

25 (2012)

AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

Literaturrecherche zur Auslaugkinetik von zementgebundenen Baustoffen

Literature Study on the Leaching Kinetics of Cementitious Building Materials

X. Lin, A. Vollpracht, W. Brameshuber

1 EINLEITUNG

Im DIBt-Grundsatzpapier „Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ Teil II, Kapitel „Betonausgangsstoffe und Beton“, wird ein Bewertungskonzept für zementgebundene Baustoffe festgelegt. Dieses Bewertungskonzept für Festbeton basiert auf dem Langzeitstandtest gemäß DAfStb-Richtlinie /1/. Die Feststellung der maximalen zulässigen Freisetzung erfolgte anhand von Transportmodellierungen im Grundwasser. Beim Schadstoffeintrag in das Modellgebiet wurde von einer diffusionsgesteuerten Auslaugung mit einem zeitlich konstanten Diffusionskoeffizienten ausgegangen.

Im Rahmen dieses Projektes wurden Prüfdaten aus der Literatur gesammelt und ausgewertet, um die Auslaugkinetik realitätsnäher zu beschreiben. Anhand von Transportmodellierungen wurde festgestellt, ob sich die mittlere Kontaktgrundwasserkonzentration beim Ansatz der realitätsnäheren Auslaugkinetik verändert, bzw. welche Sicherheiten hier im Konzept enthalten sind. Ergänzend dazu wurde das deutsche Bewertungskonzept im Rahmen dieses Projektes mit dem niederländischen Konzept /2/ verglichen.

2 DATENBANK

Die Datensammlung erfolgte mit Hilfe von MS-Excel. In dieser Datenbank wurden Ergebnisse von Langzeitstandtestes an 42 Betonen und 24 Mörteln aus umfangreichen Forschungs- und Materialprüfungsprojekten, die im Zeitraum von 1995 bis 2010 durchgeführt wurden, zusammengestellt. Die Untersuchungen umfassen 23 verschiedene Zemente, 12 Flugaschen (mit oder ohne Mitverbrennung von sekundären Brennstoffen), 4 Kesselsande, 3 Fließmittel und 3 Recyclingmaterialien. Alle in /3/ definierten, umweltrelevanten anorganischen Parameter sowie pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential, Natrium, Kalium, Triethanolamin und TOC (Total Organic Carbon) sind in der Datenbank aufgeführt. Die wichtigsten variierten Randbedingungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Versuchsbedingungen bei den Langzeitstandtests der Datenbank

Table 1: Overview of the test-conditions of the tank tests from the database

Parameter	Einheit	Spannweite
1	2	3
w/z _{eq}	-	0,4 - 0,6
V/O	l/m ²	40 - 120
Vorlagerungszeit	d	28 - 360
Laufzeit des Standtests	d	14 - 84
pH-Wert (Blindwert des Eluenten)	-	4 - 10

V/O: Volumen des Eluenten bezogen auf die Oberfläche des Prüfkörpers

Die kumulativen Freisetzungen bis zum Alter von 56 Tagen und die Freisetzungsraten wurden berechnet. Die mittleren kumulativen Freisetzungen der umweltrelevanten Parameter sind deutlich kleiner als die zulässigen. Die maximalen kumulativen Freisetzungen der meisten umweltrelevanten Parametern sind ebenfalls kleiner als die zulässigen Freisetzungen. Ausgenommen sind Chrom, Kupfer, Thallium und Vanadium, deren Freisetzung umweltrelevant sein kann. Gemäß dem χ^2 -Test entspricht die Verteilung von E_{56d} bei Chrom trotz der sehr unterschiedlichen Zusammensetzung der zementgebundenen Baustoffe der Log-Normalverteilung. Bei Kupfer gehören einzelne Messergebnisse nicht zur Grundgesamtheit. Hier scheint ein systematischer Fehler bei einer Messreihe vorzuliegen. Zur Bestimmung der Auslaugkinetik wurden die Freisetzungsraten (J) eines Datensatzes in einem lgJ-Igt Diagramm dargestellt. Die Steigungen in den lgJ-Igt Diagrammen wurden angepasst. Bei den Spurenelementen lagen die Konzentrationen im Eluat häufig unter der Bestimmungsgrenze. Nur bei Barium, Blei, Chrom, Kupfer, Vanadium und Zink überschreiten die Eluatkonzentrationen i. d. R. die Bestimmungsgrenze. Theoretisch liegt die Steigung für eine diffusionskontrollierte Auslaugkinetik mit einem konstanten Diffusionskoeffizient bei -0,5. Die anhand der Prüfdaten berechneten Mittelwerte der Steigungen umweltrelevanter Parameter sind alle kleiner als -0,5 d. h.

