeit.

Zum Vergleich mit den Ergebnissen aus Bild 1 und Bild 2 sind in Bild 5 die kumulierten Auslaugmengen nach 64 Tagen für die Carbontextilien CF-1 bis CF-4 zusammengefasst.

Zusätzlich zu den TOC-Bestimmungen wurden die Eluate der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 mit dem höchsten TOC-Gehalt hinsichtlich der Gehalte der 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), die nach der US-Environmental Protection Agency (EPA) als prioritäre Umweltschadstoffe eingestuft sind, untersucht. Die Ergebnisse der gaschromatographischen Analysen mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) haben gezeigt, dass alle Messwerte unterhalb der Bestim-

mungsgrenze liegen. Daraus kann gefolgert werden, dass die vier untersuchten Carbontextilien praktisch keine PAK an das Auslaugwasser abgeben. Die Bestimmungsgrenze ist die kleinste Konzentration eines zu analysierenden Parameters, die quantitativ mit einer festgelegten Präzision ermittelt werden kann. Erst oberhalb der Bestimmungsgrenze können quantitative Analyseergebnisse angegeben werden. Angenähert entspricht die Bestimmungsgrenze etwa dem dreifachen der Nachweisgrenze.

4 „DSLIT“-Auslaugung der unbewehrten Feinbetone

Für die Vorversuche mit den unbewehrten Feinbetonplatten, die zur Auswahl des Feinbetons für die Untersuchung der bewehrten Feinbetonplatten dienen sollten, wurde auf praxisrelevante Feinbetonrezepturen zurückgegriffen, um Erfahrungen zu deren Auslaugverhalten zu gewinnen. Dazu wurden die für den DSLIT benötigten, unbewehrten Feinbetonplatten mit den Abmessungen 150 mm × 150 mm × 20 mm aus der Fertigmischung FM-1 (FB-1) für den Verstärkungsbereich sowie aus einer Mischung für normalfeste Betonfertigteile (FB-2), wie z.B. Elementwände oder -decken, und einer Mischung für fließfähige Hochleistungsbetone (FB-3), wie z.B. Architektursichtbetonfassaden, hergestellt. Die Herstellung der unbewehrten Feinbetonplatten erfolgte bei der Hentschke Bau GmbH. In Tafel 5 sind die Zusammensetzungen der drei Feinbetone FB-1 bis FB-3 aufgelistet. In Tafel 6 sind die Frisch- und Festbetonkennwerte der Feinbetone FB-1 bis FB-3 zusammengefasst.

Die „DSLIT“-Auslaugung wurde nach einer rund acht Wochen dauernden, konservierenden Folienlagerung der Feinbetonplatten FB-1 bis FB-3 in Anlehnung an CEN/TS 16637-2 durch die VDZ gGmbH durchgeführt. Dabei wurden die Feinbetonplatten in Chromatographiekammern mit 2,3 l Reinstwasser ausgelaut (Bild 6). Das entspricht einem Auslaugwasser/Prüfplattenoberflächen-Verhältnis von rund 40 l/m². Bild 7 zeigt beispielhaft die Ergebnisse der Bariumauslaugung für den Feinbeton FB-1.

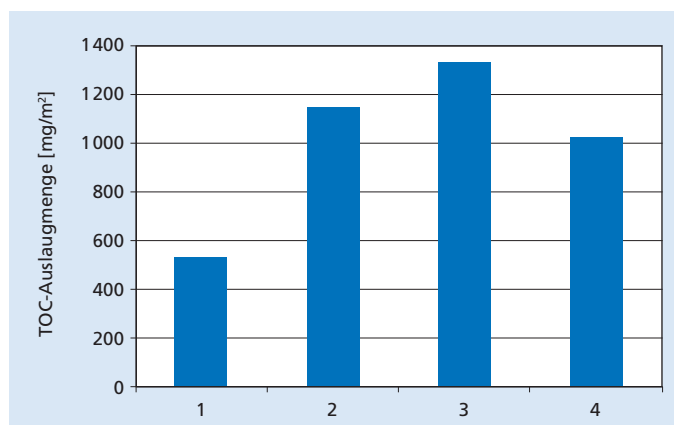


Bild 5: Kumulierte TOC-Auslaugmengen der Carbontextilien CF-1 bis CF-4 nach 64 Tagen (Mittelwerte der Dreifachbestimmungen)

Tafel 5: Zusammensetzung der Feinbetone FB-1 bis FB-3

Feinbeton FB-1	Feinbeton FB-2	Feinbeton FB-3
10,00 kg FM-1 Körnung 0/1 mm	1,77 kg BM-1	3,11 kg BM-2
	0,86 kg FL-1	-
	0,88 kg FL-2	1,25 kg FL-2
	3,13 kg Sand 0/2 mm 4,50 kg Kies 0/8 mm	2,65 kg Sand 0/2 mm 4,19 kg Splitt 2/5 mm
	0,05 kg Fließmittel	0,08 kg Fließmittel
1,40 l Wasser	1,03 l Wasser	0,73 l Wasser

Tafel 6: Frisch- und Festbetonkennwerte der Feinbetone FB-1 bis FB-3

Eigenschaft		Feinbeton FB-1	Feinbeton FB-2	Feinbeton FB-3
Mischzeit	min	3	6	7
Frischbetontemperatur	°C	17,0	20,7	21,0
Setzfließmaß	cm	21,0/21,5	23,0/24,0	12,5/14,0
Ausbreitmaß	cm	27,0/27,5	28,0/28,0	18,0/20,0
Biegezugfestigkeit	2 d			n.b.
	8 d	N/mm ²	6,07	6,38
		N/mm ²	7,58	8,42
	130 d	N/mm ²	7,96	8,53



Bild 6: Carbonbetonprobekörper im Standtest in Anlehnung an CEN/TS 16637-2

Aus Bild 7 geht hervor, dass die Dreifachbestimmung zu einer sehr guten Übereinstimmung der Auslaugkurven führt, das gilt im Fall des Elements Barium auch für die Feinbetone FB-2 und FB-3.

