

ZUSAMMENFASSUNG

**Erstellung einer Datenbasis zum
Auslaugverhalten von Frischbeton
unterschiedlicher Zusammensetzung**

F 7058

DIBt-Nr. P 52-5- 20.52-1346/10

1 Einleitung

Eine Betrachtung der Umweltverträglichkeit der Frischbetonphase im Rahmen von Zulassungsprüfungen ist für bestimmte Anwendungsfälle, wie z. B. beim Einsatz von Unterwasserbeton, vorgesehen. Im Rahmen des vom DAfStb geförderten Forschungsprojekts /1/ wurde ein Vorschlag zur Bewertung der Auslaugung während der Frischbetonphase erarbeitet. Dabei ist die Übertragung der im Versuch ermittelten Auslaugraten auf den praktischen Anwendungsfall ein wesentlicher Faktor. Es wurden für zwei umweltrelevanten Stoffe (Chrom und Molybdän) Umrechnungsfaktoren zwischen einem einfachen Laborversuch, dem Frischbetonstandtest, und einem praxisgerechten dynamischen Versuch abgeleitet, die allerdings nur für die spezifischen Randbedingungen des dynamischen Versuchs und den verwendeten Portlandzementbeton gelten. Es existierte keine Datenbasis für andere genormte Betonausgangsstoffe.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, einerseits die in /1/ ermittelten Umrechnungsfaktoren zu überprüfen und ggf. auf weitere Spurenelemente zu erweitern und andererseits eine Datenbasis für genormte Betonausgangsstoffe zu erstellen. Des Weiteren sollte überprüft werden, ob eine Bewertung der Frischbetonphase erforderlich ist.

2 Darstellung des Untersuchungsprogramms

Für die Untersuchungen wurden ein Portlandzement, ein Portlandkalksteinzement und ein Hochofenzement ausgewählt, welche alle aus demselben Werk stammen. Da in der Praxis inzwischen ausschließlich chromatreduzierte Zemente zum Einsatz kommen, wurden auch für dieses Projekt chromatreduzierte Zemente verwendet. Der Portlandzement wurde zusätzlich mit zwei verschiedenen Flugaschen bzw. mit einem Silikastaub kombiniert, so dass insgesamt sechs Bindemittel bzw. Bindemittelkombinationen zu untersuchen waren. Die Ausgangsstoffe wiesen repräsentative Schwermetallgehalte auf, wobei die Flugaschen für die meisten Schwermetalle höhere Gehalte als die Zemente und der Silikastaub zeigten.

Die durchgeführten Auslaugversuche am Frischbeton sind in Bildern 1 und 2 dargestellt. Beim Frischbetonstandtest wird Frischbeton in eine speziell angefertigte Form eingefüllt und die Frischbetonoberfläche mit deionisiertem Wasser beaufschlagt, welches zu festgelegten Zeiten gewechselt wird (s. Bild 1). Der Versuch wurde bis zum Alter von 57 Tagen durchgeführt, wobei nur die erste 24 h nach /1/ als Frischbetonstandtest zu bezeichnen sind.

