

Kurzbericht zu ergänzenden Nachuntersuchungen

im Nachgang zum Projekt:

HMV-Öko-Beton: Ökologische Optimierung von Betonprodukten durch Nutzung mineralischer Fraktionen von Hausmüllverbrennungs-Rostasche

Elutionsverhalten von ganzen Pflastersteinen nach DIN EN 16637-2

Aktenzeichen: 36064/01

Autor*innen: Iveta Vateva, Marcel Laabs, David Laner, Bernhard Middendorf

Ort und Datum: Kassel, 14.02.2024

Projektkonsortium

Gefördert durch

UNI KASSEL
VERSITÄT | BAUINGENIEUR
UND
UMWELT
INGENIEURWESEN

FG Ressourcenmanagement
und Abfalltechnik (RM&AT)
FG Werkstoffe des Bauwesens
und Bauchemie (WdBB)

 **BAUREKA**

 **KIMM**

assoziierter Partner


Müllheizkraftwerk
Kassel GmbH

DBU 

Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Ein Pflasterstein der Mischung 2 (schwarz), bei der 100% der Gesteinskörnung 2-8 mm und 11% des Zements ersetzt wurden, sowie ein Referenzpflasterstein wurden nach DIN CEN/TS 16637-2:2014-11 eluiert. In dieser technischen Spezifikation wird ein Verfahren zur Bestimmung der Freisetzung von Stoffen aus einem monolithischen Produkt mit einem Auslaugmittel, das in Kontakt mit der Oberfläche des Produkts ist, in Abhängigkeit der Zeit beschrieben. Der jeweilige Pflasterstein wurde in einen Auslaugungsbehälter aus Kunststoff gegeben, die freiliegende Oberfläche wurde vollständig in das Auslaugmittel (destilliertes Wasser) eingetaucht. Das Volumen des Auslaugmittels wurde entsprechend des Flüssigkeit/Oberfläche-Verhältnisses (L/A-Verhältnis) bestimmt. Bei einer berechneten geometrischen Oberfläche von etwa 0,08 m² und einem Volumen des Auslaugmittels von etwa 10 l ergab sich ein L/A-Verhältnis von ca. 120 l/m². In festgelegten Zeitabständen wurde das Auslaugmittel erneuert (Tabelle 1).

Die mittels dieses Verfahrens erzeugten Eluate wurden mit einem 0,45 µm Membranfilter filtriert. Anschließend wurden der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Die gelösten Konzentrationen an Cl, SO₄, Al, Mo, Sb, Pb, Cr, Na, V und Cu wurden in einem externen Labor bestimmt. Die untersuchten Stoffe wurden anhand der Auswertung der Untersuchung gebrochenen Pflastersteinen ausgewählt. Stoffe, die eine Konzentration unter der Bestimmungsgrenze im Eluat des gebrochenen Pflastersteins haben, z.B. Br, As, Cd, oder eine sehr niedrige Konzentration, nah an der Bestimmungsgrenze, z.B. Ni, Se, Co.

Tabelle 1: Erneuerungszeiten des Auslaugmittels

<i>Schritt</i>	<i>Dauer des jeweiligen Schritts</i>	<i>Dauer ab Beginn der Prüfung</i>
1	6 h ± 15 min	6 h
2	18 h ± 15 min	1 d
3	1 d und 6 h ± 45 min	2 d und 6 h
4	1 d und 18 h ± 75 min	4 d
5	5 d ± 75 min	9 d
6	7 d ± 75 min	16 d
7	20 d ± 7 h	36 d
8	28 d ± 12 h	64 d