Dass die Dreifachbestimmung aber auch eine wesentlich größere Streuung aufweisen kann, zeigt Bild 8, in dem die Nickelauslaugmenge für den Feinbeton FB-1 dargestellt ist. Stärkere Streuungen treten sehr

häufig dann auf, wenn die Analysenergebnisse in der Nähe der Bestimmungsgrenze und teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, wie es für Nickel bei diesem Auslaugversuch der Fall ist.

In Bild 9 sind die 64-Tage-Mittelwerte der Dreifachbestimmung der kumulierten Spurenelementauslaugmengen für die unbewehrten Feinbetone FB-1 bis FB-3 dargestellt. Die Spurenelemente Cadmium und Quecksilber sind in diesem Bild nicht aufgeführt, da alle Messwerte für diese Elemente unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Um alle Spurenelemente in einem Diagramm abbilden zu können, wurde für die Auslaugmengen ein logarithmischer Achsenmaßstab gewählt. Über den Balken sind jeweils die Prozentsätze für die maximal freigesetzten Mengen angegeben, wenn man sie in Relation zu den entsprechenden Anforderungswerten der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), veröffentlicht durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) [25], setzt. Aus dem Bild geht hervor, dass für die meisten Elemente nur sehr geringe Mengen bis etwa 10 % der zulässigen Auslaugung erreicht werden. Lediglich die Elemente Antimon, Blei und Vanadium zeigen höhere Freisetzungen, die aber auch für Vanadium weniger als 50 % des Anforderungswertes erreicht. Ergänzend ist anzumerken, dass entsprechend MVV TB der Wert für Vanadium derzeit ausgesetzt ist und nicht zur Bewertung eines Bauprodukts herangezogen wird.

Aufgrund der geringsten Hydrolysebeständigkeit, der höchsten TOC-Abgabe bei der Soxhletextraktion und der „DSL“-Auslaugung des Carbontextils CF-3 wurde festgelegt, dass das Carbontextil CF-3 für die weiteren Auslaug- und Beregnungsversuche mit den carbontextilbewehrten Feinbetonprüfkörpern eingesetzt wird. Als Feinbeton wurde der Feinbeton FB-1 für die weiteren Auslaug- und Beregnungsversuche mit den carbonfaserbewehrten Feinbetonprüfkörpern festgelegt.

5 DSLT-Auslaugung der carbontextilbewehrten Feinbetone

Die für den DSLT benötigten bewehrten Feinbetone mit unterschiedlicher Betonüberdeckung sowie die vierlagige Variante aus dem Feinbeton FB-1 und dem Carbontextil CF-3 wurden von der Hentschke Bau GmbH hergestellt. In Tafel 7 sind die Anzahl der Bewehrungslagen, die Betonüberdeckung, die Abmessungen und die Kurzbezeichnungen der carbontextilbewehrten Feinbetonprüfkörper zusammengefasst.

Die „DSL“-Auslaugungen wurden nach einer je rund acht Wochen dauernden, konservierenden Folienlagerung der Feinbetonplatten FB-1-1-2 bis FB-1-4-2 in Anlehnung an DIN CEN/TS 16637-2:2014, bei einem Auslaugwasser/Prüfplattenoberflächen-Verhältnis von V/O = 29 bis 48 l/m², als Dreifachbestimmung durchgeführt. Die unterschiedlichen V/O-Verhältnisse ergaben sich aus den unterschiedlichen Plattendicken bei gleicher Wasserbeaufschlagung (2,3 l).

In Bild 10 sind die 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten Spurenelementfreisetzungen für den unbewehrten Feinbeton FB-1 und die bewehrten Feinbetone FB-1-1-2, FB-1-1-5, FB-1-1-10, FB-1-1-15, FB-1-1-20 und FB-1-4-2 zusammengefasst. Die Spurenelemente Cadmium und Quecksilber sind in diesem Bild nicht aufgeführt, da so gut wie alle Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen (vergleiche Bild 9). Für die Freisetzung wurde, wie in Bild 9, ein logarithmischer Achsenmaßstab gewählt. Über den Balken sind, ebenfalls wie in Bild 9, jeweils die Prozentsätze für die maximal freigesetzten Mengen angegeben, wenn man sie

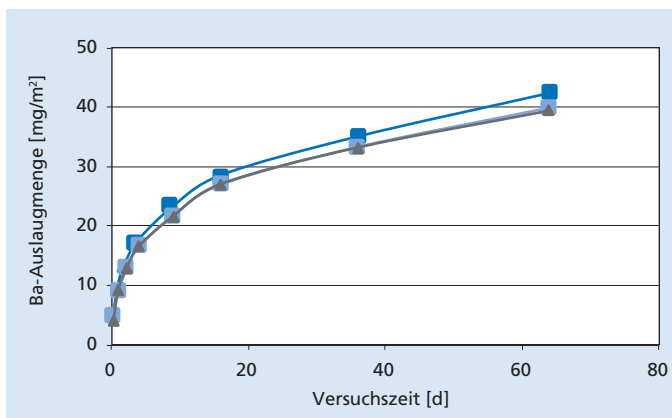


Bild 7: „DSL“-Auslaugung des Feinbeton FB-1 für das Element Barium (Dreifachbestimmung)