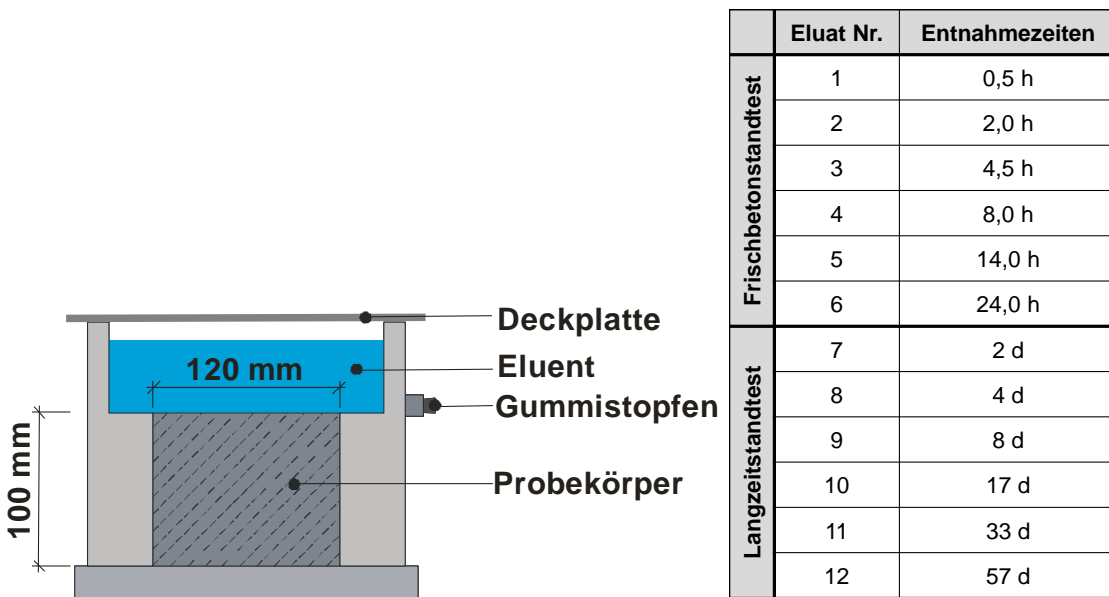


Bild 1: Schematische Darstellung des Frischbetonstandtests nach /1/

Der dynamische Versuch soll die Verhältnisse im Grundwasser möglichst realitätsnah abbilden. Der Frischbeton wird auf einen von Leitungswasser durchströmten Sandboden aufgebracht. Das Leitungswasser soll strömendes Grundwasser simulieren. Es wird jeweils eine Mischprobe über den Zeitraum zwischen zwei Eluatentnahmen aus dem Überlauf des Ablaufbeckens gewonnen und analysiert. Für den dynamischen Versuch wurden drei Betone ausgewählt: der Portlandzementbeton, der Hochofenzementbeton sowie eine Portlandzement-Flugasche-Kombination.

