

Zur Auslaugung von Trinkwasserbehältern

Clarissa Glawe¹, Anja Tusch², Michael Raupach¹, Wolfgang Breit²

¹*Institut für Baustoffforschung Aachen (ibac),
RWTH Aachen University,
Schinkelstraße 3, 52062 Aachen, Germany*

²*Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern Landau
Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen
Gottlieb-Daimler-Straße Gebäude 60
67663 Kaiserslautern*

glawe@ibac.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Befinden sich mineralische Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser, kann es in seltenen Fällen durch Auslaugung zu Schädigungen im oberflächennahen Bereich kommen. Grund hierfür ist ein lösender Angriff, der auf dem Konzentrationsgefälle zwischen dem im Beton bzw. Mörtel vorliegenden, alkalischen Milieu und dem neutralen Trinkwasser basiert. Besonders weiche Trinkwasser können eine verstärkte Auslaugung mineralischer Beschichtungen in Trinkwasserbehältern verursachen, da die Ausbildung einer schützenden Schicht aus Calciumcarbonat gehemmt ist. Entsprechend gilt es die Hydrolysebeständigkeit von Instandsetzungsmörteln zur Anwendung im Trinkwasserbereich und der entsprechenden Expositionsklasse X_{TWB} zu charakterisieren. Dazu wurden im DVGW-Arbeitsblatt W 300:2014 bereits Einflussfaktoren definiert, jedoch konnten die Schädigungsmechanismen noch nicht auf die Abschätzung der Beständigkeit der Instandsetzungsmörtel in der Trinkwasserspeicherung übertragen werden. Vor allem ist dabei eine Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Interesse, die ebenfalls eine Prognose zum Schädigungsverlauf beinhalten soll.

Die Erarbeitung eines beschleunigten Prüfverfahrens zur Ableitung einer Lebensdauerprognose bezogen auf praxisnahe Nutzungszeiträume soll innerhalb eines durch den DVGW geförderten gemeinschaftlichen Forschungsprojektes des Instituts für Baustoffforschung der RWTH Aachen University und der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern Landau erfolgen. Innerhalb des Projekts werden verschiedene, mineralische Bindemittel variierenden auslaugenden Medien ausgesetzt und mithilfe klassischer sowie neuartiger Verfahren untersucht. Neben der optischen Beurteilung und der Bestimmung des Masserverlusts finden Methoden wie die Computertomographie, Laserscan und einseitige Wasserstoffkernspinresonanz Anwendung. Eine Kombination der Methoden ermöglicht eine Quantifizierung der Schädigungsprozesse in Abhängigkeit vom Prüfmedium und gibt Ausblick auf eine mögliche Übertragbarkeit der unterschiedlichen Auslaugungsmechanismen. Es zeigt sich, dass mithilfe des beschleunigten Prüfverfahrens eine Auslaugung provoziert werden kann, bei der der Schädigungsverlauf stark in Abhängigkeit vom Prüfmedium steht.

Keywords: Trinkwasserspeicherung, Auslaugung, Hydrolysebeständigkeit, mineralische Werkstoffe

Abstract

If mineral materials are in contact with drinking water, in rare cases damage may occur in the near-surface area due to leaching. This is based on a solvent attack due to the concentration gradient between the alkaline concrete or mortar and the neutral drinking water. Particularly soft drinking water can cause increased leaching of mineral coatings in drinking water tanks, since the formation of a protective layer of calcium carbonate is inhibited. Accordingly, it is necessary to characterize the hydrolysis resistance of mortars for use in the drinking water sector and the corresponding exposure class X_{TWB} . For this purpose, influencing factors have already been defined in the DVGW standard W 300:2014, but the damage mechanisms could not yet be transferred to the estimation of the resistance of mortars in drinking water storage. Above all, an estimation of the durability is of interest, which should also include a prognosis of the damage progression.

The development of an accelerated test procedure for the derivation of a service life prognosis in relation to practical periods of use is to be carried out in a joint research project sponsored by the DVGW

and carried out by the Institute for Building Materials Research at RWTH Aachen University and the Rhineland-Palatinate Technical University Kaiserslautern Landau. Within the project, different mineral binders will be exposed to varying leaching media and investigated using classical as well as novel methods. Besides optical assessment and determination of mass loss, methods such as computed tomography, laser scanning and ^1H NMR are applied. In combination, the methods enable a quantification of the damage processes depending on the test medium, giving an outlook on a possible transferability of the different leaching mechanisms. It is shown that leaching can be provoked using the accelerated test method, in which the damage process is strongly dependent on the test medium.

