

TEXTE

50/2011

# Harmonisierung von Prüfmethoden für den Vollzug der EG-Bauprodukten-Richtlinie

Validierung eines europäischen Auslaugtests für Bauprodukte



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3709 95 303  
UBA-FB 001487

**Harmonisierung von Prüfmethoden für den  
Vollzug der EG-Bauprodukten-Richtlinie  
Validierung eines europäischen Auslaugtests für  
Bauprodukte**

von

**Dr. Jörg Rickert, Dr. Gerhard Spanka**  
Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf

**Dr. Holger Nebel**  
Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, Aachen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4153.html> verfügbar. Hier finden Sie auch eine englische Version sowie eine deutsche und eine englische Kurzfassung.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Verein Deutscher Zementwerke e.V. Tannenstraße 2 40476 Düsseldorf	Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) Schinkelstraße 3 52062 Aachen
Abschlussdatum:	Februar 2011	
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103-0 E-Mail: <a href="mailto:info@umweltbundesamt.de">info@umweltbundesamt.de</a> Internet: <a href="http://www.umweltbundesamt.de">http://www.umweltbundesamt.de</a> <a href="http://fuer-mensch-und-umwelt.de/">http://fuer-mensch-und-umwelt.de/</a>	
Redaktion:	Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen Outi Ilvonen	

Dessau-Roßlau, August 2011

# Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001487	2.	3.
4. Titel des Berichts Harmonisierung von Prüfmethoden für den Vollzug der EG-Bauproduktenrichtlinie: Validierung eines europäischen Auslaugtests für Bauprodukte (Teilprojekt im Kontext eines europäischen Gemeinschaftsvorhabens)		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Rickert*, Jörg Spanka*, Gerhard Nebel**, Holger	8. Abschlussdatum 28.02.2011	
	9. Veröffentlichungsdatum August 2011	
6. Durchführende Institution(en) (Name, Anschrift) Verein Deutscher Zementwerke e.V.* Tannenstraße 2 40476 Düsseldorf	10. UFOPLAN-Nr. 3709 95 303	
	11. Seitenzahl 127	
	12. Literaturangaben 19	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau	13. Tabellen und Diagramme 76	
	14. Abbildungen 67	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Zusammenfassung <p>Vom CEN/TC 351 „Bauprodukte: Bewertung der Freisetzung gefährlicher Substanzen“ wurden drei Entwürfe für harmonisierte Prüfnormen ausgearbeitet, die zur Umsetzung der Wesentliche Anforderung Nr. 3 „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ der europäischen Bauproduktenrichtlinie notwendig sind. Eine dieser Normen beschreibt den Tanktest, der für die Bestimmung der Auslaugung anorganischer und organischer Substanzen aus monolithischen Bauprodukten vorgesehen ist. Bevor die vom CEN/TC 351 erarbeiteten Prüfmethoden den Status von Europäischen Normen (EN) erlangen können, sind noch Robustheitsprüfungen und als zweiter Validierungsschritt Ringversuche erforderlich.</p> <p>Im Forschungsvorhaben wurde die Robustheit des Tanktests – in Absprache mit CEN/TC 351 – an drei Betonen und einem Mörtel untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurde die Vorlagerungszeit der Prüfkörper, die Prüftemperatur, die Kontaktzeiten, das Verhältnis vom Volumen des Eluenten zur Oberfläche des Prüfkörpers sowie für die Betone der pH-Wert des Ausgangsprüfwassers variiert. Bei den Mörteln wurde neben den anorganischen Parametern auch die TOC-Abgabe ermittelt. Die Auslaugergebnisse für die Kationen Natrium und Kalium können so interpretiert werden, dass das Prüfverfahren an sich robust ist. Bei den Spurenelementen ergeben sich jedoch größere Streubreiten der Ergebnisse, dies ist vermutlich auf die für viele Parameter sehr geringen ausgelaugten Mengen, die häufig in der Nähe oder unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, zurückzuführen.</p>		
17. Schlagwörter Bauproduktenrichtlinie, wesentliche Anforderung Nr. 3, Mandat M/366, regulierte gefährliche Substanzen, CEN/TC 351, Auslaugung, Prüfmethoden, Validierung, Tanktest, Robustheitsprüfung, Beton, Technische Spezifikation		
18. Preis	19.	20.

### Report Cover Sheets

9. Report No. UBA-FB 001487	2.	3.
4. Report Title Harmonization of test methods for the execution of the EG Construction Products Directive. Validation of a European leaching test for construction products (Subproject in context with a European community project)		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Rickert*, Jörg Spanka*, Gerhard Nebel**, Holger		8. Report Date 28.02.2011
6. Performing Organisation (Name, Address) Verein Deutscher Zementwerke e.V.* Tannenstraße 2 40476 Düsseldorf		9. Publication Date August 2011
Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac)** Schinkelstraße 3 52062 Aachen		10. UFOPLAN-Ref. No. 3709 95 303
		11. No. of Pages 127
		12. No. of References 19
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau		13. No. of Tables, Diagrams 76
		14. No. of Figures 67
15. Supplementary Notes		
<p>16. Abstract</p> <p>CEN/TC 351 „Construction products: Assessment of release of dangerous substances“ worked out three drafts for harmonized test methods, which are necessary for the implementation of the Essential Requirement No 3 „Hygiene, Health and the Environment“ of the Construction Products Directive. One of these standards describes the tank test, which is intended for the determination of the leaching of inorganic and organic substances from monolithic construction products. Before the test methods worked out by CEN/TC 351 can achieve the status of European standards (EN), robustness testing and, as a second validation step, round robin tests are necessary.</p> <p>In the research project the robustness of the tank test – in agreement with CEN/TC 351 – was investigated for three concretes and one mortar. During these investigations the curing of the test specimen, the test temperature, the contact time, the ratio of the eluent volume to specimen surface as well as the pH-value of the starting test water was varied. For the mortars the TOC-release was determined besides the inorganic parameters. The leaching results for the cations sodium and potassium can be interpreted in such a way that the test method by itself is robust. For the trace elements the range of the results is wider, this is probably due to the very low leached amounts for many parameters, which are often near or below the quantification limit.</p>		
<p>17. Keywords</p> <p>Construction Products Directive, Essential Requirement No 3, Mandate M/366, Regulated Dangerous Substances, CEN/TC 351, Leaching, Test Methods, Validation, Tank Test, Robustness Testing, Concrete, Technical Specification</p>		
18. Price	19.	20.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	17
2	Durchführung des Forschungsprojekts und wissenschaftlich-technische Ergebnisse.....	23
2.1	Beton .....	23
2.1.1	Betonherstellung .....	23
2.1.2	Auslaugergebnisse für den Beton der ersten Betonage.....	27
2.1.3	Auslaugergebnisse für den Beton der zweiten Betonage.....	41
2.1.4	Auslaugergebnisse für den Beton der dritten Betonage.....	54
2.1.5	Bewertung der Auslaugergebnisse für die Betone der ersten bis dritten Betonage.....	60
2.2	Mörtel.....	63
2.2.1	Mörtelherstellung.....	63
2.2.2	Auslaugergebnisse für den Armierungsputz .....	65
2.2.3	Bewertung der Auslaugergebnisse für den Armierungsputz .....	73
3	Zusammenfassung .....	74
4	Literatur.....	78
	Anhang (Tabellen).....	81

## **Bilderverzeichnis**

Abbildung 1:	Freisetzung von Barium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	29
Abbildung 2:	Freisetzung von Blei bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	29
Abbildung 3:	Freisetzung von Chlorid bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	30
Abbildung 4:	Freisetzung von Chrom bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	30
Abbildung 5:	Freisetzung von Kalium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	31
Abbildung 6:	Freisetzung von Kupfer bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	31
Abbildung 7:	Freisetzung von Natrium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	32
Abbildung 8:	Freisetzung von Selen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	32
Abbildung 9:	Freisetzung von Sulfat bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	33
Abbildung 10:	Freisetzung von Vanadium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	33



Abbildung 11: Freisetzung von Zink bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	34
Abbildung 12: Freisetzung von Barium bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	35
Abbildung 13: Freisetzung von Blei bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	35
Abbildung 14: Freisetzung von Chlorid bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	36
Abbildung 15: Freisetzung von Chrom bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	36
Abbildung 16: Freisetzung von Kalium bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	37
Abbildung 17: Freisetzung von Kupfer bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	37
Abbildung 18: Freisetzung von Natrium bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	38
Abbildung 19: Freisetzung von Selen bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	38
Abbildung 20: Freisetzung von Sulfat bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	39

Abbildung 21: Freisetzung von Vanadium bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	39
Abbildung 22: Freisetzung von Zink bei der Variation der Prüf- bedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	40
Abbildung 23: Freisetzung von Barium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	42
Abbildung 24: Freisetzung von Blei bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	42
Abbildung 25: Freisetzung von Chlorid bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	43
Abbildung 26: Freisetzung von Chrom bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	43
Abbildung 27: Freisetzung von Kalium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	44
Abbildung 28: Freisetzung von Kupfer bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	44
Abbildung 29: Freisetzung von Natrium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	45
Abbildung 30: Freisetzung von Selen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	45

Abbildung 31: Freisetzung von Sulfat bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	46
Abbildung 32: Freisetzung von Vanadium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	46
Abbildung 33: Freisetzung von Zink bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	47
Abbildung 34: Freisetzung von Barium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	48
Abbildung 35: Freisetzung von Blei für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	48
Abbildung 36: Freisetzung von Chlorid für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	49
Abbildung 37: Freisetzung von Chrom für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	49
Abbildung 38: Freisetzung von Kalium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	50
Abbildung 39: Freisetzung von Kupfer für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	50
Abbildung 40: Freisetzung von Natrium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	51

Abbildung 41: Freisetzung von Selen für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	51
Abbildung 42: Freisetzung von Sulfat für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	52
Abbildung 43: Freisetzung von Vanadium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	52
Abbildung 44: Freisetzung von Zink für alle Betone der ersten und zweiten Betonage.....	53
Abbildung 45: Freisetzung von Barium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	55
Abbildung 46: Freisetzung von Blei für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	55
Abbildung 47: Freisetzung von Chlorid für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	56
Abbildung 48: Freisetzung von Chrom für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	56
Abbildung 49: Freisetzung von Kalium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	57
Abbildung 50: Freisetzung von Kupfer für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	57

Abbildung 51: Freisetzung von Natrium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage) .....	58
Abbildung 52: Freisetzung von Selen für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage) .....	58
Abbildung 53: Freisetzung von Sulfat für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage) .....	59
Abbildung 54: Freisetzung von Vanadium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage) .....	59
Abbildung 55: Freisetzung von Zink für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage) .....	60
Abbildung 56: Freisetzung von Barium des Armierungsputzes bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10 .....	67
Abbildung 57: Freisetzung von Blei aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10 .....	67
Abbildung 58: Freisetzung von Chlorid aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10 .....	68
Abbildung 59: Freisetzung von Chrom aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10 .....	68
Abbildung 60: Freisetzung von Kalium aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10 .....	69

Abbildung 61: Freisetzung von Kupfer aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10.....	69
Abbildung 62: Freisetzung von Natrium aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10.....	70
Abbildung 63: Freisetzung von Selen aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10.....	70
Abbildung 64: Freisetzung von Sulfat aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10.....	71
Abbildung 65: Freisetzung von Vanadium aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10.....	71
Abbildung 66: Freisetzung von Zink aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10.....	72
Abbildung 67: TOC-Abgabe aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäßTabelle10.....	72

## **Tabellen**

Tabelle 1: Ergebnisse der Normprüfungen für die zwei Zemente .....	24
Tabelle 2: Ergebnisse der Frisch- und Festbetonprüfungen für die drei Betone .....	24
Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung der zwei Zemente (Röntgenfluoreszenzanalyse, Angaben glühverlusthaltig) .....	25
Tabelle 4: Gehalte der löslichen Anionen und der Spurenelemente in den zwei Zementen .....	26
Tabelle 5: Variation der Prüfbedingungen bei den Betonversuchen .....	28
Tabelle 6: Relative Standardabweichungen (Variationskoeffizient V) für die Achtfachbestimmung der ersten Betonage, die Dreifachbestimmung der zweiten Betonage sowie für die Kombination der ersten und zweiten Betonage .....	61
Tabelle 7: Druckfestigkeiten und Biegezugfestigkeiten des Armierungsputzes.....	64
Tabelle 8: Chemische Zusammensetzung des Armierungsputzes (Röntgenfluoreszenzanalyse, Angaben glühverlusthaltig) .....	64
Tabelle 9: Gehalt der Spurenelemente in dem Armierungsputz.....	65
Tabelle 10: Variation der Prüfbedingungen bei den Mörtelversuchen.....	66

Tabelle A1: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	81
Tabelle A2: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	81
Tabelle A3: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	82
Tabelle A4: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	82
Tabelle A5: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	83
Tabelle A6: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	83
Tabelle A7: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	84
Tabelle A8: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	84
Tabelle A9: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage) .....	85
Tabelle A10: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Achtfach- bestimmung (erste Betonage) .....	85



Tabelle A11: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage).....	86
Tabelle A12: Gemessene pH-Werte bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage).....	86
Tabelle A13: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage).....	87
Tabelle A14: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage).....	88
Tabelle A15: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage).....	89
Tabelle A16: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage).....	90
Tabelle A17: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage).....	91
Tabelle A18: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage).....	92
Tabelle A19: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage).....	93
Tabelle A20: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage).....	94

Tabelle A21: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	95
Tabelle A22: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	96
Tabelle A23: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	97
Tabelle A24: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	98
Tabelle A25: Gemessene pH-Werte bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	99
Tabelle A26: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage) .....	100
Tabelle A27: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	100
Tabelle A28: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	101
Tabelle A29: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	101
Tabelle A30: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage) .....	101

Tabelle A31: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	102
Tabelle A32: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	102
Tabelle A33: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	102
Tabelle A34: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	103
Tabelle A35: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	103
Tabelle A36: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Dreifach- bestimmung (zweite Betonage) .....	103
Tabelle A37: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	104
Tabelle A38: Gemessene pH-Werte bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	104
Tabelle A39: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage).....	104
Tabelle A40: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	105

Tabelle A41: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	105
Tabelle A42: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	106
Tabelle A43: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	106
Tabelle A44: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	107
Tabelle A45: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	107
Tabelle A46: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	108
Tabelle A47: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	108
Tabelle A48: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	109
Tabelle A49: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	109
Tabelle A50: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	110

Tabelle A51: Gemessene pH-Werte bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	110
Tabelle A52: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage).....	111
Tabelle A53: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	111
Tabelle A54: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	112
Tabelle A55: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	113
Tabelle A56: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	114
Tabelle A57: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	115
Tabelle A58: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	116
Tabelle A59: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	117
Tabelle A60: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	118

Tabelle A61: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	119
Tabelle A62: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	120
Tabelle A63: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	121
Tabelle A64: Gemessene TOC-Konzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	122
Tabelle A65: Gemessene pH-Werte bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	123
Tabelle A66: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel).....	124

## **1 Einleitung**

Bauprodukte im Sinne der europäischen Bauproduktenrichtlinie (BPR) sind Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen des Hoch- und Tiefbaus eingebaut zu werden, sowie vorgefertigte Anlagen, die aus Baustoffen oder Bauteilen hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden, wie zum Beispiel Fertighäuser, Fertiggaragen und Silos. Darüber hinaus zählen auch Produkte der Haustechnik zu den Bauprodukten. Die BPR hat die Besonderheit, dass die wesentlichen öffentlich-rechtlichen Anforderungen nicht in Bezug auf das Bauprodukt selbst, sondern in Bezug auf das Bauwerk formuliert werden [1].

Ein Bauprodukt darf nur in den Verkehr gebracht und frei gehandelt werden, wenn die Konformität mit den wesentlichen Anforderungen nachgewiesen ist. Wesentliche Anforderungen an Bauwerke im Sinne der BPR sind:

- Nr. 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Nr. 2: Brandschutz
- Nr. 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Nr. 4: Nutzungssicherheit
- Nr. 5: Schallschutz
- Nr. 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz

Die europäischen Mitgliedsstaaten gehen von der Brauchbarkeit der Bauprodukte aus, wenn sie so beschaffen sind, dass die Bauwerke, für die sie verwendet werden, bei ordnungsgemäßer Planung und Bauausführung die obigen wesentlichen Anforderungen während ihrer Lebensdauer erfüllen, und wenn diese Produkte die CE-Kennzeichnung tragen, aus der hervorgeht, dass

sie sämtlichen Bestimmungen der Bauproduktenrichtlinie einschließlich den Verfahren für die Konformitätsbewertung entsprechen.

Neben den traditionell im Baurecht verankerten Anforderungen fordert die BPR explizit, dass die aus den Bauprodukten herzustellenden Bauwerke die am Verwendungsort geltenden Anforderungen an die Hygiene, die Gesundheit und den Umweltschutz erfüllen und die Gesundheit der Bewohner und der Anwohner insbesondere durch folgende Einwirkungen nicht gefährden:

- Freisetzung giftiger Gase
- Vorhandensein gefährlicher Teilchen oder Gase in der Luft
- Emission gefährlicher Strahlen
- Wasser- oder Bodenverunreinigungen oder -vergiftungen
- Unsachgemäße Beseitigung von Abwasser, Rauch und festem oder flüssigem Abfall
- Feuchtigkeitsansammlung in Bauteilen und auf Oberflächen von Bauteilen in Innenräumen

Technische Spezifikationen (Normen oder Zulassungen), die entsprechend der europäischen Bauproduktenrichtlinie harmonisiert sind, müssen deshalb die für den Schutz der unmittelbaren Umgebung eines Bauwerks notwendigen Festlegungen enthalten. Die Ausarbeitung solcher Festlegungen setzt jedoch voraus, dass in den entsprechenden Bauordnungen der Mitgliedsstaaten qualitative, und wenn notwendig auch quantitative Anforderungen festgeschrieben und europäisch notifiziert sind. Eine Analyse der bestehenden Regelungen in den Mitgliedsstaaten der EU hat ergeben, dass zurzeit offensichtlich nur wenige Mitgliedsstaaten quantitative Anforderungen an die Freisetzung regulierter gefährlicher Substanzen aus Bauprodukten/Bauwerken stellen. Die wichtigsten dieser Vorschriften für das Schutzgut Umwelt sind die niederländische „Soil



Quality Decree“ [2] und die deutschen „Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ [3,4]. Beide sind darauf gerichtet, die Abgabe gefährlicher Substanzen aus Bauprodukten an die Umweltmedien Wasser, Boden und Luft während der Nutzung von Bauwerken zu begrenzen.

Für das Schutzgut Innenraumlufte stehen die französische Verordnung (Entwurf) über die „Etikettierung von Bau- und Dekorationsprodukten im Hinblick auf die von diesen emittierten flüchtigen Schadstoffe“ [5] sowie die deutschen „Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen“ [6] im Vordergrund. Weitere Informationen über die Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für regulierte gefährliche Substanzen in Bauprodukten sind in einer Datenbank der Europäischen Kommission verfügbar [7].

Da nur wenige nationale Regelungen für Bauprodukte bisher die Freisetzung gefährlicher Substanzen im Fokus hatten, standen auch keine geeigneten europäischen Prüfmethoden zur Verfügung. Dies hat dazu geführt, dass die bisher verabschiedeten harmonisierten europäischen Produktnormen ausschließlich allgemeine Hinweise auf bestehende nationale Anforderungen enthalten. Für die zukünftigen Aus- und Überarbeitungen harmonisierter technischer Spezifikationen fordert die Europäische Kommission nun, dass entsprechende Nachweiskonzepte und zugehörige Nachweisinstrumente, wie zum Beispiel Prüfverfahren und Analysenmethoden, erarbeitet werden. Dazu hat sie Anfang des Jahres 2005 das Mandat M/366 „Entwicklung horizontaler genormter Bewertungsmethoden für harmonisierte Konzepte zu gefährlichen Stoffen gemäß der Bauproduktenrichtlinie (Construction Products Directive – CPD) – Emissionen in Raumlufte, Boden, Oberflächenwasser und Grundwasser“ [8] herausgegeben. Das Mandat sieht vor, dass das Europäische Komitee für Normung (CEN) horizontale Prüf- und Bewertungsverfahren erarbeitet. Die konkreten Anforderungen an die Umweltverträglichkeit der Bauprodukte sind jedoch weiterhin national von den einzelnen Mitgliedsstaaten festzulegen.

Zur Bereitstellung der notwendigen generischen, horizontalen Prüf- und Bewertungsverfahren zur Umsetzung des Mandates M/366 hat die europäische Normenorganisation CEN im Jahr 2006 das Technische Komitee CEN/TC 351 „Bauprodukte: Bewertung der Freisetzung gefährlicher Substanzen“ etabliert. Dabei ist vorgesehen, dass keine neuen Prüf- und Bewertungsverfahren entwickelt werden. Das CEN/TC 351 soll lediglich bestehende, voneinander abweichende nationale Methoden oder europäische Methoden aus anderen, angrenzenden Rechtsbereichen zusammenführen. Im CEN/TC 351 sind neben den nationalen Normungsinstituten die Europäische Organisation für Technische Zulassungen EOTA, der Europäische Umweltverband ECOS und diverse Industrieverbände vertreten. Des Weiteren bestehen intensive Kooperationen mit einer Vielzahl europäischer technischer Komitees [9].

Das Hauptergebnis aus der Arbeit des CEN/TC 351 der letzten Jahre sind drei Entwürfe für harmonisierte Prüfnormen. Zwei dieser Prüfnormen sind für die Ermittlung der Auslaugung von anorganischen und organischen Stoffen aus Bauprodukten im Hinblick auf Boden und Wasser bestimmt. Die Methoden dieser Prüfnorm sind ein Tanktest „Generic horizontal dynamic surface leaching test (DSLTL) for determination of surface dependent release of substances from monolithic or plate-like or sheet-like construction products“ und ein Säulentest „Generic horizontal up-flow percolation test for determination of the release of substances from granular construction products“. Ausgangsbasis für diese zwei Prüfmethoden waren niederländische [10] und deutsche [11] Prüfverfahren sowie europäische Normen, die vom CEN/TC 292 „Charakterisierung von Abfällen“ erarbeitet wurden und für die positiven Erfahrungen für ausgewählte Bauprodukte vorliegen. Die dritte Prüfmethode behandelt die Prüfung der Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen in die Innenraumluft anhand von Prüfkammermessungen „Determination of emissions into indoor air“.

Bevor die vom CEN/TC 351 erarbeiteten Prüfmethoden den Status einer Europäischen Norm (EN) erlangen können, sind noch Robustheitsprüfungen und als zweiter Validierungsschritt Ringversuche erforderlich. Das Ziel der Robustheitsprüfungen ist, durch die Variation ausgewählter Prüfparameter, wie zum Beispiel der Temperatur des Wassers im Stand- und Säulentest oder der Luftwechselrate in der Prüfkammer, zu ermitteln, wie empfindlich die Prüfmethode auf Änderungen der Prüfverhältnisse reagiert. Nach diesen Robustheitsprüfungen können die Arbeitsgruppen entscheiden, welche Spannbreiten für die Prüfparameter in der Norm zuzulassen sind. Die Normentwürfe werden daraufhin entsprechend den Ergebnissen der Robustheitsprüfungen angepasst und als Technische Spezifikation (TS) zur Veröffentlichung eingereicht.

Da die Finanzierung der europäischen Validierungsuntersuchungen im Jahr 2009 noch nicht feststand, wurde vom Umweltbundesamt das Forschungsprojekt „Harmonisierung von Prüfmethoden für den Vollzug der EG-Bauproduktenrichtlinie: Validierung eines europäischen Auslaugtests für Bauprodukte (Teilprojekt im Kontext eines europäischen Gemeinschaftsvorhabens)“ ausgeschrieben, um diesen Prozess zu fördern (Anmerkung: Im September 2010 hat die Europäische Kommission die vorgesehenen Gelder für die Robustheitsprüfungen freigegeben, so dass die europäischen Validierungsuntersuchungen im Jahr 2011 beginnen können). Das Forschungsvorhaben wurde unter dem Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3709 95 303 an den Verein Deutscher Zementwerke e. V. gemeinsam mit dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen vergeben. Ziel des Forschungsprojektes war es, die Validierungsprüfungen für den Tanktest an Betonen durchzuführen. Dazu war ursprünglich vorgesehen, in einer ersten Phase die Robustheit des Tanktests zu prüfen und dann auf dieser Basis, gegebenenfalls nach entsprechender Überarbeitung des Normentwurfs, in einer zweiten Phase einen europäischen Ringversuch durchzuführen, um die Wiederholbarkeit und die Vergleichbarkeit sowohl innerhalb eines Labors als auch zwischen verschiedenen Laboren zu ermitteln.

Die Diskussionen in der Arbeitsgruppe 1 (WG 1) „Freisetzung in Boden und Grundwasser“ des CEN/TC 351 haben jedoch gezeigt, dass es für einen solchen europäischen Ringversuch noch zu früh ist. Aus diesem Grund wurde vom Umweltbundesamt vorgeschlagen, keinen Ringversuch durchzuführen, sondern die Robustheitsprüfungen für den Tanktest, in einem etwas verminderten Umfang, auf ein weiteres Bauprodukt auszudehnen. Dafür wurde ein mineralischer Mörtel mit einem hohen Anteil organischer Bestandteile vorgesehen, um die Eignung des Tanktests auch für die Untersuchung der Abgabe organischer Substanzen (TOC-Abgabe) festzustellen. Auf der CEN/TC 351/WG 1 Sitzung am 13. November 2009 in Berlin wurde festgestellt, dass diese Untersuchungen einen substantiellen Beitrag zum gesamten Validierungsprozess liefern können.

***Decision 7, CEN/TC 351/WG 1, Berlin 2009-11-13:***

*CEN/TC 351/WG 1 agrees to take the results of the German VDZ/ibac-research programme on ruggedness validation for concrete (variables: temperature, L/S, curing time, pH-value, renewal scheme) as a substantial contribution in the CEN/TC 351 work. Approved with one abstention.*

## **2 Durchführung des Forschungsprojekts und wissenschaftlich-technische Ergebnisse**

### **2.1 Beton**

#### **2.1.1 Betonherstellung**

Für die Untersuchungen zur Robustheitsprüfung des Tanktests für Betone wurden in drei Betonagen zwei unterschiedliche Betone hergestellt. Die Herstellung und Lagerung der Betone erfolgte entsprechend dem Teil II der Grundsätze des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ [4]. Für die Betonherstellung wurden ein Portlandzement CEM I 42,5 R und ein Hochofenzement CEM III/A 42,5 N, der mit dem gleichen Klinker wie der Portlandzement produziert wurde, eingesetzt. Die Zemente entsprachen DIN EN 197-1 „Zement“ [12]. Als Gesteinskörnung wurde Rheinkiessand entsprechend DIN EN 12620 „Gesteinskörnungen für Beton“ [13] mit einer Sieblinie in der Mitte des Bereichs A16/B16 entsprechend DIN 1045-2 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ [14] eingesetzt. Das Zugabewasser entsprach DIN EN 1008 „Zugabewasser für Beton“ [15].

Die Normeigenschaften, die chemische Zusammensetzung und die Spurenelementgehalte der Zemente sowie die Konsistenz, der Luftgehalt und die 28 d-, 56 d- und 91 d-Druckfestigkeiten der Betone wurden ermittelt. In **Tabelle 1** sind die Ergebnisse der Normprüfungen für die zwei Zemente zusammengefasst. **Tabelle 2** zeigt die Ergebnisse der Frisch- und Festbetonprüfungen für die drei hergestellten Betone.

Tabelle 1: Ergebnisse der Normprüfungen für die zwei Zemente

Parameter	Portlandzement CEM I 42,5 R	Hochofenzement CEM III/A 42,5 N
Glühverlust [%]	1,95	0,89
Wasseranspruch [%]	29,0	31,0
Erstarrungsbeginn [min]	155	220
Erstarrungsende [min]	195	270
Blaine-Wert [cm <sup>2</sup> /g]	4190	4790
2d-Druckfestigkeit [MPa]	34,6	19,8
7d-Druckfestigkeit [MPa]	49,2	31,8
28d-Druckfestigkeit [MPa]	57,7	55,5
Hüttensandgehalt [%]	-	42,1

Tabelle 2: Ergebnisse der Frisch- und Festbetonprüfungen für die drei Betone

Betonage	Zement	Frischbeton- rohdichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Ausbreitmaß [cm]	LP- Gehalt [Vol.-%]	Druckfestigkeit [MPa]		
					28 d	56 d	91 d
Nr. 1	CEM I	2,38	40/42	0,8	49,3	53,1	55,7
Nr. 2	CEM I	2,36	38/40	1,4	48,3	54,5	56,7
Nr. 3	CEM III	2,37	41/41	1,0	48,6	54,1	53,6

**Tabelle 3** zeigt die chemische Zusammensetzung und **Tabelle 4** die Gehalte löslicher Anionen und der Spurenelemente der beiden Zemente. Die Gehalte löslicher Anionen wurden im Eluat ermittelt, das entsprechend DIN 38414-4 „Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen“ [16] hergestellt wurde.

Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung der zwei Zemente  
(Röntgenfluoreszenzanalyse, Angaben glühverlusthaltig)

Parameter [%]	Portlandzement CEM I 42,5 R	Hochofenzement CEM III/A 42,5 N
Silizium(IV)-oxid	18,9	25,2
Aluminiumoxid	5,74	7,98
Titandioxid	0,29	0,61
Phosphor(V)-oxid	0,15	0,10
Eisen(III)-oxid	4,30	2,80
Mangan(III)-oxid	0,70	0,60
Magnesiumoxid	1,75	4,24
Calciumoxid	62,9	53,6
Sulfat als SO <sub>3</sub>	3,25	2,97
Kaliumoxid	0,78	0,61
Natriumoxid	0,15	0,19
Natriumäquivalent	0,66	0,59

Tabelle 4: Gehalte der löslichen Anionen und der Spurenelemente in den zwei Zementen

Parameter	Portlandzement CEM I 42,5 R	Hochofenzement CEM III/A 42,5 N
	Elementgehalt in µg/g	
Arsen (As)	15,8	11,0
Barium (Ba)	47,1	72,5
Beryllium (Be)	1,29	2,44
Cadmium (Cd)	1,46	0,85
Cobalt (Co)	12,2	8,59
Chrom (Cr)	85,0	62,4
Kupfer (Cu)	88,5	56,7
Quecksilber (Hg)	0,05	0,04
Mangan (Mn)	4134	3735
Molybdän (Mo)	2,71	2,02
Nickel (Ni)	41,4	25,6
Blei (Pb)	28,7	22,0
Antimon (Sb)	8,57	5,06
Selen (Se)	<1,00	<1,00
Zinn (Sn)	9,56	9,58
Tellur (Te)	<2,00	<2,00
Thallium (Tl)	<0,20	<0,20
Vanadium (V)	66,6	51,0
Zink (Zn)	528	341
	Gehalt löslicher Anionen <sup>1)</sup> in mg/g	
Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	0,50	0,30
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<0,10	<0,10
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	15,5	17,1

<sup>1)</sup> Eluat entsprechend DIN 38414-4



### 2.1.2 Auslaugergebnisse für den Beton der ersten Betonage

Bei der ersten Betonage wurden für die Auslaugprüfungen 28 Betonwürfel mit 100 mm Kantenlänge mit dem Portlandzement (Zementgehalt  $280 \text{ kg/m}^3$ , Wasserzementwert  $w/z = 0,60$ ) entsprechend DIN EN 12390 „Prüfung von Festbeton“ [17] hergestellt. Mit acht Probekörpern wurde der Tanktest entsprechend dem Normentwurf „Generic horizontal dynamic surface leaching test (DSLTL) for determination of surface dependant release of substances from construction products“ durchgeführt. Der Normentwurf sieht als Prüftemperatur  $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , ein Verhältnis vom Volumen des Eluenten zur Oberfläche des Prüfkörpers von  $80 \pm 1 \text{ L/m}^2$  und Kontaktzeiten bezogen auf den Versuchsbeginn von  $0,083 \text{ d} \pm 5 \%$ ,  $1 \text{ d} \pm 5 \%$ ,  $2,25 \text{ d} \pm 5 \%$ ,  $8 \text{ d} \pm 5 \%$ ,  $14 \text{ d} \pm 5 \%$ ,  $15 \text{ d} \pm 5 \%$ ,  $28 \text{ d} \pm 5 \%$  und  $36 \pm 0,25 \text{ d}$  vor. Als Eluent ist pH-neutrales Wasser der Qualität 1 nach EN ISO 3696 zu verwenden. Das übliche Probekörperalter bei Beginn des Auslaugversuchs betrug entsprechend den DIBt-Grundsätzen 56 Tage. Die gewonnenen Eluate wurden entsprechend diesen Grundsätzen hinsichtlich der anorganischen Parameter untersucht, für die eine Geringfügigkeitsschwelle definiert wurde. Daneben wurden die Natrium- und Kaliumkonzentration in den Eluaten ermittelt. Bei den Auslaugversuchen mit den weiteren 20 Würfeln dieser Betoncharge wurden die Prüfbedingungen gemäß **Tabelle 5** variiert.