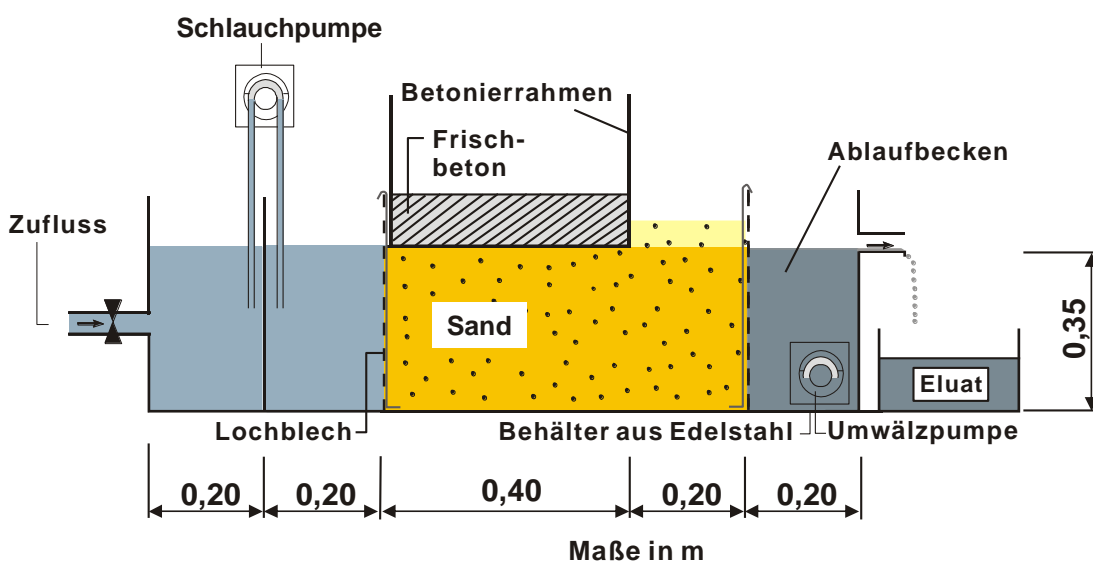


Bild 2: Dynamischer Versuch, Fließstrecke 0,6 m, /1/

In beiden Versuche kann die Freisetzung berechnet werden. Zum Vergleich wurden Untersuchungen mit dem üblichen DAfStb-Langzeitstandtest durchgeführt, der im Betonalter von 56 Tagen beginnt. Ziel war es, die Relevanz der Frischbetonphase für die Umweltverträglichkeit des Baustoffs Beton festzustellen. Es sollte geprüft werden, ob eine separate Bewertung der Frischbetonphase erforderlich ist, oder ob eine Beurteilung anhand des DAfStb-Langzeitstandtests ausreicht. Für diese Untersuchungen wurden analog zum dynamischen Versuch drei Betone ausgewählt.

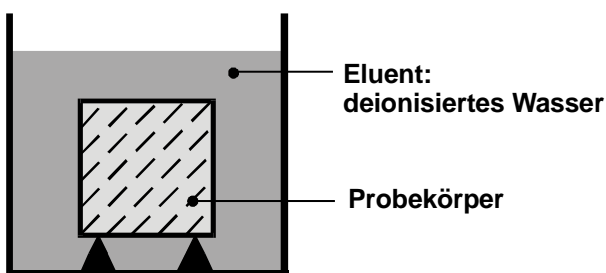


Bild 3: Schematische Darstellung des Langzeitstandtests nach DAfStb-Richtlinie

Bei den Auslaugversuchen wurden pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential und die Konzentrationen von Natrium, Kalium, Chlorid, Cyanid, Fluorid und Sulfat sowie Antimon, Arsen, Barium, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Selen, Thallium, Vanadium und Zink in den Eluaten bestimmt.

3 Darstellung und Auswertung der Versuchsergebnisse

Die Konzentrationen von Cyanid, Fluorid, Arsen, Cadmium und Quecksilber waren nicht nachweisbar. Antimon, Kobalt, Kupfer, Nickel, Thallium und Zink waren in den Standtests nur teilweise oder gar nicht messbar, die Gesamtfreisetzungen lagen jeweils deutlich unter 1 mg/m^2 . Für diese umweltrelevanten Stoffe wurde keine Auswertung des Freisetzungverlaufs durchgeführt.

Zur Beurteilung der Eignung des DAfStb-Langzeitstandtests sind in Tabelle 1 die Freisetzungen der quantifizierbaren Schwermetalle im Frischbetonstandtest mit anschließendem Langzeitstandtest den Ergebnissen des DAfStb-Langzeitstandtests gegenübergestellt. Im ungünstigsten Fall (Chrom) war die Freisetzung um Faktor 10 höher als im DAfStb-Langzeitstandtest. Der DAfStb-Langzeitstandtest unterschätzt somit die Freisetzung. Ausnahmen sind Blei und Zink, wobei die Konzentrationen von Zink auf sehr niedrigem Niveau lagen (häufig unterhalb der Bestimmungsgrenze).

Tabelle 1: Kumulative Freisetzungen der Schwermetalle in den Standtests (Mittelwerte)

Parameter	M10		M11		M30		zul. E _{56d} ²⁾
	DAfStb	FS-LS ¹⁾	DAfStb	FS-LS ¹⁾	DAfStb	FS-LS ¹⁾	
-	mg/m ²						mg/m ²
1	2	3	4	5	6	7	8
Barium	58,5	79,4	31,8	75,6	18,2	91,3	351
Blei	0,99 - 1,09	0 - 0,48	1,81	0,05 - 0,49	3,17	0 - 0,48	7,2
Chrom	0,2 - 0,3	2,3	0,38 - 0,42	2,8	0,17 - 0,29	2,1	7,2
Molybdän	0 - 0,48	0,46 - 1,3	0 - 0,48	5,5 - 6,1	0 - 0,48	0,59 - 1,3	36,1
Selen	0,16 - 0,3	0,47 - 1,2	0,36 - 0,43	1,6 - 1,9	0,46 - 0,51	1,2 - 1,4	7,2
Vanadium	0,42 - 0,54	3,6	3,0	5,3	1,6	5,1	4,1
Zink	0,05 - 0,49	0,47 - 0,73	0,07 - 0,51	0,25 - 0,6	0,5 - 0,74	0,07 - 0,51	59,8