Keywords: drinking water storage, leaching, hydrolysis resistance, mineral materials

1 Einleitung

In der Trinkwasserspeicherung werden mineralische Werkstoffe in Kontaktbereichen mit Trinkwasser verwendet, da Trinkwasser normalerweise keine Schäden an zementgebundenen Werkstoffen verursacht. Doch trotz jahrelanger positiver Erfahrungen treten in Trinkwasserbehältern gelegentlich Schäden an den mineralischen Oberflächen auf [1]. In den 90er Jahren wurden beispielsweise lokal begrenzte Erweichungen mit brauner Verfärbung beobachtet [2-5]. Untersuchungen haben gezeigt, dass dies mit einem erhöhten Wasserzementwert und damit verbundener Porosität zusammenhängt [5, 6]. Dazu kann eine deutliche Abnahme des Calciumhydroxidgehalts im Werkstoff auftreten, während der Calciumcarbonatgehalt zunimmt [4]. Grund dafür ist ein lösender Angriff, der durch sehr weiche Wasser in direktem Kontakt mit mineralischen Oberflächen ausgelöst werden kann. Aufgrund des Konzentrationsgefälles zwischen Trinkwasser und der hochalkalischen Porenlösung des mineralischen Werkstoffs kommt es zu einer Auslaugung [7]. Ausgelöst wird diese durch das Bestreben, das Konzentrationsgefälle zwischen Werkstoff und Wasser auszugleichen, wobei Ionen aus der Porenlösung des mineralischen Werkstoffs in das umgebende Trinkwasser diffundieren. Folglich gehen immer mehr Ionen des Werkstoffs in Lösung, was auch als hydrolytische Korrosion bezeichnet wird. Diese geht vor allem mit der Lösung von Calciumionen aus dem Zementstein einher [7, 8], wodurch es bei fortschreitender Korrosion zum Verlust der Festigkeit kommen kann. Dem entgegen kann jedoch eine schützende, schwerlösliche Calciumcarbonatschicht wirken, die sich durch die Reaktion der Calcium-Ionen mit den Carbonat-Ionen im Wasser auf der Werkstoffoberfläche bildet und den Auslaugungsprozess verlangsamt [6]. Im Falle von sehr weichem Wasser wird die Bildung der schützenden Carbonatschicht jedoch gehemmt. Gleiches gilt für Mischwässer, die u.a. kalklösende Kohlensäure enthalten können, wodurch es zu einer erhöhten Schädigung mineralischer Werkstoffe kommen kann.

Ein lösender Angriff kann darüber hinaus durch Säuren bzw. sauer reagierende Lösungen ausgelöst werden. Die treibende Kraft stellt dabei die Reaktion der in der Säure vorhandenen Ionen und die im Werkstoff vorhandenen Phasen dar. Als Produkt können im Vergleich zum ursprünglichen Werkstoff sowohl schwerer- als auch leichter lösliche Phasen entstehen, wodurch der Angriff beeinflusst wird. Insgesamt zeigt sich die Lösung des Zementsteins als ein komplexer Vorgang, bei dem verschiedene Reaktionen neben- und nacheinander ablaufen [8]. Stand der Forschung ist in diesem Zusammenhang das kinetische Schädigungsmodell nach Gerlach, in dem drei Stadien beim lösenden Angriff unterschieden werden: 1) reaktionskontrolliert, 2) diffusionskontrollierter Prozess mit wachsender Reaktionsschicht, 3) diffusionskontrollierter Prozess mit konstanter Reaktionsschicht.

In Abbildung 1 wird das Stadium 1 durch die lösende Reaktion von Calciumionen aus dem Werkstoff beschrieben, welche in Stadium 2 zu einer Reaktionsschicht heranwachsen. Die entstehende diffusionsgesteuerte Reaktion geht im Stadium 3 dazu über, dass die Dicke der Reaktionsschicht konstant bleibt während die Reaktionsfront weiter in Richtung Probeninneres wandert [8].

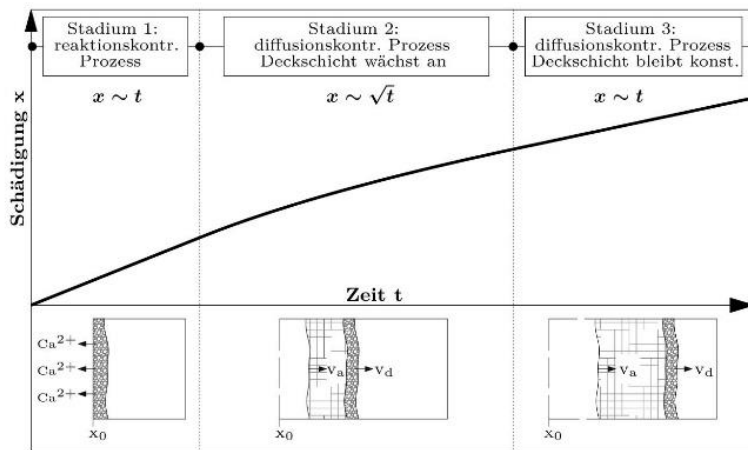


Abbildung 1: Schädigungsmodell nach Gerlach [8].