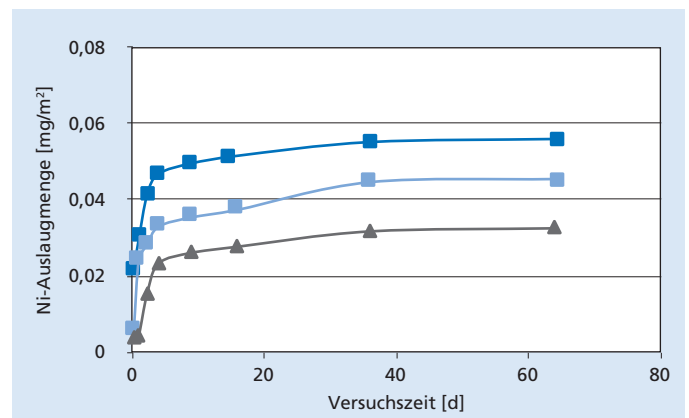


Bild 8: „DSL“-Auslaugung des Feinbeton FB-1 für das Element Nickel (Dreifachbestimmung)

Tafel 7: Anzahl der Carbonbewehrungen, Betonüberdeckung, Abmessung und Kurzbezeichnung der carbontextilbewehrten Feinbetonprüfkörper

Anzahl der Carbontextilbewehrungen und Betonüberdeckung	Abmessung der Feinbetonprüfkörper [mm]	Kurzbezeichnung
Einlagige Variante 2 mm Betonüberdeckung	150 x 150 x 5,5	FB-1-1-2
Einlagige Variante 5 mm Betonüberdeckung	150 x 150 x 10	FB-1-1-5
Einlagige Variante 10 mm Betonüberdeckung	150 x 150 x 20	FB-1-1-10
Einlagige Variante 15 mm Betonüberdeckung	150 x 150 x 30	FB-1-1-15
Einlagige Variante 20 mm Betonüberdeckung	150 x 150 x 40	FB-1-1-20
Vierlagige Variante 2 mm Betonüberdeckung	150 x 150 x 16	FB-1-4-2

in Relation zu den entsprechenden Anforderungswerten der Muster-Verwaltungsvorschrift (MVV TB), veröffentlicht durch das Deutsche Institut für Bautechnik, setzt.

Aus Bild 10 geht hervor, dass sich für die 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten

Spurenelementauslaugmengen durch die Carbonbewehrung keine wesentlichen Änderungen im Vergleich mit dem unbewehrten Feinbeton FB-1 ergeben haben. Es lässt sich auch keine Systematik, zum Beispiel eine Abhängigkeit der kumulierten

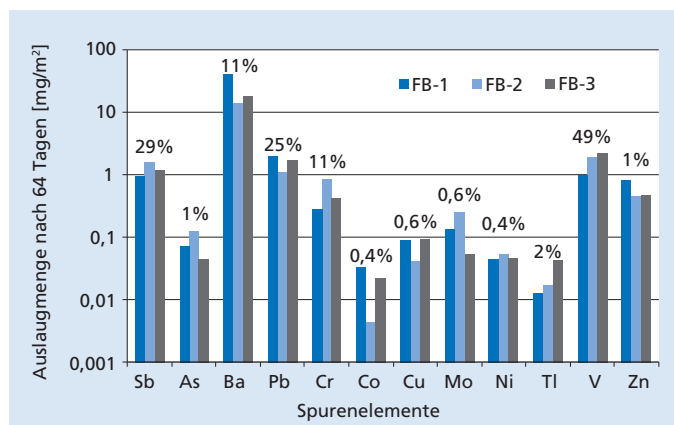


Bild 9: 64-Tage-Mittelwerte der Dreifachbestimmung der kumulierten Spurenelementauslaugmengen für die unbewehrten Feinbetone FB-1 bis FB-3

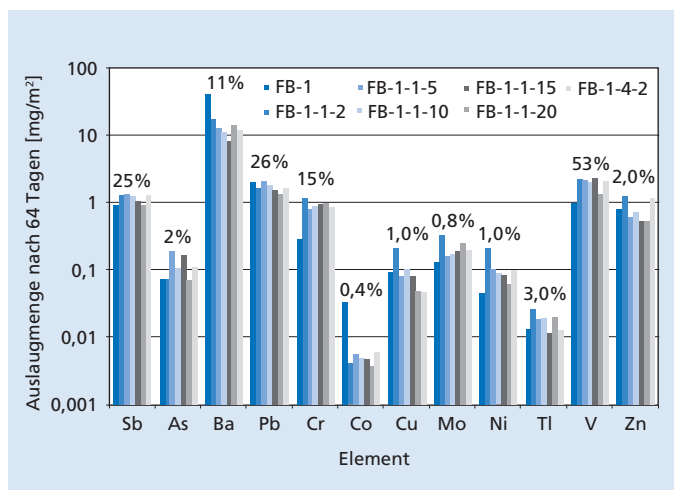


Bild 10: 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten Spurenelementauslaugmengen für den unbewehrten Feinbeton FB-1 und die carbontextilbewehrten Feinbetone FB-1-1-2, FB-1-1-5, FB-1-1-10, FB-1-1-15, FB-1-1-20 und FB-1-4-2

dann, wenn die Analysenergebnisse in der Nähe oder teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen. So wird für die Wiederholbarkeit ein typischer Bereich von 20 % bis 25 % angegeben und für die Vergleichbarkeit ein typischer Bereich von 30 % bis 40 %. Für einzelne Elemente kann die Streuung bei der Wiederholbarkeit und bei der Vergleichbarkeit wesentlich höher sein.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass für die meisten Elemente nur sehr geringe Freisetzen bis etwa 10 % der zulässigen Werte erreicht werden. Lediglich die Elemente Antimon, Blei, Chrom und Vanadium zeigen höhere Freisetzen, die für Vanadium aber ebenfalls nur maximal 53 % des Anforderungswerts erreicht.