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der kumulierten Freisetzung im mg/l bzw. in µg/l in dem HMV-Pflasterstein (HMV) und in dem Referenzpflasterstein (REF) dargestellt (vgl. auch Abbildung 1 bis Abbildung 9 im Anhang). Trotz teilweise erheblicher Unterschiede zwischen HMV und REF (z.B. bei Cl) sind die gemessenen Konzentrationen für alle Stoffe außer für Al sehr niedrig und liegen unter den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung. Die kumulierte Konzentration von Chlorid in HMV (104 mg/l) entspricht einem Chloridgehalt von 0,42 Ma.-% bezogen auf den Zement. Nach DIN EN 206 liegt dieser Wert unter dem höchstzulässigen Chloridgehalt für unbewehrten Beton (1,00 Ma.-%). Die Löslichkeit von Antimon liegt in beiden Proben unter der Bestimmungsgrenze und wird daher nicht dargestellt. Für alle Stoffe außer Kupfer und Blei liegen die Konzentrationen in dem HMV-Pflasterstein höher als im Referenzpflasterstein. Für Molybdän lag die Konzentration für den Referenzpflasterstein unter der Bestimmungsgrenze und entsprechende Konzentrationen wurden daher nur für den HMV-Pflasterstein gemessen. Abgesehen davon können die größten relativen Unterschiede zwischen HMV und REF für Chlorid (1138%) und Vanadium (200%) beobachtet werden (s. Abbildung 1 und Abbildung 8 im Anhang). Die anderen relativen Differenzen liegen unter 60%.

Für die Stoffe SO_4 , Al, Cr, Cu und Na in beiden Proben kann einen schnellen Anstieg der kumulativen Konzentration zu Beginn der Auslaugung festgestellt werden, gefolgt von einem deutlich langsameren Anstieg mit fortschreitender Elutionsdauer. Für Mo in HMV und Cl und Pb in REF steigt die Konzentration nach einem Tag und bleibt bis zum Ende der Elutionsdauer konstant. Für Vanadium wird eine Konzentration über der Bestimmungsgrenze erst nach 36 Tagen sowohl bei HMV als auch bei REF gemessen. Allerdings steigt bei REF die V-Konzentration zwischen Tag 36 und Tag 64 nicht mehr während sie bei HMV noch einen steigenden Trend aufweist.

Im Vergleich zu den Eluat aus gebrochenen Pflastersteinen (vgl. Abschlussbericht HMV-Öko-Beton) sind alle gemessenen Konzentrationen im Eluat des ganzen HMV-Pflastersteins niedriger bis auf die Salze Sulfat und Chlorid. Dies kann mit der leichten Löslichkeit der Salze und dem längeren Zeitraum in Kontakt mit dem Auslaugmittel im Fall der ganzen Pflastersteine erklärt werden.

Die durchschnittlichen pH-Werte der HMV-Pflastersteine und der Referenzpflastersteine sind mit $9,54 \pm 0,04$ bzw. $9,32 \pm 0,06$ in einer ähnlichen Größenordnung. Der gleiche Trend lässt sich auch bei der elektrischen Leitfähigkeit beobachten: $83,52 \pm 0,08$ mS/cm für HMV und $83,77 \pm 0,39$ mS/cm für REF.

Tabelle 2: Kumulative Freisetzung der untersuchten Parameter für HMV- und Referenzpflastersteine im Vergleich zu den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung

Parameter	Einheit	HMV	REF	TrinkWV
Cl ⁻	mg/l	107,6	8,5	250
SO ₄ ²⁻	mg/l	37,6	25,2	250
Na	mg/l	37,5	23,4	200
Al	µg/l	1774	1189	200
Sb	µg/l	<BG	<BG	5
Pb	µg/l	0	1,0	10
Cr	µg/l	7,9	5,0	25
Cu	µg/l	19,1	30,0	2000
Mo	µg/l	5,1	0	-
V	µg/l	5,9	2,0	-

Der Freisetzungsmechanismus der beiden Proben wurde nach DIN CEN/TS 16637-2 untersucht. Bei der Mehrzahl an Stoffen (Sb, Pb, Cr, Mo, Na, V und zusätzlich Cl für REF) lässt sich der Freisetzungsmechanismus aufgrund der niedrigen Konzentrationen nicht bestimmen. Bei den restlichen Stoffen ist der Freisetzungsmechanismus unbekannt.