Neben den Werkstoffeigenschaften haben auch die Umgebungsbedingungen, sprich die Zusammensetzung des auslaugenden Mediums, einen Einfluss auf den Schädigungsverlauf. Zur Bestimmung des Widerstandes mineralischer Werkstoffe gegen den Angriff durch Säuren wurden bereits verschiedene Prüfverfahren entwickelt, wie beispielsweise von Gerlach [8] oder Breit [9]. Eine Zusammenstellung verschiedener Verfahren findet sich z. B. in [10]. Bisher wurde jedoch keines der Prüfverfahren zur Prüfung der Beständigkeit mineralischer Werkstoffe gegenüber hydrolytischer Korrosion standardisiert.

Das vorgestellte DVGW-geförderte Projekt "TWB-Check" hat zum Ziel, ein Verfahren zur Bestimmung der Hydrolysebeständigkeit von mineralischen Beschichtungen zu entwickeln und idealerweise Schäden über die Lebensdauer eines Trinkwasserspeichers von ca. 50 Jahren vorherzusagen. Am Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der RPTU und dem Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen wird nach einem Verfahren gesucht, bei dem eine zu entwickelnde Prüflösung einen realitätsnahen und gleichzeitig beschleunigten Angriff simuliert und innerhalb eines Prüfzeitraums von < 28 Tagen aussagekräftige Ergebnisse liefert.

2 Materialien und Methoden

2.1 Proben

In insgesamt drei Versuchreihen wurden fünf verschiedene Mörtelzusammensetzungen bezüglich der Beständigkeit gegenüber hydrolytischer Korrosion untersucht. Diese unterschieden sich sowohl hinsichtlich des Wasserzementwertes (w/z-Wert) als auch des Bindemittels. Eine Übersicht der untersuchten Bindemittel ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Mörtelrezepturen

Rezeptur-Nr.	Bindemittel	w/z-Wert	Zusatzstoff
1	CEM I 42,5	0,50	-
2		0,63	
3		0,30	
4	CEM III	0,50	Mikrosilika
5	CEM I 42,5	0,50	

Mit den Mörteln wurden prismatische Proben (40 x 40 x 160 mm) hergestellt, die für die geplanten Untersuchungen angepasst werden mussten. Dazu wurden 1 cm dicke PVC-Platten als Referenzmessenebene an den Stirnseiten der Prismen ergänzt (vgl. Abbildung 2). Es wurden die beiden Platten mithilfe einer Gewindestange aus Edelstahl verbunden und im Mörtel eingebettet, so dass sie fest verankert wurden.

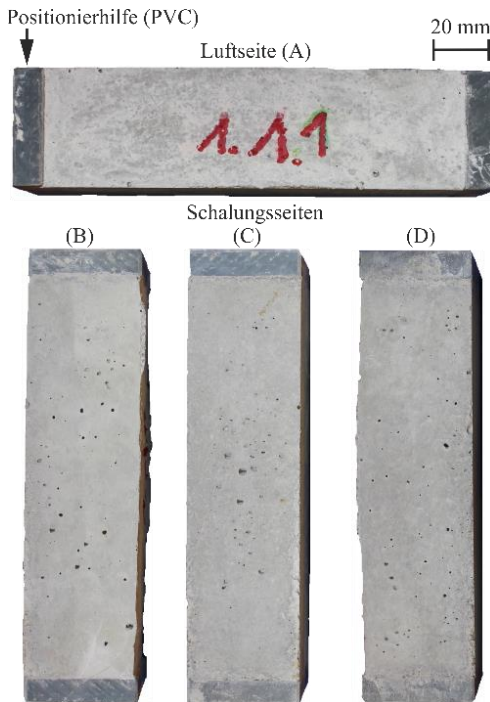


Abbildung 2: Exemplarische Darstellung der verwendeten Mörtelprismen inkl. Positionierhilfen aus Kunststoff.

Nach der Herstellung wurden die Mörtelprismen mindestens 28 Tage bis zur Massekonstanz unter Leitungswasser gelagert, bevor sie mit den Prüfmedien in Kontakt gebracht wurden. Durch die Vorlagerung wurde im Hinblick auf die Erfassung der Masseänderung ein Referenzzustand erreicht, auf den sich im Folgenden bezogen werden konnte.

Da die Proben überwiegend eine ungleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit der Luftseite infolge der Herstellung zeigten, wurde für die prüfseitenbezogenen Untersuchungen die Schalungsseite B als Prüfseite festgelegt.