In Bild 11 sind die 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten Auslaugmengen der untersuchten Hauptelemente, Anionen und die TOC-Abgabe für den unbewehrten Feinbeton FB-1 und die bewehrten Feinbetone FB-1-1-2, FB-1-1-5, FB-1-1-10, FB-1-1-15, FB-1-1-20 und FB-1-4-2 zusammengefasst. Für die Auslaugmengen wurde, wie in Bild 9, auch hier ein logarithmischer Achsenmaßstab gewählt. Für die Parameter Chlorid und Sulfat, für die in der MVV TB Anforderungswerte festgelegt sind, sind über den Balken die Prozentsätze für die maximal freigesetzten Mengen angegeben, wenn man sie in Relation zu diesen Werten setzt.

Aus Bild 11 geht hervor, dass sich für die 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten Freisetzen der untersuchten Hauptelemente, Anionen und die TOC-Abgabe durch die Carbonbewehrung keine wesentlichen Änderungen im Vergleich mit dem unbewehrten Feinbeton FB-1 ergeben haben. Eine generelle Systematik bei den Auslaugmengen lässt sich, wie zuvor bei den Spurenelementen, nicht erkennen. Bei der TOC-Auslaugung deutet sich an, dass diese durch die Carbontextilien verringert wird. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Carbontextilien organische Substanzen sor-

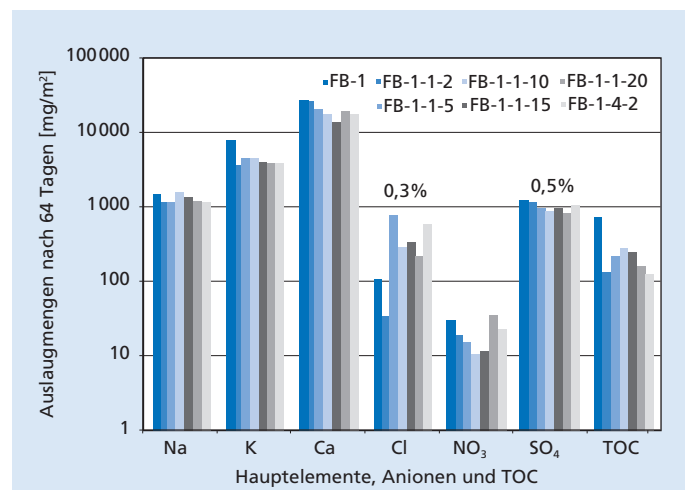


Bild 11: 64-Tage-Mittelwerte der kumulierten Auslaugmengen der untersuchten Hauptelemente, Anionen und die TOC-Abgabe für den unbewehrten Feinbeton FB-1 und die carbontextilbewehrten Feinbetone FB-1-1-2, FB-1-1-5, FB-1-1-10, FB-1-1-15, FB-1-1-20 und FB-1-4-2

Tafel 8: Anzahl der Carbontextillagen, Betonüberdeckung, Abmessung und Kurzbezeichnung der carbontextilbewehrten Feinbetonprüfkörper

Art der Versuche	Anzahl der Carbontextillagen und Betonüberdeckung	Abmessung der Feinbetonprüfkörper [mm]	Kurzbezeichnung
Laborberegnung	Einlagige Variante 2 mm Betonüberdeckung	400 x 300 x 5,5	L 1-2
	Einlagige Variante 20 mm Betonüberdeckung	400 x 300 x 40	L 1-20
	Vierlagige Variante 2 mm Betonüberdeckung	400 x 300 x 16	L 4-2
Freilandberegnung	Einlagige Variante 2 mm Betonüberdeckung	1000 x 600 x 20	F 1
	Vierlagige Variante 2 mm Betonüberdeckung	1000 x 600 x 20	F 4

bieren. Aus dem Bild geht weiterhin hervor, dass die Chlorid- und Sulfatauslaugung nur sehr gering ist.

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass Carbonbeton als umweltverträglich hinsichtlich seines Auslaugerverhaltens in der Nutzungsphase eingestuft werden kann. Die im Folgenden kurz zusammengefassten, wesentlichen Schlussfolgerungen aus den Labor- und Freilandberegnungsversuchen beim Projektpartner RWTH Aachen, Institut für Bauforschung (ibac), bestätigen dieses Ergebnis. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse der Labor- und Freilandberegnungsversuche erfolgt in gesonderten Publikationen des ibac.

6 Labor- und Freilandberegnungsversuche

Die für die Labor- und Freilandberegnungsversuche benötigten bewehrten Feinbetone mit unterschiedlicher Betonüberdeckung sowie die vierlagige Variante aus dem Feinbeton FB-1 und dem Carbontextil CF-3 wurden von der Hentschke Bau GmbH hergestellt. In Tafel 8 sind die Anzahl der Carbontextillagen, die Betonüberdeckung, die Abmessung und die Kurzbezeichnungen der carbontextilbewehrten Feinbetonprüfkörper zusammengefasst. Bild 12 zeigt den Aufbau des Laborberegnungsstands.