die Freisetzungsraten umweltrelevanter Parameter klingen normalerweise schneller ab als bei einer diffusionskontrollierten Kinetik mit konstantem Diffusionskoeffizienten. Die Alkalien, die kaum in Hydratationsprodukte eingebunden werden und daher diffusiv freigesetzt werden, zeigen im IgJ-Igt-Diagramm Steigungen um -0,65. Daraus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass der Diffusionskoeffizient aufgrund der Gefügeverdichtung durch eine weitere Hydratation während der Versuchsdurchführung sinkt. Eine Reihe von umweltrelevanten Stoffen zeigen ebenfalls Steigungen im Bereich von -0,65 und werden somit wie die Alkalien diffusionsgesteuert ausgelaugt. Bei einigen Schwermetalle sind jedoch Abweichungen festzustellen. Vanadium zeigt flachere, z. T. sogar zum Ende des Auslaugversuchs ansteigende Freisetzungsraten. Offenbar ist Diffusion hier nicht maßgeblich. Dieser Parameter wird durch das Bewertungskonzept nicht abgedeckt. Es sollten weitere Versuche zur Freisetzung über längere Zeiträume durchgeführt und der Einfluss der Versuchsbedingungen näher untersucht werden. Auch die Auslaugung von Blei, Kupfer und Zink wurde wahrscheinlich nicht allein von Diffusion bestimmt. Ihre Auslaugrate fällt jedoch steiler ab als -0,65. Für diese Parameter liegt das Bewertungskonzept auf der sicheren Seite.

3 BEWERTUNGSKONZEPT

Das DIBt-Bewertungskonzept basiert auf Modellsimulationen, mit denen die Konzentrationen der umweltrelevanten Stoffe im Kontaktgrundwasser prognostiziert werden. Als Kontaktgrundwasser wird das Grundwasser in unmittelbarem Kontakt mit dem auslaugenden Bauteil bezeichnet. Die mittlere Kontaktgrundwasserkonzentration muss die Geringfügigkeitsschwellen /3/ einhalten. Die Prognose der Stoffkonzentration im Kontaktgrundwasser wird in zwei Schritte unterteilt:

- 1) Extrapolation und Umrechnung der Freisetzungsrates bzw. Ermittlung des Stoffeintrags
- 2) Simulation der Stoffausbreitung mit Hilfe von numerischen Transportprogrammen.

Basierend auf den Ergebnissen der Simulation wurde dann eine zulässige Freisetzung für den Laborversuch abgeleitet, so dass Versuchsergebnisse direkt bewertet werden können und nicht in jedem Einzelfall eine Transportmodellierung durchgeführt werden muss.

Für den Schadstoffeintrag wurde im bestehenden Konzept ein Diffusionsansatz mit zeitlich konstantem Diffusionskoeffizienten gewählt. Im Rahmen dieses Projekts sollte ein realitätsnäherer Ansatz für die Auslaugkinetik gewählt werden. Hierfür wurden die in der Datenbank zusammengestellten Datensätze genutzt. Die Modellierung wurde für Chromat durchgeführt. Die im DIBt-Bewertungskonzept abgeleitete Gleichung zur Berechnung der zulässigen Freisetzung (zul. $E_{56d} = GFS / 0,97$) stellt auch beim Einsatz der realitätsnäheren Auslaugkinetik eine sehr gute Näherung dar. Eine Anpassung des Konzepts ist daher an dieser Stelle nicht erforderlich. Bei der Übertragung der Modellierungsergebnisse auf andere umweltrelevante Stoffe ist zu beachten, dass bei der Ermittlung des Schadstoffeintrags eine Umrechnung der Freisetzung von 20 °C (Labor) auf 10 °C (Praxis) durchgeführt wird. Der entsprechende Faktor ist stoffspezifisch und evtl. materialspezifisch. Die Übertragung auf andere Parameter beinhaltet daher einen Fehler, der wahrscheinlich im Bereich von 10 % liegt. Für eine genauere Bewertung wären zusätzliche Laborversuche erforderlich.

Im niederländischen Bewertungskonzept wird die Gesamtfreisetzung bzw. die Immission als Kriterium herangezogen. Es zeigt sich, dass die deutsche Bewertung für die meisten Parameter wesentlich strenger ist als die niederländische.

4 LITERATUR

- /1/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, TA Umwelt: DAfStb-Richtlinie „Bestimmung der Freisetzung anorganischer Stoffe durch Auslaugung aus zementgebundenen Baustoffen“. – Ausgabe Mai 2005
- /2/ Der Staatssekretär für Wohnungswesen, Raumordnung und Umwelt, der Minister für Landwirtschaft, Natur und Lebensmittelqualität sowie die Staatssekretärin für Verkehr und Wasserwirtschaft: Soil Quality Decree (Netherlands), 2007
- /3/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Unterausschuss „Geringfügigkeitsschwellen“: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser. Stand: Dez. 2004. Adresse: www.lawa.de

Forschungsförderer:

DIBt – F 7091