Anhang

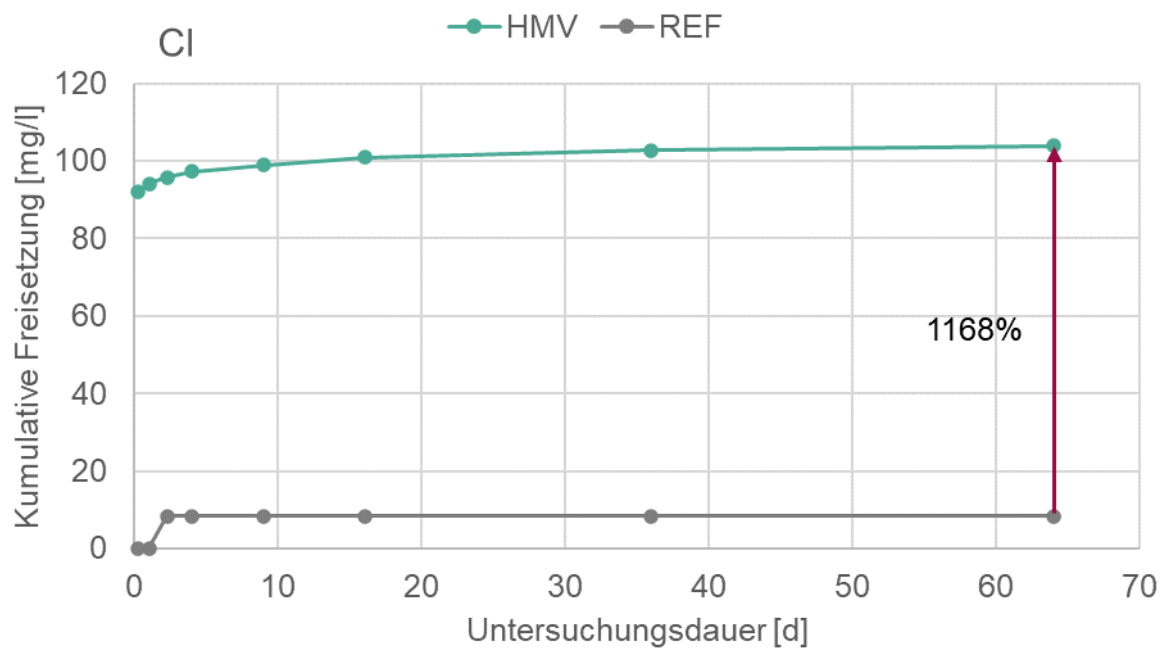


Abbildung 1: Kumulative Freisetzung von Chlorid über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