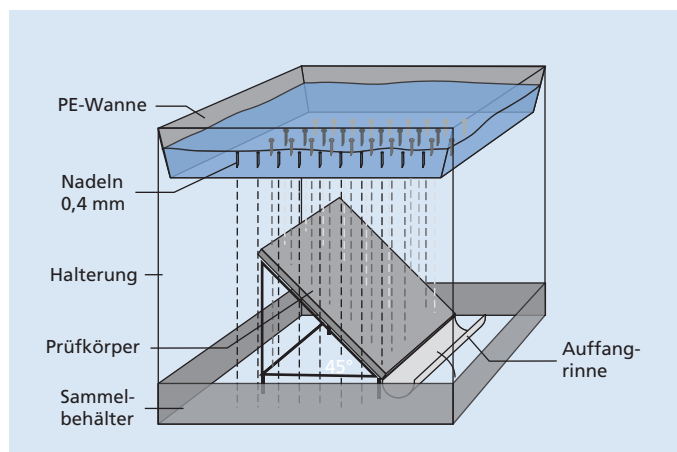


Bild 12: Schemazeichnung des Laborberegnungsstands

Insgesamt haben die Ergebnisse der Laborberegnungsversuche gezeigt, dass dieser Versuch robust ist und bei der Doppelbestimmung sehr ähnliche Ergebnisse liefert. Dabei wurden alle untersuchten Spurenelemente sowie Bor, Natrium, Kalium, Calcium, Chlorid und Sulfat nur in sehr geringen Mengen ausgelaugt, die hinsichtlich der Umweltverträglichkeit unbedenklich sind. Ein signifikanter Einfluss der Betonüberdeckung oder des Bewehrungsgrads konnte, ebenso wie bei den „DSLTAuslaugungen, nicht festgestellt werden.

Nach den Laborberegnungsversuchen wurde eine Feinbetonplatte der vierlagigen Variante zersägt, um die Lage der Carbonfaserbewehrung im Probekörper zu ermitteln (Bild 13). Aus dem Bild geht hervor, dass die Carbontextilbewehrung, trotz der geringen Betonüberdeckung von 2 mm, sehr genau positioniert wurde und eine gleichmäßige Überdeckung gegeben ist.

Die Freilandberegnungsversuche der carbontextilbewehrten Feinbetonplatten mit einer Betonüberdeckung von 2 mm an der Beaufschlagungsfläche wurden nach einer rund 20 Wochen dauernden, konservierenden Folienlagerung am 11. Oktober 2018 gestartet. Dabei wurden zwei Feinbetonplatten der einlagigen Variante so eingesetzt, wie sie angeliefert wurden (Bezeichnung F 1A und F 1B). Bei den zwei weite-

ren Feinbetonplatten der einlagigen Variante (Bezeichnung F 1gA und F 1gB) und bei den zwei Feinbetonplatten der vierlagigen Variante (Bezeichnung F 4gA und F 4gB) wurden vor der Auslagerung im Freiland gezielt Risse erzeugt, die während der Freilandbewitterung aufrecht erhalten wurden.

Bei der Vorbelastung, um die gewünschten Risse zu erzeugen, ergab sich bei den Feinbetonplatten F 4g aufgrund des hohen Bewehrungsgrads ein feineres Rissbild als bei den einlagig bewehrten Feinbetonplatten F 1g, bei denen es, auch aufgrund der geringen Bauteildicke, zu einem Durchschlagen der Risse bis auf die Unterseite kam.

Die Feinbetonplatten wurden auf Edelstahlgestellen fixiert und auf dem Dach des Physik-Sammelbaus der RWTH Aachen University mit der Prüflinse nach Westen und im 45°-Winkel zum Boden aufgestellt (Bild 14). Bei den vorgerissenen Feinbetonplatten wurde zusätzlich eine Spannvorrichtung eingebaut, damit die Risse über den gesamten Versuchszeitraum offen gehalten werden. Das bei Regenereignissen von den



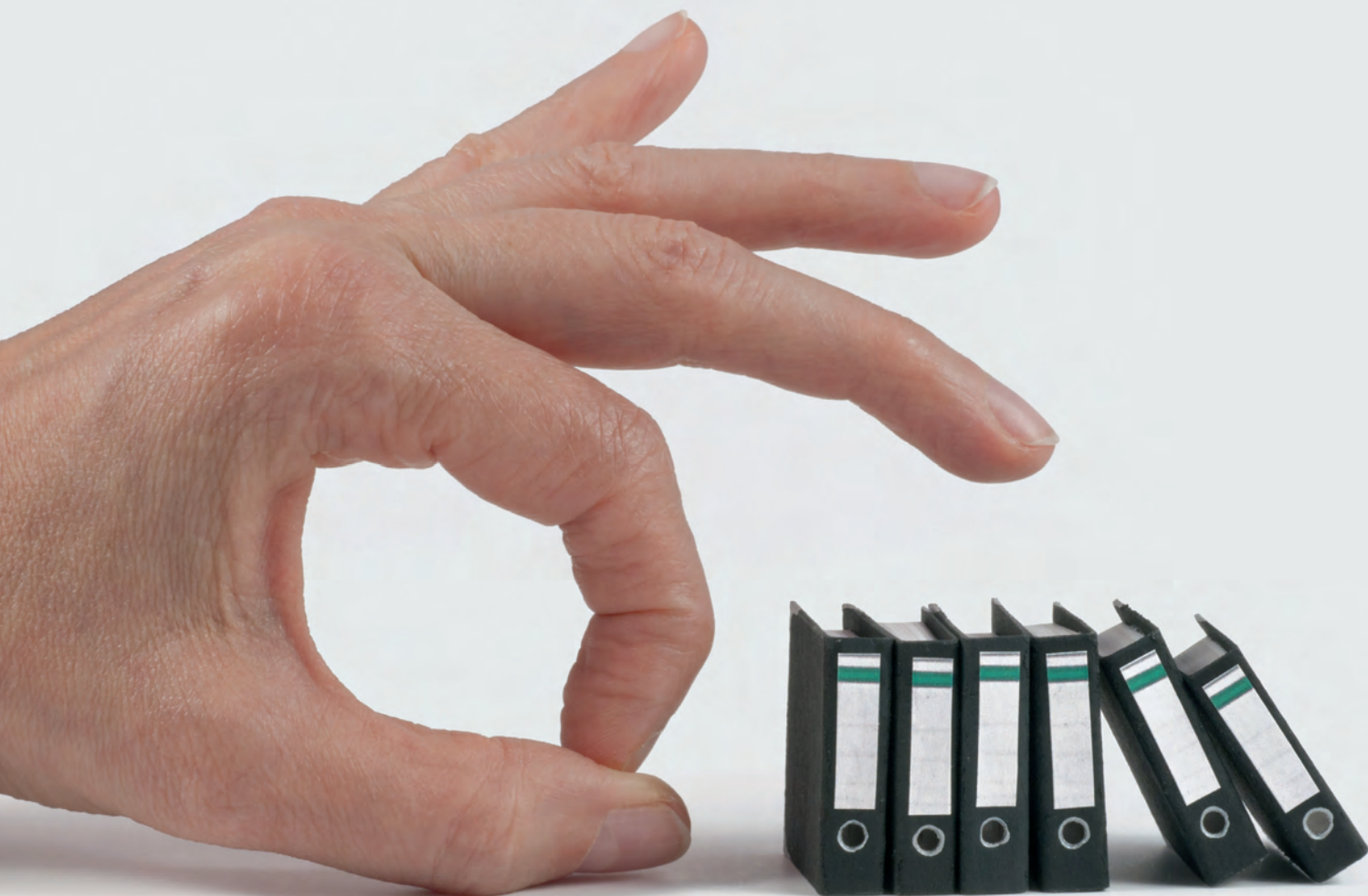
Bild 13: Verteilung der Carbontextilbewehrung in der Feinbetonplatte L 4-2 B