2.2 Versuchsablauf

Die Untersuchungen wurden an den beiden Forschungsstellen Kaiserslautern und Aachen durchgeführt. An beiden Standorten wurde eine speziell angefertigte Versuchsanlage verwendet, in der die Proben in ihrem jeweiligen Prüfmedium gelagert wurden, während das Prüfmedium ständig bewegt wird. Weiterhin sind Zu- und Abläufe der Anlage zum Teil automatisiert, so dass zu festgelegten Zeitpunkten ein vollautomatischer Wechsel des Prüfmediums stattfinden konnte.

Im Versuch wurden insgesamt sieben verschiedene Lösungen als Prüfmedien mit unterschiedlichen Zusammensetzungen und pH-Werten verwendet. Eine Auflistung der verwendeten Prüfmedien findet sich in Tabelle 2. Am Forschungsstandort Kaiserslautern wurden saure Lösungen untersucht während am Standort Aachen Leitungswasser in Trinkwasserqualität als Prüfmedium diente. Demineralisiertes Wasser wurde von beiden Forschungsstellen als Prüfmedium zur Referenzmessung und gegenseitigem Abgleich verwendet. Die beiden Medien, demineralisiertes Wasser und Leitungswasser, konnten in der vollautomatisierten Anlage zu- und abgeführt werden, so dass ein regelmäßiger Wechsel der vollständigen Lösung möglich war. Das Intervall, in dem das Wasser gewechselt wurde, variierte zwischen 8, 12 und 24 Stunden. Bei den Prüfmedien 3 bis 7 konnte aufgrund der Aggressivität der Lösungen der vollautomatische Betrieb der Anlage nicht genutzt werden. Diese wurden jeweils alle 7 bis 14 Tage manuell ausgetauscht. Dabei wurde nach dem sogenannten pH-stat-Verfahren vorgegangen, bei dem der pH-Wert der verwendeten Lösung möglichst konstant gehalten wird. Um dies zu ermöglichen, wurden Pufferlösungen verwendet, die auf den entsprechenden pH-Wert eingestellt wurden.

Zu festgelegten Zeitpunkten wurden die Proben aus der Lösung genommen, abgespült und gebürstet und im Folgenden mit verschiedenen Prüfverfahren untersucht und die optischen Veränderungen mittels Fotografie dokumentiert. Als Prüfverfahren wurden die Computertomografie (μ -CT), einseitige ^1H NMR und eine Massenbestimmung durchgeführt.

Tabelle 2: Übersicht der Verwendeten Prüflösungen

Nr.	Prüfmedium	pH-Wert
1	Demineralisiertes Wasser	7,0
2	Leitungswasser (Trinkwasserqualität)	8,4
3	$\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{Na}_2\text{HPO}_4$	6,0
4	Natriumcitrat/ NaOH	5,5
5	Essigsäure ¹⁾ /Natriumacetat	5,0
6	Essigsäure ²⁾ /Natriumacetat	4,5
7	HCl /Natriumcitrat	4,0

¹⁾c = 0,015 mol/l

²⁾c = 0,03 mol/l

3 Ergebnisse

3.1 Optische Veränderung

Um oberflächliche Veränderungen in Abhängigkeit von der Prüfdauer zu dokumentieren, wurden die Proben im 7-Tage-Rhythmus fotografiert. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurden die Proben vor dem Fotografieren jeweils für eine festgelegte Dauer von 15 Minuten an der Luft getrocknet, um die Veränderungen der Probenoberfläche erkennbar zu machen. Damit wurde der Trocknungszeitraum so kurz wie möglich gewählt, sodass die Proben bis zur erneuten Einlagerung in den Versuchsstand möglichst feucht blieben.

Abbildung 3 zeigt die oberflächlichen Veränderungen der fünf Bindemittel als Folge der Auslaugung in demineralisiertem Wasser, Leitungswasser und Essigsäure. Dabei ist bei der Auslaugung der CEM I Zemente ohne Zusatzstoff ein deutlicher Unterschied zwischen der Auslaugung in den verschiedenen Prüfmedien zu erkennen. Die Auslaugung in Leitungswasser bewirkt kaum eine Veränderung der Werkstoffoberfläche innerhalb der Prüfdauer von 28 Tagen bei einem Wasserwechselintervall von 24 Stunden. Dem gegenüber resultiert die Lagerung in demineralisiertem Wasser bei gleichem Wasserwechselintervall in einem Abtrag der oberflächlichen Zementschicht, was zu einer Freilegung der Gesteinskörnung führt. Durch die Zugabe von Mikrosilika verändert sich die Auslaugungsreaktion dahingehend, dass es zwar zu einer optischen Veränderung der Oberfläche kommt, diese jedoch nicht mit einer Freilegung der Gesteinskörnung einhergeht.