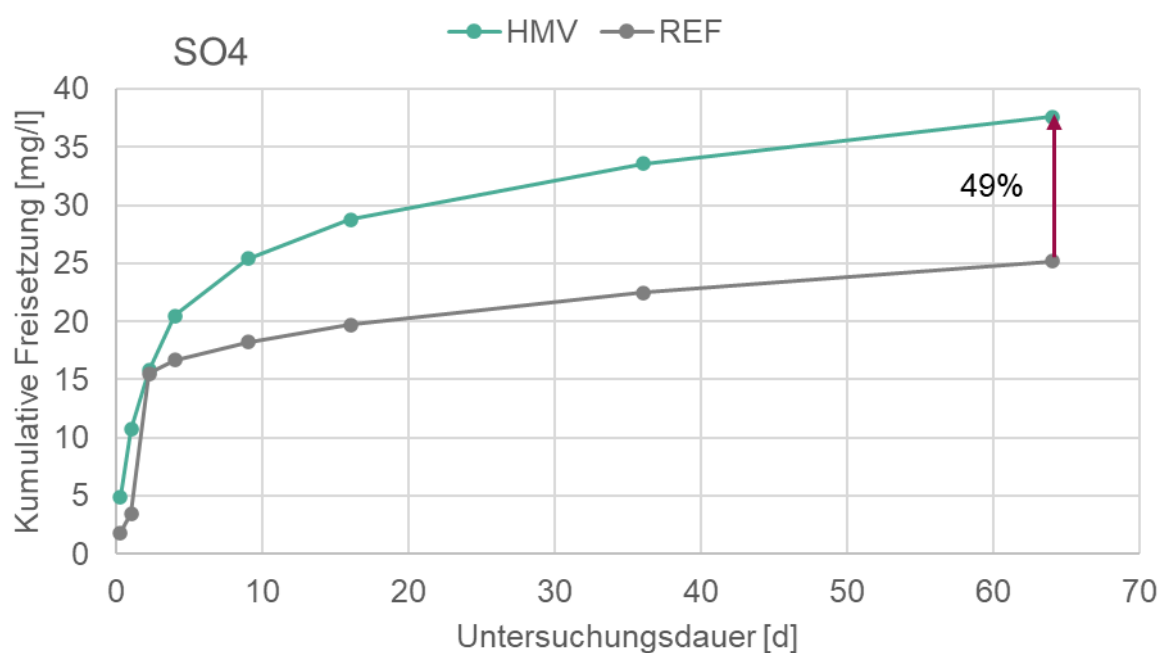


Abbildung 2: Kumulative Freisetzung von Sulfat über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

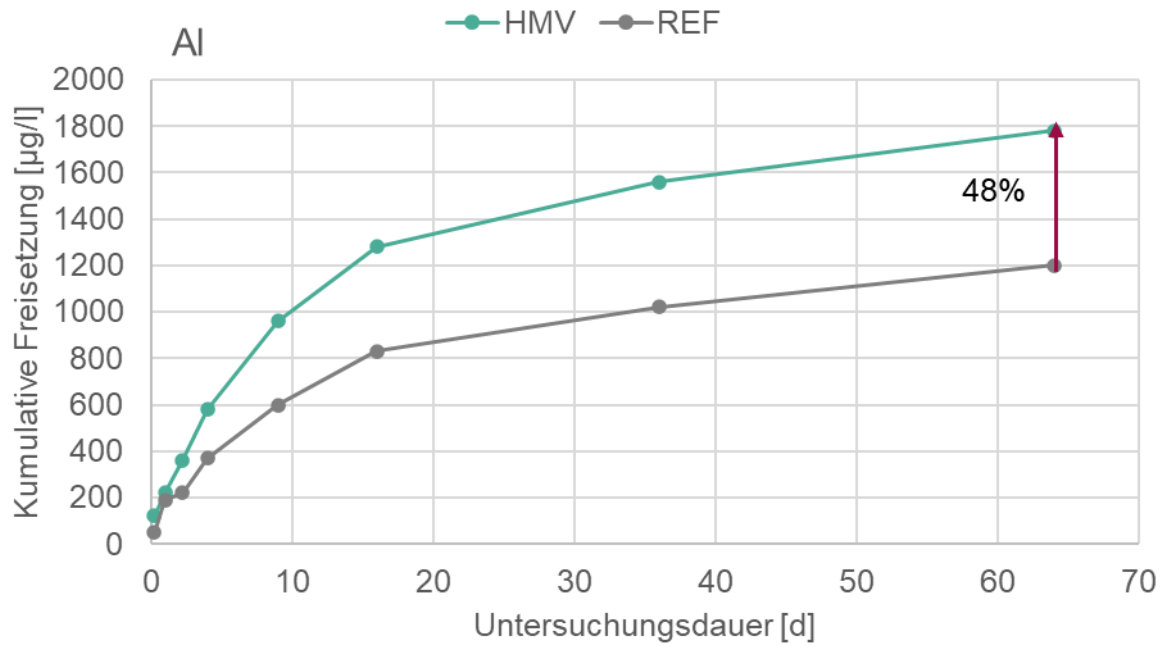


Abbildung 3: Kumulative Freisetzung von Aluminium über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