Bild 14: Ansicht der Freilandberegnungsstände

SCHNELL. EINFACH. PAPIERLOS.

Die digitalen Lösungen für Ihre Baustelle: www.beton24.de



www.heidelberger-beton.de


**HEIDELBERGER
BETON**
HEIDELBERGCEMENT Group

ECHT. STARK. GRÜN.

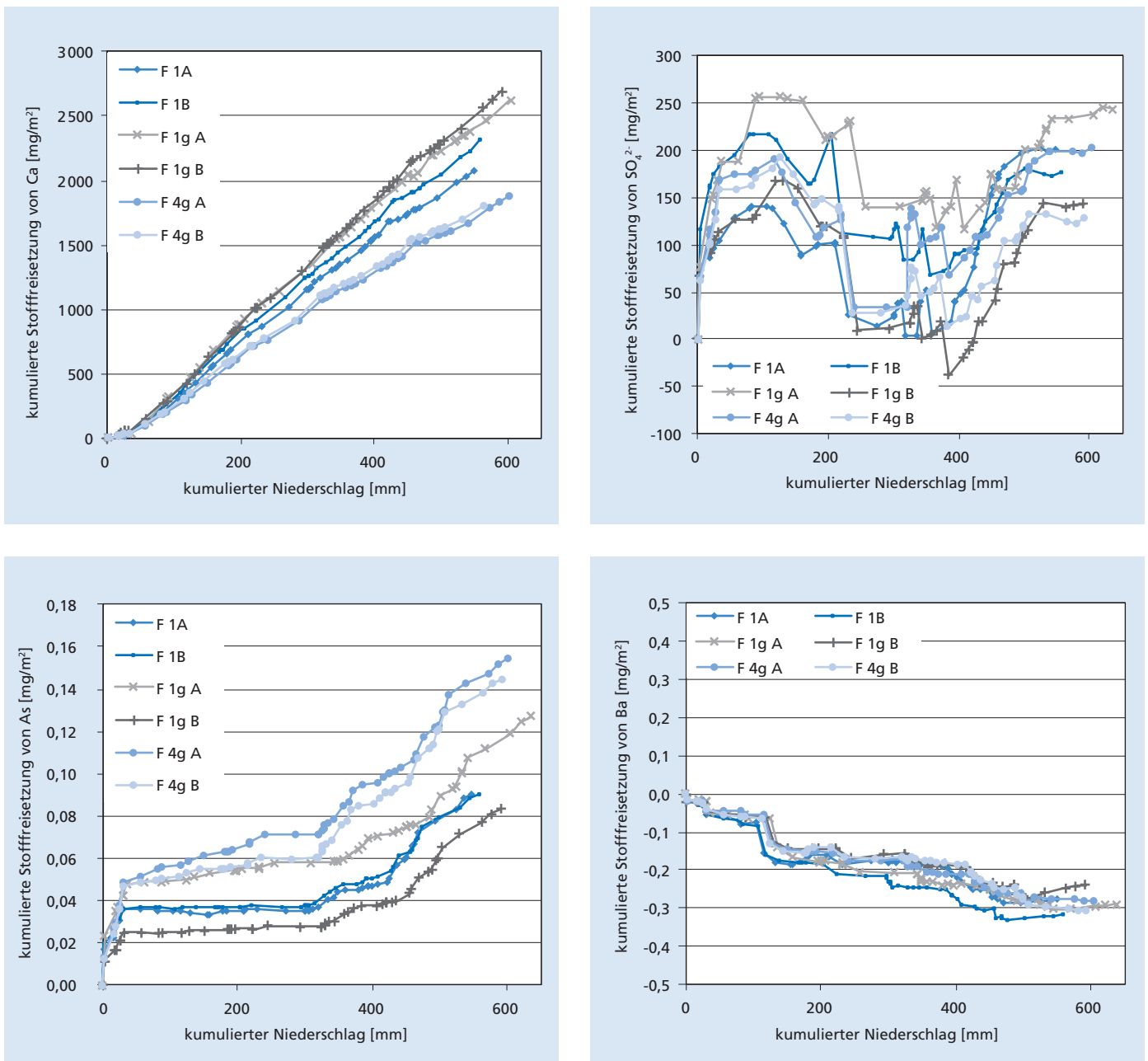


Bild 15: Freisetzungverlauf von Calcium, Sulfat, Arsen und Barium im Freilandberegnungsversuch (negative Werte resultieren aus einer Adsorption der Stoffe aus dem Regenwasser)

Feinbetonplatten ablaufende Wasser wurde in Sammelbehälter geleitet aus denen wöchentlich die Proben zur Eluatanalyse entnommen wurden. Für die Ermittlung der Blindwerte wurde eine Glasscheibe auf dem Edelstahlgestell fixiert (Bezeichnung F-BW).