In den **Abbildungen 1 bis 11** sind die kumulierten Auslaugmengen der Achtfachbestimmung in  $\text{mg/m}^2$  für die Parameter Barium, Blei, Chlorid, Chrom, Kalium, Kupfer, Natrium, Selen, Sulfat, Vanadium und Zink zusammengefasst. Die **Abbildungen 12 bis 22** zeigen die kumulierten Auslaugmengen in  $\text{mg/m}^2$  der vorgenannten Parameter für die verschiedenen Variationen der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5. Außerdem sind in diesen Abbildungen die Mittelwerte der Achtfachbestimmung für den Tanktest (DSLTL) mit aufgeführt.

Die einzelnen Analysendaten für die vorgenannten Auslaugversuche sind im Anhang in den **Tabellen A1 bis A26** aufgelistet.

**Tabelle 5:** Variation der Prüfbedingungen<sup>1)</sup> bei den Betonversuchen

Variation Nr.	Beschreibung
1	Verringerung der Vorlagerungszeit auf 28 Tage (56 Tage) <sup>2)</sup>
2	Verlängerung der Vorlagerungszeit auf 91 Tage (56 Tage) <sup>2)</sup>
3	Verringerung der Prüftemperatur auf 15 °C ( $20 \pm 5$ °C) <sup>3)</sup>
4	Erhöhung der Prüftemperatur auf 25 °C ( $20 \pm 5$ °C) <sup>3)</sup>
5	Kontaktzeiten entsprechend dem DAfStb-Langzeitstandtest (1 d, 3 d, 7d, 16 d, 32 d, 56 d, jeweils $\pm 0,5$ h)
6	Kontaktzeiten entsprechend der niederländischen Norm NEN 7375 (0,25 d $\pm 10$ %, 1 d $\pm 10$ %, 2,25 d $\pm 10$ %, 4 d $\pm 10$ %, 9 d $\pm 10$ %, 16 $\pm 1$ d, 36 $\pm 1$ d, 64 $\pm 1$ d)
7	Verringerung des Verhältnisses vom Volumen des Eluenten zur Oberfläche des Prüfkörpers auf 40 L/m <sup>2</sup> ( $80 \pm 1$ L/m <sup>2</sup> ) <sup>3)</sup>
8	Erhöhung des Verhältnisses vom Volumen des Eluenten zur Oberfläche des Prüfkörpers auf 120 L/m <sup>2</sup> ( $80 \pm 1$ L/m <sup>2</sup> ) <sup>3)</sup>
9	Verringerung des pH-Werts des Ausgangsprüfwassers auf einen Wert von 4 (pH-neutral, Qualität 1 nach EN ISO 3696) <sup>3)</sup>
10	Erhöhung des pH-Werts des Ausgangsprüfwassers auf einen Wert von 10 (pH-neutral, Qualität 1 nach EN ISO 3696) <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Alle Variationen wurden in Doppelbestimmung geprüft

<sup>2)</sup> Übliche Vorlagerungszeit entsprechend den DIBt-Grundsätzen

<sup>3)</sup> Prüfbedingungen entsprechend dem Entwurf des Tanktests (DSLT)

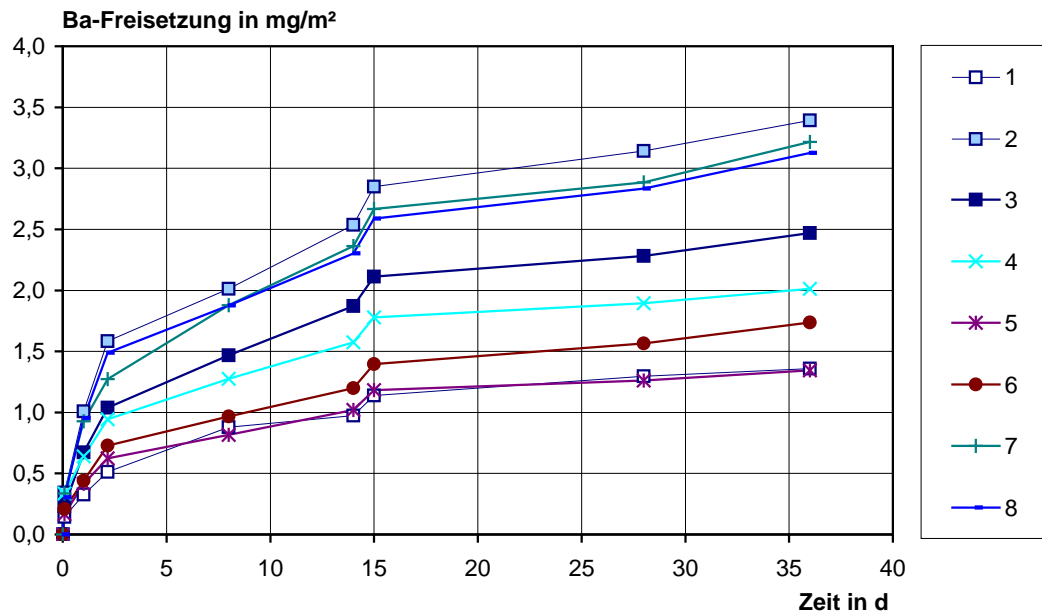


Abbildung 1: Freisetzung von Barium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

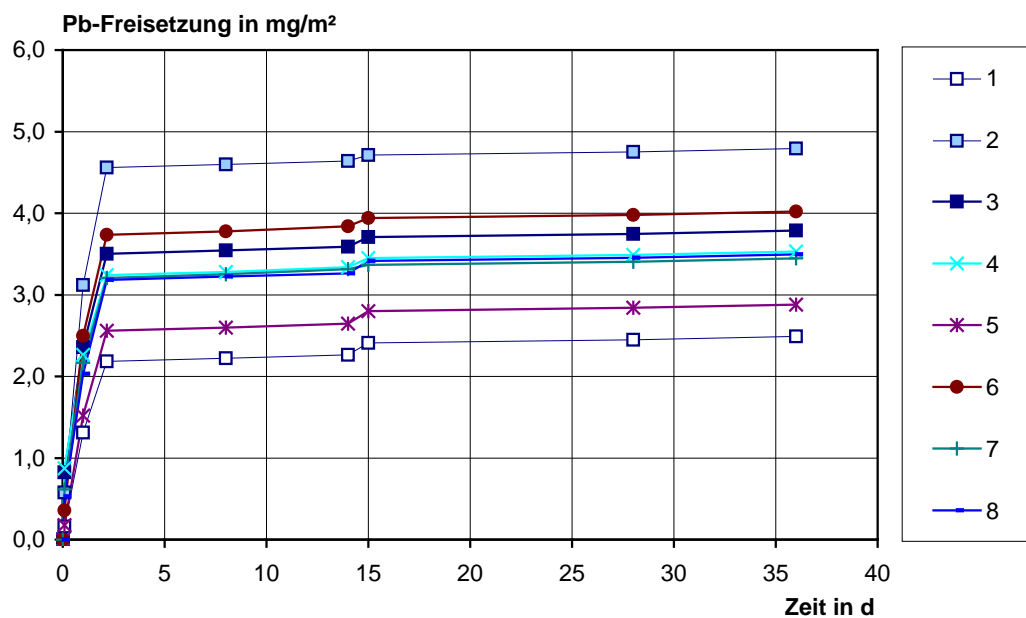


Abbildung 2: Freisetzung von Blei bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

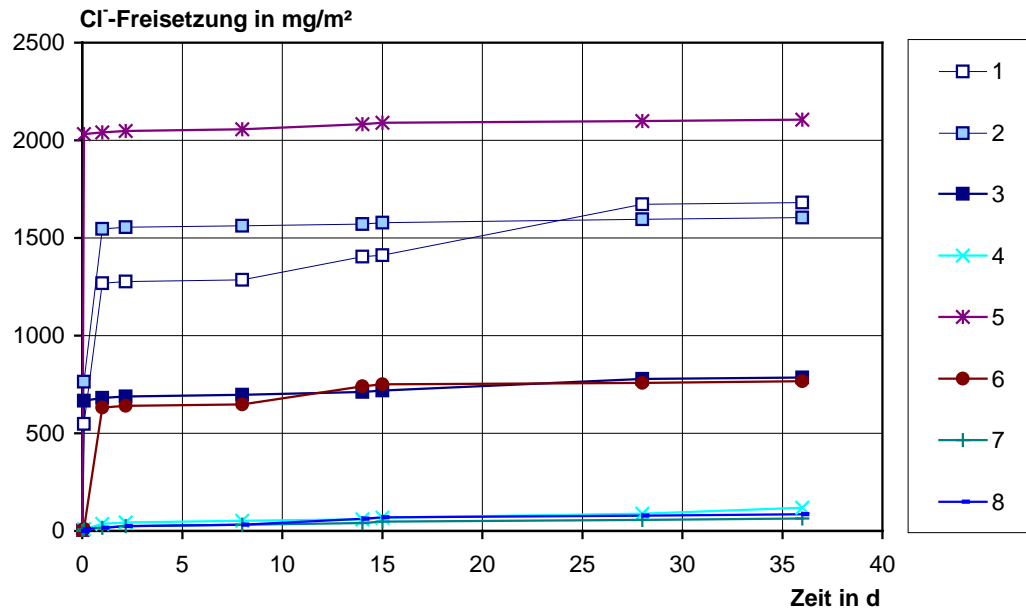


Abbildung 3: Freisetzung von Chlorid bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

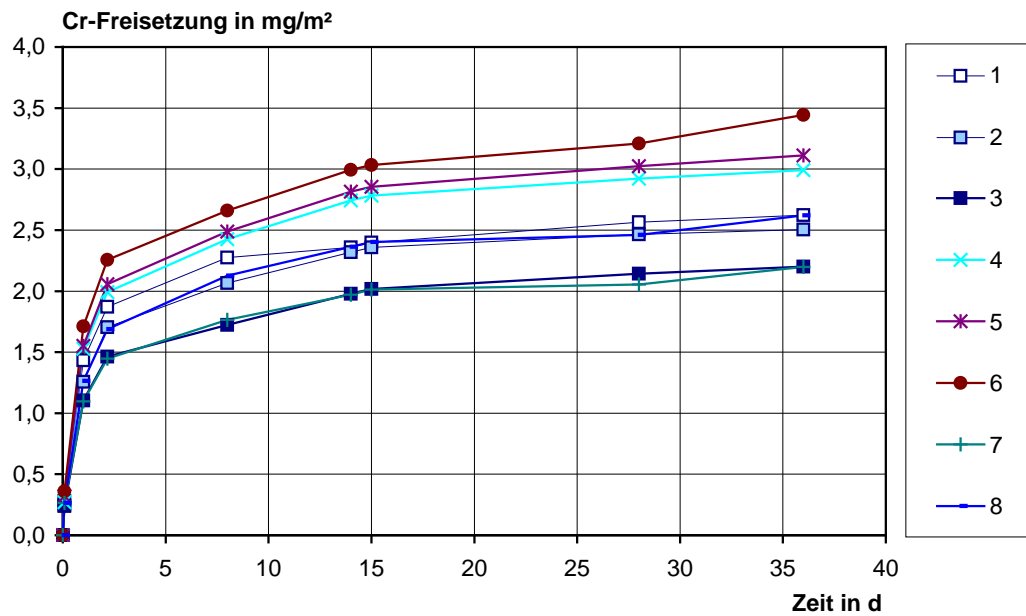


Abbildung 4: Freisetzung von Chrom bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

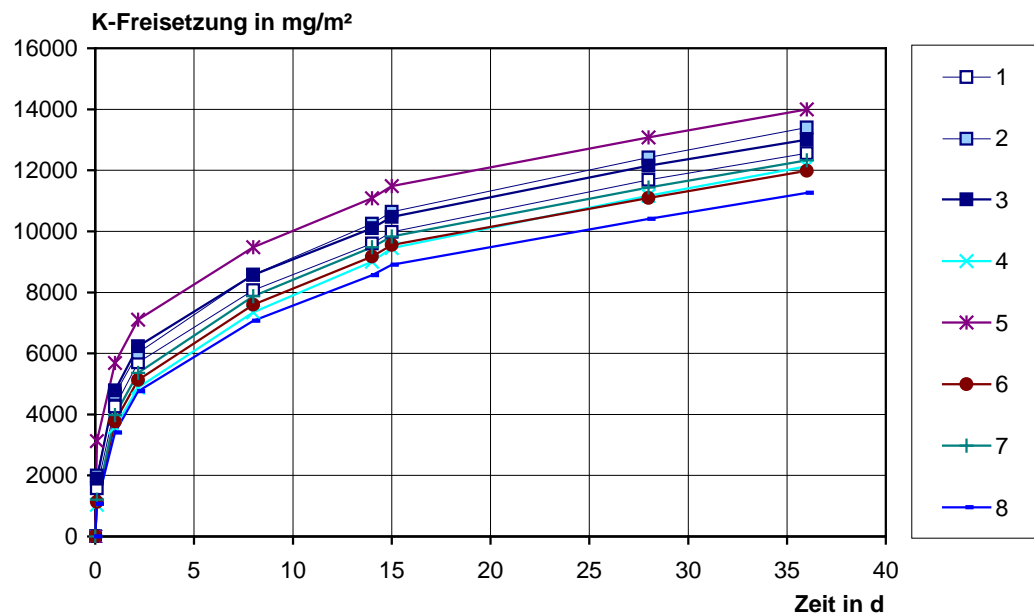


Abbildung 5: Freisetzung von Kalium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

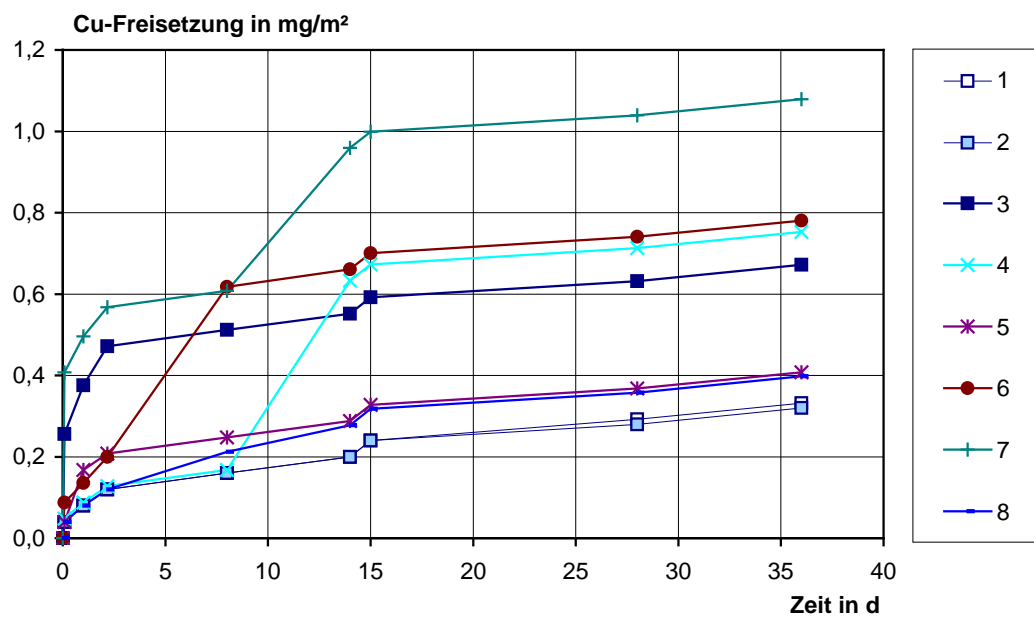


Abbildung 6: Freisetzung von Kupfer bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

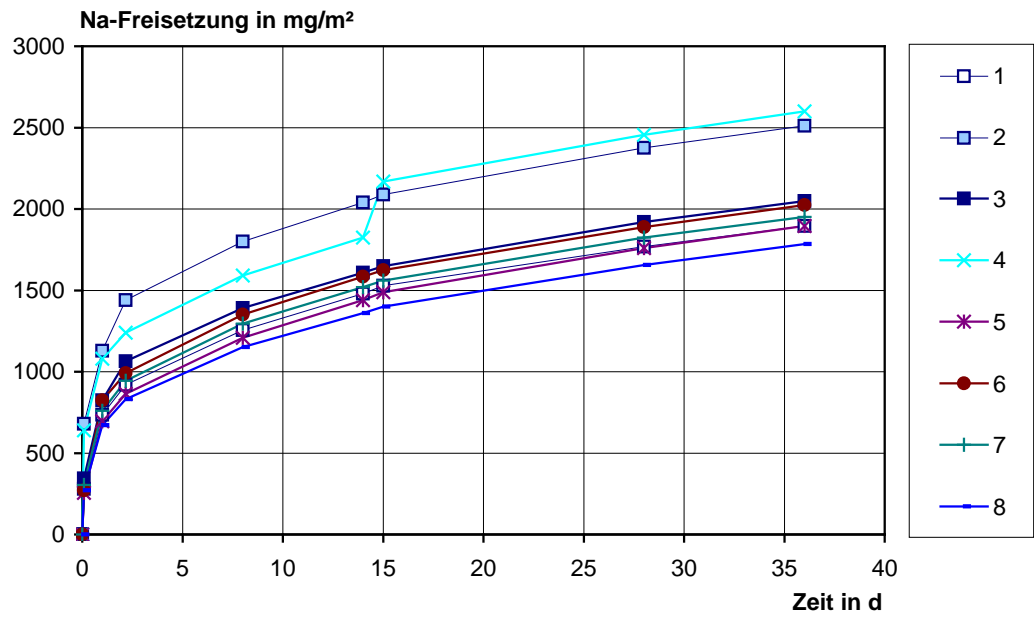


Abbildung 7: Freisetzung von Natrium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

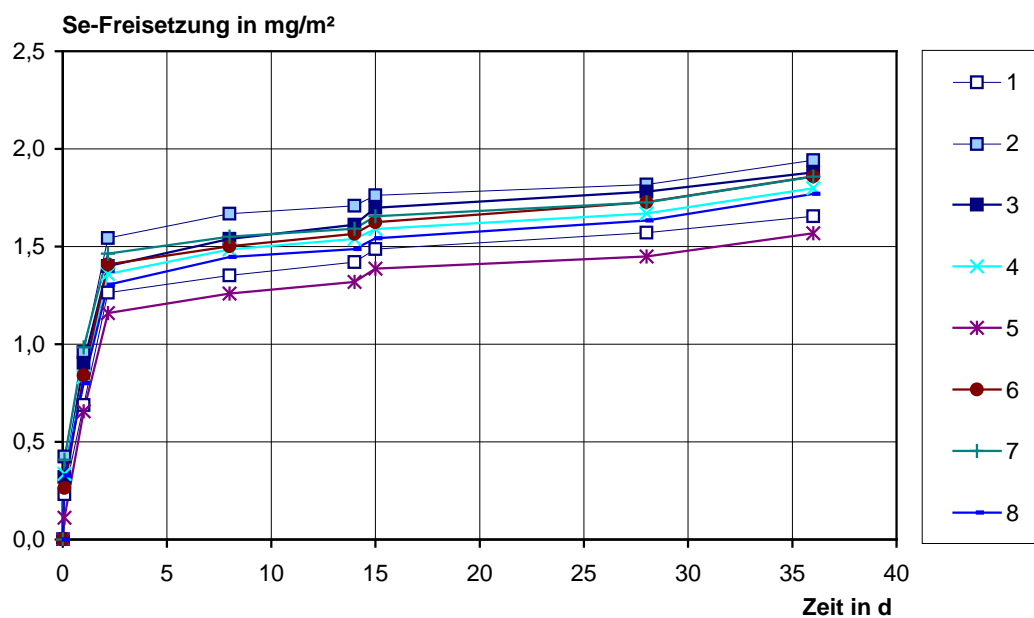


Abbildung 8: Freisetzung von Selen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

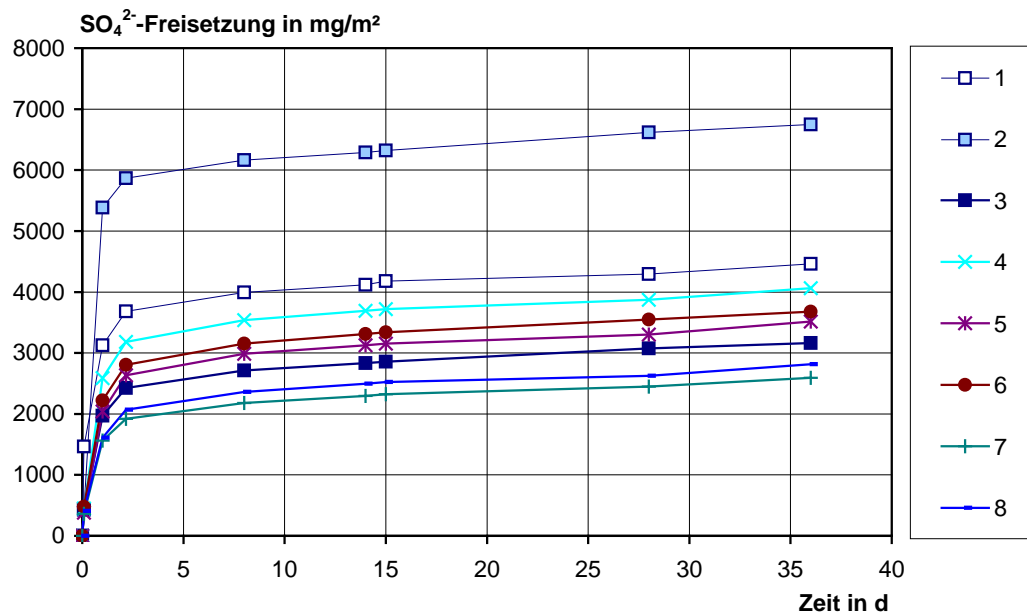


Abbildung 9: Freisetzung von Sulfat bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

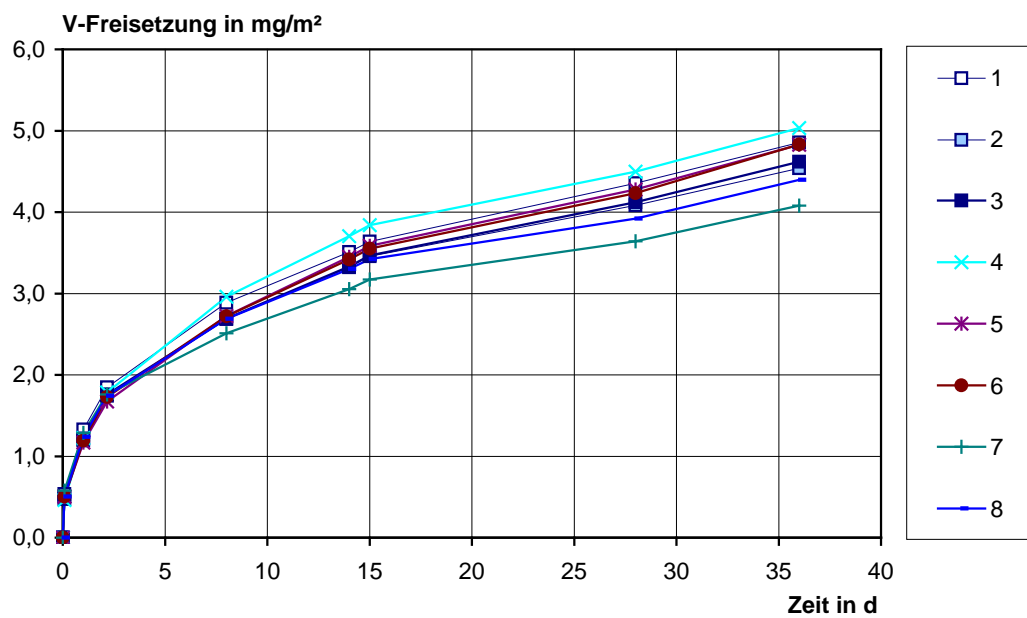


Abbildung 10: Freisetzung von Vanadium bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

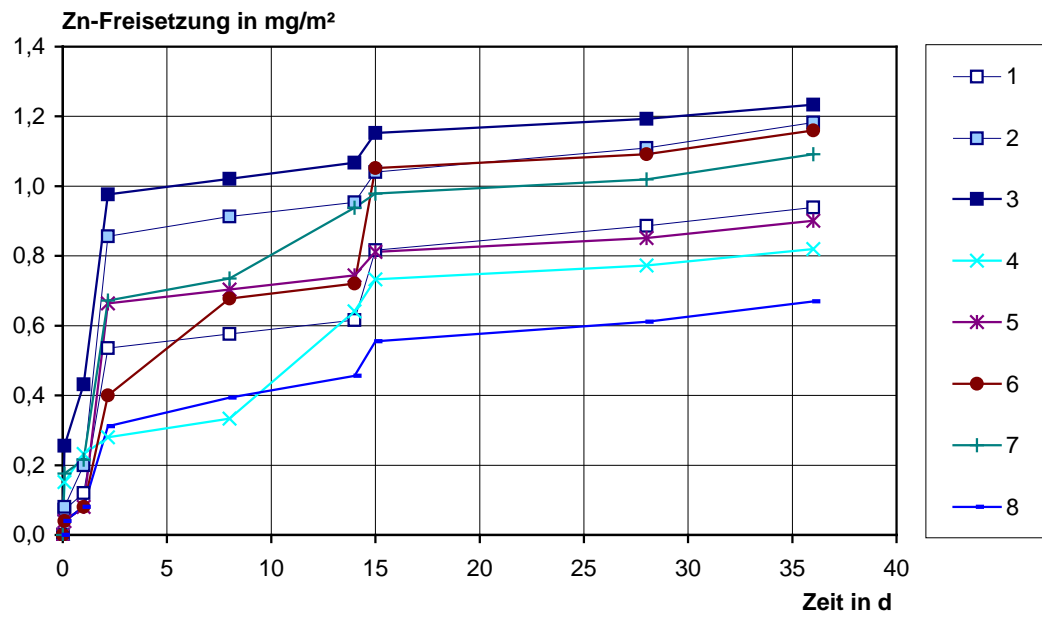


Abbildung 11: Freisetzung von Zink bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)



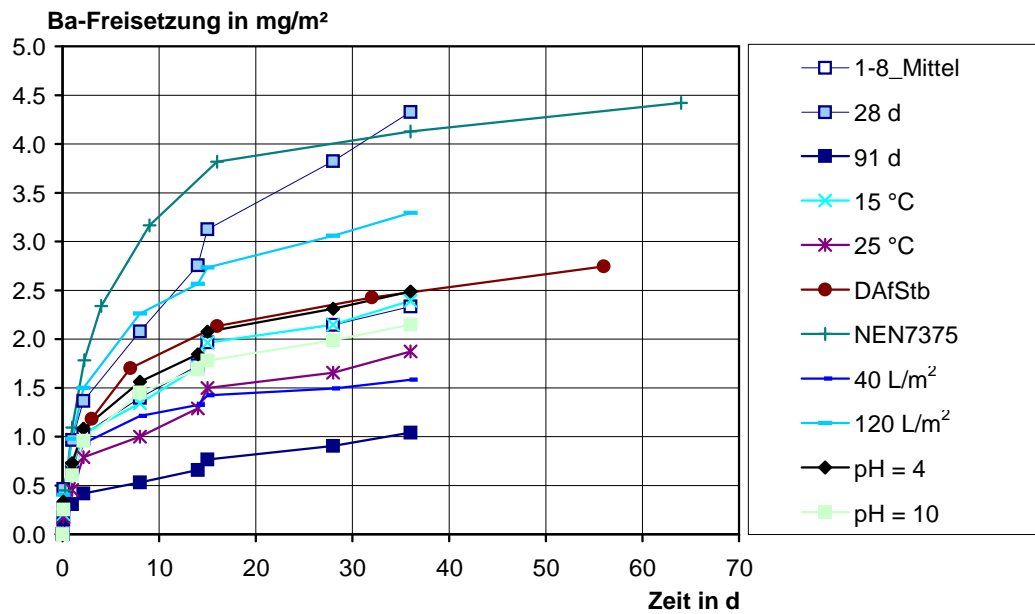


Abbildung 12: Freisetzung von Barium bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

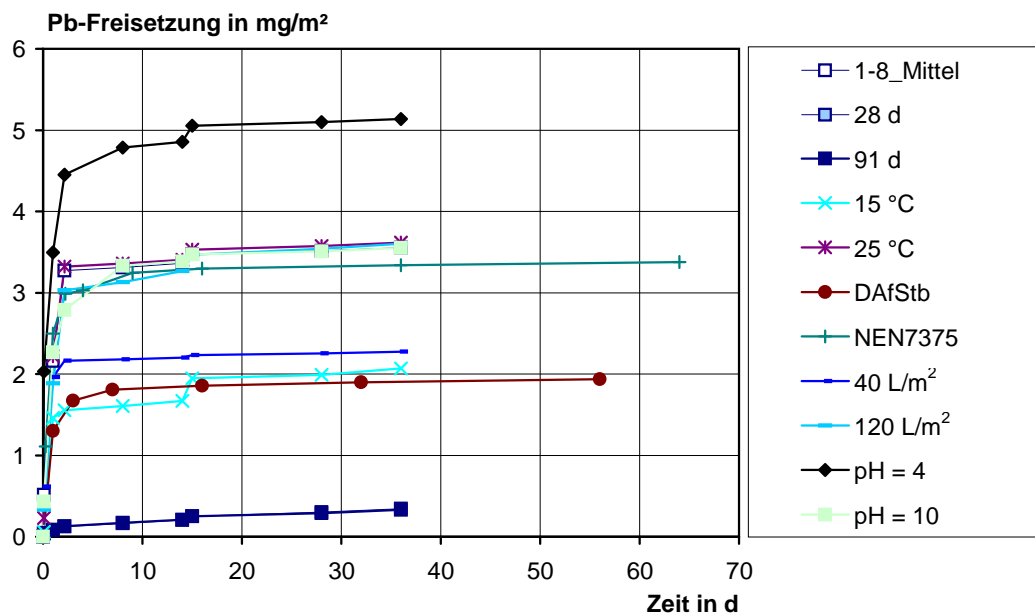


Abbildung 13: Freisetzung von Blei bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

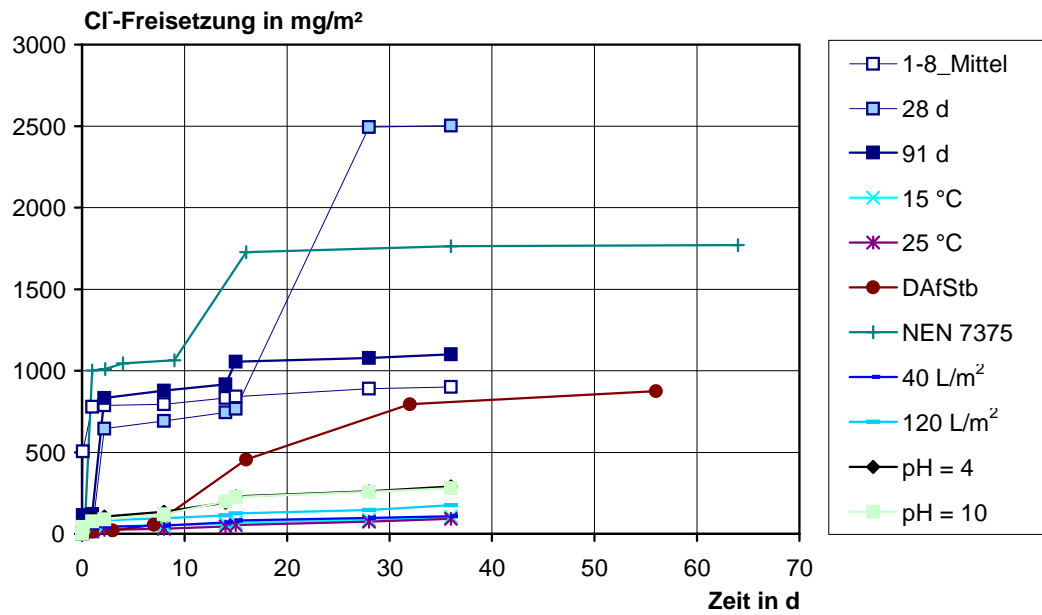


Abbildung 14: Freisetzung von Chlorid bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