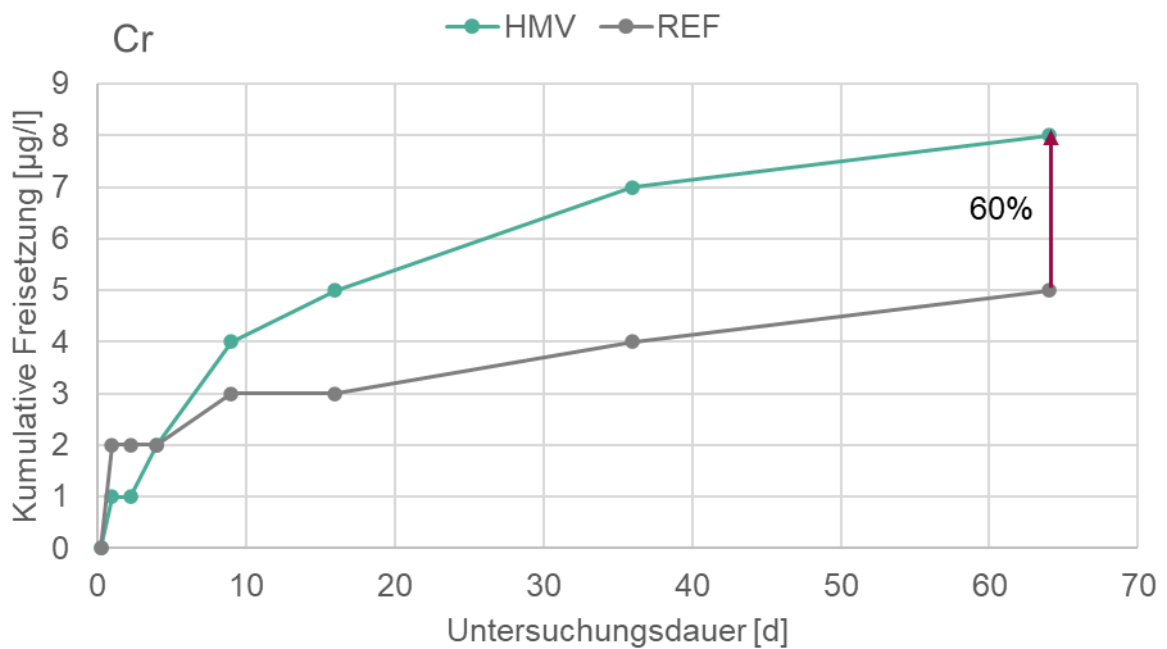


Abbildung 4: Kumulative Freisetzung von Chrom über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