Die aufgefangenen Regenmengen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Probekörpern, so dass davon ausgegangen werden kann, dass auch der Freilandberegnungsversuch gut reproduzierbar ist.

Die Auswertung der Freilanddaten hat gezeigt, dass die gemessenen Blindwerte für die meisten Parameter konstant sind. Relativ starke Schwankungen treten nur für die Gehalte an Sulfat und Nitrat auf. Für Kupfer, Blei und Chlorid wurden leichte Abwei-

chungen festgestellt. Insgesamt wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Die Elemente Cadmium, Kobalt, Quecksilber und Thallium konnten nie oder nur selten in sehr geringen Konzentrationen, leicht oberhalb oder unterhalb des Blindwerts, nachgewiesen werden.

Antimon wurde zu Versuchsbeginn bis zu etwa 301 kumulierte Eluatmenge, in geringem Maße (0,002 mg/m² bis 0,005 mg/m² kumulierte Freisetzung) ausgelagert. Danach fand nahezu keine Auslagung mehr statt.

Eine deutliche, aber hinsichtlich der Umweltverträglichkeit unkritische Auslagung war bei den Alkalien, Calcium und Sulfat sowie den Elementen Arsen, Bor, Chrom, Molybdän, Selen und Vanadium zu beobachten.

Einige untersuchte Parameter wurden aufgrund der Hintergrundkonzentration im Regenwasser wenig bis gar nicht ausgelagert oder sogar gebunden. Hierzu zählen Chlorid, Barium, Blei, Kupfer und Zink.

Zur Verdeutlichung des unterschiedlichen Freisetzung- und Sorptionsverhaltens des untersuchten Parameter zeigt Bild 15 exemplarisch die um den Blindwert bereinigten Freisetzungskurven der Substanzen Calcium, Sulfat, Arsen und Barium.

Trotz des deutlich abweichenden Auslagungsverhaltens im Freiland bestätigen auch die Ergebnisse der Expositionsversuche die in den Laborversuchen ermittelte Tendenz. Es kann davon ausgegangen werden, dass Carbonbeton hinsichtlich seines Auslagungsverhaltens während der Nutzungs-

phase als umweltverträglich eingestuft werden kann.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0328A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Literatur

- [1] Textile Reinforced Concrete – State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC. RILEM Publications S.A.R.L., Bagnex 2006
- [2] Curbach, M.; Fuchs, H.; Hegger, J.; Noisternig J. F.; Offermann, P.; Reinhardt, H.-W.; Sasse, H. R.; Schorn, H.; Wörner, J.-D.; Wulfhorst, B.; Franzke, G.; Will, N.; Arnold, R.; Bartl, A.-M.; Bischoff, T.; Deuffer, S.; Döinghaus, P.; Jesse, F.; Kleist, A.; Rößler, G.; Schneider, M.: Sachstandsbericht zum Einsatz von Textilbeton im Massivbau. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 488, Berlin 1998
- [3] Ehling, D.; Schladitz, F.; Frenzel, M.; Curbach, M.: Textilbeton – Ausgeführte Projekte im Überblick. Beton- und Stahlbeton 107 (2012) H. 11, S. 777-785
- [4] Scholzen, A.; Chudoba, R.; Hegger, J.: Dünnwandiges Schalenträgerwerk aus textilbewehrtem Beton. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012) H. 11, S. 767-776
- [5] Jesse, F.; Curbach, M.: Verstärken mit Textilbeton. Beton-Kalender 2010, Teil I, Ernst & Sohn, Berlin 2009, S. 457-565
- [6] Lieboldt, M.; Mechtcherine, V.: Capillary transport of water through textile-reinforced concrete applied in repairing and or strengthening cracked RC structures. Cement and Concrete Research 52 (2013), S. 24-33
- [7] Z-31.10-182: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton). Deutsches Institut für Bautechnik, 01.06.2014

- [8] Draeger, U.; Glöckner, M.; Ilvonen, O.; Kirchner, D.; Spanka, G.; Wiens, U.; Wurbs, J.: Prüfnormen zur Bestimmung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten – Europäische Harmonisierung erreicht die Zielgerade. DIN Mitteilungen (2012) H. 3, S. 19-27
- [9] Hoffmann, B.; Ilvonen, O.; Oppl, R.; Spanka, G.; Wiens, U.; Wurbs, J.: Freisetzung von gefährlichen Stoffen aus Bauprodukten in Boden, Wasser und Innenraumluft. DIN Mitteilungen (2015) H. 12, S. 14-19
- [10] Erläuterungen des DAfStb zum aktuellen Regelungsstand der Umweltverträglichkeit von Beton (2010). http://dafstb.de/akt_umweltvertraeglichkeit_beton.html
- [11] Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser – Teil I, Mai 2009. DIBt Mitteilungen (2009) H. 4, S. 116-134
- [12] Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser – Teil II, Juli 2009, Teil III, Mai 2009. DIBt Mitteilungen (2009) H. 5, S. 169-179
- [13] Dijkstra, J. J.; Zomeren A. van; Susset, B.: Technical principles underlying limit values for release of substances for the percolation test TS3: comparison DE and NL. Energy research centre of the Netherlands (ECN), ECN report number: ECN-E--13-059, 2013
- [14] EN 12447-2001: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Auswahlprüfverfahren zur Bestimmung der Hydrolysebeständigkeit
- [15] DIN CEN/TS 16637-1:2014-11; DIN SPEC 18046-1: „Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Teil 1: Leitfaden für die Festlegung von Auslaugprüfungen und zusätzlichen Prüfschritten“
- [16] DIN CEN/TS 16637-2:2014-11; DIN SPEC 18046-2: „Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Teil 2: Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung“