Die Auslaugung des CEM III Zements zeigt sowohl im demineralisierten Wasser, aber auch im Leitungswasser eine sichtbare Auslaugung des oberflächennahen Bereichs. Hier wurde ein Wasserwechselintervall von 8 Stunden verwendet, um einen verstärkten Auslaugungsprozess zu provozieren. Im Vergleich zu den anderen Bindemitteln fällt auf, dass auch im weniger aggressiven Leitungswasser eine Schädigung auftritt, die der Auslaugung in demineralisiertem Wasser ähnelt.

Die Auslaugung in Essigsäure bewirkt bei allen geprüften Bindemitteln eine optisch ähnliche Schädigung. Die Gesteinskörnung wurde vollständig freigelegt und oberflächennahe Poren wurden stark ausgespült.

Prüfmedium	Auslaugungsdauer in Tagen	CEMI 42,5 R (w/z=0,5)	CEMI 42,5 R (w/z=0,63)	CEMI 42,5 R (w/z=0,3)	CEMIII (w/z=0,5)	CEMI 42,5 R + Mikrosilika (w/z=0,5)
Demineralisiertes Wasser	0					
	28					
Leitungswasser	0					
	28					
Essigsäure pH=5	0					
	28					

Abbildung 3: Gegenüberstellung der Auslaugung der verschiedenen Bindemittel in demineralisiertem Wasser und Leitungswasser

3.2 Abtrag und Volumenverlust

Der zeitliche Verlauf der Massenverluste während der Auslaugung korreliert mit den optischen Veränderungen der Proben. Dabei geht die optisch stärkste Veränderung durch eine Auslaugung in Essigsäure mit dem höchsten Abtrag einher (vgl. Abbildung 6). Der Abtrag in Essigsäure zeigt einen annähernd linearen Verlauf, während der Abtrag in Leitungswasser (vgl. Abbildung 5) annähernd konstant. Bei der Auslaugung in Leitungswasser kann sowohl optisch als auch anhand der Masseänderung kein eindeutiger Abtrag abgeleitet werden. Dem gegenüber steht die Auslaugung in sehr weichem, demineralisiertem Wasser, die in Form des Abtrags in Abbildung 4 dargestellt ist. Hier zeigt sich ein annähernd linearer Abtrag bei fortschreitender Auslaugungsdauer. Trotz des annähernd linearen Verlaufs in demineralisiertem Wasser und Essigsäure, unterscheiden sich die Schädigungen in den verschiedenen Prüfmedien deutlich.

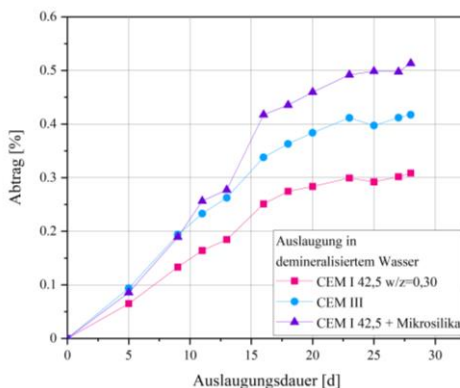


Abbildung 4: Prozentualer Abtrag bei der Auslaugung in demineralisiertem Wasser und einem Wasserwechselintervall von 8 Stunden

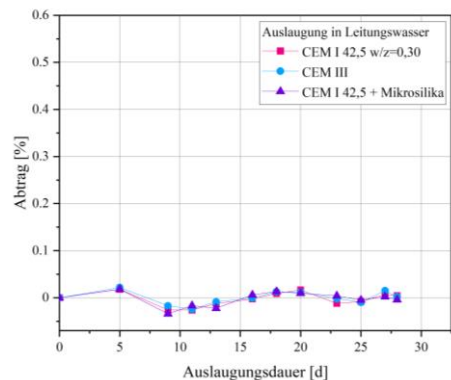


Abbildung 5: Prozentualer Abtrag bei der Auslaugung in Leitungswasser und einem Wasserwechselintervall von 8 Stunden

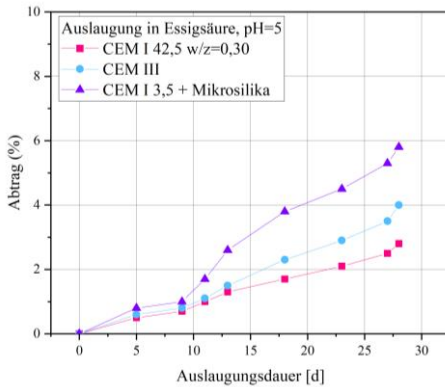


Abbildung 6: Prozentualer Abtrag bei der Auslaugung in Essigsäure

Aufschluss darüber geben die CT-Aufnahmen, welche einen deutlichen Dichtegradienten bei der Auslaugung in demineralisiertem Wasser und in Essigsäure zeigen. Im Falle der Essigsäure kommt es neben auslaugenden Effekten bereits zum Abtrag im oberflächennahen Bereich. Anhand der CT-Untersuchungen lässt sich jedoch auch eine Schädigungsfront erkennen, welche im Inneren der Probe in Richtung Probenkern wandert. Die Proben weisen in diesem Bereich eine deutlich poröse Struktur auf, die bei Essigsäure als Prüfmedium deutlich ausgeprägter war, als bei demineralisiertes Wasser (vgl. Abbildung 7).