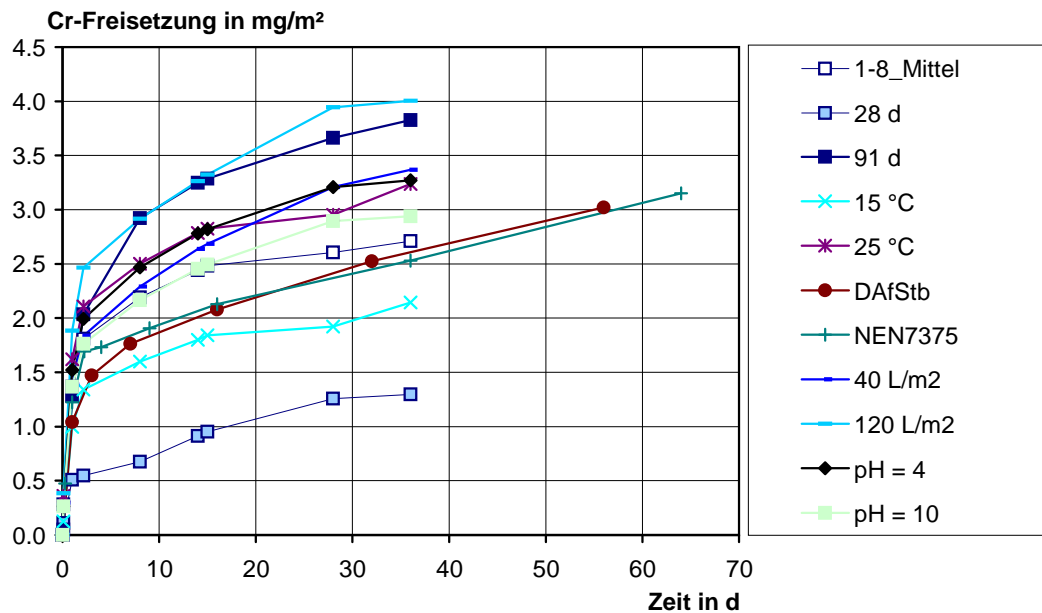


Abbildung 15: Freisetzung von Chrom bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

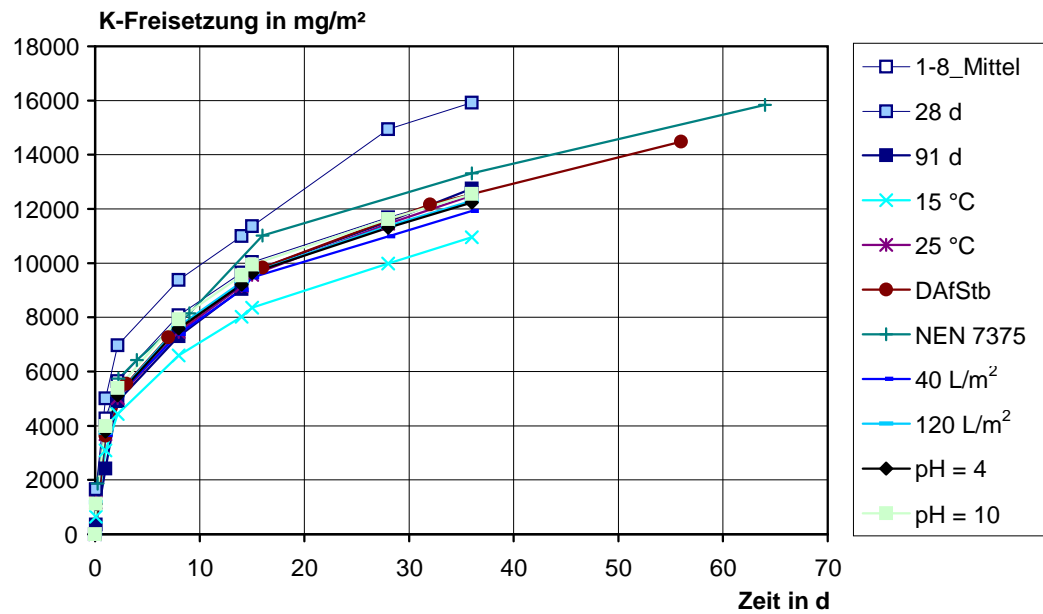


Abbildung 16: Freisetzung von Kalium bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

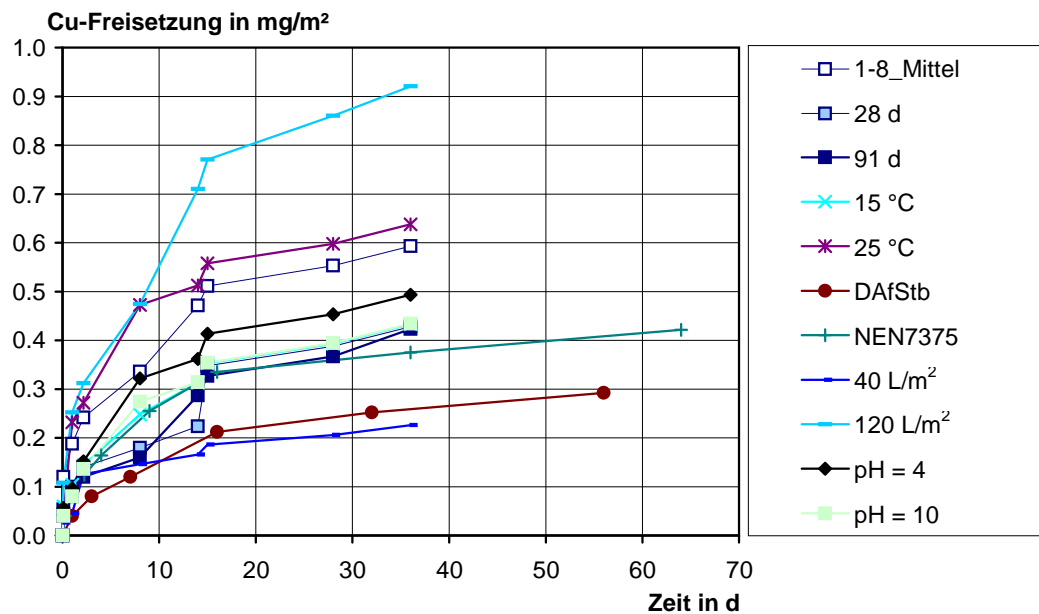


Abbildung 17: Freisetzung von Kupfer bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

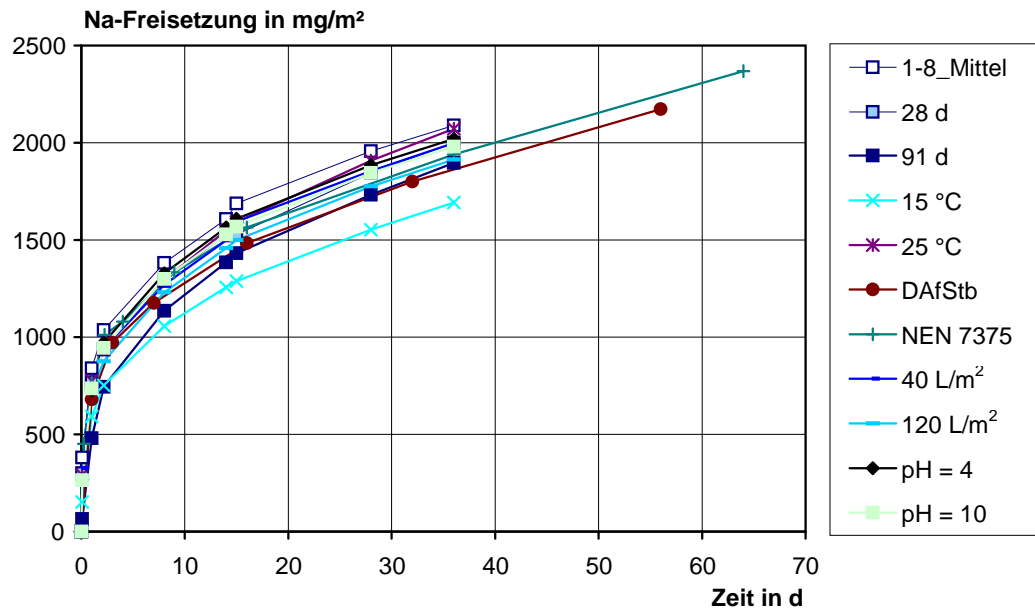


Abbildung 18: Freisetzung von Natrium bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

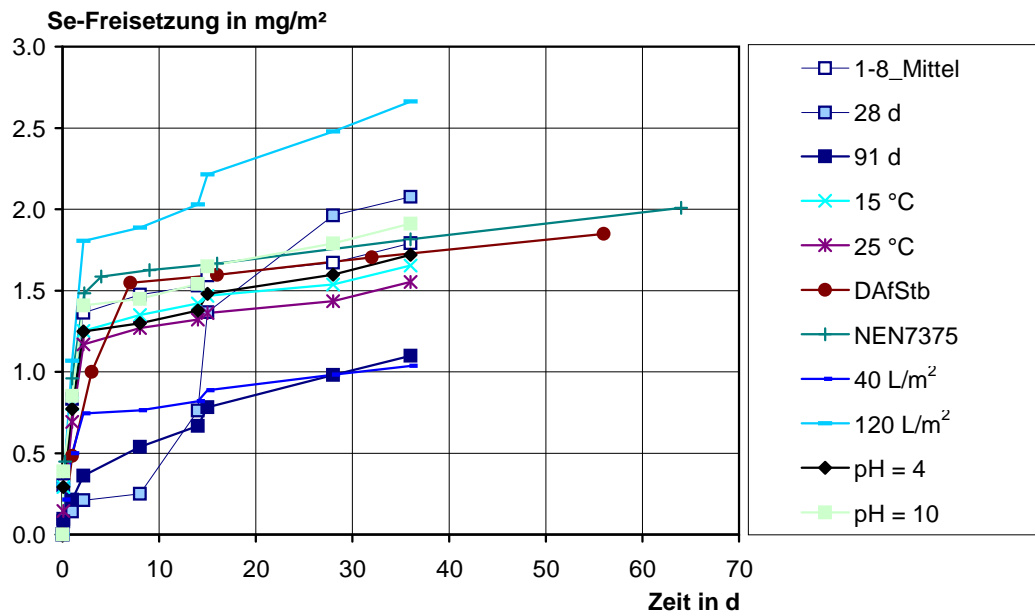


Abbildung 19: Freisetzung von Selen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

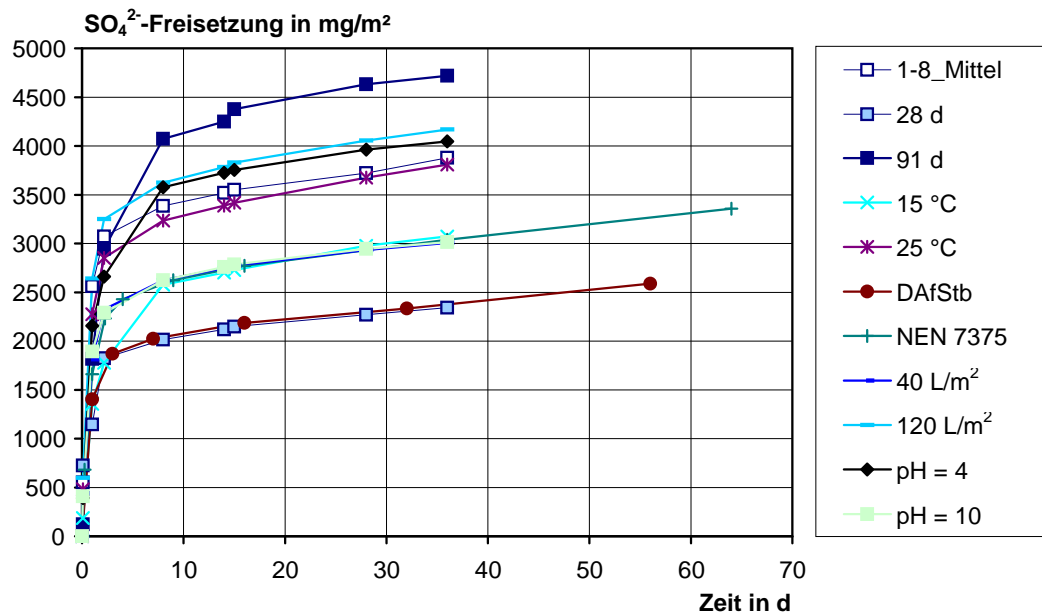


Abbildung 20: Freisetzung von Sulfat bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

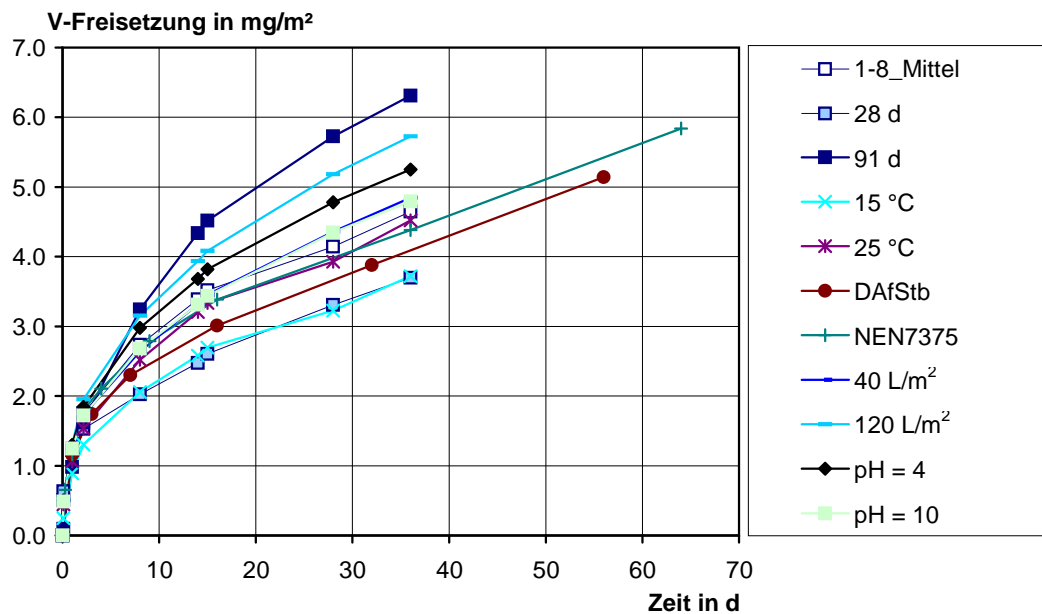


Abbildung 21: Freisetzung von Vanadium bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

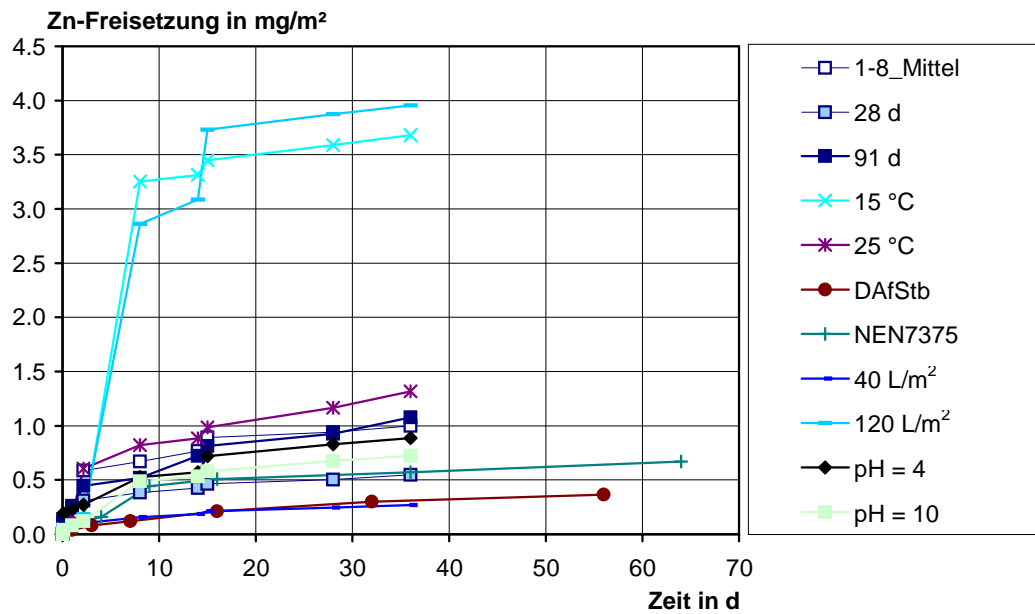


Abbildung 22: Freisetzung von Zink bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

### 2.1.3 Auslaugergebnisse für den Beton der zweiten Betonage

Bei der zweiten Betonage sollte der Einfluss einer erneuten Betonherstellung auf die Versuchsergebnisse überprüft werden. Dazu wurden drei Probekörper mit dem Portlandzement, genau wie bei der ersten Betonage (gleiche Mischungsgröße usw.), hergestellt und der Auslaugversuch entsprechend dem Normentwurf „Generic horizontal dynamic surface leaching test (DSLTL) for determination of surface dependent release of substances from construction products“ durchgeführt. Die Auslaugprüfungen wurden als Dreifachbestimmung durchgeführt.

In den **Abbildungen 23 bis 33** sind die kumulierten Auslaugmengen der Dreifachbestimmung in  $\text{mg/m}^2$  für die Parameter Barium, Blei, Chlorid, Chrom, Kalium, Kupfer, Natrium, Selen, Sulfat, Vanadium und Zink zusammengefasst. In den **Abbildungen 34 bis 44** sind die kumulierten Auslaugmengen in  $\text{mg/m}^2$  der vorgenannten Parameter für alle Betone der ersten Betonage sowie die Mittelwerte der Dreifachbestimmung der zweiten Betonage zusammengefasst.

Die einzelnen Analysendaten für die vorgenannten Dreifachbestimmungen sind im Anhang in den **Tabellen A27 bis A39** aufgelistet.

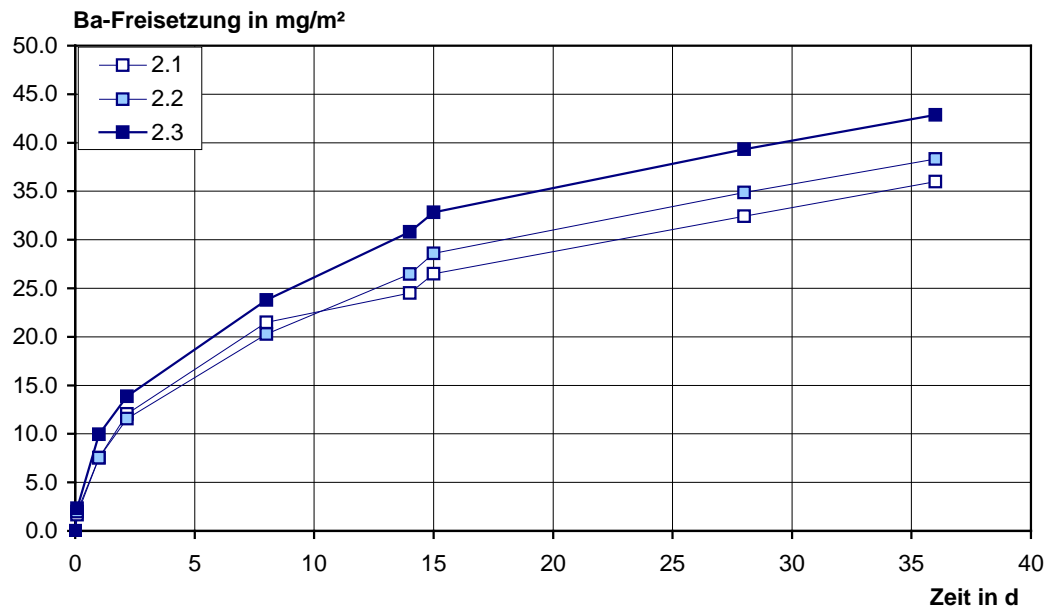


Abbildung 23: Freisetzung von Barium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

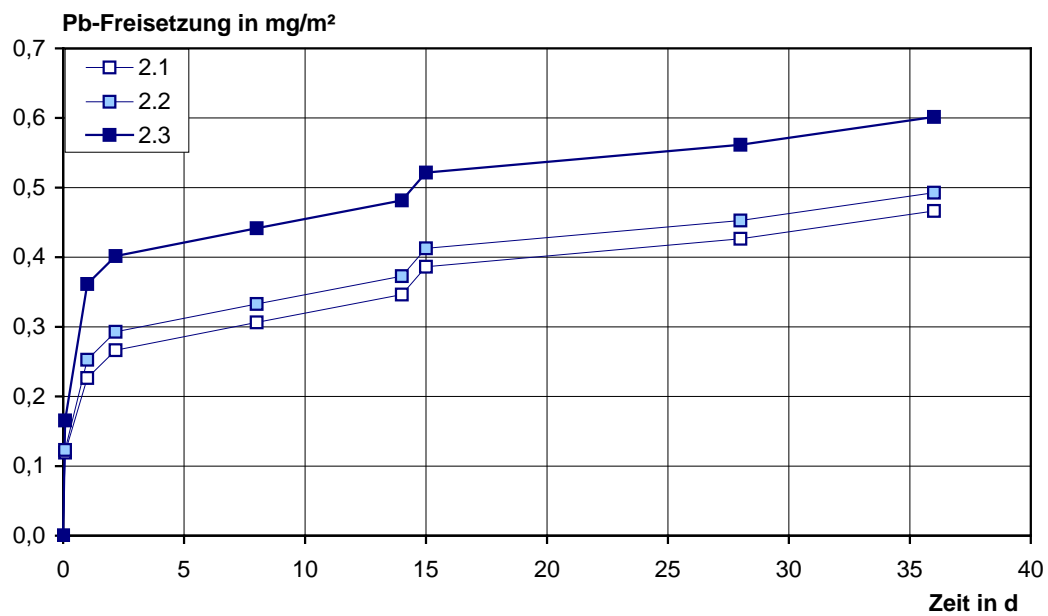


Abbildung 24: Freisetzung von Blei bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)



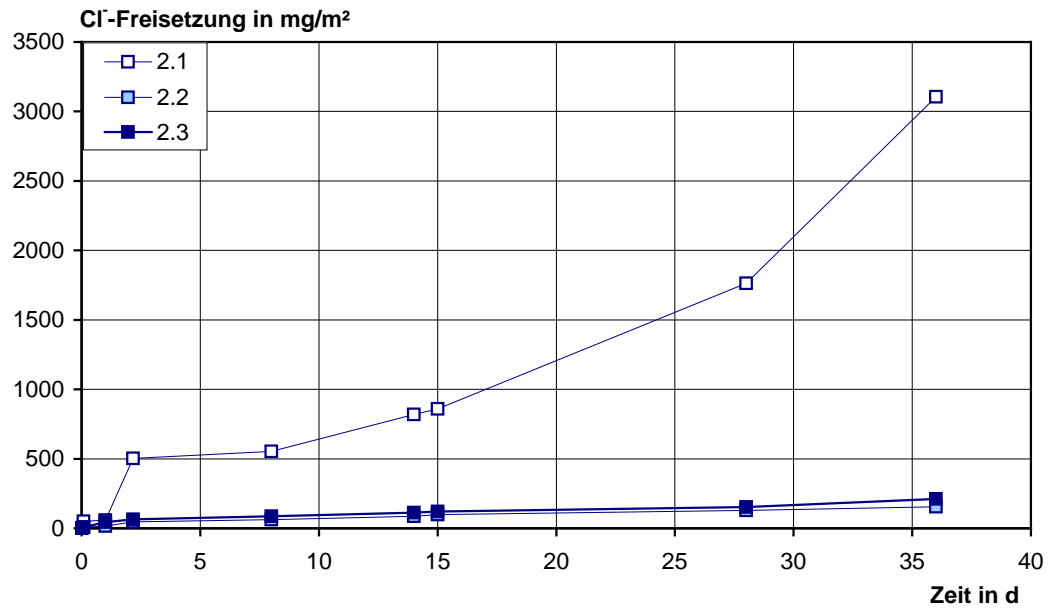


Abbildung 25: Freisetzung von Chlorid bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

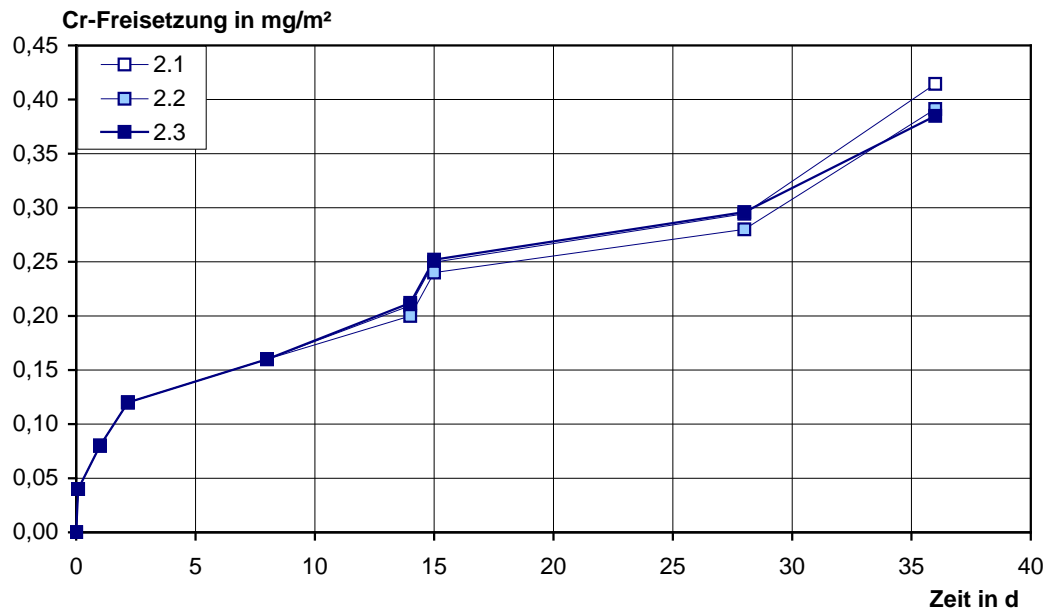


Abbildung 26: Freisetzung von Chrom bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

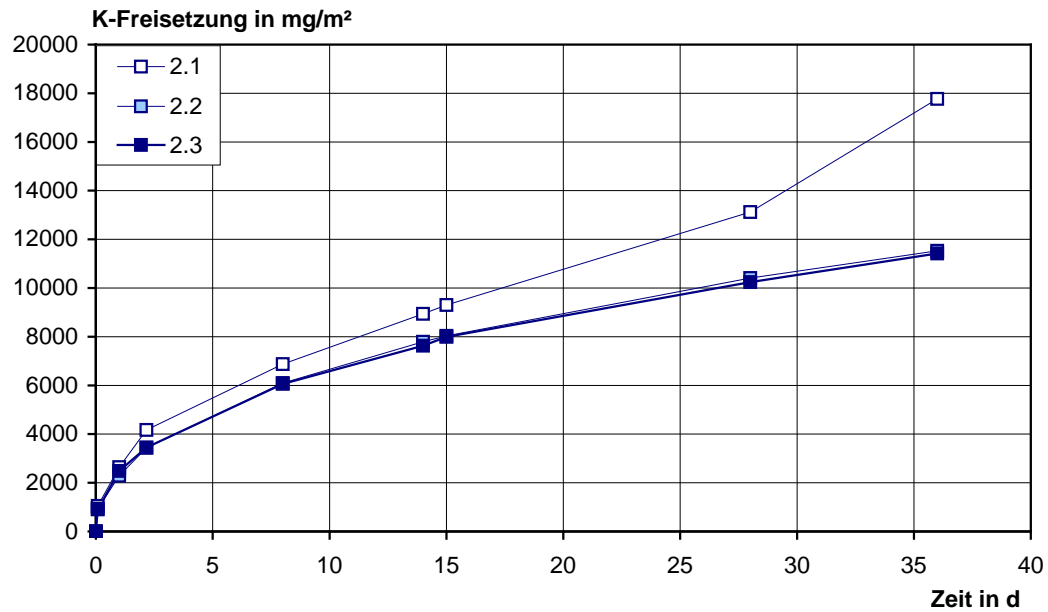


Abbildung 27: Freisetzung von Kalium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

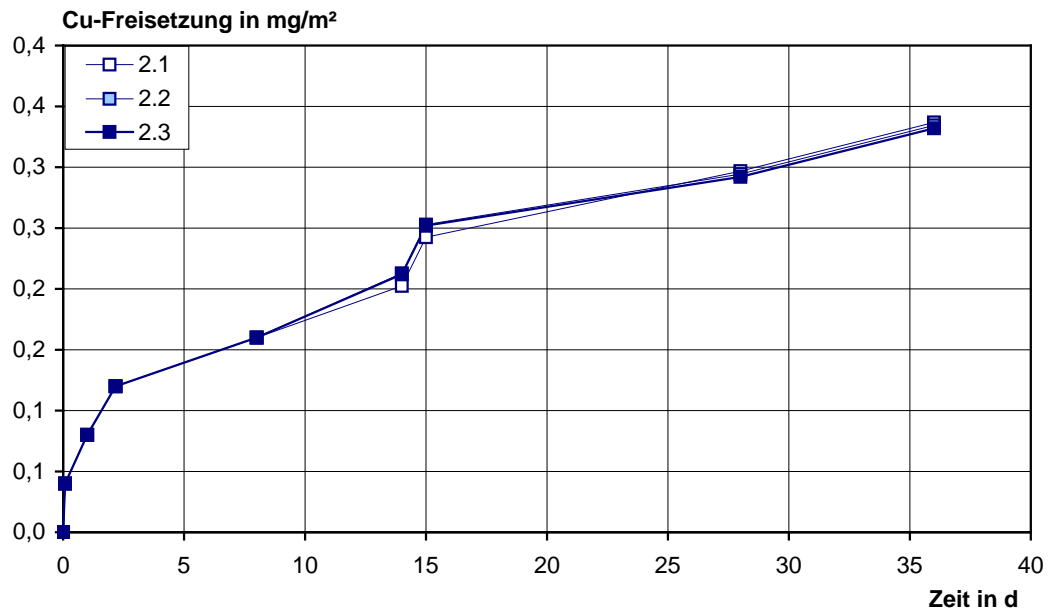


Abbildung 28: Freisetzung von Kupfer bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

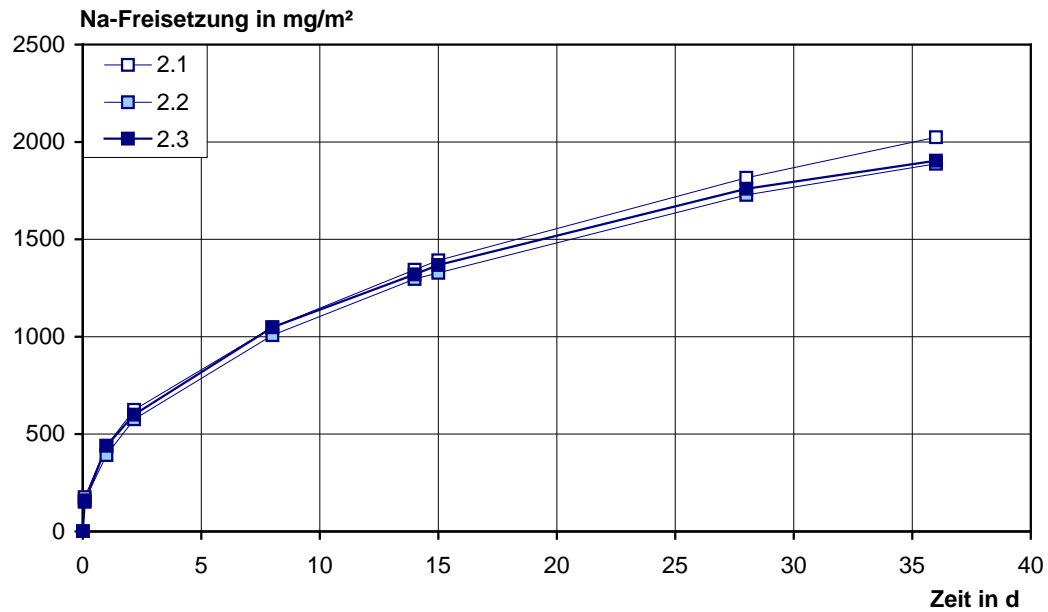


Abbildung 29: Freisetzung von Natrium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