- [17] Vollpracht, A., Brameshuber, W.: Investigations on the leaching behaviour of irrigated construction elements. Environmental Science and Pollution Research 17 (2010) H. 5, S. 1177-1182
- [18] Sloot, H. A. van der, Dijkstra, J. J.: Development of horizontally standardized leaching tests for construction materials: A material based or release based approach? Energy research centre of the Netherlands (ECN), ECN report number: ECN-C--0413-060, 2004
- [19] Ashworth, D. J.; Alloway, B. J.: Influence of Dissolved Organic Matter on the Solubility of Heavy Metals in Sewage-Sludge-Amended Soils. Communications in Soil Science and Plant Analyses 39 (2008), S. 538-550
- [20] Dudley, L. M.; McNeal, B. L.; Baham, J. E.; Corey, C. S.; Cheng, H. M.: Characterization of soluble organic complexes and complexation of copper, nickel and zinc in extracts of sludge-amended soils. Journal of Environmental Quality 16 (1987), S. 341-348
- [21] Brameshuber, W.; Lin, X.; Vollpracht, A.: Literaturrecherche zur Auslaugkinetik von zementgebundenen Baustoffen. Bauforschung, Band T 3300, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2013
- [22] Spanka, G.; Thielen, G.: Untersuchungen zum Nachweis von verflüchtigen Betonzusatzmitteln und zu deren Sorptions- und Elutionsverhalten. Beton 45 (1995) H. 5, S. 320-327
- [23] Dauerhafter Beton – Grundlagen, Planung und Ausführung bei Frost- und Frost-Taumittel-Beanspruchung, 6. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Karlsruhe 2009
- [24] CEN/TR 15858:2009-03: Construction products – Assessment of the release of regulated dangerous substances from construction products based on the WT, WFT/FT procedures
- [25] DIBt, Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, Ausgabe (2017/1), Anhang 10 „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer (ABUG), Anhang A – Anforderungswerte; Tabelle A-6 bzw. Tabelle A-7

Die Autoren:

M.Sc. Lia Weiler studierte Umweltingenieurwesen an der Universität Kassel. Ab 2014 war sie als Mitbegründerin eines Social StartUps für Mikroholzvergaser tätig, in dem sie u.a. für Umweltbelange verantwortlich war. Seit Ende 2016 ist Lia Weiler als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Umweltverträglichkeit/ Bindemittel am Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University beschäftigt.

Prof. Dr.-Ing. Anya Vollpracht studierte Bauingenieurwesen an der TU Berlin und ist seit 2002 am Institut für Baustoffforschung (ibac), RWTH Aachen University, beschäftigt. Die Promotion wurde 2012 abgeschlossen, 2014 erfolgte die Berufung zur Juniorprofessorin für Umweltverträglichkeit von Baustoffen. Seit 2008 leitet Frau Vollpracht die Arbeitsgruppe Bindemittel.

Dr.-Ing. Frank Jesse studierte Bauingenieurwesen an der TU Dresden, wo er auch promovierte. Am Institut für Massivbau der TU Dresden war er zunächst wissenschaftlicher Mitarbeiter, dann wissenschaftlicher Oberingenieur. Von 1999

bis 2010 war er Geschäftsführer des Sonderforschungsbereichs 528. Ab 2010 vertrat er als Gastprofessor den Lehrstuhl Massivbau an der BTU Cottbus-Senftenberg. Seit 2013 ist er bei der Hentschke Bau GmbH mit Stammsitz in Bautzen für Entwicklung und QM zuständig.

Dr.-Ing. Christoph Müller studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen, wo er auch promovierte. Seit Mai 2000 arbeitet er im Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) Düsseldorf in der Abteilung Betontechnik. Er beschäftigt sich dort mit allen Bereichen der Betontechnologie und ist Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Normungsgremien des Betonbaus. Seit Beginn des Jahres 2007 ist er Leiter der Abteilung Betontechnik im FIZ und seit 2010 Obmann des CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“. Er ist Mitglied des Vorstands und des engeren Vorstandes des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) und seit Beginn des Jahres 2012 Geschäftsführer der VDZ gGmbH und seit 2014 Honorarprofessor an der Ruhr-Universität Bochum (RUB).

Dipl.-Ing. Jochen Reiners studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Von 1996 bis 2007 war er bei der Hochtief AG Köln in der Bauleitung und beim Projektmanagement von Großbaustellen tätig. Seit 2007 arbeitet er beim Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) in der Abteilung Betontechnik; seit 2009 als Oberingenieur und Laborleiter. Jochen Reiners ist Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien, u.a. CEN/TC 350 „Sustainability of construction works“.

Dr. rer. nat. Gerhard Spanka studierte Chemie an der Universität-GHS Essen, wo er auch promovierte. Seit 1988 arbeitet er beim Verein Deutscher Zementwerke e. V. Er ist Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien, die sich mit dem Umweltverhalten zementgebundener Baustoffe befassen. Er leitet z. B. den deutschen Spiegelausschuss zur WG 5 „Auslaugverfahren“ des CEN/TC 351 sowie den technischen Ausschuss „Umwelt“ des DAfStb. Er ist Mitglied im Fachgremium „Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser“ des Umweltbundesamts und im Sachverständigenausschuss „Umwelt“ des DIBt