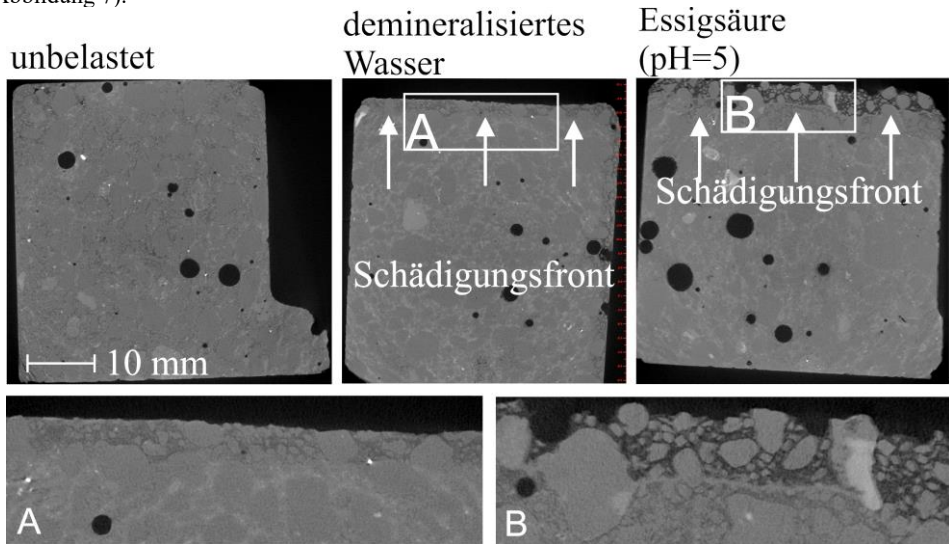


Abbildung 7: Exemplarische CT Aufnahmen der CEM I Proben (w/z-Wert=) nach der Auslaugung in verschiedenen Prüfmedien

Im ersten Ansatz könnte also auf einen linearen Zusammenhang des pH-Wertes und dem Schädigungsprozess geschlossen werden. Zur Überprüfung wurden die Abtragsraten als Funktion des pH-Wertes des Prüfmediums aufgetragen (vgl. Abbildung 8). Eine Linearität des Abtrags und des pH-Wertes lässt sich bei den vorliegenden Prüfmedien jedoch nicht feststellen, vielmehr scheinen die Begleitungen im jeweiligen Prüfmedium ausschlaggebend für den Schädigungsverlauf zu sein. So hat sich in der Phosphatpufferlösung trotz des schwach sauren pH-Werts kein Abtrag gezeigt. Es hat sich vielmehr eine schwerlösliche Schicht an der Probenoberfläche gebildet, die offenbar ähnlich wie die Calciumcarbonatschicht die Auslaugung hemmt.

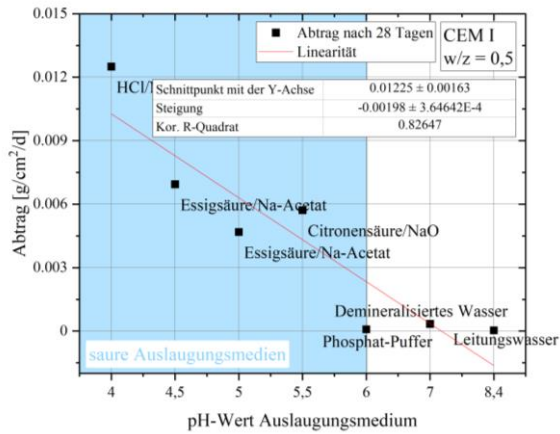


Abbildung 8: Diagramm zur Überprüfung des linearen Zusammenhangs zwischen Abtragsrate und pH-Wert des Prüfmediums

4 Porositätsveränderung im oberflächennahen Bereich

Mithilfe der einseitigen $^1\text{H-NMR}$ wurde die Porositätsveränderung im oberflächennahen Bereich infolge der Auslaugung untersucht. Abbildung 9 zeigt dazu die mittels NMR gemessene Porosität Φ_{NMR} vor und nach der Auslaugung einer CEM I Probe in demineralisiertem Wasser.