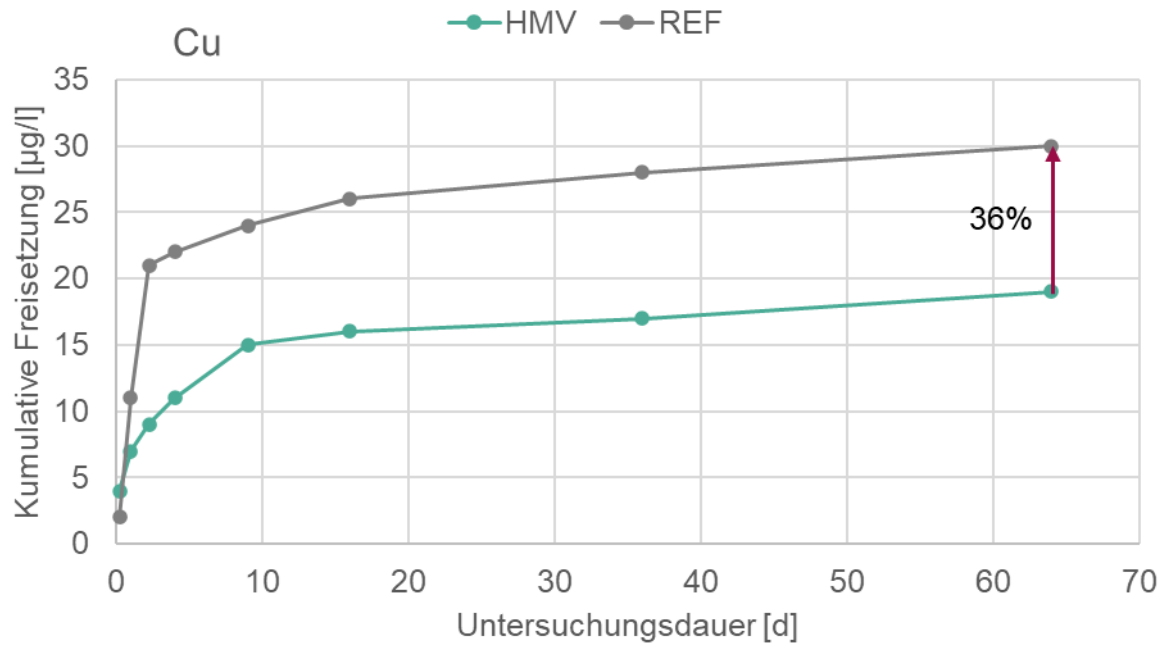


Abbildung 5: Kumulative Freisetzung von Kupfer über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

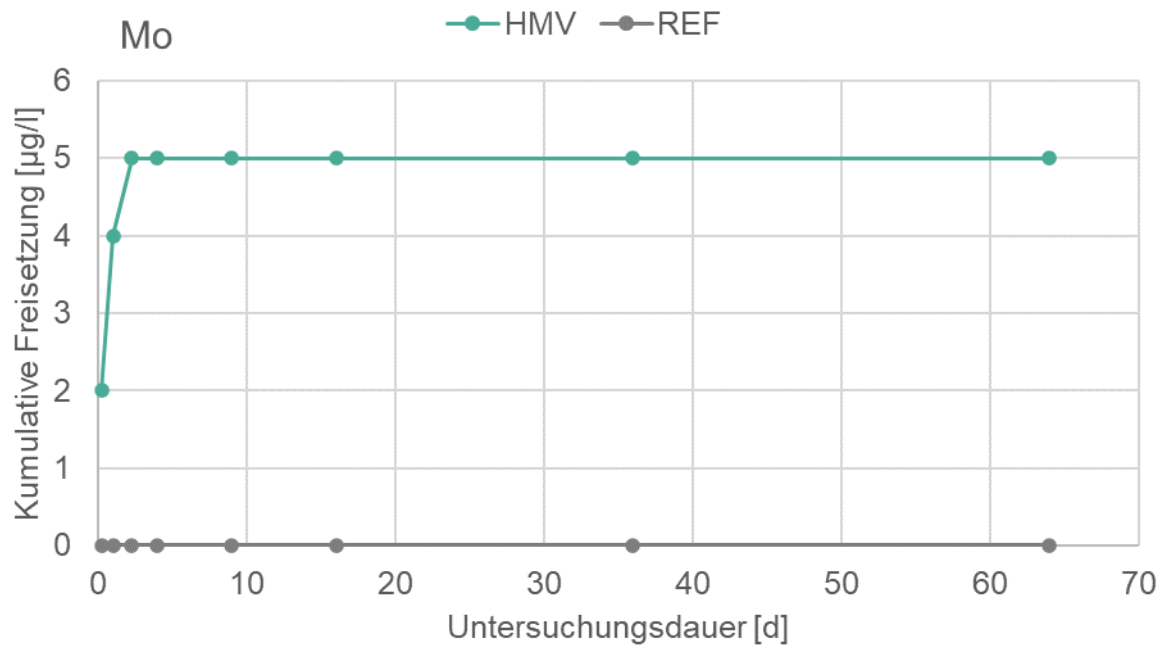


Abbildung 6: Kumulative Freisetzung von Molybdän über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