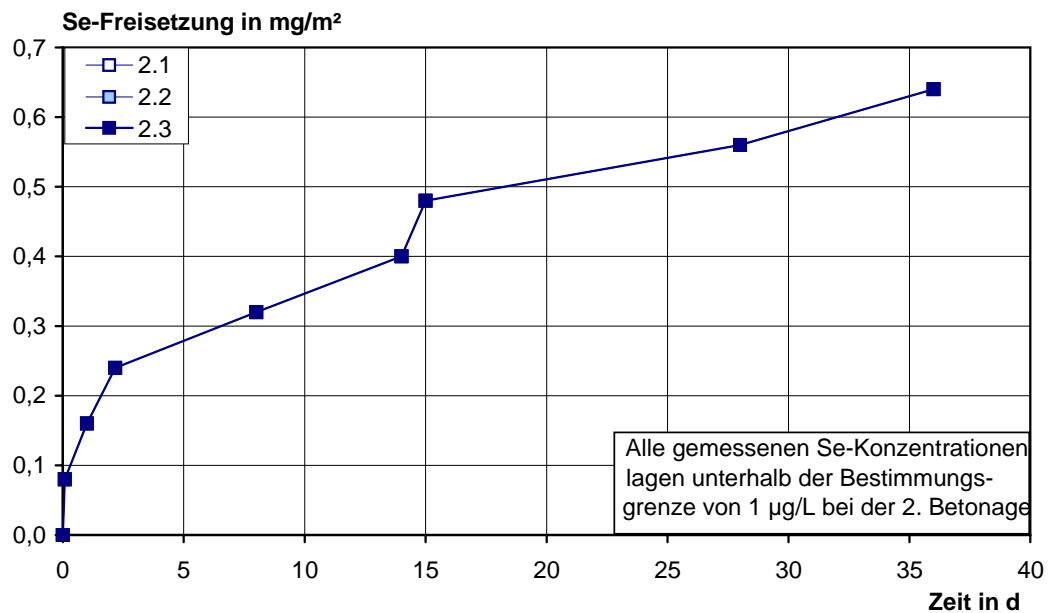


Abbildung 30: Freisetzung von Selen bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

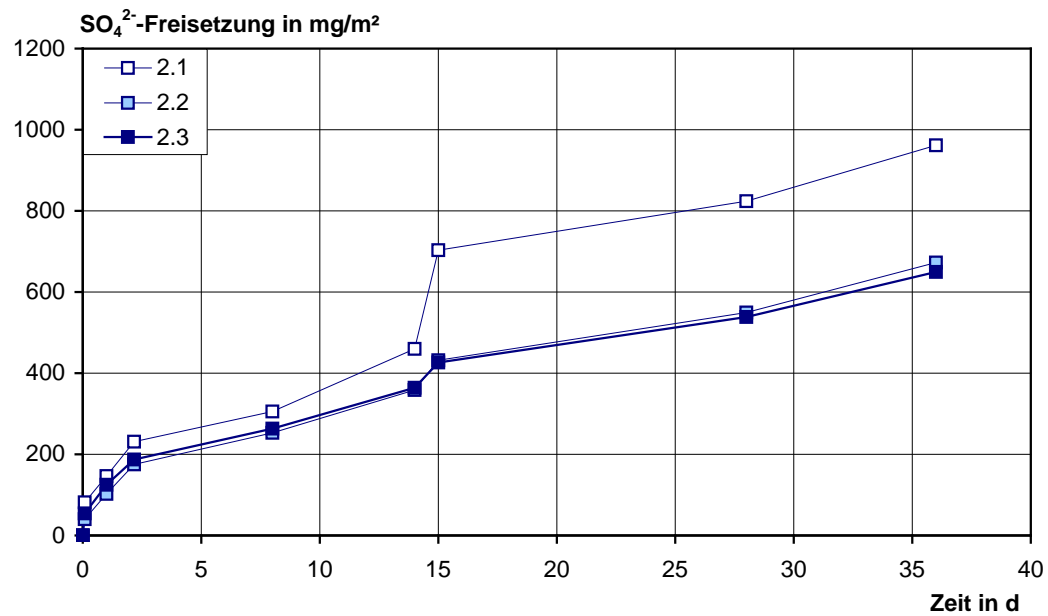


Abbildung 31: Freisetzung von Sulfat bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

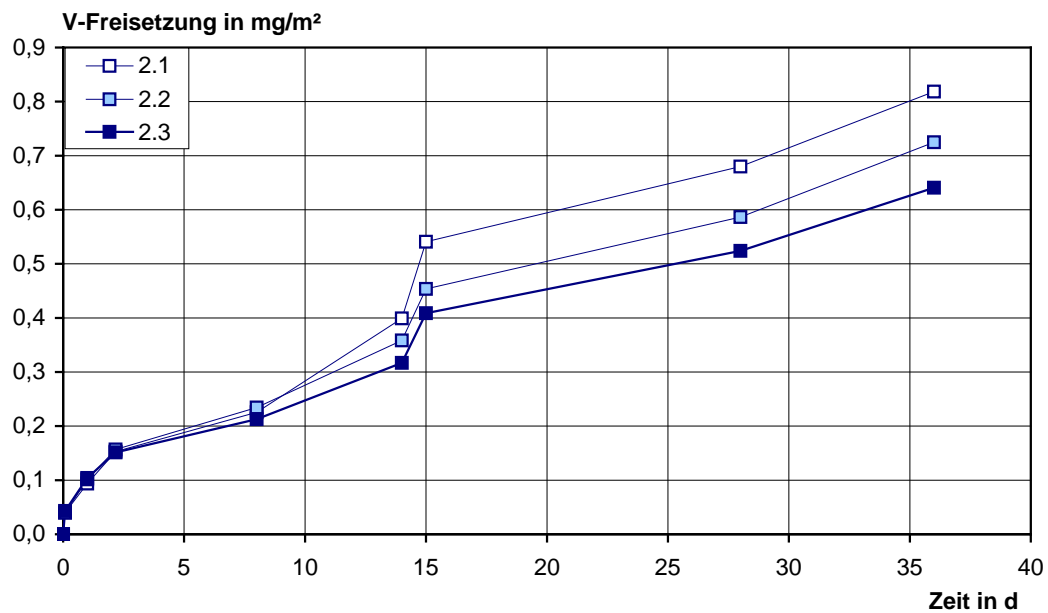


Abbildung 32: Freisetzung von Vanadium bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

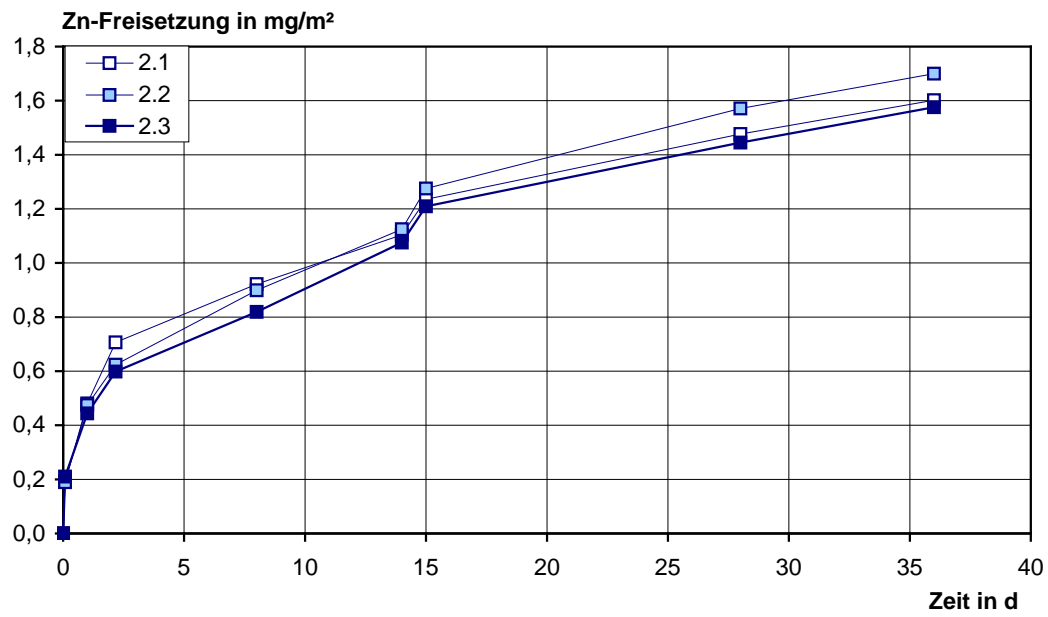


Abbildung 33: Freisetzung von Zink bei der Dreifachbestimmung (zweite Betonage)

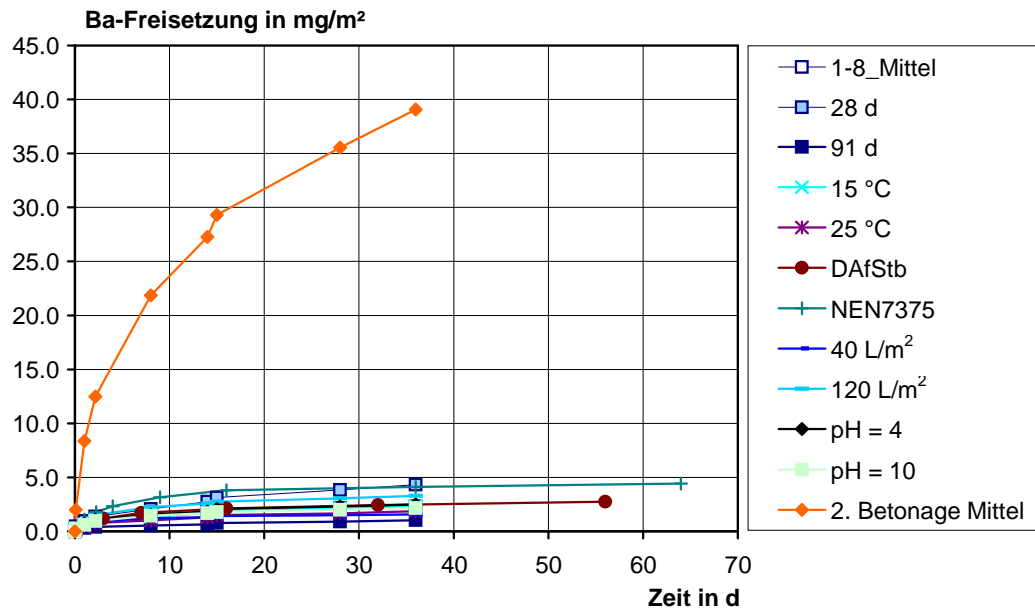


Abbildung 34: Freisetzung von Barium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

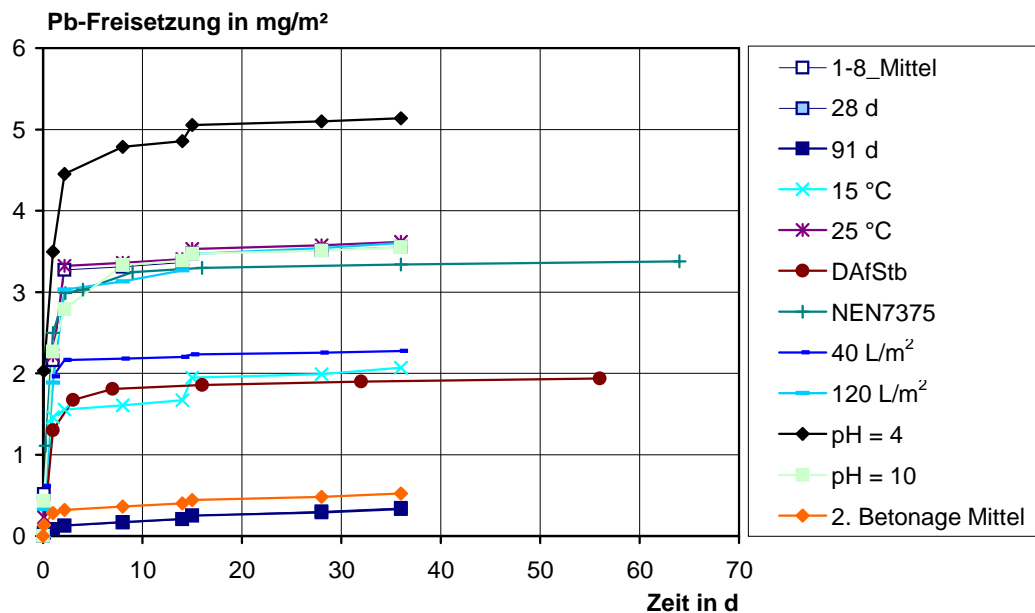


Abbildung 35: Freisetzung von Blei für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

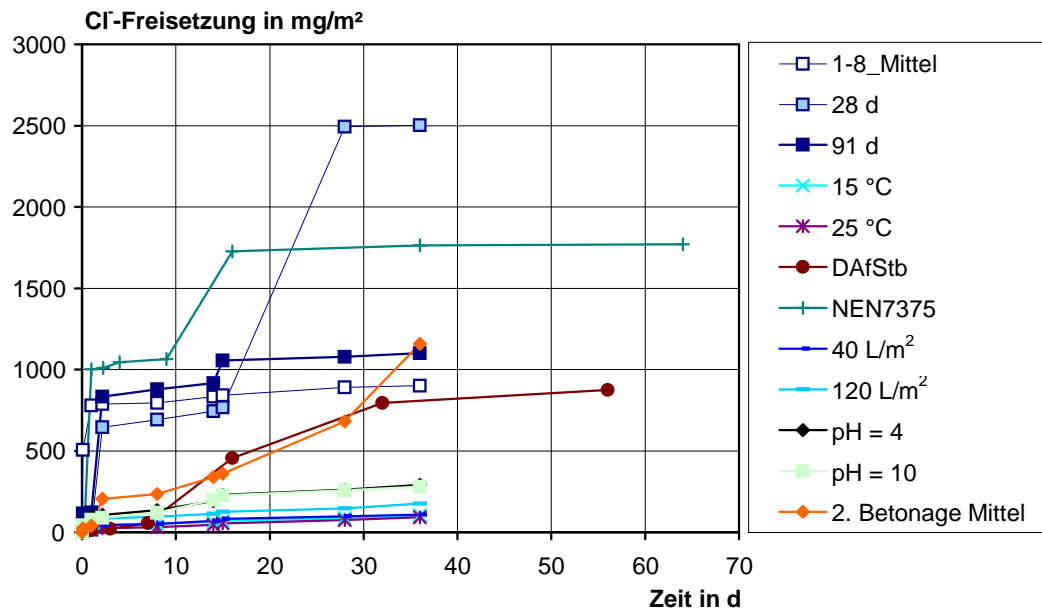


Abbildung 36: Freisetzung von Chlorid für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

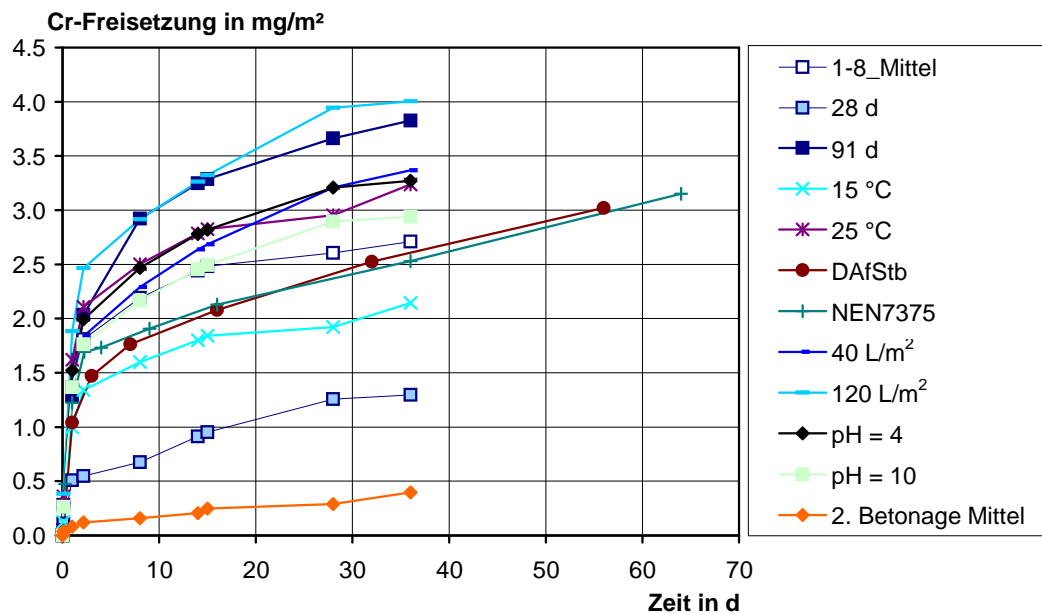


Abbildung 37: Freisetzung von Chrom für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

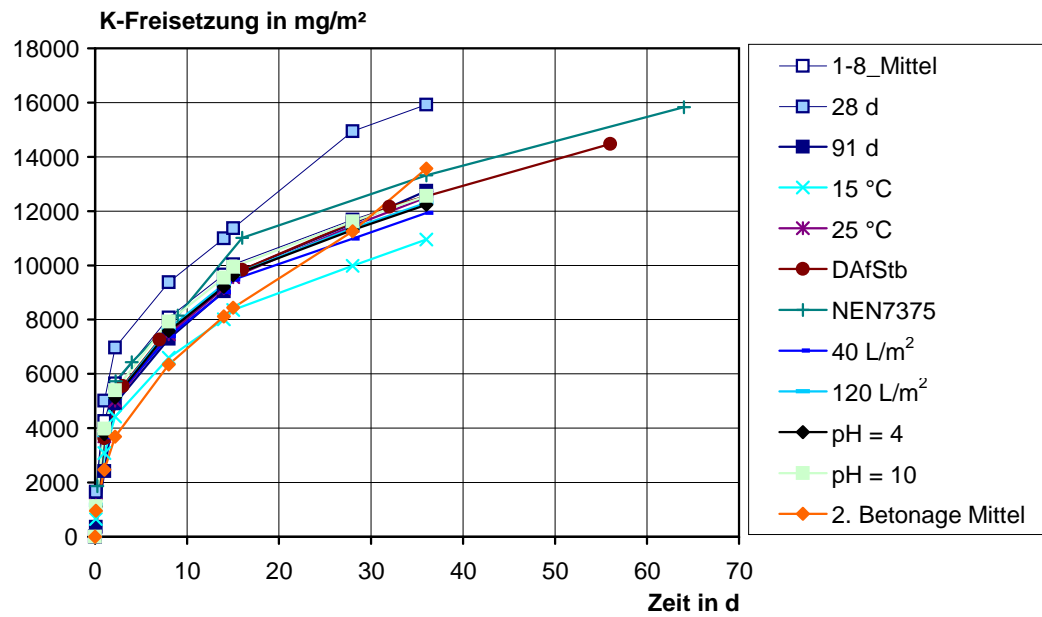


Abbildung 38: Freisetzung von Kalium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

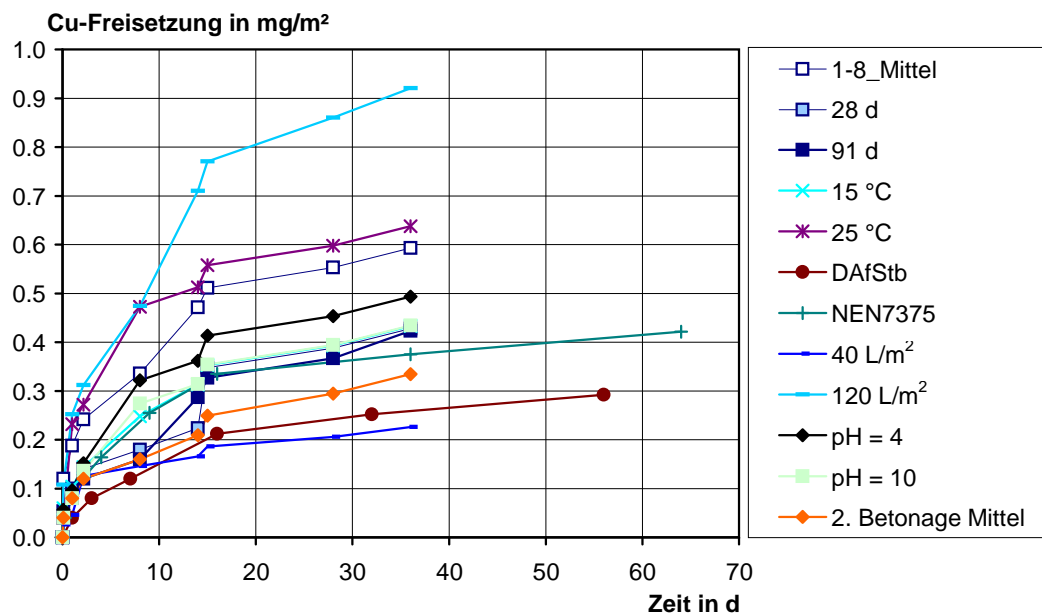


Abbildung 39: Freisetzung von Kupfer für alle Betone der ersten und zweiten Betonage



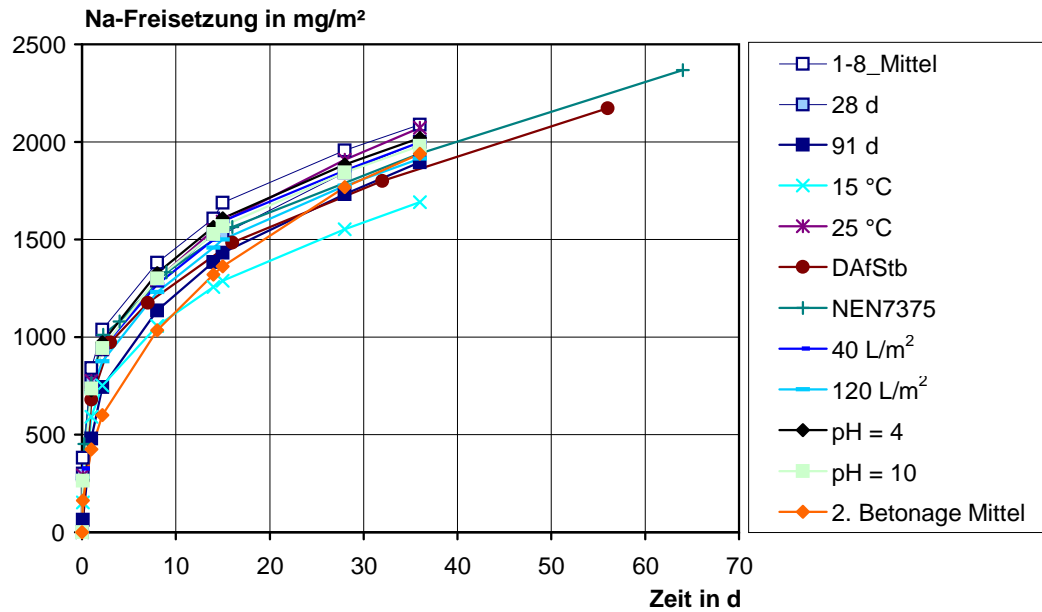


Abbildung 40: Freisetzung von Natrium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

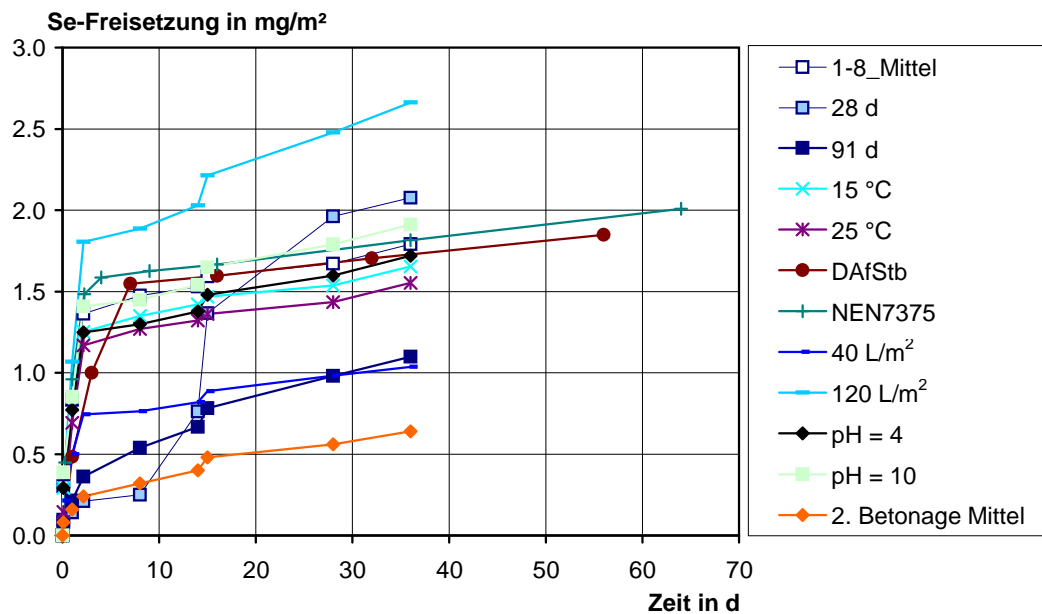


Abbildung 41: Freisetzung von Selen für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

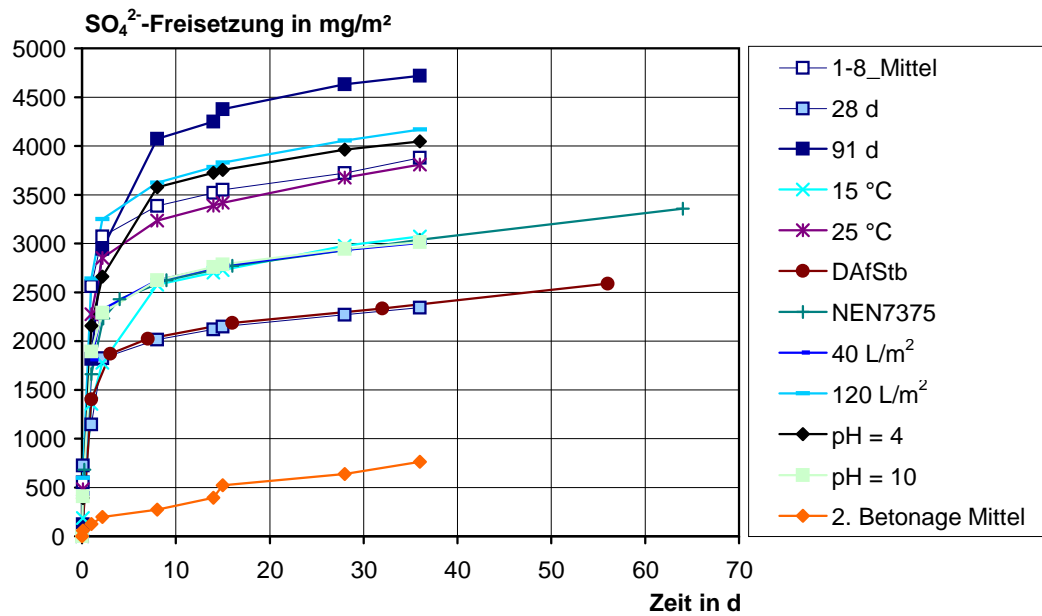


Abbildung 42: Freisetzung von Sulfat für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

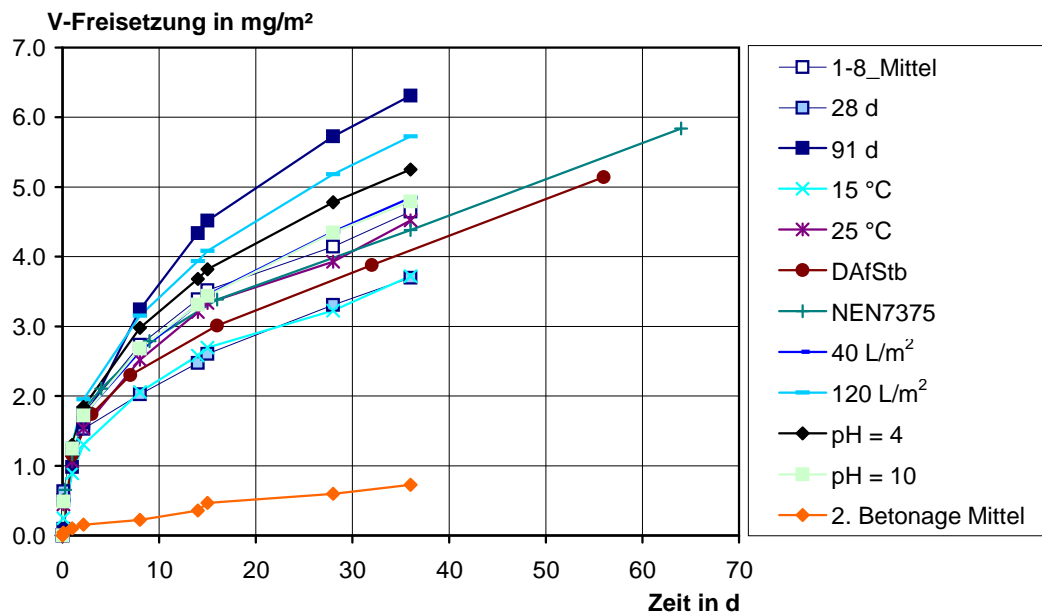


Abbildung 43: Freisetzung von Vanadium für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

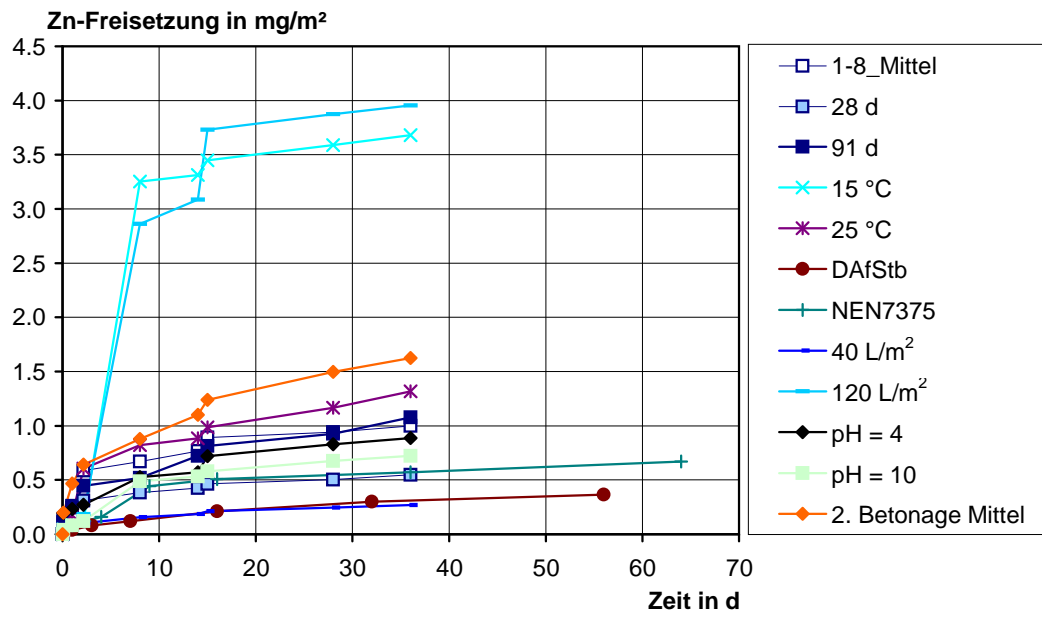


Abbildung 44: Freisetzung von Zink für alle Betone der ersten und zweiten Betonage

#### **2.1.4 Auslaugergebnisse für den Beton der dritten Betonage**

An den Betonen der dritten Betonage sollte der Einfluss der Zementart auf des Auslaugverhalten untersucht werden. Dazu wurden sechs Probekörper mit dem Hochofenzement, genau wie bei der ersten Betonage (gleiche Mischungsgröße usw.), hergestellt. Die Auslaugprüfungen wurden entsprechend dem Normentwurf „Generic horizontal dynamic surface leaching test (DSLTL) for determination of surface dependent release of substances from construction products“ durchgeführt. Außerdem wurden die Prüfungen bei 15 °C und entsprechend der niederländischen Norm NEN 7375 durchgeführt, da sich hier bei den vorhergehenden Prüfungen der Betone der ersten und zweiten Betonage der größte Einfluss auf das Analysenergebnis gezeigt hatte. Die Auslaugprüfungen wurden als Doppelbestimmung durchgeführt.