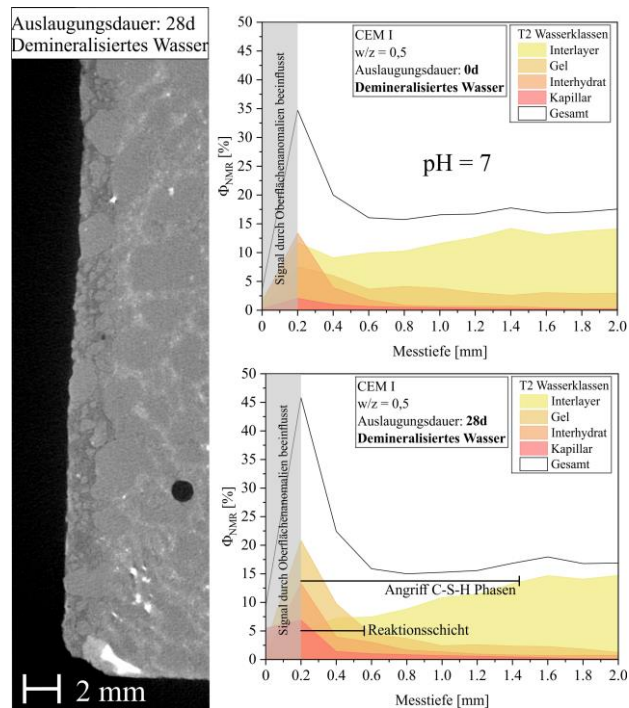


Abbildung 9: Korrelation der CT-Messungen (links) und der NMR-Messungen zur Porosität (rechts).

Zur Korrelation der ermittelten Änderungen ist eine CT-Aufnahme einer Probe von gleicher Rezeptur aufgeführt, welche ebenfalls in demineralisiertem Wasser ausgelaugt wurde. Anhand der CT-Aufnahmen kann die veränderte Struktur, wie sie mit der NMR gemessen wurde, bestätigt werden. Auf Grundlage der NMR Messungen zeigt sich 1.) eine veränderte Struktur bis zu einer Tiefe von ca. 1,5 mm, die mit einem Angriff der C-S-H Phasen einhergeht und 2.) eine Vergrößerung der Probenstruktur bis zu einer Tiefe von ca. 0,6 mm. Eine Unterscheidung dieser beiden Veränderungen kann anhand der CT-Aufnahmen nicht vorgenommen werden, was jedoch mit der Auflösung der Aufnahmen zu begründen ist. Eine erhöhte Auflösung kann mit der Messung kleinerer Proben erzielt werden, wodurch die direkte Korrelation des geschädigten Bereiches mit den Porositätsuntersuchungen mittels NMR möglich ist.

5 Berechnungsansatz zur Lebensdauerprognose

Neben der Übertragbarkeit der Schädigung in verschiedenen Prüfmedien soll auch die Möglichkeit einer Lebensdauerprognose auf Grundlage eines verkürzten Prüfzeitraums untersucht werden. Dazu wurden die ermittelten Abtragsraten in demineralisiertem Wasser verwendet, um eine Prognoseberechnung für den Fall einer realistischen Nutzungsdauer eines Trinkwasserbehälters von 50 Jahren durchzuführen. In Abbildung 9 wird deutlich, dass eine Prognose basierend auf den bisher ermittelten Abtragsraten unter Annahme eines linearen Abtrags bereits nach 12,5 Jahren zu einer vollständigen Auflösung der Proben führen würde.

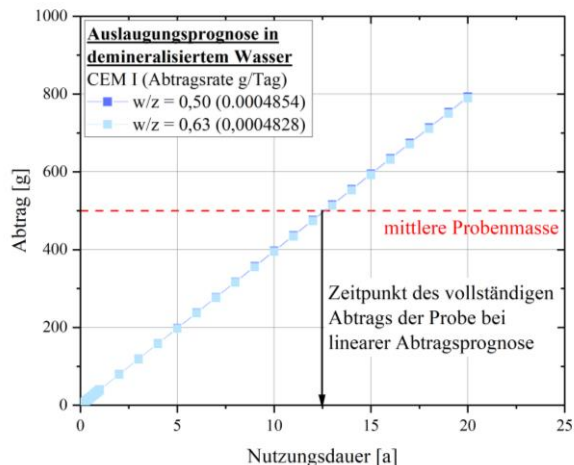


Abbildung 10: Lebensdauerprognose auf Grundlage der Abtragsraten in demineralisiertem Wasser und einem Wasserwechselintervall von 24 Stunden bei einer Prüfdauer von 28 Tagen

Zu begründen ist dies damit, dass ein rein linearer Abtrag nicht den Realfall, wie er in einem Trinkwasserbehälter vorliegt, abbildet. Entsprechend dem Modell nach Gerlach kommt es im Anschluss an den linearen Abtrag zu einer verlangsamten Schädigung durch die Entstehung einer schützenden Carbonatschicht auf der Materialoberfläche mineralischer Werkstoffe und eine sich verbreiternde Reaktionsschicht, die zu verlängerten Transportwegen der Reaktionspartner führt. Darüber hinaus führt die Auslaugung in demineralisiertem Wasser zu einem im Vergleich zu Leitungswasser erhöhten Angriff, was durch das stärkere Konzentrationsgefälle zwischen Prüfmedium und Werkstoff hervorgerufen wird.

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Mithilfe des Prüfverfahrens zur Untersuchung der Auslaugung mineralischer Werkstoffe in verschiedenen aggressiven Prüfmedien konnte eine Auslaugung der geprüften Materialien erreicht werden. Die Auslaugung in den verschiedenen Prüfmedien führt zur Entwicklung unterschiedlicher Schädigungsvorgänge. Diese sind auf Grundlage der erhobenen Daten nicht nur von dem pH-Wert, sondern auch von der Zusammensetzung des Prüfmediums abhängig.

Interessant ist vor allem, dass es im Falle des Phosphatpuffers und des Leitungswassers zu einer ähnlichen Abtragsrate kommt, obwohl sich der pH-Wert der beiden Medien stark unterscheidet.

Ein erster Ansatz für eine Lebensdauerprognose auf Grundlage der vorgestellten Daten resultiert in einer unrealistisch kurzen Nutzungsdauer eines Trinkwasserbehälters. Der Schädigungsprozess wie er im genannten Anwendungsfall vorliegt, folgt entsprechend einem komplexeren Verlauf, als er hier zunächst in Form einer linear verlaufenden Schädigung angenommen wurde.

Um eine realistische Nachbildung des Auslaugungsprozesses mineralischer Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser zu ermöglichen, gilt es, das Prüfverfahren noch weiter anzupassen. Es ist davon auszugehen, dass der gewählte Prüfzeitraum erweitert oder das Wasserwechselintervall noch weiter verkürzt werden muss, um alle Stadien der Schädigung nach Gerlach abzubilden.

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Schädigungsprozesse zwischen den verschiedenen sauren Prüfmedien sollten die einzelnen Schädigungsverläufe genauer untersucht und die Unterschiede zur Auslaugung in Trinkwasser herausgestellt werden. Dazu sollte die Untersuchung der sich infolge der Auslaugung bildenden Carbonatschicht priorisiert werden.

7 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) für die Förderung und Unterstützung des Forschungsprojektes sowie den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die wertvollen Hinweise und anregenden Diskussionen.

8 Quellen

- [1] *Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW):* Arbeitsblatt W 347:2006-05 Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung. (2006).
- [2] *Schwotzer M.:* Zur Wechselwirkung zementgebundener Werkstoffe mit Wässern unterschiedlicher Zusammensetzung am Beispiel von Trinkwasserbehälterbeschichtungen. (2008) Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- [3] *Brueckner R.; Atkins C. P.; Lambert P.:* Schäden an Wasserbehältern aus Beton nach EN 206. *Beton- und Stahlbetonbau* 110 (2015), S. 50-57. <https://doi.org/10.1002/best.201500504>.
- [4] *Gerdes A.; Wittmann F.:* Langzeitverhalten von zementgebundenen Beschichtungen in Trinkwasserbehältern. 6th International Conference on Materials Science and Restoration (2003), S. 1-14.
- [5] *Boos P.:* Herstellung dauerhafter zementgebundener Oberflächen im Trinkwasserbereich-Korrosionsanalyse und technische Grundanforderungen. (2003) Universität Münster.
- [6] *Boos P.; Breit W.:* Hydrolysebeständigkeit und Dauerhaftigkeitsprognosen für zementgebundene Auskleidungen in Trinkwasserbehältern. (2010) *Betonbauwerke in der Trinkwasserspeicherung*,
- [7] *Merkel M.:* Realkalisierungspotenzial von zementgebundenen Werkstoffen im Trinkwasserbereich. (2021) Technische Universität Kaiserslautern, Bauingenieurwesen, Kaiserslautern
- [8] *Gerlach J.:* Ein performance-basiertes Konzept zur Dauerhaftigkeitsbemessung chemisch beanspruchter Betonbauteile. (2017) Hannover: Leibniz Universität Hannover, Institut für Baustoffe.
- [9] *Breit W.:* Verbesserung des Säurewiderstands von Beton. *Beton + und Fertigteil Jahrbuch* (2003), S. 246-255.
- [10] *Siebert B.:* Chemischer Angriff auf Beton-Prüfverfahren zur Bewertung des Säurewiderstands von Beton. (2017) Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein eV.