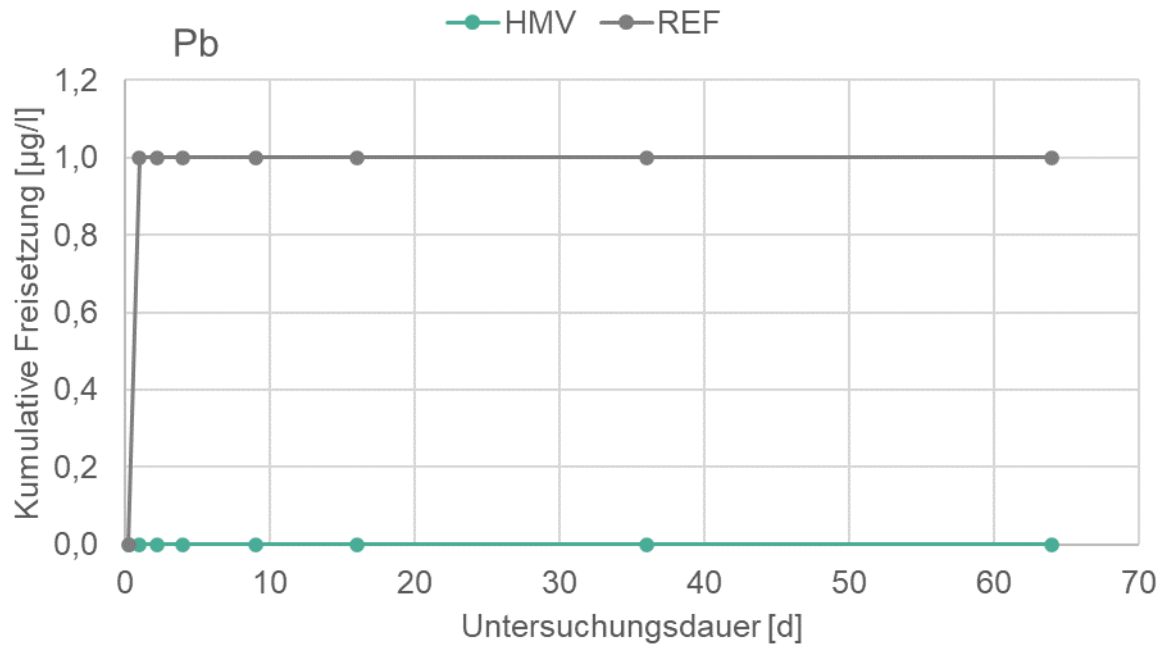


Abbildung 7: Kumulative Freisetzung von Blei über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