In den **Abbildungen 45 bis 55** sind die kumulierten Auslaugmengen in  $\text{mg/m}^2$  für die Parameter Barium, Blei, Chlorid, Chrom, Kalium, Kupfer, Natrium, Selen, Sulfat, Vanadium und Zink zusammengefasst. Aufgetragen sind jeweils die Mittelwerte der Doppelbestimmung sowohl für die DSLTL Prüfungen bei 15 °C und 20 °C als auch für die Prüfung entsprechend NEN 7375.

Die einzelnen Analysendaten für die vorgenannten Doppelbestimmungen sind im Anhang in den **Tabellen A40 bis A52** aufgelistet.

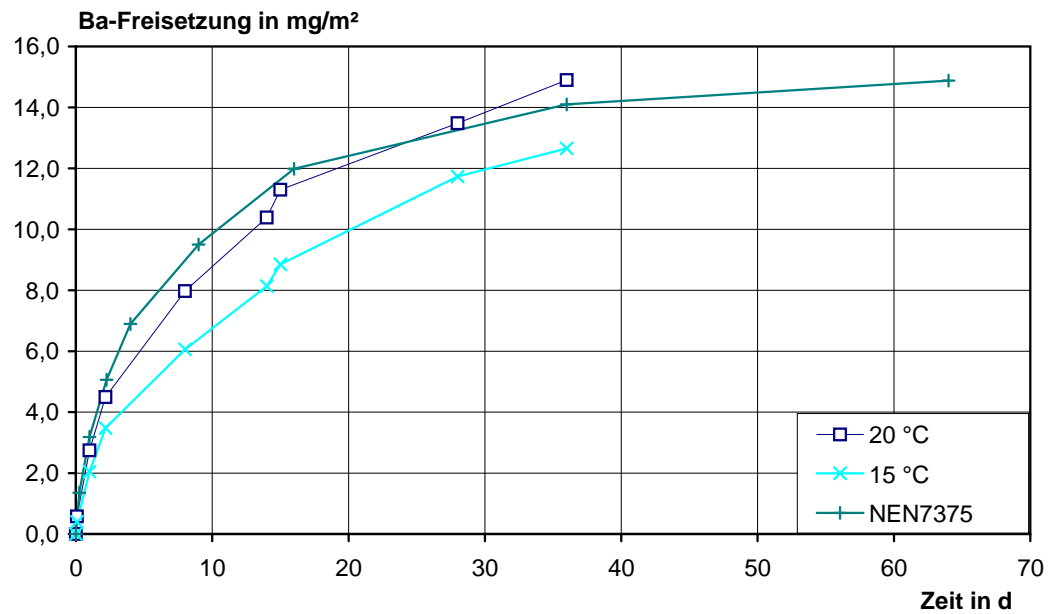


Abbildung 45: Freisetzung von Barium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

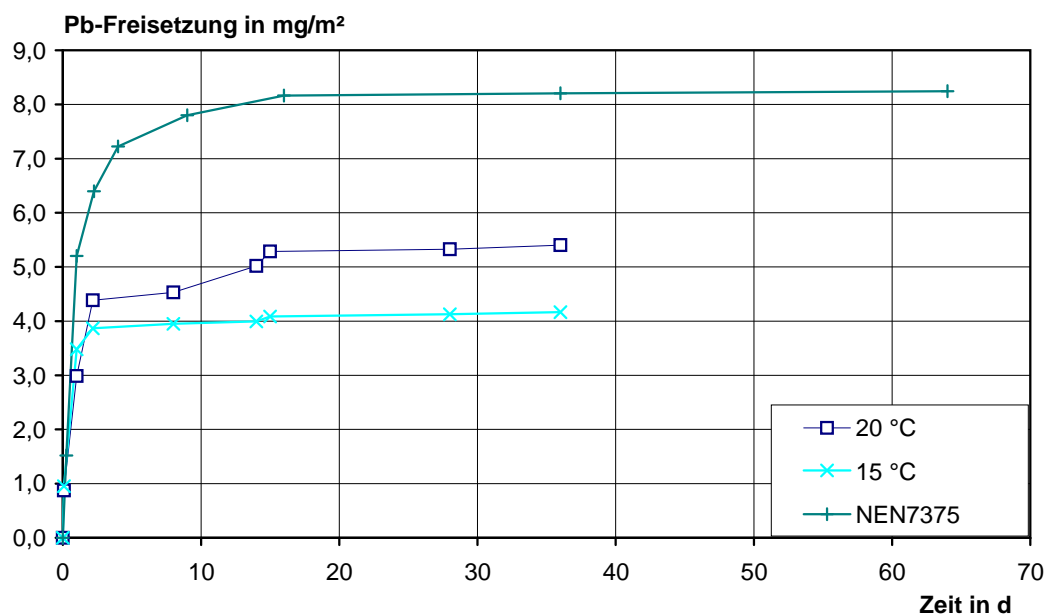


Abbildung 46: Freisetzung von Blei für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

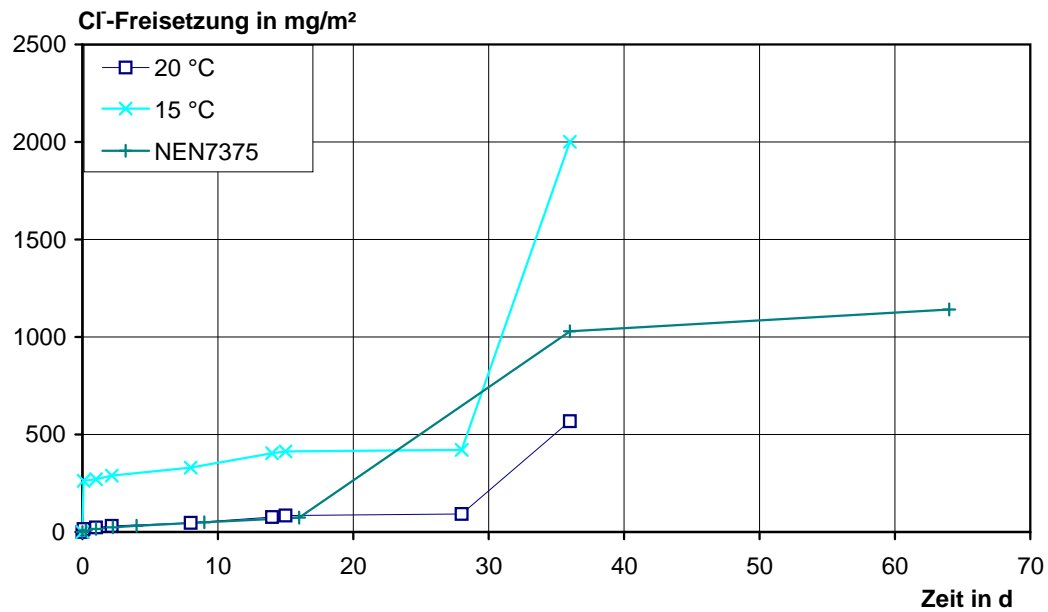


Abbildung 47: Freisetzung von Chlorid für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

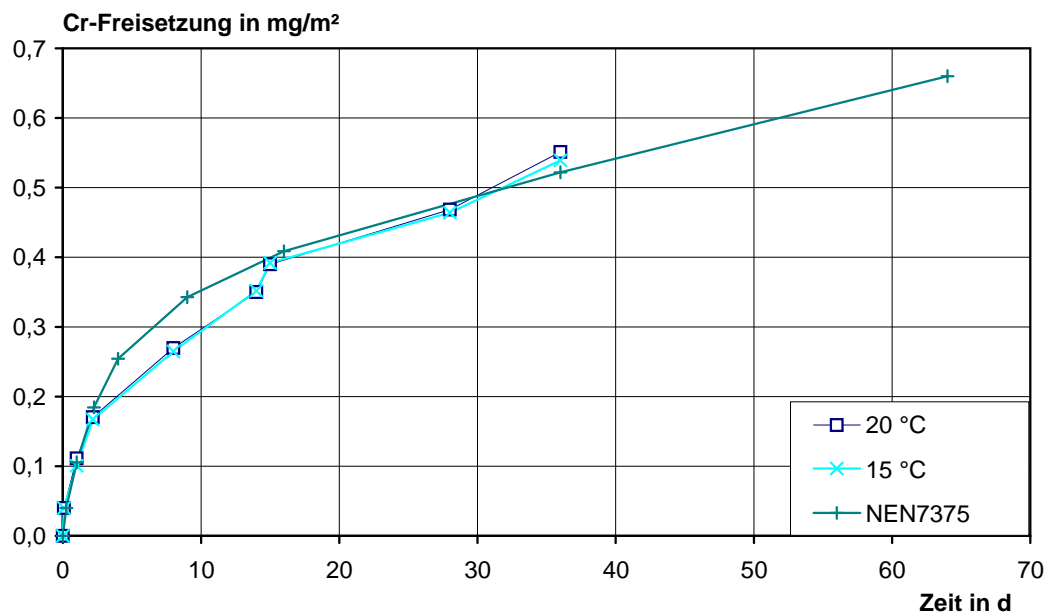


Abbildung 48: Freisetzung von Chrom für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

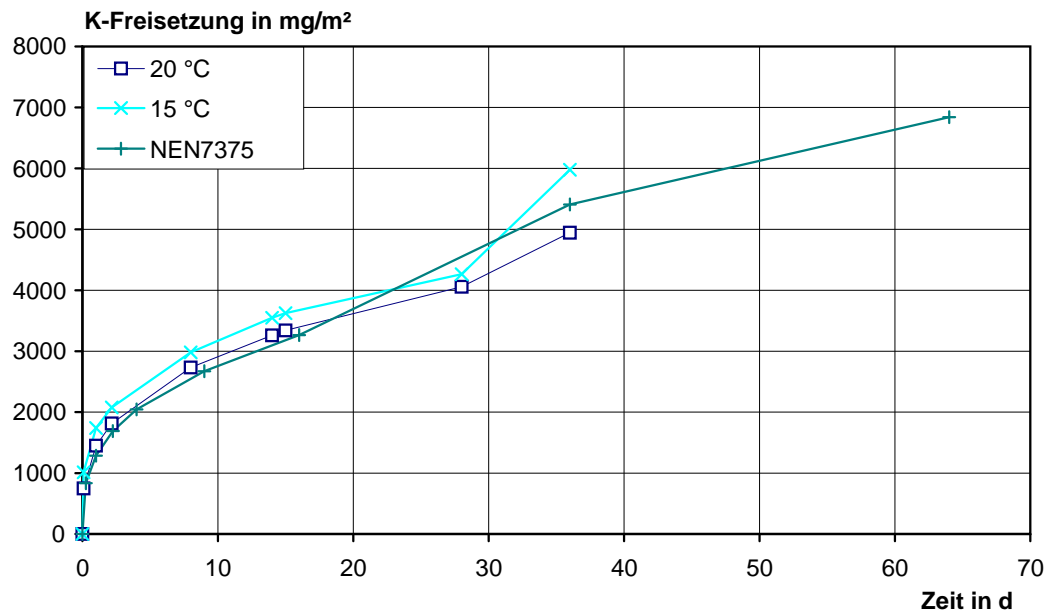


Abbildung 49: Freisetzung von Kalium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

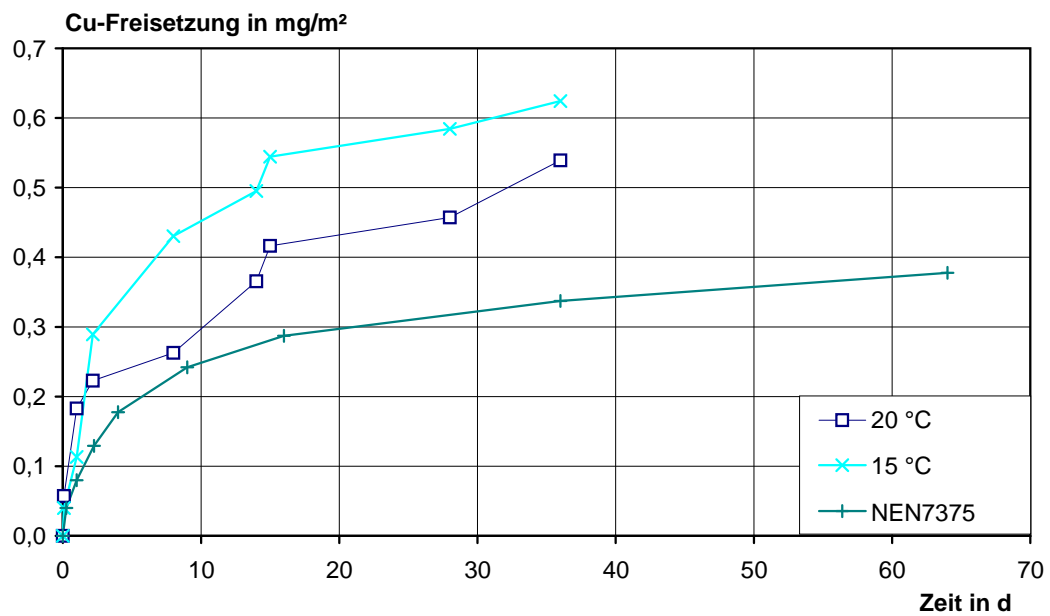


Abbildung 50: Freisetzung von Kupfer für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

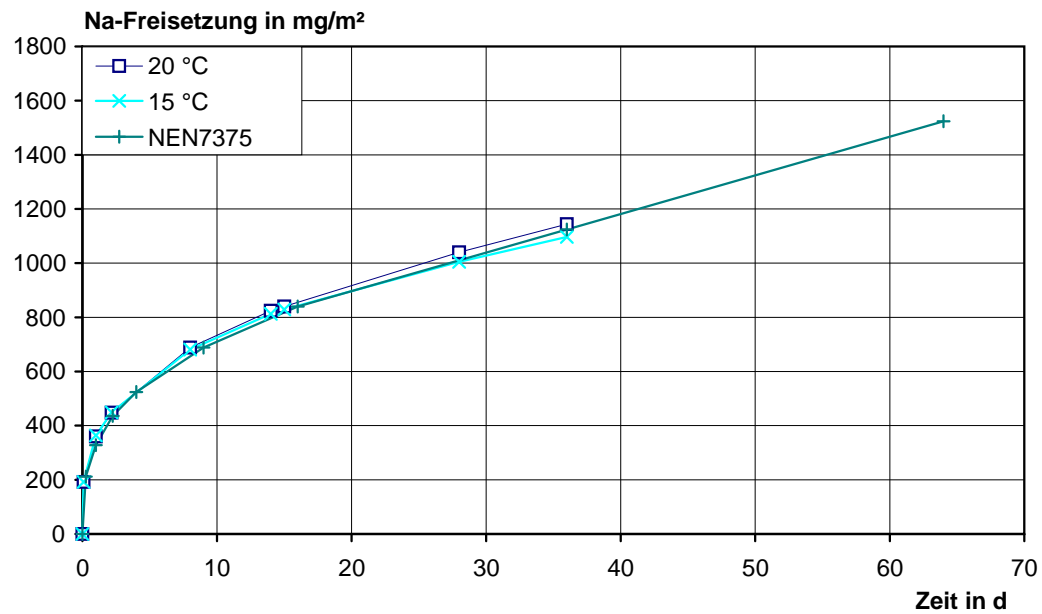


Abbildung 51: Freisetzung von Natrium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

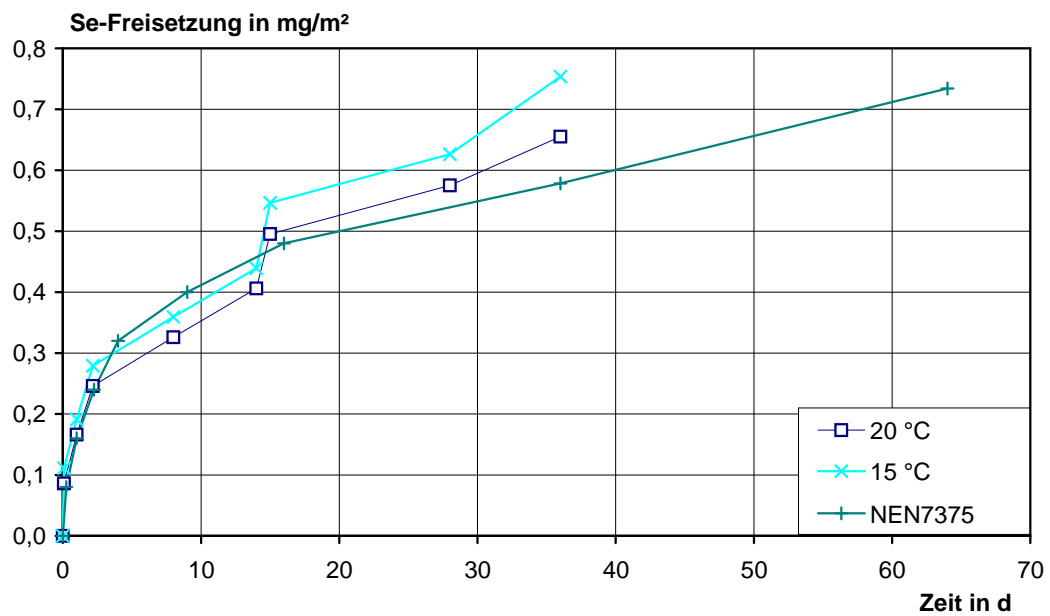


Abbildung 52: Freisetzung von Selen für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)



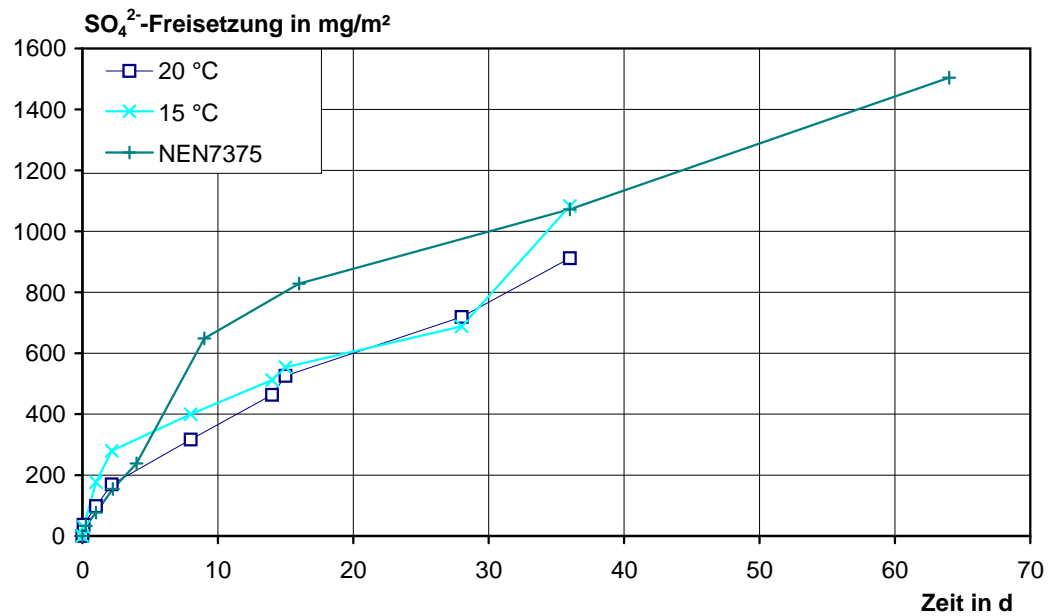


Abbildung 53: Freisetzung von Sulfat für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

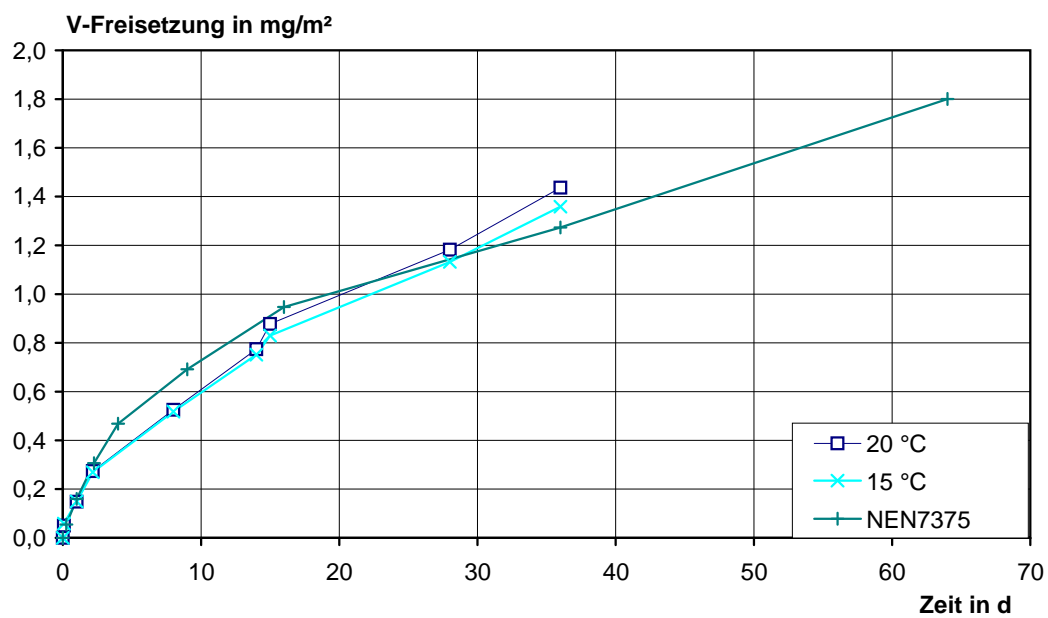


Abbildung 54: Freisetzung von Vanadium für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

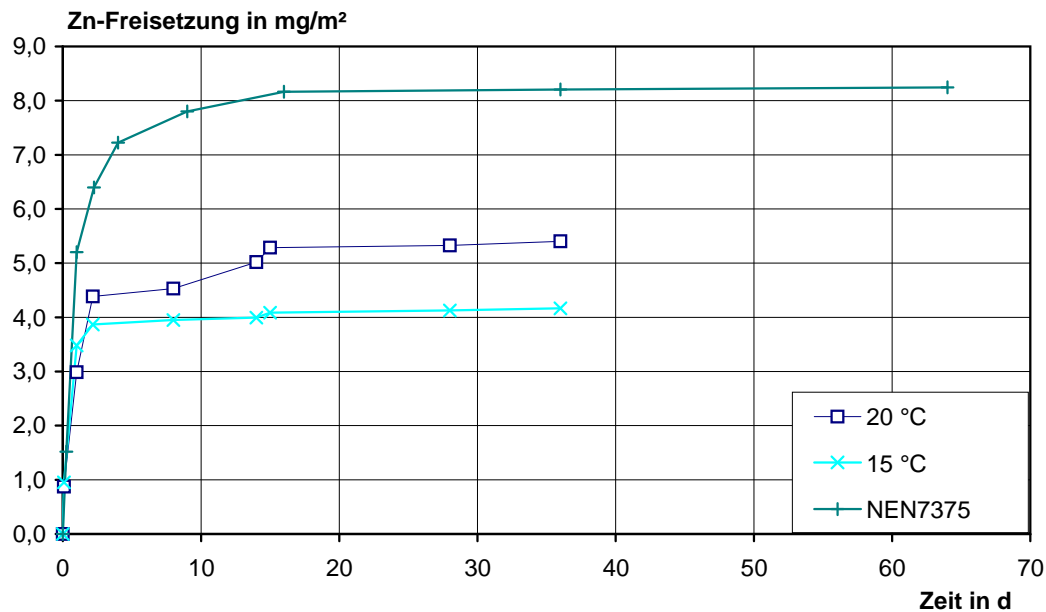


Abbildung 55: Freisetzung von Zink für die drei verschiedenen Prüfbedingungen (dritte Betonage)

### 2.1.5 Bewertung der Auslaugergebnisse für die Betone der ersten bis dritten Betonage

Aus den Abbildungen 1 bis 11 geht hervor, dass die kumulierten Auslaugmengen bei der Achtfachbestimmung der ersten Betonage für die Elemente Kalium, Natrium, Selen und Vanadium gut übereinstimmen. Bei den anderen Parametern werden dagegen größere Streuungen beobachtet. Dies gilt insbesondere dann, wenn die einzelnen Messergebnisse in der Nähe der Bestimmungsgrenze liegen (siehe Tabellen A1 bis A11). Für die Dreifachbestimmung der zweiten Betonage zeigen die Abbildungen 23 bis 33, dass die Auslaugergebnisse im Allgemeinen besser übereinstimmen als bei der Achtfachbestimmung der ersten Betonage. Allerdings ergeben sich in vielen Fällen größere Unterschiede der Auslaugergebnisse zwischen der ersten und der zweiten Betonage als durch die Variation der Prüfbedingungen entsprechend Tabelle 5,

wie aus den Abbildungen 34 bis 44 hervorgeht, in denen die Ergebnisse aller durchgeführten Auslaugprüfungen für die Betone der ersten und zweiten Betonage zusammengefasst sind. In **Tabelle 6** sind die relativen Standardabweichungen (Variationskoeffizient V) für die Achtfachbestimmung der ersten Betonage, die Dreifachbestimmung der zweiten Betonage sowie für die Kombination der ersten und zweiten Betonage zusammengefasst. Ob sich diese größeren Streubreiten aufgrund des Auslaugversuchs (DSLTL), der Analytik oder von Inhomogenitäten der Betonprüfkörper ergeben, konnte in diesem Forschungsvorhaben nicht geklärt werden.

**Tabelle 6:** Relative Standardabweichungen (Variationskoeffizient V) für die Achtfachbestimmung der ersten Betonage, die Dreifachbestimmung der zweiten Betonage sowie für die Kombination der ersten und zweiten Betonage

Parameter	Erste Betonage	Zweite Betonage	Erste und zweite Betonage
	Relative Standardabweichung (Variationskoeffizient V) in %		
Barium (Ba)	36,3	8,98	139
Blei (Pb)	19,8	13,5	56,3
Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	89,6	146	105
Chrom (Cr)	17,2	3,88	55,2
Kalium (K)	6,86	26,8	14,3
Kupfer (Cu)	56,6	1,73	61,9
Natrium (Na)	14,4	3,83	12,9
Selen (Se)	7,16	- <sup>1)</sup>	37,2
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	33,8	22,8	60,3
Vanadium (V)	6,55	12,4	51,7
Zink (Zn)	34,9	3,95	28,8

<sup>1)</sup> Alle Analysenwerte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze

Die Ergebnisse der kumulierten Auslaugmengen für die Elemente Kalium und Natrium zeigen bei allen Prüfungen der Betone der ersten und zweiten Betonage (Abbildungen 38 und 40) eine sehr gute Übereinstimmung. Dabei führte eine Temperaturabsenkung erwartungsgemäß zu einer Verringerung der Auslaugmengen und eine Verkürzung der Vorlagerungszeit zu einer Erhöhung der Auslaugmengen. Diese Ergebnisse belegen einerseits, dass die Betone der ersten und zweiten Betonage gleichmäßig hergestellt wurden und andererseits, dass der Auslaugversuch an sich robust ist und für die durchgeführten Variationen der Prüfbedingungen nur eine geringe Streubreite für diese Elemente ergibt.

Die Auslaugergebnisse für die Betone der dritten Betonage mit dem Hochofenzement CEM III/A 42,5 N zeigen ein ähnliches Verhalten wie die Ergebnisse für die Betone der ersten und zweiten Betonage. Die kumulierten Auslaugmengen für die untersuchten Parameter liegen in der gleichen Größenordnung wie bei den Betonen mit dem Portlandzement CEM I 42,5 R.

Wesentliches Ergebnis der Untersuchungen der ersten und zweiten Betonage ist, dass die Auslaugergebnisse für die Elemente Kalium und Natrium, die entsprechend der niederländischen Norm NEN 7375 und dem DAfStb-Langzeitstandtest erhalten wurden, in beiden Fällen in der Mitte des Streubereichs aller durchgeführten Versuchsvarianten liegen. Dies zeigt, dass eine Übertragung der Ergebnisse, die entsprechend der niederländischen Norm NEN 7375 und dem DAfStb-Langzeitstandtest erhalten werden, auf den 36-Tage-Standtest gemäß dem Normentwurf „Generic horizontal dynamic surface leaching test (DSLTL) for determination of surface dependent release of substances from construction products“ relativ einfach möglich sein sollte. Dieses Untersuchungsergebnis stellt einen substantiellen Beitrag zum Validierungsprozess dar.

## 2.2 Mörtel

### 2.2.1 Mörtelherstellung

Für die Untersuchungen zur Robustheitsprüfung des Tanktests für Mörtel wurde ein Armierungsputz mit einem hohen Anteil eines organischen Zusatzstoffes verwendet. Die Fertigmischung für diesen Putz entsprach DIN EN 998 „Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau“ [18]. Die Herstellung des Putzes erfolgte entsprechend den Herstellerangaben. Das Wasser/Feststoff-Verhältnis betrug 1 zu 5,3. Das Zugabewasser entsprach DIN EN 1008 „Zugabewasser für Beton“ [15]. Die Lagerung der Probekörper erfolgte entsprechend dem Teil II der Grundsätze des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ [4].

In **Tabelle 7** sind die Druckfestigkeiten und Biegezugfestigkeiten des Armierungsputzes, ermittelt an Normprismen entsprechend DIN EN 196-1 „Prüfverfahren für Zement“ [19], zusammengefasst. **Tabelle 8** zeigt die chemische Zusammensetzung und **Tabelle 9** die Spurenelementgehalte des Armierungsputzes.

Tabelle 7: Druckfestigkeiten und Biegezugfestigkeiten des Armierungsputzes

Parameter [MPa]	Armierungsputz
28d-Druckfestigkeit	8,8
56d-Druckfestigkeit	8,9
91d-Druckfestigkeit	8,7
28d-Biegezugfestigkeit	2,6
56d-Biegezugfestigkeit	2,4
91d-Biegezugfestigkeit	2,4

Tabelle 8: Chemische Zusammensetzung des Armierungsputzes  
(Röntgenfluoreszenzanalyse, Angaben glühverlusthaltig)

Parameter [%]	Armierungsputz
Silizium(IV)-oxid	50,2
Aluminiumoxid	2,53
Eisen(III)-oxid	0,48
Magnesiumoxid	0,66
Calciumoxid	42,3
Sulfat als SO <sub>3</sub>	1,13
Kaliumoxid	0,57
Natriumoxid	0,89
Chlorid	0,02

Tabelle 9: Gehalt der Spurenelemente in dem Armierungsputz

Parameter	Armierungsputz
	Elementgehalt in µg/g
Arsen (As)	2,66
Barium (Ba)	88,6
Cadmium (Cd)	0,14
Cobalt (Co)	28,8
Chrom (Cr)	13,6
Quecksilber (Hg)	0,04
Molybdän (Mo)	0,15
Antimon (Sb)	0,26
Selen (Se)	3,30
Vanadium (V)	30,3

### 2.2.2 Auslaugergebnisse für den Armierungsputz

Aus der Fertigmischung des Armierungsputzes wurden für die Auslaugprüfungen 16 Mörtelwürfel mit 100 mm Kantenlänge hergestellt. Mit zwei Probekörpern wurde der Tanktest entsprechend dem Normentwurf „Generic horizontal dynamic surface leaching test (DSLTL) for determination of surface dependant release of substances from construction products“, durchgeführt. Das Probekörperalter bei Beginn des Auslaugversuchs betrug 56 Tage. Die gewonnenen Eluate wurden entsprechend den DIBt-Grundsätzen hinsichtlich der anorganischen Parameter untersucht, für die eine Geringfügigkeitsschwelle definiert wurde, außerdem wurde die TOC-Abgabe ermittelt. Daneben wurden die Natrium- und Kaliumkonzentration in den Eluaten bestimmt. Bei den Auslaugversuchen mit den weiteren 14 Mörtelwürfeln wurden die Prüfbedingungen gemäß **Tabelle 10** variiert.

Tabelle 10: Variation der Prüfbedingungen<sup>1)</sup> bei den Mörtelversuchen

Variation Nr.	Beschreibung
1	Verringerung der Vorlagerungszeit auf 28 Tage (56 Tage) <sup>2)</sup>
2	Verringerung der Prüftemperatur auf 15 °C ( $20 \pm 5$ °C) <sup>3)</sup>
3	Erhöhung der Prüftemperatur auf 25 °C ( $20 \pm 5$ °C) <sup>3)</sup>
4	Kontaktzeiten entsprechend dem DAfStb-Langzeitstandtest (1 d, 3 d, 7 d, 16 d, 32 d, 56 d, jeweils $\pm 0,5$ h)
5	Kontaktzeiten entsprechend der niederländischen Norm NEN 7375 (0,25 d $\pm 10$ %, 1 d $\pm 10$ %, 2,25 d $\pm 10$ %, 4 d $\pm 10$ %, 9 d $\pm 10$ %, $16 \pm 1$ d, $36 \pm 1$ d, $64 \pm 1$ d)
6	Verringerung des Verhältnisses vom Volumen des Eluenten zur Oberfläche des Prüfkörpers auf 40 L/m <sup>2</sup> ( $80 \pm 1$ L/m <sup>2</sup> ) <sup>3)</sup>
7	Erhöhung des Verhältnisses vom Volumen des Eluenten zur Oberfläche des Prüfkörpers auf 120 L/m <sup>2</sup> ( $80 \pm 1$ L/m <sup>2</sup> ) <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Alle Variationen wurden in Doppelbestimmung geprüft

<sup>2)</sup> Übliche Vorlagerungszeit entsprechend den DIBt-Grundsätzen

<sup>3)</sup> Prüfbedingungen entsprechend dem Entwurf des Tanktests (DSLTL)

In den **Abbildungen 56 bis 67** sind die Mittelwerte der kumulierten Auslaugmengen der Parameter Barium, Blei, Chlorid, Chrom, Kalium, Kupfer, Natrium, Selen, Sulfat, Vanadium und Zink sowie für die TOC-Abgabe in mg/m<sup>2</sup> für den Tanktest (DSLTL) und die verschiedenen Variationen der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10 zusammengefasst.

Die einzelnen Analysendaten für die vorgenannten Auslaugversuche sind im Anhang in den **Tabellen A53 bis A66** aufgelistet.



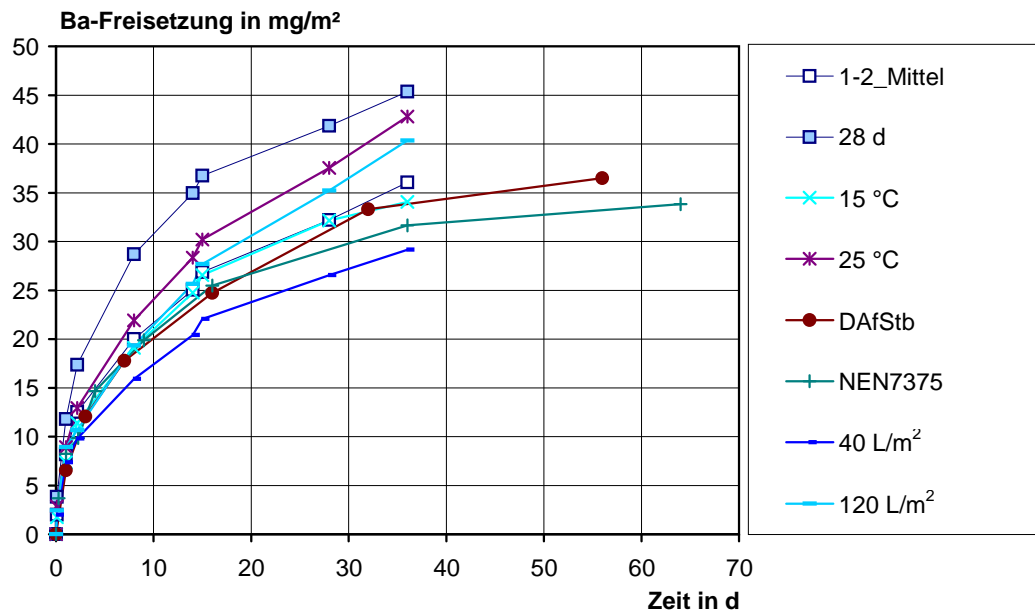


Abbildung 56: Freisetzung von Barium des Armierungsputzes bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

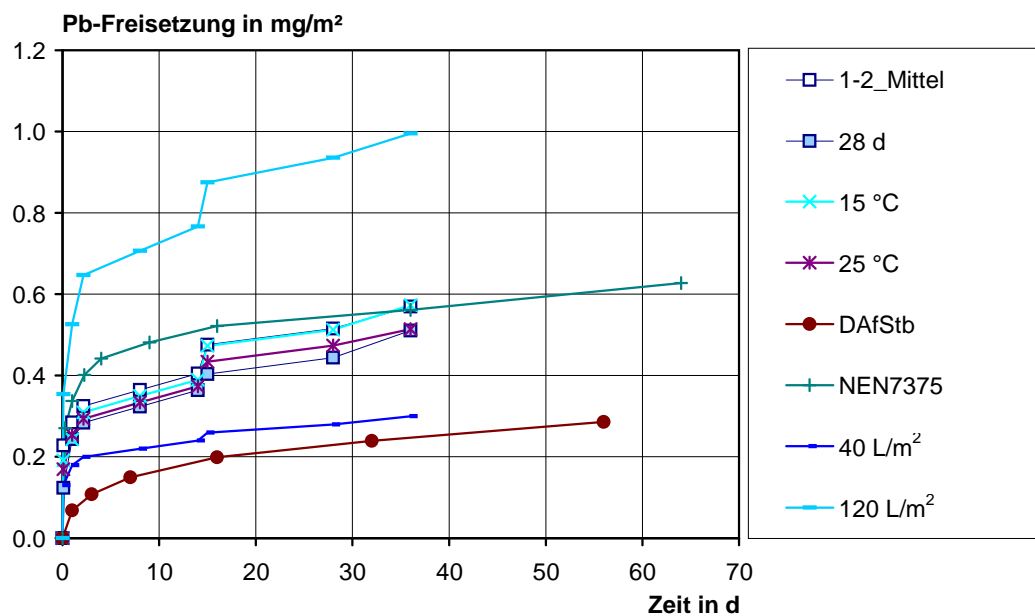


Abbildung 57: Freisetzung von Blei aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

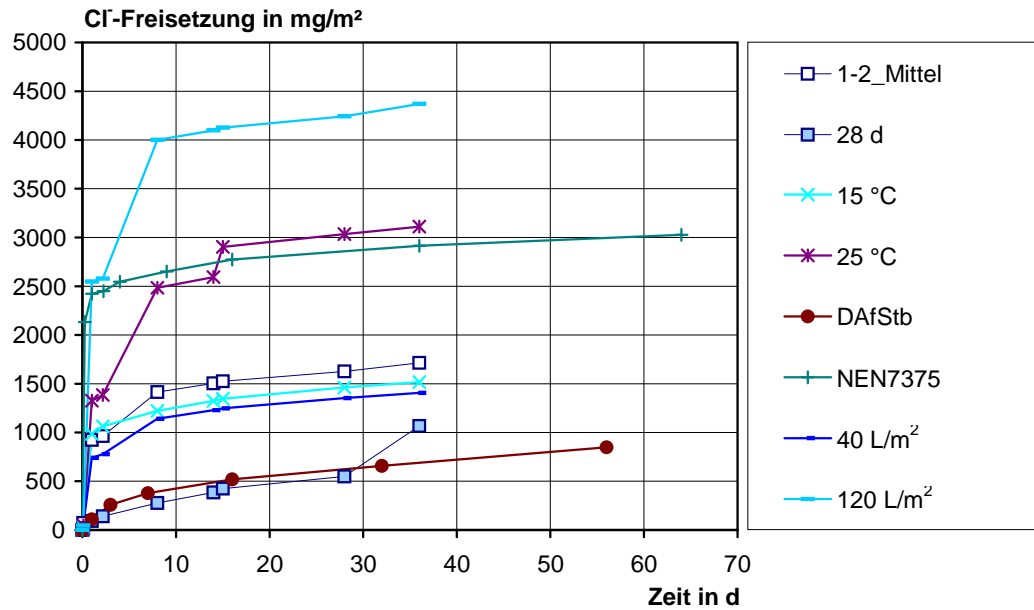


Abbildung 58: Freisetzung von Chlorid aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

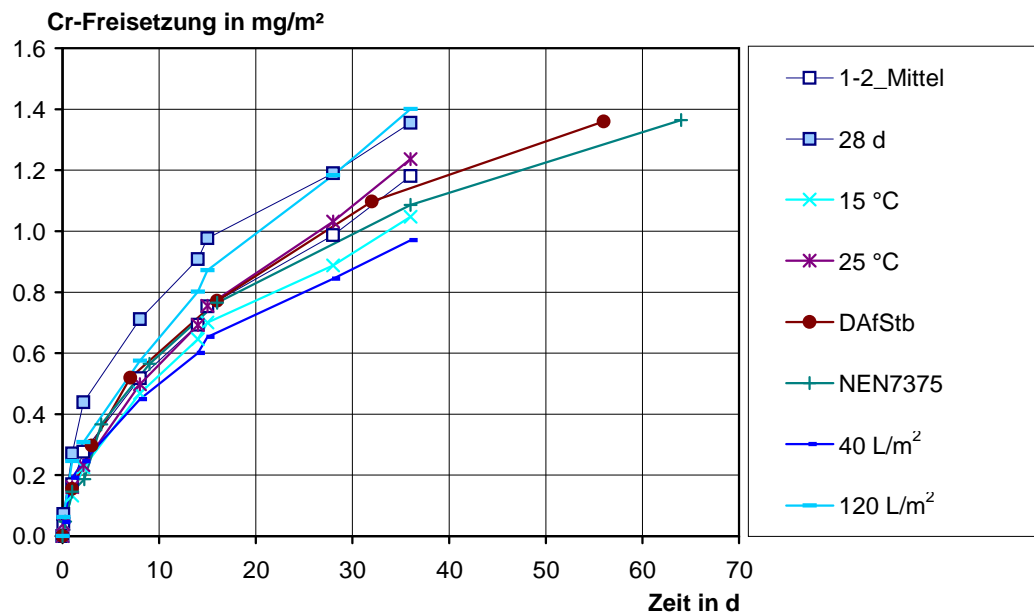


Abbildung 59: Freisetzung von Chrom aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

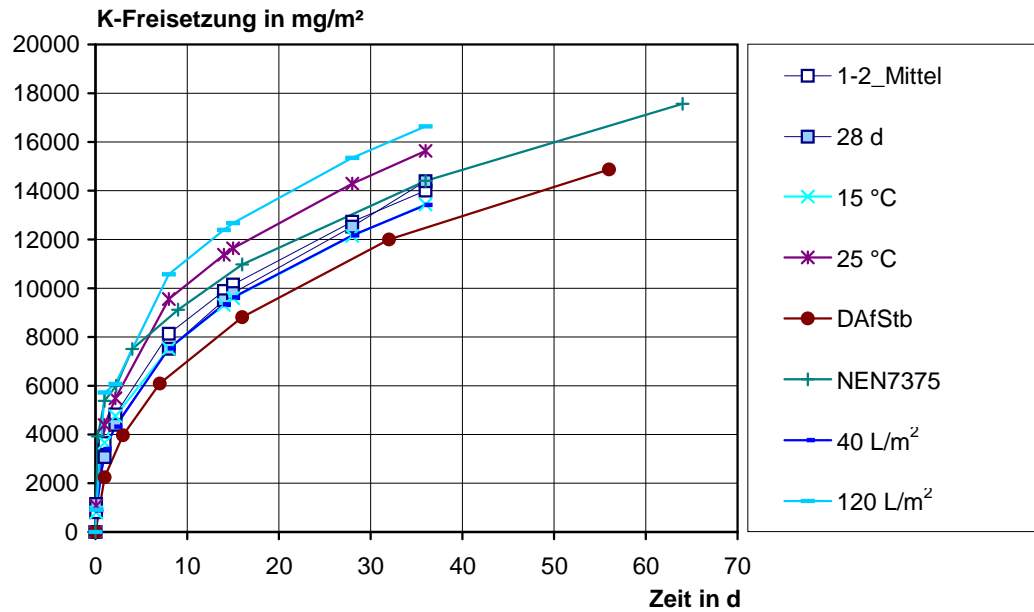


Abbildung 60: Freisetzung von Kalium aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

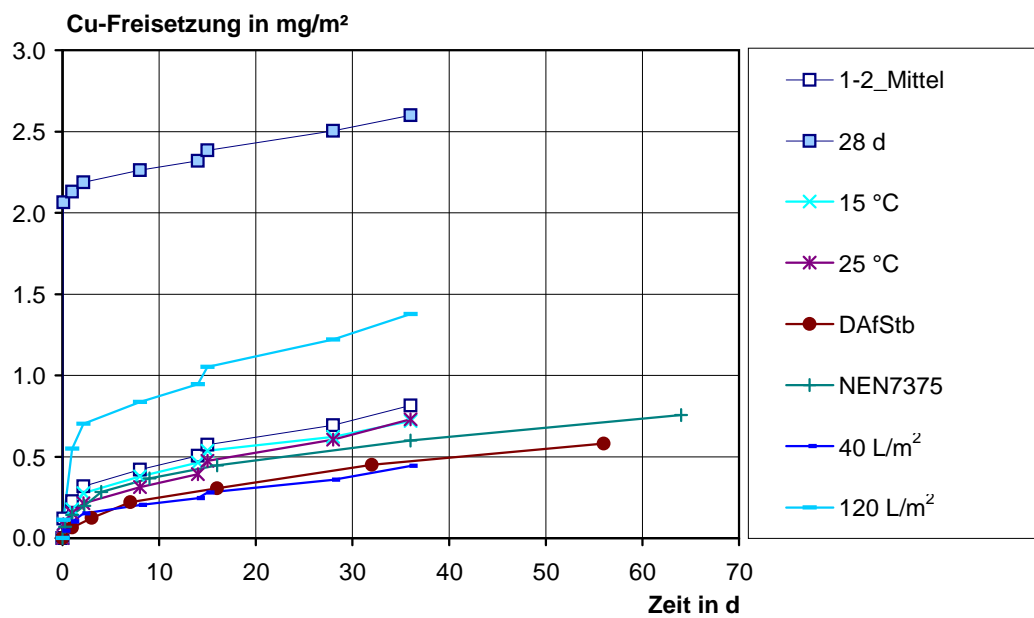


Abbildung 61: Freisetzung von Kupfer aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

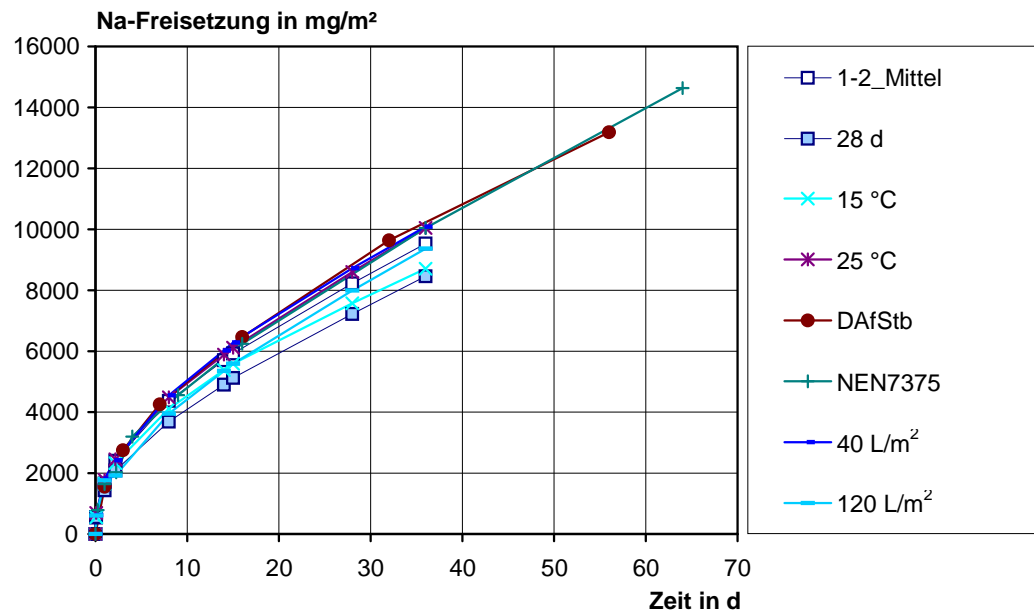


Abbildung 62: Freisetzung von Natrium aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

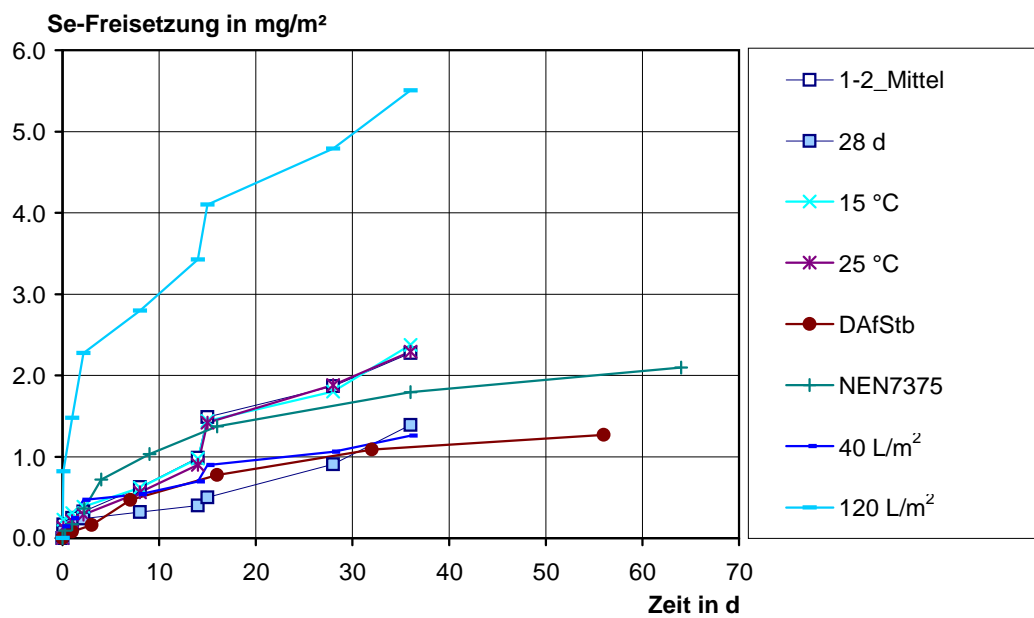


Abbildung 63: Freisetzung von Selen aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

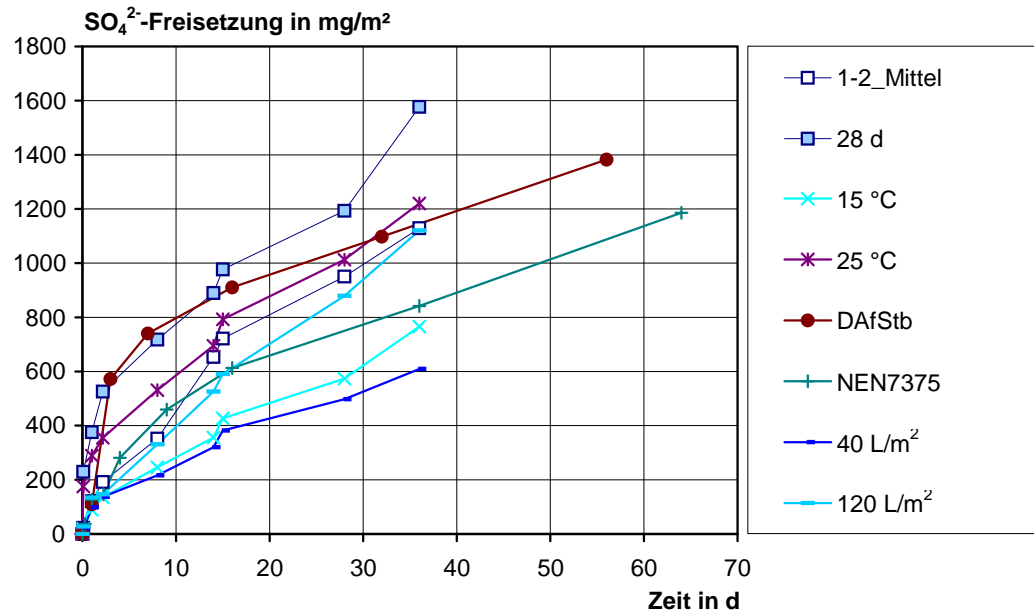


Abbildung 64: Freisetzung von Sulfat aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

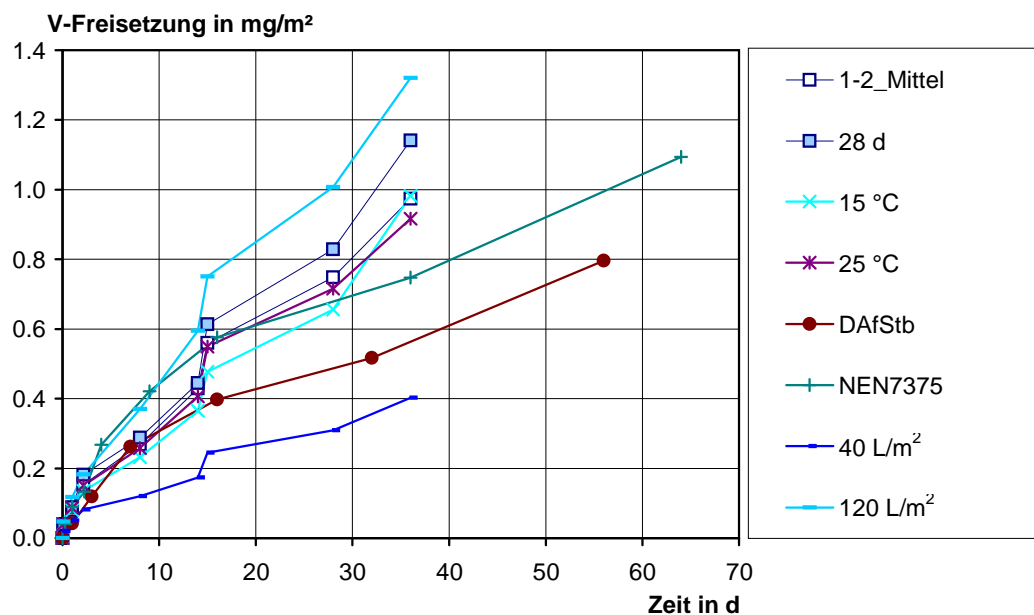


Abbildung 65: Freisetzung von Vanadium aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

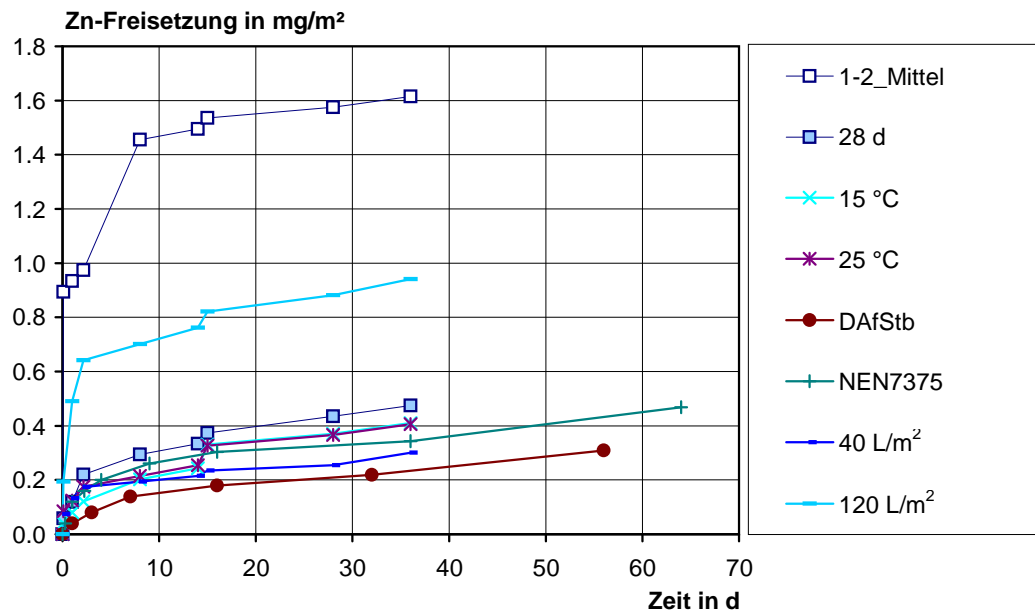


Abbildung 66: Freisetzung von Zink aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

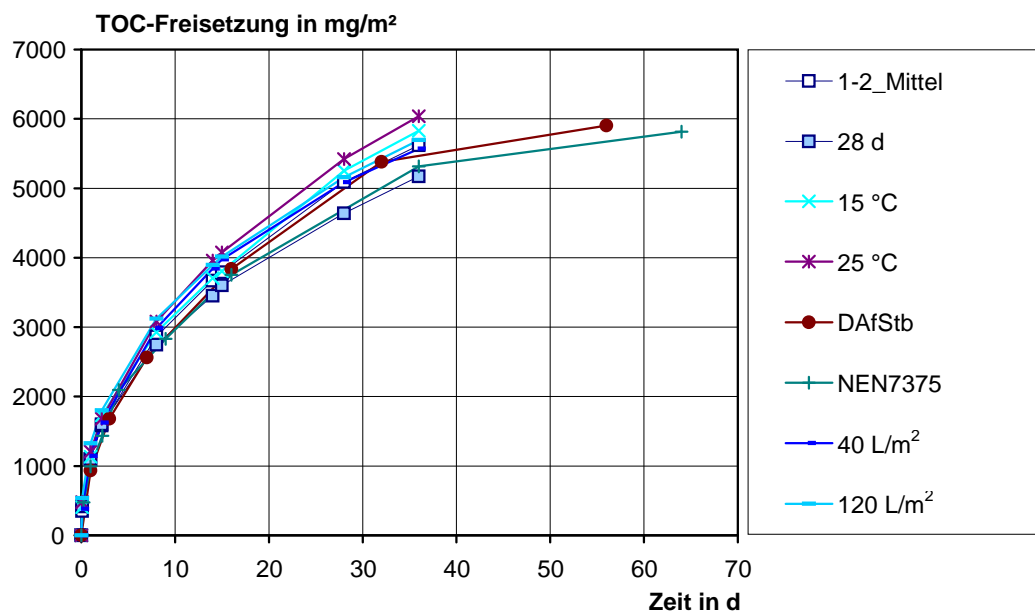


Abbildung 67: TOC-Abgabe aus dem Armierungsputz bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 10

### **2.2.3 Bewertung der Auslaugergebnisse für den Armierungsputz**

Die Auslaugergebnisse für den Armierungsputz spiegeln die Ergebnisse für die Betone wider. Die kumulierten Auslaugmengen für die untersuchten Parameter liegen in der gleichen Größenordnung wie bei den Betonuntersuchungen. Ebenso wie bei den Betonen zeigen die kumulierten Auslaugmengen für die Elemente Kalium und Natrium bei allen Prüfungen des Armierputzes (Abbildungen 60 und 62) eine sehr gute Übereinstimmung. Auch die TOC-Abgabe zeigt eine sehr gute Übereinstimmung bei der Variation der Prüfbedingungen (Bild 67). Die Ergebnisse für diese Parameter zeigen, genau wie die Betonversuchen, dass der Auslaugversuch an sich robust ist und für die durchgeführten Variationen der Prüfbedingungen nur eine geringe Streubreite ergibt.

Wesentliches Ergebnis der Untersuchungen des Armierungsputzes ist, dass die TOC-Abgabe eine sehr gute Übereinstimmung bei der Variation der Prüfbedingungen zeigt. Aus diesem Ergebnis kann gefolgert werden, dass der Tanktest (DSLIT) auch für die Untersuchung der Abgabe organischer Substanzen aus Bauprodukten geeignet ist. Dieses Untersuchungsergebnis stellt einen substantiellen Beitrag zum Validierungsprozess dar.

### **3 Zusammenfassung**

Die europäische Bauproduktenrichtlinie (BPR) fordert neben den traditionell im Baurecht verankerten Anforderungen explizit, dass die aus den Bauprodukten herzustellenden Bauwerke die am Verwendungsort geltenden Anforderungen an die Hygiene, die Gesundheit und den Umweltschutz erfüllen und die Gesundheit der Bewohner und Anwohner nicht gefährdet wird. Jedoch stellen zurzeit nur wenige Mitgliedsstaaten quantitative Anforderungen an die Freisetzung regulierter gefährlicher Substanzen aus Bauprodukten/Bauwerken. Dies hat dazu geführt, dass die bisher verabschiedeten harmonisierten europäischen Produktnormen ausschließlich allgemeine Hinweise auf bestehende nationale Anforderungen enthalten.

Für die zukünftige Aus- und Überarbeitung harmonisierter technischer Spezifikationen fordert die Europäische Kommission nun, dass entsprechende Nachweiskonzepte und zugehörige Nachweisinstrumente, wie zum Beispiel Prüfverfahren und Analysenmethoden, erarbeitet werden. Dazu hat sie Anfang 2005 das Mandat M/366 herausgegeben. Zur Bereitstellung der notwendigen generischen, horizontalen Prüf- und Bewertungsverfahren zur Umsetzung des Mandates hat die europäische Normenorganisation CEN 2006 das Technische Komitee CEN/TC 351 etabliert. Zwischenzeitlich sind vom CEN/TC 351 drei Entwürfe für harmonisierte Prüfnormen erarbeitet worden. Zwei dieser Prüfnormen sind für die Ermittlung der Auslaugung von anorganischen und organischen Stoffen aus Bauprodukten im Hinblick auf Boden und Wasser bestimmt. Die dritte Prüfmethode behandelt die Prüfung der Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen in die Innenraumluft.

Bevor die vom CEN/TC 351 ausgearbeiteten Prüfmethoden den Status einer Europäischen Norm (EN) erlangen können, sind Robustheitsprüfungen und als zweiter Validierungsschritt Ringversuche erforderlich. Da die Finanzierung der europäischen Validierungsuntersuchungen 2009 noch nicht feststand, wurde



vom Umweltbundesamt das Forschungsprojekt „Harmonisierung von Prüfmethoden für den Vollzug der EG-Bauproduktenrichtlinie: Validierung eines europäischen Auslaugtests für Bauprodukte (Teilprojekt im Kontext eines europäischen Gemeinschaftsvorhabens)“ ausgeschrieben, um diesen Prozess zu fördern, und dann unter dem Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3709 95 303 an den Verein Deutscher Zementwerke e. V. gemeinsam mit dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen vergeben.

Bei dem Forschungsprojekt war ursprünglich vorgesehen, in einer ersten Phase die Robustheit des Tanktests zu prüfen und dann auf dieser Basis, gegebenenfalls nach entsprechender Überarbeitung des Normentwurfs, in einer zweiten Phase einen europäischen Ringversuch durchzuführen. Die Diskussionen in der Arbeitsgruppe 1 (WG 1) „Freisetzung in Boden und Grundwasser“ des CEN/TC 351 haben jedoch gezeigt, dass es für einen solchen europäischen Ringversuch noch zu früh ist. Aus diesem Grund wurde vom Umweltbundesamt vorgeschlagen, keinen Ringversuch durchzuführen, sondern die Robustheitsprüfung für den Tanktest, in einem etwas verminderten Umfang, auf ein weiteres Bauprodukt auszudehnen. Dafür wurde ein mineralischer Mörtel mit einem hohen Anteil organischer Bestandteile vorgesehen, um die Eignung des Tanktests auch für die Untersuchung der Abgabe organischer Substanzen (TOC-Abgabe) festzustellen.

Für die Untersuchungen zur Robustheitsprüfung des Tanktests für Betone wurden in drei Betonagen zwei unterschiedliche Betone hergestellt. Bei der ersten und zweiten Betonage wurden Betone mit der gleichen Zusammensetzung hergestellt, um den Einfluss einer wiederholten Betonherstellung auf die Auslaugergebnisse zu ermitteln. Bei der dritten Betonage wurde ein anderer Zement verwendet. Für die Mörteluntersuchungen wurde ein Armierungsputz mit einem hohen Anteil eines organischen Zusatzstoffes eingesetzt.

Zunächst wurden für die Betone und den Mörtel Mehrfachbestimmungen entsprechend dem europäischen Normentwurf durchgeführt. Dann wurden die Vorlagerungszeit der Prüfkörper (28 d und 91 d), die Prüftemperatur (15 °C und 25 °C) die Kontaktzeiten (NEN 7375 und DAfStb-Langzeitstandtest), das Oberflächen/Volumen-Verhältnis ( $40 \text{ L/m}^2$  und  $120 \text{ L/m}^2$ ) sowie der pH-Wert (4 und 10) des Ausgangsprüfwassers variiert. Die gewonnenen Eluate wurden entsprechend den DIBt-Grundsätzen hinsichtlich der anorganischen Parameter untersucht, für die eine Geringfügigkeitsschwelle definiert wurde. Daneben wurden die Natrium- und Kaliumkonzentration in den Eluaten ermittelt. Für die Mörtel wurde außerdem der TOC-Gehalt in den Eluaten bestimmt

Die Ergebnisse der Auslauguntersuchungen für die Betone und den Mörtel zeigen, dass für die Elemente Natrium und Kalium, die in größeren Mengen und weitgehend vollständig gelöst im Porenwasser vorliegen und deren Auslaugung im Wesentlichen diffusionskontrolliert erfolgt, sowie für die TOC-Abgabe nur sehr geringe Streuungen auftreten. Auch die Variation der Versuchsbedingungen hat keinen größeren Einfluss auf das Untersuchungsergebnis. Dies zeigt, dass der Tanktest an sich robust ist. Die größeren Streuungen bei den Spurenelementen und Anionen sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass in den meisten Fällen nur sehr geringe Substanzmengen ausgelaugt werden, die häufig in der Nähe oder unterhalb der Bestimmungsgrenze der Analysenmethoden liegen. Ob die Analytik oder gewisse Inhomogenitäten der Betonprüfkörper, insbesondere der Prüfkörperoberflächen, zu dieser größeren Streubreite der Auslaugergebnisse für die Spurenelemente und Anionen beitragen, konnte in diesem Forschungsvorhaben nicht geklärt werden. Vielleicht könnte eine gewisse Vorbehandlung der Prüfkörper, wie zum Beispiel ein scharfes Abstrahlen mit ölfreier Pressluft - zur Entfernung eventuell vorhandener lockerer Partikel auf der Betonieroberseite - zur Vergleichsmäßigung der Ergebnisse für die Spurenelemente beitragen.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis der Beton- und Mörteluntersuchungen ist, dass die Auslaugergebnisse für die Elemente Kalium und Natrium sowie die

TOC-Abgaben, die entsprechend der niederländischen Norm NEN 7375 und dem DAfStb-Langzeitstandtest erhalten wurden, in allen Fällen in etwa in der Mitte des Streubereichs aller durchgeführten Versuchsvarianten liegen. Dies zeigt, dass eine Übertragung der Ergebnisse, die entsprechend der niederländischen Norm NEN 7375 und dem DAfStb-Langzeitstandtest erhalten werden, auf den 36-Tage-Standtest gemäß dem europäischen Normentwurf (DSLTL) relativ einfach möglich sein sollte. Wesentliches Ergebnis der Untersuchungen des Armierungsputzes ist, dass die TOC-Abgabe auch bei der Variation der Prüfbedingungen nur geringe Streubreiten aufweist. Aus diesem Ergebnis kann gefolgert werden, dass der europäische Normentwurf (DSLTL) auch für die Untersuchung der Abgabe organischer Substanzen aus Bauprodukten geeignet ist.

Insgesamt kann aus den vorgestellten Untersuchungsergebnissen gefolgert werden, dass keine Änderungen des europäischen Normenentwurfs (DSLTL) hinsichtlich der zulässigen Spannbreiten der vorgesehenen Prüfbedingungen erforderlich sind. Diese Ergebnisse stellen einen substantiellen Beitrag zum Validierungsprozess dar.

## 4 Literatur

- [1] Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG). Europäische Gemeinschaften: Amtsblatt L 40 (1989) S. 12.
  
- [2] Soil Quality Decree. On the recommendation of the State Secretary for Housing, Planning and the Environment of 27 July 2006, no. DJZ2006290257, Legal Affairs Directorate, Legislation Department, submitted jointly on behalf of the State Secretary for Transport, Public Works and Water Management and the Minister for Agriculture, Nature and Food Quality.
  
- [3] Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser - Teil 1, Mai 2009. DIBt Mitteilungen 40 (2009) 4, S. 116-134.
  
- [4] Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser, Teil II - Juli 2009, Teil III - Mai 2009. DIBt Mitteilungen 40 (2009) 5, S. 169-179.
  
- [5] Verordnungsentwurf über die Etikettierung von Bau- und Dekorationsprodukten im Hinblick auf die von diesen emittierten flüchtigen Schadstoffe. Französische Republik. Ministerium für Ökologie, Energie, nachhaltige Entwicklung und Meeresfragen, zuständig für grüne Technologien und Klimaverhandlungen. Notifizierung mit den Nummern 2009/701/F und 2009/702/F in der Datenbank TRIS unter:  
<http://ec.europa.eu/enterprise/tris/pisa/app/search/index.cfm?lang=de>.

- [6] Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen - Stand Oktober 2010. DIBt Mitteilungen 41 (2010) 5, S. 209-248.
  
- [7] Datenbank CP-DS. Legislation on substances in construction products:  
<http://ec.europa.eu/enterprise/construction/cpd-ds/index.cfm>
  
- [8] Horizontale Ergänzung zu den Aufträgen an CEN/CENELEC betreffend die Ausführung von Normungsarbeit für die „Entwicklung horizontaler genormter Bewertungsmethoden für harmonisiert Konzepte zu gefährlichen Stoffen gemäß der Bauproduktenrichtlinie (Construction Products Directive – CPD) – Emission in Raumluft, Boden, Oberflächenwasser und Grundwasser. Europäische Kommission, Generaldirektion Unternehmen und Industrie, CPD WG 05/064 C – Dangerous substances, M/366 DE, Brüssel, März 2005.
  
- [9] Ilvonen, O. und Kirchner, D: Europäische Harmonisierung der Prüfnormen für die Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten – auf dem Weg zu einer CE-Kennzeichnung mit Emissionsklassen. DIBt Mitteilungen 4 (2010) S. 151-158.
  
- [10] NEN 7375:2004 “Leaching characteristics – Determination of the leaching of inorganic components from moulded or monolithic materials with a diffusion test - Solid earthy and stony materials”.
  
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. DAfStb-Richtlinie: Bestimmung der Freisetzung anorganischer Stoffe durch Auslaugung aus zementgebundenen Baustoffen. Teil 1: Grundlagenversuch zur Charakterisierung des Langzeitauslaugverhaltens, Ausgabe Mai 2005. Beuth Verlag, Berlin und Köln, Vertriebsnummer 65039.

[12]DIN EN 197:2000 „Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien für Normalzement“

[13]DIN EN 12620:2008 „Gesteinskörnungen für Beton“

[14]DIN 1045:2008 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“

[15]DIN EN 1008:2002 „Zugabewasser für Beton – Festlegungen für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton“

[16]DIN 38414:1984 „Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Teil 4: Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser“

[17]DIN EN 12390:2009 „Prüfung von Festbeton – Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen“

[18]DIN EN 998:2010 „Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel“

[19]DIN EN 196:2005 „Prüfverfahren für Zement – Teil 1: Bestimmung der Festigkeit“

## Anhang (Tabellen)

Tabelle A1: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	1,80	2,30	2,30	4,59	1,17	2,08	1,95	0,79
2		4,30	8,30	7,20	5,35	6,56	3,92	3,65	3,12
3		2,90	5,50	4,60	5,35	5,03	3,03	2,11	2,36
4		4,20	3,80	3,80	4,13	3,74	2,55	1,47	1,48
5		2,10	3,10	2,60	2,40	2,55	2,03	1,00	1,03
6		2,60	2,90	3,60	3,00	2,90	2,44	2,12	2,16
7		4,20	7,40	4,30	7,59	6,05	3,79	2,72	4,14
8		3,80	8,10	6,70	4,86	5,33	3,56	3,06	3,66

Tabelle A2: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	2,00	14,4	10,9	<0,5	<0,5	1,81	<0,5	<0,5
2		7,20	31,8	18,0	<0,5	<0,5	0,90	<0,5	<0,5
3		10,30	19,2	14,3	<0,5	0,59	1,44	<0,5	<0,5
4		10,90	17,4	12,2	<0,5	0,72	1,40	<0,5	<0,5
5		2,20	16,8	13,0	<0,5	0,58	1,94	<0,5	<0,5
6		4,50	26,7	15,5	<0,5	0,78	1,27	<0,5	<0,5
7		7,70	19,4	13,0	0,55	0,78	0,64	<0,5	<0,5
8		6,60	18,8	14,4	<0,5	<0,5	1,89	<0,5	<0,5

Tabelle A3: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	6,85	9,01	<0,1	<0,1	1,49	<0,1	3,26	<0,1
2		9,55	9,78	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,22	<0,1
3		8,33	0,18	<0,1	<0,1	0,18	<0,1	0,73	<0,1
4		<0,1	0,40	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,25	0,38
5		25,4	<0,1	<0,1	<0,1	0,33	<0,1	<0,1	<0,1
6		0,13	7,77	<0,1	<0,1	1,16	0,12	<0,1	<0,1
7		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
8		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,37	<0,1	<0,1	<0,1

Tabelle A4: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	3,50	14,4	5,50	5,04	1,03	<0,5	2,10	0,71
2		3,10	12,6	5,60	4,52	3,16	<0,5	1,32	<0,5
3		3,00	10,8	4,50	3,23	3,20	<0,5	1,56	0,71
4		3,40	15,7	5,80	5,42	3,97	<0,5	1,74	0,86
5		4,00	15,4	6,30	5,40	4,09	<0,5	2,11	1,10
6		4,50	16,9	6,80	5,06	4,15	<0,5	2,21	2,91
7		3,30	10,4	4,40	3,96	2,59	<0,5	0,54	1,80
8		3,30	12,5	5,30	5,49	2,95	<0,5	0,72	1,98



Tabelle A5: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	19,7	33,5	18,1	29,6	19,1	4,80	21,3	10,9
2		24,9	33,4	17,0	31,9	20,9	4,90	22,3	12,2
3		23,6	36,2	18,1	29,2	19,2	4,60	21,0	10,7
4		13,0	31,7	16,3	30,8	20,8	5,50	21,5	12,1
5		39,1	32,0	17,7	29,7	20,0	5,00	20,0	11,4
6		14,2	32,9	17,0	30,9	19,7	4,70	19,3	11,1
7		15,1	34,6	17,3	31,4	20,1	4,40	20,1	11,1
8		13,3	29,3	16,9	28,9	18,6	4,30	18,8	10,6

Tabelle A6: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<0,5	<0,5	0,50	<0,5	<0,5	<0,5	0,65	<0,5
2		0,50	0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
3		3,20	1,50	1,20	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
4		0,60	<0,5	<0,5	<0,5	5,81	<0,5	<0,5	<0,5
5		0,50	1,60	0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
6		1,10	0,60	0,80	5,22	0,54	<0,5	<0,5	<0,5
7		5,10	1,10	0,90	<0,5	4,39	<0,5	<0,5	<0,5
8		< 0,5	0,50	0,50	1,15	0,82	<0,5	<0,5	<0,5

Tabelle A7: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	3,50	5,70	2,30	4,20	2,80	0,60	3,00	1,60
2		8,50	5,60	3,90	4,50	3,00	0,60	3,60	1,70
3		4,30	6,00	3,00	4,10	2,70	0,50	3,40	1,60
4		8,00	5,50	2,00	4,40	2,90	4,30	3,60	1,80
5		3,20	5,50	2,10	4,30	2,90	0,60	3,40	1,70
6		3,40	6,90	2,10	4,50	2,90	0,50	3,30	1,70
7		3,80	5,70	2,30	4,40	2,80	0,50	3,30	1,60
8		3,40	5,00	2,00	4,00	2,60	0,50	3,20	1,60

Tabelle A8: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	2,90	5,70	7,20	1,11	0,84	0,83	1,06	1,05
2		5,30	6,70	7,30	1,55	<0,5	0,68	0,68	1,56
3		4,00	7,30	6,20	1,74	0,90	1,09	1,03	1,23
4		4,20	6,20	6,60	1,57	0,67	0,64	0,99	1,62
5		1,40	6,80	6,30	1,25	0,74	0,84	0,78	1,49
6		3,30	7,20	7,10	1,16	0,80	0,75	1,28	1,65
7		5,10	7,20	6,00	1,09	<0,5	0,80	0,89	1,64
8		4,10	5,90	6,30	1,78	<0,5	0,69	1,15	1,70

Tabelle A9: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	18,30	20,8	6,94	3,85	1,60	0,74	1,44	2,07
2		5,48	61,8	6,07	3,71	1,54	0,39	3,72	1,61
3		5,33	19,3	5,66	3,63	1,50	0,30	2,69	1,13
4		5,65	26,7	7,40	4,50	1,90	0,36	1,88	2,38
5		4,78	20,7	7,47	4,37	1,75	0,33	1,86	2,68
6		5,95	21,8	7,30	4,39	1,94	0,34	2,65	1,63
7		4,52	15,0	4,50	3,24	1,44	0,32	1,59	1,82
8		5,12	15,0	5,71	3,70	1,69	0,32	1,30	2,34

Tabelle A10: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	6,70	9,90	6,50	13,0	7,80	1,58	8,96	6,26
2		5,90	9,00	6,90	11,8	7,95	1,71	7,81	5,69
3		6,30	8,90	6,80	11,7	8,01	1,69	8,17	6,19
4		5,80	9,50	7,00	14,7	9,33	1,67	8,24	6,69
5		6,30	8,30	6,30	13,1	9,07	1,70	8,68	6,84
6		6,30	8,60	6,70	12,4	8,75	1,65	8,50	7,46
7		7,20	8,90	5,90	9,39	6,77	1,49	5,87	5,50
8		6,30	9,20	6,30	11,8	7,61	1,53	6,25	5,93

Tabelle A11: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	0,90	0,60	5,20	<0,5	<0,5	2,51	0,87	0,66
2		1,00	1,50	8,20	0,71	0,51	1,09	0,86	0,91
3		3,20	2,20	6,80	0,56	0,58	1,07	<0,5	0,51
4		1,90	1,00	0,60	0,67	3,84	1,15	<0,5	0,59
5		<0,5	<0,5	7,30	<0,5	<0,5	0,84	<0,5	0,62
6		<0,5	<0,5	4,00	3,47	0,54	4,14	<0,5	0,85
7		2,20	<0,5	5,70	0,79	2,54	<0,5	0,51	0,91
8		<0,5	<0,5	2,90	1,02	0,78	1,24	0,70	0,73

Tabelle A12: Gemessene pH-Werte bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	10,5	10,8	10,9	11,0	11,1	10,5	10,6	10,4
2		10,7	10,4	11,0	11,2	11,3	10,7	10,9	10,8
3		10,6	11,1	11,0	11,1	11,2	10,6	10,6	10,5
4		10,4	10,9	10,9	11,0	11,1	10,6	10,0	10,6
5		10,3	10,8	10,9	10,9	10,8	10,2	10,4	10,3
6		10,3	10,9	10,9	11,1	10,9	10,6	10,4	10,3
7		10,7	11,0	11,0	11,2	11,3	10,7	11,0	10,8
8		10,6	11,0	11,1	10,7	11,1	10,6	10,7	10,5

Tabelle A13: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Achtfachbestimmung  
(erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$\mu\text{S/cm}$	103	246	198	300	215	87,5	108	89,0
2		152	254	233	422	288	115	205	141
3		133	304	238	345	252	109	142	98,0
4		78,7	248	181	332	241	95,7	173	115
5		167	232	202	262	172	83,4	123	83,5
6		84,3	281	206	335	180	92,0	118	82,9
7		114	297	249	437	310	124	236	151
8		104	262	243	219	225	103	156	105

Tabelle A14: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	µg/L	3,24	5,18	4,39	4,66	4,17	2,93	2,26	2,34
28 d		8,70	3,11	3,05	6,02	5,90	3,40	6,9	4,47
		2,89	9,44	6,91	11,9	11,0	5,80	10,6	8,16
91 d		1,85	2,35	1,27	1,38	1,51	1,26	1,29	2,18
		1,85	1,63	1,48	1,48	1,66	1,44	2,19	1,21
15 °C		2,10	4,20	3,90	2,33	3,10	2,55	1,18	2,01
		3,00	7,10	5,40	5,54	6,07	3,77	3,44	4,11
25 °C		2,20	3,90	4,30	2,90	3,84	2,80	2,12	3,03
		2,20	3,00	4,10	2,42	3,37	2,45	1,75	2,40
40 L/m²		5,40	8,20	6,30	6,68	2,22	2,03	0,84	1,94
		6,70	11,3	8,60	7,44	3,45	2,88	2,59	2,57
120 L/m²		4,40	7,10	6,20	8,61	4,37	1,70	4,18	3,17
		2,30	2,50	2,50	4,08	0,71	1,09	1,25	0,74
pH = 4		3,50	4,10	3,10	5,10	2,19	3,88	2,14	1,50
		4,80	5,80	5,70	6,95	4,86	1,87	3,76	2,94
pH = 10		2,70	3,30	3,10	5,27	1,90	0,81	2,06	1,45
		3,60	5,50	5,70	7,10	4,06	1,44	3,18	2,50
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		10,5	9,30	8,30	7,14	4,94	4,78	-	-
		5,20	4,60	4,60	3,66	2,44	3,14	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		5,90	8,30	9,60	7,21	10,7	9,07	4,17	3,83
		5,30	7,80	7,70	6,70	9,89	7,30	3,55	3,48

Tabelle A15: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	µg/L	6,43	20,6	13,9	0,51	0,62	1,41	0,50	0,50
28 d		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	<0,5
		0,59	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,70	0,6	<0,5
91 d		<0,5	<0,5	0,61	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,53
		<0,5	0,60	0,52	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
15 °C		<0,5	16,0	1,40	<0,5	<0,5	5,98	<0,5	1,46
		1,00	19,0	1,00	0,80	1,02	1,00	0,52	0,55
25 °C		3,00	28,5	12,7	<0,5	0,65	1,63	<0,5	<0,5
		2,70	21,3	14,8	<0,5	<0,5	1,51	0,60	0,58
40 L/m²		12,7	25,2	4,60	<0,5	<0,5	0,86	<0,5	<0,5
		18,1	42,1	5,40	<0,5	<0,5	0,72	<0,5	<0,5
120 L/m²		3,60	15,1	10,8	1,15	1,31	1,51	0,51	<0,5
		1,90	10,8	8,30	<0,5	0,99	1,83	0,73	0,53
pH = 4		24,7	17,9	11,7	1,94	0,66	3,01	0,63	<0,5
		26,1	18,7	12,2	6,39	1,07	1,94	<0,5	<0,5
pH = 10		3,10	15,4	5,20	12,3	0,78	1,28	<0,5	<0,5
		7,70	30,5	7,80	1,36	<0,5	0,89	<0,5	<0,5
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		18,8	6,00	1,70	0,58	<0,5	<0,5	-	-
		13,7	3,30	1,70	0,69	<0,5	<0,5	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		10,1	13,1	3,30	<0,5	2,98	0,51	<0,5	<0,5
		17,6	21,6	9,00	<0,5	2,46	0,80	<0,5	<0,5

Tabelle A16: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen								
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-8_Mit.	mg/L	6,30	3,40	0,10	0,10	0,50	0,10	0,60	0,10	
28 d		<0,1	<0,1	15,3	0,50	0,30	0,50	19,1	<0,1	
		<0,1	<0,1	0,40	0,60	1,00	<0,1	24,1	<0,1	
91 d		2,70	<0,1	12,4	0,50	0,30	0,20	0,20	0,50	
		0,10	<0,1	5,40	0,70	0,60	3,30	0,30	<0,1	
15 °C		<0,1	<0,1	0,60	<0,1	<0,1	<0,1	0,20	0,20	
		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,10	<0,1	0,20	0,20	
25 °C		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,20	<0,1	0,30	0,20	
		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,20	0,20	
40 L/m²		0,90	0,50	<0,1	0,30	0,60	0,10	0,40	0,30	
		0,30	0,40	<0,1	<0,1	0,40	0,50	0,40	0,30	
120 L/m²		<0,1	0,40	<0,1	<0,1	0,20	<0,1	0,20	0,30	
		0,30	0,40	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,20	0,20	
pH = 4		0,30	1,70	<0,1	0,40	0,50	0,40	0,50	0,50	
		<0,1	0,30	<0,1	0,40	0,90	0,50	0,30	0,30	
pH = 10		0,50	0,70	<0,1	0,40	0,50	0,40	0,30	0,20	
		0,50	0,20	0,20	0,40	1,40	0,30	0,50	0,40	
DAfStb		Zeit in Tagen								
		1	3	7	16	32	56	-	-	
		0,20	<0,1	<0,1	0,10	8,20	0,40	-	-	
		0,10	<0,1	0,80	9,90	0,20	1,60	-	-	
NEN 7375		Zeit in Tagen								
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64	
		<0,1	24,4	0,10	0,40	<0,1	9,30	0,70	<0,1	
	0,30	0,30	<0,10	0,40	0,40	7,30	0,20	<0,1		



Tabelle A17: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	µg/L	3,51	13,6	5,53	4,77	3,14	0,50	1,54	1,32
28 d		1,37	5,75	<0,5	1,94	3,10	<0,5	4,20	<0,5
		1,40	4,19	<0,5	1,26	2,80	<0,5	3,40	<0,5
91 d		<0,5	17,0	10,2	12,2	4,45	<0,5	4,92	1,46
		0,74	13,8	8,56	10,0	3,72	<0,5	4,45	2,63
15 °C		1,00	11,2	5,00	3,91	2,93	<0,5	1,46	2,95
		2,10	10,6	3,60	2,55	2,14	<0,5	0,58	2,57
25 °C		5,40	19,1	7,30	5,22	3,52	<0,5	1,48	3,44
		3,60	12,4	4,90	4,64	3,56	<0,5	1,70	3,65
40 L/m²		7,50	30,0	12,6	13,1	10,5	1,32	15,5	4,95
		7,40	24,3	10,0	9,61	6,92	0,95	10,8	3,03
120 L/m²		2,50	9,20	3,50	2,51	2,33	<0,5	4,40	<0,5
		3,90	15,8	6,20	4,98	3,47	<0,5	5,94	<0,5
pH = 4		3,60	20,0	6,70	6,92	4,23	<0,5	5,18	1,07
		3,00	11,4	5,10	4,96	3,60	<0,5	4,54	<0,5
pH = 10		3,00	13,2	4,80	5,24	3,70	<0,5	5,14	0,61
		3,60	14,4	5,10	4,78	3,55	<0,5	4,89	0,52
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		12,2	5,00	2,90	3,28	5,12	5,73	-	-
		13,8	5,80	4,40	4,58	6,08	6,62	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		5,60	7,90	5,50	<0,5	2,12	2,53	4,88	7,27
		6,30	10,8	6,20	<0,5	2,24	3,04	5,18	8,25

Tabelle A18: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	mg/L	20,4	33,0	17,3	30,3	19,8	4,80	20,5	11,3
28 d		22,6	45,6	30,8	29,2	19,2	4,90	41,7	12,2
		18,9	38,2	18,2	31,1	21,2	4,30	47,7	12,3
91 d		5,60	25,7	38,7	29,2	22,3	6,50	24,0	15,7
		3,40	25,7	23,6	30,6	21,5	9,50	22,3	14,4
15 °C		6,80	31,8	18,4	28,5	18,3	4,50	20,7	12,9
		9,50	29,1	15,2	25,6	17,3	3,90	20,1	11,2
25 °C		14,1	30,0	15,4	29,4	20,0	4,80	22,5	12,4
		15,1	33,2	17,6	31,8	22,4	5,30	24,8	13,8
40 L/m²		28,5	60,3	35,2	55,0	40,0	11,2	37,3	23,7
		29,4	65,1	37,5	58,6	41,2	11,5	38,5	23,6
120 L/m²		9,80	22,1	11,7	21,0	13,6	2,70	14,2	7,50
		9,90	20,6	11,8	20,9	13,8	3,00	14,5	8,00
pH = 4		13,7	35,0	17,1	32,0	21,8	5,90	22,4	12,7
		14,2	31,8	16,3	29,7	18,8	4,80	19,2	10,6
pH = 10		13,7	35,0	17,1	31,2	19,7	4,80	20,0	11,3
		14,5	36,4	18,3	32,1	20,7	5,00	22,0	12,1
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		45,0	24,0	19,5	27,9	33,5	28,4	-	-
		45,8	24,0	23,3	36,5	24,6	29,5	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		23,8	25,0	24,2	9,10	22,0	31,6	29,2	32,0
			22,9	24,3	23,2	8,20	21,1	40,1	28,2

Tabelle A19: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	µg/L	1,50	0,85	0,68	1,17	1,70	0,50	0,52	0,50
28 d		0,63	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,60	0,50	<0,5
		0,71	0,66	<0,5	<0,5	0,60	<0,5	0,50	<0,5
91 d		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,68	<0,5	<0,5	0,77
		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,63
15 °C		<0,5	0,60	0,50	0,69	1,12	<0,5	<0,5	<0,5
		1,00	0,50	<0,5	1,91	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
25 °C		0,50	4,30	0,50	4,02	<0,5	0,63	<0,5	<0,5
		<0,5	0,50	<0,5	0,99	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
40 L/m²		0,80	<0,5	3,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
120 L/m²		1,30	0,60	<0,5	2,14	<0,5	<0,5	1,00	<0,5
		<0,5	1,80	<0,5	0,56	3,44	<0,5	<0,5	<0,5
pH = 4		0,50	<0,5	<0,5	3,75	<0,5	0,79	<0,5	<0,5
		0,90	0,50	0,90	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
pH = 10		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		<0,5	<0,5	0,90	2,96	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-
	0,50	<0,5	<0,5	1,81	<0,5	<0,5	-	-	
NEN 7375	Zeit in Tagen								
	0,25	1	2,25	4	9	16	36	64	
	0,50	<0,5	<0,5	<0,5	1,57	<0,5	<0,5	0,66	
	<0,5	0,60	<0,5	<0,5	0,71	1,49	<0,5	<0,5	

Tabelle A20: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	mg/L	4,80	5,70	2,50	4,30	2,80	1,00	3,40	1,70
28 d		3,80	5,90	2,00	4,30	2,90	<0,1	3,90	1,90
		3,70	5,80	2,20	4,50	3,10	<0,1	4,00	2,00
91 d		0,80	5,20	3,50	5,00	3,20	0,60	3,90	2,10
		0,80	5,20	3,10	4,80	3,00	0,60	3,60	2,00
15 °C		1,40	5,50	2,10	3,90	2,60	0,40	3,30	1,80
		2,40	5,50	1,90	3,70	2,40	0,40	3,30	1,70
25 °C		3,60	5,50	2,00	4,40	3,00	0,50	3,80	1,90
		3,70	6,60	2,10	4,50	3,30	0,60	4,10	2,20
40 L/m²		9,40	9,90	4,60	8,00	5,60	1,20	6,40	3,60
		6,90	11,4	4,90	8,40	5,80	3,60	6,60	3,60
120 L/m²		2,40	3,80	1,30	3,00	2,00	0,40	2,30	1,10
		2,20	3,60	1,30	2,90	1,80	0,30	2,30	1,20
pH = 4		3,10	5,70	4,20	4,60	3,00	0,60	3,60	1,80
		3,60	5,80	1,90	4,30	2,90	0,50	3,30	1,60
pH = 10		3,20	5,80	3,00	4,50	2,80	0,50	3,40	1,70
		3,40	6,00	2,20	4,40	2,90	0,50	3,50	1,70
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		8,50	3,20	2,40	4,00	4,00	4,70	-	-
		8,50	4,10	2,70	3,70	3,90	4,60	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		5,20	4,00	3,20	0,90	3,20	2,90	4,70	5,40
		6,10	3,80	3,00	0,80	3,10	2,90	4,70	5,30

Tabelle A21: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	µg/L	3,79	6,63	6,63	1,41	0,68	0,79	0,98	1,49
28 d		1,40	0,65	0,95	<0,5	6,30	7,30	7,50	1,61
		0,99	<0,5	0,77	<0,5	6,50	7,80	7,40	1,24
91 d		<0,5	1,69	2,15	2,41	1,82	1,88	2,42	1,66
		<0,5	1,65	1,54	2,06	1,37	<0,5	2,55	1,28
15 °C		2,40	6,20	6,20	1,20	1,28	0,64	0,91	1,45
		4,90	6,60	5,00	1,25	<0,5	0,51	0,83	1,49
25 °C		2,00	7,10	6,40	1,34	<0,5	<0,5	1,09	1,27
		1,60	6,60	5,50	1,20	0,82	<0,5	0,71	1,68
40 L/m²		6,10	7,20	5,50	<0,5	1,67	1,72	2,50	1,53
		4,60	7,10	6,70	<0,5	1,10	1,68	2,25	1,18
120 L/m²		3,40	7,50	6,40	<0,5	0,70	1,51	2,19	1,22
		1,70	5,20	5,90	0,84	1,68	1,58	2,19	1,87
pH = 4		3,30	6,40	6,30	0,80	1,07	1,32	1,48	2,04
		4,00	5,60	5,60	<0,5	0,86	1,27	1,45	1,01
pH = 10		4,60	5,80	6,90	<0,5	1,45	1,46	1,60	1,41
		5,10	5,80	7,00	<0,5	0,89	1,22	1,90	1,67
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		7,10	6,70	6,70	<0,5	1,38	1,73	-	-
		5,00	6,20	7,00	0,70	1,32	1,88	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		5,80	6,40	6,80	1,33	<0,5	<0,5	1,95	2,97
		5,40	6,40	6,30	1,22	<0,5	<0,5	1,79	1,87

Tabelle A22: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	mg/L	6,90	25,1	6,40	3,90	1,70	0,40	2,10	2,00
28 d		15,6	6,30	14,5	2,40	1,20	0,30	1,30	0,80
		2,50	4,20	2,50	2,40	1,50	0,40	1,70	1,10
91 d		1,30	23,4	16,4	16,1	1,00	2,60	4,20	1,10
		1,70	19,0	11,8	12,1	3,40	0,60	2,30	1,00
15 °C		1,80	14,6	5,20	15,6	1,60	0,30	4,00	1,30
		2,80	14,7	5,30	4,40	1,60	0,30	2,20	1,00
25 °C		7,80	28,3	9,10	5,50	2,00	0,40	3,30	1,70
		4,20	16,6	5,30	4,00	1,90	0,40	3,10	1,70
40 L/m²		11,4	37,7	14,1	8,50	3,60	0,70	4,30	2,10
		10,6	30,9	11,5	6,40	2,70	0,50	3,80	1,50
120 L/m²		4,00	13,2	3,70	2,40	1,20	0,50	1,50	0,80
		6,00	20,9	6,40	3,80	1,50	0,30	2,30	1,10
pH = 4		5,70	29,0	7,90	18,6	2,00	0,40	2,30	1,10
		4,00	15,1	4,70	4,30	1,70	0,40	2,90	1,00
pH = 10		4,80	18,0	4,90	4,20	1,80	0,40	2,10	0,90
		5,50	19,1	5,00	4,10	1,70	0,30	1,90	0,90
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		18,7	5,80	1,40	1,90	1,80	2,60	-	-
		16,4	5,90	2,40	2,20	1,90	3,80	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		8,30	10,8	6,60	2,60	2,30	1,70	3,90	3,80
		8,70	13,7	7,70	2,30	2,60	2,00	2,80	4,10

Tabelle A23: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	µg/L	6,35	9,04	6,55	12,2	8,16	1,63	7,81	6,32
28 d		7,25	6,96	3,60	6,67	5,80	1,40	9,70	4,85
		8,56	7,88	4,03	5,68	5,50	1,80	7,90	4,85
91 d		1,48	11,5	8,45	21,6	14,8	2,42	16,3	8,05
		0,86	10,7	7,48	19,0	12,6	2,08	13,9	6,49
15 °C		2,20	8,50	5,70	10,4	7,17	1,46	7,48	6,65
		4,00	7,60	4,60	8,36	6,00	1,35	5,76	5,77
25 °C		5,40	8,00	6,30	13,9	9,19	1,75	7,58	7,49
		5,80	7,40	5,60	10,6	7,98	1,50	7,18	7,31
40 L/m²		12,9	17,7	14,1	24,7	19,2	3,74	26,2	13,9
		12,2	17,0	12,5	21,0	14,6	3,14	19,1	10,4
120 L/m²		4,50	6,20	4,50	7,84	5,64	1,19	7,68	3,94
		4,10	7,10	6,10	12,2	7,42	1,24	10,7	5,14
pH = 4		6,10	10,9	7,30	16,0	9,46	1,66	12,7	6,32
		6,50	9,00	6,30	12,4	8,11	1,75	11,4	5,50
pH = 10		6,20	9,50	5,90	12,6	7,96	1,57	11,5	5,74
		6,00	9,40	6,00	11,5	7,78	1,60	11,2	5,41
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		13,7	7,20	5,90	7,81	9,80	14,4	-	-
		15,2	7,40	8,10	9,94	11,9	17,1	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		8,50	6,70	8,20	3,73	8,32	7,05	11,9	17,0
		7,80	6,10	8,00	3,66	8,64	7,88	13,1	19,4