1) Frischbetonstandtest mit anschließendem Langzeitstandtest, 57 tägige Auslaugung

2) nach /DIB11/ gilt zul. E_{56d} nur für DAfStb-Langzeitstandtest an Festbeton

Die Freisetzungen während des Frischbetonstandtests, des anschließenden Langzeitstandtests und des DAfStb-Langzeitstandtests wurden verglichen. Nur bei Blei wurden im DAfStb-Langzeitstandtest die höchsten Freisetzungen ermittelt. Für dieses Schwermetall ist die bisherige Bewertung der Festbetonphase ausreichend. Für Kalium, Chlorid, Sulfat, Molybdän und Selen werden bei allen Betonen die höchsten Freisetzungen im Frischbetonstandtest ermittelt. Molybdän wird nur während der Frischbetonphase in quantifizierbaren Konzentrationen freigesetzt. Die Freisetzungen von Chlorid und Sulfat während der Frischbetonphase waren ein bis drei Größenordnungen höher als die Freisetzungen während der Festbetonphase. Natrium, Barium, Chrom und Vanadium zeigen meist im angeschlossenen Langzeitstandtest die höchsten Freisetzungen. Für diese umweltrelevanten Stoffe ist die Frischbetonphase und die erhöhte Auslaugung in jungem Alter relevant. Die in /3/ abgeleiteten zulässigen Freisetzungen setzen einen diffusionskontrollierten Auslaugprozess voraus. Bei Sulfat, Chrom und Vanadium ist diese Voraussetzung nicht gegeben. Die Auslaugung der drei Stoffe wurde maßgeblich von pH-Wert bestimmt. Dieser lag in den letzten Eluat unterhalb der Stabilitätsgrenze von Ettringit, so dass die Sulfat Freisetzung anstieg. Da Chrom mit hoher Wahrscheinlichkeit als Chromat in Ettringit eingebunden wird, wirkt sich die Ettringit-Zersetzung auch für dieses Schwermetall aus. Vanadium zeigte bei den abnehmenden pH-Werten der letzten Elutionsschritte des angeschlossenen Langzeitstandtests einen besonders ausgeprägten Anstieg der Löslichkeit. Im Extremfall betrug die Konzentration im letzten Eluat 41 µg/l, während im ersten < 0,5 µg/l festgestellt worden waren. Im DAfStb-Langzeitstandtest waren die pH-Werte höher, so dass die Beeinflussung des Auslaugverhaltens etwas geringer war, dennoch ist auch in diesem Versuch das Diffusionsmodell aus /DIB11/ für Sulfat, Chrom und Vanadium nicht anwendbar.

Vergleicht man die verschiedenen Bindemittelkombinationen, so ist festzustellen, dass die flugaschhaltigen Betone trotz höherer Schwermetallgehalte für die meisten umweltrelevanten Stoffe keine erhöhten Freisetzungen zeigen. Lediglich bei Molybdän und in geringerem Maße bei Chrom und Vanadium sowie beim aus Umweltgesichtspunkten irrelevanten Stoffen Natrium wird eine höhere Auslaugung festgestellt. Der Beton mit Silikastaub weist eine marginal höhere Freisetzung an Blei, Kupfer und Nickel auf. Die Auslaugung der Alkalien, von Chlorid, Sulfat und Barium verringert sich. Beim Hochofenzementbeton sind die Chlorid- und die Vanadium Freisetzung tendenziell erhöht.