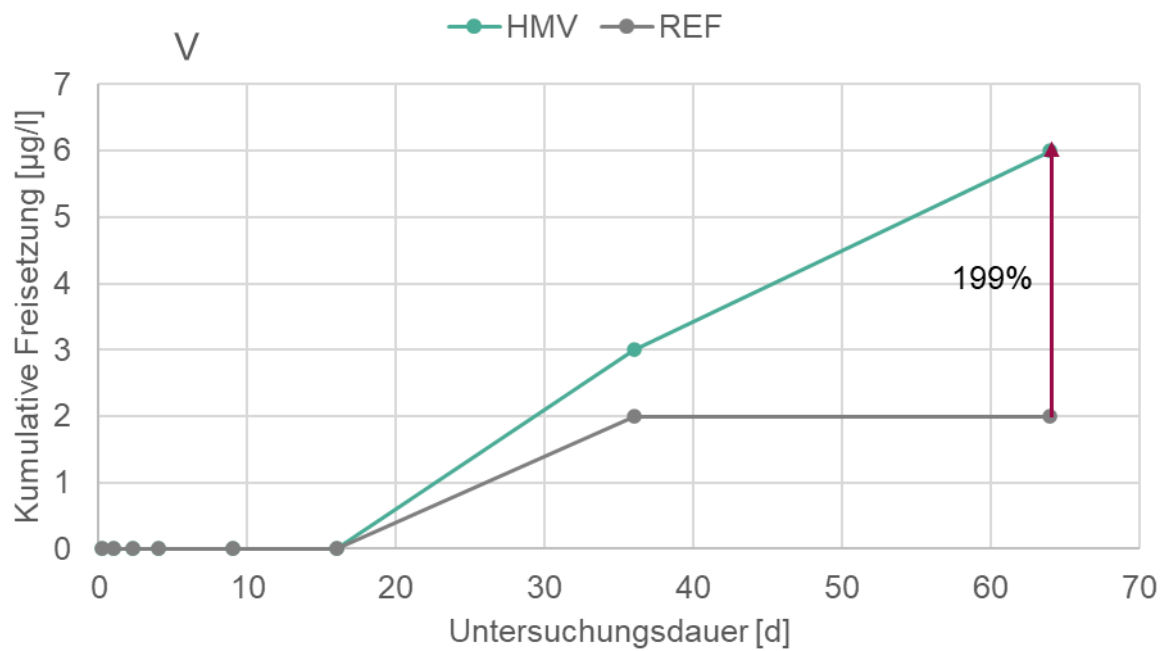


Abbildung 8: Kumulative Freisetzung von Vanadium über 64 Tage für HMV- und Referenzpflastersteine

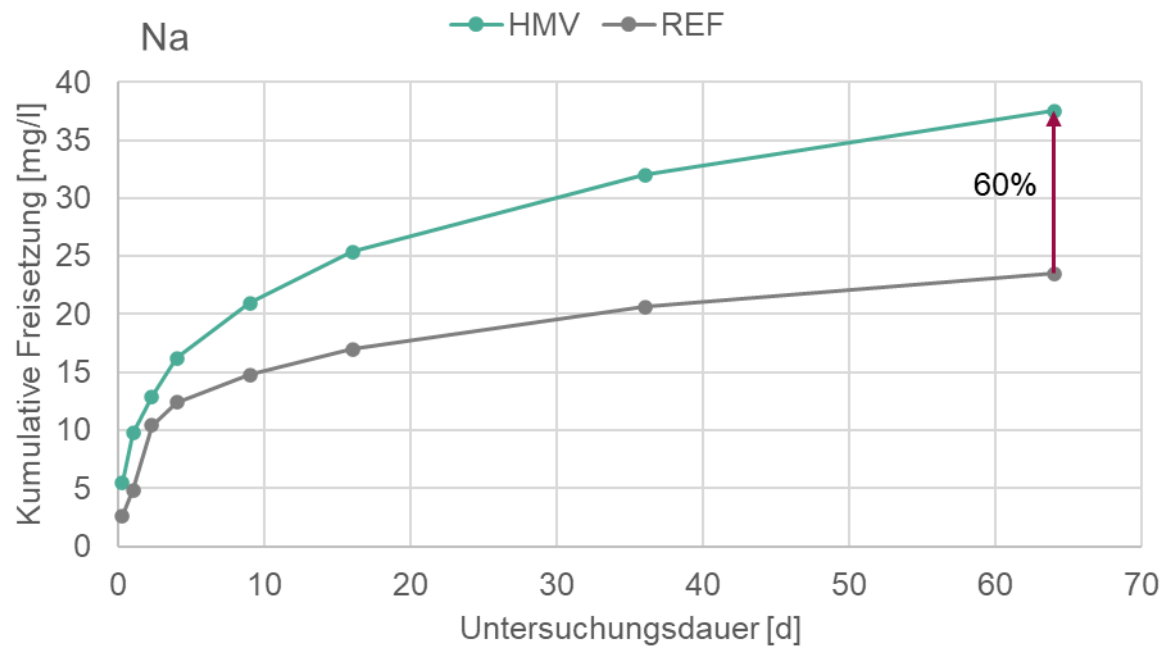


Abbildung 9: Kumulative Freisetzung von Natrium über 64 Tage für HMV- und Referenzplastersteine