Tabelle A24: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen								
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-8_Mit.	µg/L	1,34	0,91	5,09	1,03	1,22	1,57	0,62	0,72	
28 d		1,40	1,82	0,71	0,86	<0,5	0,50	<0,5	<0,5	
		1,45	1,83	0,55	0,98	<0,5	<0,5	<0,5	0,60	
91 d		2,15	1,43	2,20	0,91	4,27	0,98	1,49	2,21	
		1,34	1,23	2,78	0,97	0,78	1,32	1,33	1,54	
15 °C		<0,5	<0,5	<0,5	66,6	0,71	1,29	<0,5	1,31	
		0,60	<0,5	<0,5	11,6	0,79	2,09	3,02	1,00	
25 °C		<0,5	2,50	9,40	3,31	1,05	1,61	3,02	1,83	
		<0,5	0,90	1,30	2,12	<0,5	0,94	1,47	1,99	
40 L/m²		1,80	<0,5	<0,5	1,04	0,69	0,77	0,72	0,64	
		1,30	<0,5	<0,5	1,65	0,76	0,62	0,85	0,57	
120 L/m²		<0,5	<0,5	0,6	39,7	1,49	1,60	1,54	0,77	
		<0,5	<0,5	<0,5	4,92	2,23	9,16	0,83	0,59	
pH = 4		1,50	<0,5	<0,5	4,18	<0,5	2,56	1,01	0,62	
		3,30	0,50	<0,5	2,19	0,62	1,16	1,70	0,81	
pH = 10		<0,5	<0,5	<0,5	4,49	<0,5	0,68	1,15	0,54	
		<0,5	<0,5	<0,5	4,71	0,60	0,50	1,28	0,61	
DAfStb		Zeit in Tagen								
		1	3	7	16	32	56	-	-	
		<0,5	<0,5	<0,5	1,00	1,30	0,75	-	-	
		<0,5	<0,5	<0,5	1,31	0,92	0,84	-	-	
NEN 7375		Zeit in Tagen								
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64	
		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	5,16	1,06	0,73	1,35	
		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,95	0,52	0,84	1,14	



Tabelle A25: Gemessene pH-Werte bei der Variation der Prüfbedingungen  
gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	-	10,5	10,9	11,0	11,0	11,1	10,6	10,6	10,5
28 d		10,5	11,1	11,0	11,4	11,2	10,8	11,2	10,9
		10,7	11,2	11,2	11,5	11,4	11,0	11,3	11,0
91 d		9,5	10,5	10,7	10,2	10,1	9,9	9,7	9,6
		9,0	10,4	10,6	10,5	10,2	10,1	9,7	9,5
15 °C		10,0	10,9	11,0	10,9	10,7	10,2	10,1	10,5
		10,4	11,1	11,1	11,2	11,4	10,6	10,7	10,6
25 °C		10,3	11,0	11,1	11,0	11,1	10,5	10,8	10,6
		10,3	11,0	11,0	10,9	11,0	10,5	10,4	10,3
40 L/m²		10,7	11,2	11,3	11,2	11,0	10,8	10,4	10,5
		10,9	11,3	11,3	11,3	11,3	10,9	10,8	10,7
120 L/m²		10,4	10,9	11,0	11,1	11,2	10,5	10,9	10,8
		9,9	10,6	10,7	10,8	10,8	10,2	10,3	10,1
pH = 4		8,0	10,8	10,7	11,0	11,0	10,2	10,6	10,5
		9,5	10,9	11,0	11,1	11,2	10,4	10,9	10,6
pH = 10		10,6	10,9	10,9	11,0	11,1	10,6	10,6	10,5
		10,7	11,1	11,0	11,1	11,2	10,7	10,9	10,8
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		11,2	11,2	10,9	11,3	11,2	10,6	-	-
		11,0	11,1	11,0	10,5	10,7	10,3	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		10,9	11,1	11,3	11,1	11,3	11,2	10,9	10,3
			10,8	11,1	11,3	11,0	11,3	11,2	11,0

Tabelle A26: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Variation der  
Prüfbedingungen gemäß Tabelle 5 (erste Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-8_Mit.	µS/cm	117	265	219	332	235	101	158	108
28 d		118	331	264	461	365	126	341	233
		158	379	297	621	483	156	466	295
91 d		24,2	145	214	168	123	60,6	102	81,2
		17,9	139	154	188	131	61,4	98,1	77,9
15 °C		46,6	240	170	270	137	64,7	105	111
		80,1	280	247	391	303	100	179	125
25 °C		86,4	260	224	309	242	93,5	182	119
		88,7	255	220	275	186	85,8	136	91,9
40 L/m²		196	455	363	503	236	152	169	127
		239	495	405	513	344	175	226	155
120 L/m²		86,8	220	192	342	246	78,3	197	130
		58,2	153	125	206	136	48,6	95,8	69,9
pH = 4		78,5	253	181	331	248	88,7	183	136
		88,4	256	225	368	300	101	218	142
pH = 10		128	248	205	320	244	109	143	100
		152	306	239	385	287	117	209	144
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		389	359	273	345	287	187	-	-
		311	283	266	182	153	146	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		209	349	378	188	387	339	236	148
		176	176	392	203	389	385	268	141

Tabelle A27: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	20,7	73,6	56,2	118	37,7	24,9	74,1	44,5
2		24,8	69,6	50,1	109	77,4	26,6	78,4	43,1
3		29,1	95,5	48,7	124	88,0	25,2	81,3	44,2

Tabelle A28: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	1,49	1,34	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2		1,54	1,62	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
3		2,07	2,45	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Tabelle A29: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	0,62	<0,1	5,58	0,61	3,33	0,49	11,3	16,8
2		<0,1	<0,1	0,39	0,20	0,29	0,15	0,39	0,31
3		<0,1	0,46	0,25	0,28	0,32	<0,1	0,39	0,75

Tabelle A30: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,62	<0,5	0,56	1,50
2		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,39
3		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,65	<0,5	0,55	1,11

Tabelle A31: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	13,1	19,9	19,1	33,8	25,8	4,60	47,7	58,1
2		11,7	16,9	14,4	33,2	21,2	3,00	29,7	14,0
3		11,3	19,8	12,0	32,7	19,6	4,50	28,1	14,7

Tabelle A32: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,53	<0,5	0,68	<0,5
2		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,66	<0,5	0,52	<0,5
3		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,65	<0,5	<0,5	<0,5

Tabelle A33: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	2,20	3,30	2,30	5,30	3,70	0,60	5,30	2,60
2		2,00	2,90	2,30	5,40	3,60	0,40	5,00	2,00
3		1,90	3,60	2,00	5,60	3,40	0,60	4,90	1,80

Tabelle A34: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
2		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
3		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

Tabelle A35: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	1,02	0,81	1,06	0,93	1,93	3,04	1,51	1,72
2		0,50	0,78	0,91	0,97	1,32	0,92	1,47	1,54
3		0,68	0,88	0,78	0,95	1,26	0,78	1,40	1,39

Tabelle A36: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Dreifach-  
bestimmung (zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<0,5	0,67	0,74	0,91	2,17	1,77	1,74	1,73
2		<0,5	0,77	0,69	0,97	1,55	1,19	1,66	1,73
3		0,54	0,76	0,59	0,77	1,30	1,15	1,44	1,46

Tabelle A37: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	2,40	3,61	2,82	2,69	2,28	1,64	3,02	1,56
2		2,37	3,56	1,87	3,44	2,82	1,88	3,70	1,61
3		2,63	2,92	1,93	2,76	3,20	1,68	2,94	1,64

Tabelle A38: Gemessene pH-Werte bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	11,5	11,9	12,1	11,7	11,4	11,2	11,6	11,6
2		11,5	11,8	12,1	11,7	11,6	11,2	11,7	11,5
3		11,3	11,9	12,0	11,8	11,6	11,2	11,7	11,5

Tabelle A39: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Dreifachbestimmung  
(zweite Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µS/cm	525	1117	911	1511	701	407	1167	870
2		574	972	949	1576	1141	391	1158	680
3		370	1199	843	1831	1195	409	1211	728

Tabelle A40: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	5,71	24,8	21,6	45,5	31,2	11,5	29,9	17,1
2		8,68	29,4	22,1	41,6	29,1	11,4	24,7	18,4
15 °C		5,14	20,5	19,3	34,6	28,6	9,04	43,8	12,7
		4,76	20,6	16,6	29,8	23,3	8,83	28,4	10,4
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		17,1	26,5	25,2	22,8	33,1	33,1	27,2	9,73
		16,7	19,3	21,8	23,0	32,1	29,0	25,6	9,83

Tabelle A41: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	6,65	19,9	34,5	2,57	11,8	3,69	<0,5	<0,5
2		15,2	32,9	<0,5	1,02	<0,5	2,98	<0,5	1,44
15 °C		9,58	35,5	6,10	<0,5	0,60	1,12	<0,5	<0,5
		14,3	27,7	3,58	1,52	<0,5	1,19	<0,5	<0,5
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		1,43	56,8	13,5	12,1	3,82	3,96	<0,5	<0,5
		36,6	35,3	16,4	8,61	10,5	5,18	<0,5	<0,5

Tabelle A42: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	0,27	<0,1	<0,1	0,22	0,56	<0,1	<0,1	1,92
2		<0,1	<0,1	<0,1	0,18	0,18	<0,1	<0,1	9,98
15 °C		6,46	<0,1	<0,1	0,65	1,45	0,13	<0,1	15,8
		<0,1	<0,1	0,37	0,37	0,39	<0,1	<0,1	23,7
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,27	0,48	23,8	0,42
		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,17	0,12	<0,1	2,37

Tabelle A43: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<0,5	0,86	0,73	1,19	1,04	<0,5	0,98	0,94
2		<0,5	0,92	0,75	1,29	0,97	<0,5	0,98	1,13
15 °C		<0,5	0,79	0,87	1,26	1,10	<0,5	0,86	0,93
		<0,5	0,73	0,79	1,18	1,08	<0,5	0,94	0,95
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		<0,5	0,91	1,20	0,83	1,39	0,90	1,40	1,66
		<0,5	0,73	0,77	0,92	0,82	0,75	1,43	1,79



Tabelle A44: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	10,7	8,70	4,80	11,6	6,60	1,00	8,80	6,40
2		8,00	8,80	4,30	11,4	6,60	1,00	9,10	15,8
15 °C		15,8	9,30	4,20	10,8	7,30	0,90	7,70	21,4
		9,50	8,90	4,20	11,8	6,90	1,00	8,30	21,4
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		10,7	6,30	5,50	4,50	8,10	7,80	41,1	16,9
		10,1	5,00	4,60	4,40	7,60	7,00	12,5	18,9

Tabelle A45: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<0,5	1,74	<0,5	<0,5	0,60	0,77	0,52	0,88
2		0,93	1,40	<0,5	<0,5	1,97	<0,5	<0,5	1,17
15 °C		<0,5	0,93	1,75	1,69	1,06	0,73	<0,5	<0,5
		<0,5	0,90	2,65	1,84	0,56	<0,5	<0,5	<0,5
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		<0,5	<0,5	0,730	0,51	1,11	0,63	0,58	0,51
	<0,5	<0,5	<0,5	0,70	<0,5	<0,5	0,67	<0,5	



Tabelle A48: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	mg/L	0,66	0,77	0,88	1,73	1,65	0,71	2,3	2,21
2		0,25	0,77	0,90	1,95	2,02	0,85	2,53	2,61
15 °C		0,39	3,01	0,88	1,31	1,57	0,42	1,69	8,25
		0,35	0,67	1,69	1,69	1,23	0,63	1,67	1,62
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		0,47	0,65	1,10	1,11	8,41	2,36	2,79	5,35
		0,36	0,45	0,83	0,98	1,85	2,13	3,32	5,44

Tabelle A49: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	<0,5	1,27	1,55	3,13	3,05	1,24	3,73	3,11
2		0,75	1,19	1,59	3,15	3,17	1,35	3,88	3,26
15 °C		0,90	1,23	1,51	3,08	2,94	0,97	3,77	2,75
		0,55	1,06	1,49	3,13	2,90	0,98	3,79	2,92
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		0,81	1,46	1,96	2,01	2,82	3,30	3,96	6,55
		1,69	2,04	2,77	3,08	4,20	6,63	0,56	1,17

Tabelle A50: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µg/L	0,65	11,0	8,50	6,35	2,28	0,53	<0,5	0,72
2		1,16	4,57	<0,5	<0,5	1,02	<0,5	<0,5	15,8
15 °C		1,39	4,00	7,19	18,0	3,90	2,54	0,95	<0,5
		1,28	1,70	2,07	5,46	3,28	2,17	1,13	6,27
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		1,21	0,68	0,82	0,96	4,73	<0,5	<0,5	<0,5
		0,82	1,11	0,73	1,51	<0,5	0,56	<0,5	<0,5

Tabelle A51: Gemessene pH-Werte bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4	10,9	11,3	10,9
2		11,0	11,2	11,2	11,3	11,3	10,8	11,0	10,9
15 °C		11,0	11,2	11,0	11,4	11,4	10,7	11,3	10,9
		11,0	11,2	11,1	11,3	11,2	10,6	11,1	10,9
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		11,2	11,2	11,3	11,3	11,4	11,2	11,2	10,5
		11,2	11,1	11,2	11,3	11,4	11,2	11,2	10,4

Tabelle A52: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Variation der Prüfbedingungen (dritte Betonage)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	µS/cm	270	381	381	468	431	187	408	257
2		242	769	350	494	409	167	403	295
15 °C		191	355	256	472	362	135	333	311
		188	360	266	413	267	122	202	246
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		373	377	455	410	512	379	555	146
	363	293	380	319	459	361	438	140	

Tabelle A53: Gemessene Bariumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	µg/L	24,7	80,2	54,3	88,5	59,7	22,3	57,0	41,7
		25,5	74,2	54,0	98,3	66,6	23,6	76,0	54,8
28 d		45,6	97,1	67,0	141	79,4	22,5	64,5	42,1
		50,0	102	72,0	142	76,8	22,3	63,3	45,9
15 °C		22,0	75,2	51,7	98,0	71,6	22,7	74,5	24,3
		21,7	65,1	49,4	94,9	69,2	22,7	65,4	23,6
25 °C		39,4	81,9	52,4	115	81,9	23,4	92,5	67,1
		31,5	70,1	47,8	110	78,6	22,9	91,0	64,8
40 L/m <sup>2</sup>		50,9	143	78,9	164	120	43,4	135	66,9
		49,1	125	43,4	142	105	39,3	89,4	63,9
120 L/m <sup>2</sup>		20,5	56,4	21,7	72,2	54,0	16,4	63,1	42,3
		20,1	52,0	7,20	72,0	51,3	17,5	62,7	43,2
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		74,7	73,5	74,2	88,2	122	74,0	-	-
		89,2	63,8	68,9	85,5	93,1	5,2	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		29,5	50,4	13,0	55,3	61,6	63,2	64,7	16,1
	62,7	63,4	27,4	64,7	69,0	76,7	90,0	37,9	

Tabelle A54: Gemessene Bleikonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	µg/L	2,47	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,85	<0,5	0,85
		3,23	0,92	<0,5	<0,5	<0,5	0,92	<0,5	<0,5
28 d		1,55	0,73	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,79
		1,55	2,26	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,88
15 °C		2,58	0,78	0,74	<0,5	<0,5	0,93	<0,5	0,75
		2,21	<0,5	0,93	<0,5	<0,5	1,15	<0,5	0,76
25 °C		1,15	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,67	<0,5	<0,5
		3,09	1,60	<0,5	<0,5	<0,5	0,84	<0,5	<0,5
40 L/m²		6,00	1,99	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
120 L/m²		1,49	0,54	0,95	<0,5	<0,5	0,85	<0,5	<0,5
		4,41	2,32	1,07	<0,5	<0,5	0,9	<0,5	0,50
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		1,18	<0,5	<0,5	0,74	<0,5	<0,5	-	-
		0,52	<0,5	0,54	<0,5	<0,5	0,67	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		2,42	0,64	1,06	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,58
		4,34	1,03	0,55	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,07

Tabelle A55: Gemessene Chloridkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	mg/L	0,64	10,9	0,49	8,30	1,30	0,28	1,10	0,90
		1,17	10,4	0,50	3,00	1,00	0,27	1,50	1,30
28 d		0,29	0,80	0,30	1,60	1,40	0,48	1,60	5,00
		0,17	1,10	0,80	1,80	1,40	0,48	1,60	8,00
15 °C		0,40	11,1	1,33	2,12	1,30	0,26	1,34	0,81
		0,42	12,7	0,62	1,84	1,26	0,28	1,58	0,56
25 °C		0,62	15,1	0,74	13,2	1,37	7,47	1,67	0,81
		0,55	16,9	0,70	14,3	1,35	0,30	1,62	1,10
40 L/m²		1,13	21,9	0,62	2,93	2,16	0,50	2,83	1,28
		1,02	12,9	1,30	15,2	2,25	0,42	2,49	1,33
120 L/m²		0,37	23,2	0,24	10,2	0,69	0,21	0,89	0,81
		0,39	18,5	0,27	13,5	0,96	0,24	1,07	1,29
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		1,21	2,26	1,56	1,73	1,85	3,52	-	-
		1,53	1,44	1,45	1,80	1,62	1,23	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		30,6	0,71	0,37	1,22	1,39	1,66	1,75	1,28
		22,7	6,56	0,31	1,17	1,24	1,42	1,79	1,53

Tabelle A56: Gemessene Chromkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	µg/L	<0,5	1,69	1,33	3,05	2,13	0,75	2,84	2,41
		<0,5	1,56	1,32	2,98	2,27	0,75	3,00	2,43
28 d		1,05	2,54	2,08	3,42	2,49	0,88	2,70	2,19
		0,77	2,42	2,11	3,40	2,41	0,85	2,64	1,93
15 °C		<0,5	1,49	1,18	2,73	2,08	0,65	2,29	1,99
		<0,5	0,82	1,14	3,34	2,37	0,70	2,39	2,01
25 °C		<0,5	1,68	1,01	3,47	2,45	0,81	3,32	2,55
		<0,5	1,33	0,79	3,17	2,40	0,77	3,58	2,59
40 L/m²		0,59	3,25	1,57	4,62	3,56	1,23	4,71	3,31
		1,66	4,05	1,14	5,56	4,02	1,41	4,83	3,02
120 L/m²		<0,5	1,49	0,53	2,14	1,76	0,53	2,44	1,75
		0,54	1,57	<0,5	2,31	2,01	0,65	2,75	1,88
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		1,56	1,63	2,67	3,06	4,19	3,33	-	-
		2,31	1,92	2,90	3,25	3,94	3,23	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		<0,5	1,32	<0,5	2,37	2,75	2,64	4,07	3,47
		0,68	1,15	<0,5	2,13	2,23	2,37	3,94	3,48



Tabelle A57: Gemessene Kaliumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	mg/L	10,2	36,1	14,8	45,1	21,9	3,30	32,3	15,7
		10,2	34,6	14,7	37,6	21,9	3,40	32,1	16,1
28 d		14,3	22,3	16,1	39,4	24,9	3,70	34,0	21,0
		14,4	25,7	17,1	38,5	24,9	3,60	34,3	25,5
15 °C		10,0	35,0	13,9	33,7	21,5	3,40	31,1	16,1
		10,1	36,5	13,4	35,4	23,4	3,60	32,7	16,2
25 °C		13,4	38,6	13,4	50,2	22,8	3,30	33,7	17,2
		13,6	44,1	14,0	51,6	22,6	3,30	32,6	16,4
40 L/m <sup>2</sup>		21,4	68,2	18,9	71,3	43,8	7,20	64,6	33,9
		22,7	58,2	26,5	89,4	46,4	7,40	62,3	28,5
120 L/m <sup>2</sup>		7,20	43,1	2,60	35,2	14,5	2,20	21,4	10,6
		8,00	37,0	3,30	39,8	15,9	2,40	23,2	10,9
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		23,6	22,0	26,8	34,1	41,1	39,0	-	-
		32,5	21,1	26,3	33,9	38,7	32,8	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		54,1	13,1	8,10	17,9	19,6	22,1	39,5	33,2
		44,0	23,3	7,30	19,9	20,7	24,2	46,3	45,9

Tabelle A58: Gemessene Kupferkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	µg/L	1,48	1,30	1,13	1,37	1,10	0,89	1,56	1,58
		1,50	1,38	1,17	1,19	1,03	0,81	1,44	1,46
28 d		0,61	1,02	0,72	0,91	0,73	0,81	1,20	1,24
		51,0	0,63	0,71	0,98	0,71	0,77	1,82	1,14
15 °C		1,43	1,40	1,47	1,13	1,08	0,88	1,08	1,29
		0,80	0,81	1,02	1,42	1,05	0,93	1,08	1,14
25 °C		1,26	0,89	0,78	1,24	1,00	0,88	1,60	1,56
		0,89	0,79	0,75	1,24	0,97	1,18	1,66	1,55
40 L/m²		0,86	1,17	1,19	1,29	1,01	0,83	2,14	1,92
		1,43	1,62	1,26	1,35	1,05	0,93	1,78	2,36
120 L/m²		1,05	0,84	0,87	1,10	0,89	0,85	1,34	1,28
		0,80	6,47	1,69	1,13	0,93	0,91	1,47	1,34
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		0,75	0,73	1,14	1,13	1,90	1,85	-	-
		0,84	0,76	1,30	0,99	1,71	1,41	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		0,90	0,88	0,69	1,11	1,00	0,98	1,86	1,70
		0,86	0,91	0,70	1,02	1,10	1,01	2,00	2,21

Tabelle A59: Gemessene Natriumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	mg/L	6,80	14,0	9,40	24,7	16,7	2,70	28,7	16,0
		6,70	13,9	9,30	24,4	16,7	2,80	28,8	16,7
28 d		6,90	10,1	8,10	20,3	15,2	2,80	26,3	15,4
		6,90	11,8	8,30	19,7	15,2	2,70	26,2	15,5
15 °C		6,60	13,5	8,10	21,1	15,0	2,50	23,4	13,6
		7,10	14,0	8,80	23,5	16,8	2,70	26,2	14,7
25 °C		8,80	13,2	8,50	25,9	17,9	2,80	31,9	18,1
		8,50	13,9	8,40	24,9	17,2	2,80	30,3	18,0
40 L/m <sup>2</sup>		14,0	27,5	10,8	47,9	33,4	5,90	57,1	34,1
		17,0	32,4	19,1	58,8	40,2	7,10	64,8	34,2
120 L/m <sup>2</sup>		4,70	9,30	1,30	16,2	11,0	1,80	18,8	10,9
		5,40	9,90	1,40	17,6	12,4	2,10	21,3	12,0
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		14,0	13,8	16,9	24,5	36,8	43,0	-	-
		24,7	16,2	20,8	30,7	42,6	45,6	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		8,80	11,2	5,80	16,0	19,0	23,6	51,9	58,3
		10,8	10,1	3,90	13,3	15,0	18,6	43,1	56,5

Tabelle A60: Gemessene Selenkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	µg/L	1,80	<1,0	<1,0	3,69	4,67	6,73	5,18	5,60
		2,36	<1,0	<1,0	3,81	4,36	5,77	4,29	4,63
28 d		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,51	5,16	6,08
		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	5,01	6,05
15 °C		2,42	<1,0	<1,0	3,42	4,84	5,67	4,48	7,31
		3,21	<1,0	<1,0	2,45	4,09	5,91	4,58	7,02
25 °C		1,43	<1,0	<1,0	3,53	4,36	6,75	5,46	5,93
		1,80	<1,0	<1,0	3,35	4,03	6,22	6,08	4,37
40 L/m²		<1,0	2,67	4,78	1,87	3,51	4,96	3,21	5,34
		6,05	2,42	6,52	1,68	4,20	5,19	5,07	4,55
120 L/m²		6,83	5,29	6,67	4,33	4,93	5,66	5,74	6,19
		6,88	5,65	6,60	4,34	5,61	5,55	5,76	5,71
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		<1,0	<1,0	3,48	4,34	2,87	<1,0	-	-
		<1,0	<1,0	4,26	3,33	4,91	3,56	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		1,22	<1,0	3,33	4,32	3,24	4,70	6,33	6,13
		<1,0	<1,0	1,55	4,54	4,65	3,78	4,18	5,89

Tabelle A61: Gemessene Sulfatkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	mg/L	0,29	1,20	1,00	2,00	5,30	0,92	3,10	2,20
		0,27	1,30	0,80	2,00	2,20	0,77	2,60	2,20
28 d		4,88	1,70	1,90	1,70	2,20	1,15	2,80	6,30
		0,86	1,90	1,90	3,10	2,10	1,03	2,60	3,30
15 °C		0,23	0,84	0,55	1,31	1,42	0,86	1,79	2,41
		0,23	0,93	0,60	1,46	1,33	0,91	1,88	2,39
25 °C		3,46	1,49	0,90	2,29	2,02	1,19	2,87	2,67
		0,92	1,36	0,75	2,11	2,07	1,25	2,63	2,53
40 L/m <sup>2</sup>		0,61	1,79	0,65	2,24	2,79	1,46	2,69	3,22
		0,55	1,96	1,30	1,72	2,41	1,62	3,10	2,37
120 L/m <sup>2</sup>		0,20	0,86	<0,1	1,52	1,59	0,27	2,61	2,03
		0,26	0,92	<0,1	1,56	1,65	0,81	2,20	2,00
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		1,27	9,46	2,18	2,11	2,00	3,11	-	-
		1,47	2,1	2,02	2,15	2,68	4,00	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		0,34	1,09	0,26	1,71	2,56	1,95	2,78	4,54
		0,58	1,14	0,26	1,65	1,90	1,89	2,94	4,06

Tabelle A62: Gemessene Vanadiumkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	µg/L	<0,5	0,51	0,91	1,46	2,01	1,70	2,68	2,95
		<0,5	<0,5	0,91	1,42	2,02	1,55	2,04	2,69
28 d		<0,5	0,65	1,23	1,33	2,03	2,13	2,78	4,01
		<0,5	0,57	1,09	1,34	1,88	2,08	2,61	3,80
15 °C		<0,5	<0,5	0,67	1,20	1,76	1,43	2,34	4,25
		<0,5	<0,5	0,71	1,22	1,58	1,36	2,13	3,90
25 °C		<0,5	0,54	0,79	1,32	1,84	1,86	2,09	2,57
		<0,5	0,63	0,81	1,36	1,88	1,71	2,07	2,43
40 L/m²		<0,5	0,77	0,90	0,90	1,33	1,73	1,43	3,06
		<0,5	0,75	0,66	1,02	1,34	1,87	1,75	1,63
120 L/m²		<0,5	0,57	0,59	1,54	1,91	1,34	2,20	2,67
		0,28	0,61	<0,5	1,58	1,83	1,26	2,07	2,56
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		0,55	0,99	1,77	1,71	1,38	1,85	-	-
		<0,5	0,95	1,80	1,67	1,60	5,14	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		<0,5	0,64	<0,5	1,67	1,86	1,97	2,33	5,3
		<0,5	0,60	0,58	1,70	1,98	1,91	1,94	3,38

Tabelle A63: Gemessene Zinkkonzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen								
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1-2	µg/L	0,99	<0,5	<0,5	11,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		21,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
28 d		0,79	1,02	1,40	1,18	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		0,67	<0,5	1,13	0,66	<0,5	<0,5	1,02	<0,5	<0,5
15 °C		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,53	<0,5	<0,5	<0,5
		0,52	<0,5	<0,5	1,55	<0,5	1,66	<0,5	<0,5	<0,5
25 °C		1,27	<0,5	0,76	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		0,84	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,29	<0,5	<0,5	<0,5
40 L/m²		<0,5	1,25	1,51	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		3,23	1,67	0,57	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,81
120 L/m²		1,34	1,31	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
		1,89	3,64	2,01	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
DAfStb	Zeit in Tagen									
	1	3	7	16	32	56	-	-	-	
	<0,5	<0,5	<0,5	0,52	<0,5	1,74	-	-	-	
	<0,5	<0,5	0,97	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-	
NEN 7375	Zeit in Tagen									
	0,25	1	2,25	4	9	16	36	64		
	<0,5	1,50	<0,5	<0,5	<0,5	0,56	<0,5	0,62		
	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,03	<0,5	<0,5	2,49		

Tabelle A64: Gemessene TOC-Konzentrationen bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	mg/L	4,40	9,40	6,10	16,0	10,1	1,40	15,1	6,30
		4,40	9,20	6,10	16,0	10,0	1,60	17,5	6,90
28 d		5,20	8,10	6,50	14,2	8,70	2,00	13,0	6,50
		5,20	9,00	6,00	14,5	8,90	1,70	13,0	6,80
15 °C		5,40	9,00	8,80	15,0	9,60	1,20	17,4	7,30
		4,80	9,10	6,10	15,0	9,80	1,40	18,7	7,10
25 °C		6,50	9,50	6,10	17,0	11,0	1,50	17,8	8,00
		5,50	8,70	5,70	18,0	11,0	1,40	15,8	7,40
40 L/m <sup>2</sup>		9,30	19,0	13,0	34,0	22,0	3,30	29,6	13,8
		9,90	19,0	11,0	34,0	21,0	3,20	26,0	10,5
120 L/m <sup>2</sup>		5,10	6,70	4,10	11,0	6,50	1,00	9,60	4,50
		3,80	6,50	3,80	11,0	6,40	<1,0	9,50	4,40
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		9,40	9,70	11,0	16,0	20,5	7,4	-	-
		14,0	8,90	11,0	16,0	18,0	5,7	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		4,70	5,50	4,40	7,80	8,90	11,0	17,8	5,1
		7,20	7,50	6,50	8,80	9,50	12,0	21,3	7,4



Tabelle A65: Gemessene pH-Werte bei der Variation der Prüfbedingungen  
(Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	-	11,7	12,2	11,9	12,1	11,9	11,4	11,9	11,6
		11,7	12,1	11,9	12,1	12,0	11,4	12,0	11,8
28 d		11,4	11,7	11,7	11,9	12,0	11,4	12,1	11,7
		11,4	11,7	11,7	11,9	12,0	11,4	12,1	11,8
15 °C		11,6	12,2	12,1	12,1	12,0	11,4	12,1	11,5
		11,6	12,2	12,1	12,1	12,0	11,5	12,0	11,5
25 °C		11,8	12,2	12,0	12,1	12,0	11,5	12,1	11,9
		11,7	12,1	11,9	12,1	12,0	11,5	12,1	11,9
40 L/m <sup>2</sup>		11,9	12,4	11,8	12,3	12,2	11,7	12,2	11,9
		12,0	12,4	12,2	12,3	12,2	11,8	12,1	11,9
120 L/m <sup>2</sup>		11,5	12,0	11,0	12,0	11,8	11,3	11,9	11,6
		11,5	12,0	10,9	12,0	11,8	11,3	11,9	11,7
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		12,2	11,9	12,0	12,1	12,4	12,2	-	-
		12,3	11,9	12,1	12,1	12,3	11,3	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		11,8	12,0	11,6	11,9	12,0	11,9	12,0	11,5
		12,0	12,1	11,5	11,9	12,0	11,9	12,0	11,7

Tabelle A66: Gemessene Leitfähigkeiten bei der Variation der Prüfbedingungen (Armierungsmörtel)

Variation	Einheit	Zeit in Tagen							
		0,083	1	2,25	8	14	15	28	36
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	µS/cm	488	1366	990	1556	1011	380	941	735
		473	1261	997	1768	1219	406	1294	933
28 d		675	1339	1067	1793	1385	379	1154	797
		708	1673	1178	1822	1345	377	1125	870
15 °C		471	1343	913	1726	1208	389	1341	487
		468	1404	945	1832	1221	421	1173	515
25 °C		728	1348	933	1884	1155	471	1499	1072
		617	1116	807	1826	1188	411	1335	1044
40 L/m²		1044	2240	834	2746	2058	756	2190	1204
		1206	2211	1568	2785	1977	753	1803	1216
120 L/m²		390	1045	131	1247	772	250	972	672
		407	995	114	1324	845	363	1082	659
DAfStb		Zeit in Tagen							
		1	3	7	16	32	56	-	-
		1261	1308	1348	1527	1775	1496	-	-
		1683	1249	1373	1533	1703	427	-	-
NEN 7375		Zeit in Tagen							
		0,25	1	2,25	4	9	16	36	64
		590	989	392	1162	1149	1207	1316	590
		875	1075	347	1183	1215	1162	1481	961