Im dynamischen Versuch wurden die Freisetzungen von Natrium, Kalium, Chlorid, Sulfat, Barium, Chrom, Molybdän, Selen und Vanadium ausgewertet. Die übrigen umweltrelevanten Stoffe waren entweder nicht nachweisbar oder die Konzentrationen lagen im Bereich der Hintergrundkonzentrationen. Bei Barium sinken die Konzentrationen nach der anfänglichen Freisetzung unter das Niveau der Hintergrundwerte ab, d. h. es tritt eine Sorption am Beton auf. Über die gesamte Versuchslaufzeit ist die Sorption höher als die Freisetzung. Bei realen Grundwässern wird voraussichtlich keine Bariumfreisetzung zu beobachten sein. Im dynamischen Versuch stellen sich niedrigere pH-Werte ein als im Frischbetonstandtest, daher waren die Freisetzungen von Sulfat, Molybdän, Chrom und Vanadium erhöht. Der in /1/ abgeleitete Umrechnungsfaktor für Chrom ist für den hier untersuchten Portlandzementbeton anwendbar (vgl. Tabelle 2), für die anderen Bindemittel liegen die Faktoren niedriger. Das vorgeschlagene Bewertungskonzept liegt damit auf der sicheren Seite. Auch bei Molybdän waren die Umrechnungsfaktoren geringer als in /1/.

Tabelle 2: Umrechnungsfaktoren zwischen der kumulativen Freisetzung im dynamischen Versuch und der kumulativen Freisetzung im Frischbetonstandtest

Parameter		CEM I	CEM I + FA1	CEM III	/Bra07a/ (CEM I)
1		2	3	4	5
Chlorid		2,0	1,4	1*	-
Sulfat		1,2	1*	1*	1,4
Chrom	BW = 0 µg/l	3,4	2,3	2,0	3,3
	BW = 0,5 µg/l	2,5	1,6	1*	
Molybdän		1,3	1,1	1*	1,95
Vanadium	BW = 0 µg/l	3,1	4,8	5,3	-
	BW = 0,5 µg/l	1,6	2,5	2,7	

BW festgelegter Blindwert zur Berechnung der kumulativen Freisetzung (Analyseergebnis: < 0,5 µg/l)

* Freisetzungen sind im Rahmen der Versuchsstreuungen als gleich zu betrachten

Die Zusammenstellung in Tabelle 2 zeigt, dass die Umrechnungsfaktoren vom umweltrelevanten Stoff und von der Betonzusammensetzung abhängig sind. Als grobe Tendenz zeichnet sich ab, dass die Umrechnungsfaktoren von Chlorid, Sulfat, Chrom und Molybdän mit sinkendem Klinkeranteil im Bindemittel abnehmen, während bei Vanadium eher der gegenläufige Trend zu beobachten ist. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die dynamischen Versuche an den Betonen CEM I + FA1 und CEM III für Vanadium sehr kleine Konzentrationen und eine sehr schlechte Reproduzierbarkeit gezeigt haben.

Der DAfStb-Langzeitstandtest bildet für die Prüfung von Zementsuspensionen nicht den ungünstigsten Fall ab, da er die Frischbetonphase nicht erfasst und auch die Auslaugung während der folgenden Erhärtung der Zementsuspension unterschätzt. Die zeitliche Entwicklung der Auslaugrate stimmt in den beiden Langzeitstandtests nicht überein. Ob der Versuch dennoch zur Bewertung herangezogen werden kann, muss in den zuständigen Gremien des DIBt entschieden werden.

Literatur

- /1/ Brameshuber, W. ; Vollpracht, A.: Erarbeitung eines Bewertungskonzepts zur Auslaugung aus Frischbeton. Aachen : Institut für Bauforschung, 2007. – Forschungsbericht Nr. F 944
- /2/ Brameshuber, W. ; Lin, X. ; Vollpracht, A.: Literaturrecherche zur Auslaugkinetik von zementgebundenen Baustoffen. Aachen : Institut für Bauforschung, 2012. – Forschungsbericht Nr. F 7091
- /3/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser – Teil II (Bewertungskonzepte für spezielle Bauprodukte), Kapitel „Betonausgangsstoffe und Beton“, September 2011, Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik