

# Wassertransport im Zementstein beim Trocknen, Schneiden und Brechen - Untersuchungen mit LA-ICP-MS

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 44 (2019)

Martin Behringer, Marco Decker, M.Sc., Dr. rer. nat. Harald Hilbig, Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz  
Arbeitsgruppe 4: Chemie

## 1 Einleitung

Bauwerke müssen häufig auf mögliche Schäden durch eindringende Salze untersucht werden. Eine mögliche Untersuchungsmethode ist die Laserablation mit induktiv gekoppeltem Massenspektrometer (LA-ICP-MS). Wird ein frisch gesägter Probekörper, beispielsweise ein Bohrkern untersucht, findet an dessen Oberfläche ein Trocknungsprozess statt. Infolge dieses Trocknungsprozesses gelangen in der Porenlösung gelöste Salze durch Huckepacktransport an die Oberfläche und lagern sich dort ab [1]. Um bestimmen zu können, wie dick diese beeinflusste Zone ist, wurde eine schichtweise Untersuchung mit LA-ICP-MS durchgeführt. Dabei wurden wiederholt Schichten mit einer Dicke von ca. 3-5  $\mu\text{m}$  abgetragen. Die daraus ermittelte Schichtdicke, welche vor einer Untersuchung vom Probenkörper abgetragen werden muss (Preablation), in Abhängigkeit von verschiedenen Präparationsmethoden, wird in dieser Arbeit dargestellt.

## 2 LA-ICP-MS an Zementstein

Bei der Laserablation wird ein gepulster Photonenstrahl auf die Oberfläche des Zementsteins gesendet. Das dadurch verdampfte Material wird in einem Heliumstrom in das ICP-MS transportiert, in dem dieses Aerosol ionisiert, die Ionen auf Grund ihrer unterschiedlichen Masse getrennt und quantifiziert werden [2]. Die gemessenen Elemente können in zwei Gruppen gegliedert werden: Strukturelemente des Zementsteins (Calcium, Silicium, Aluminium) und Porenwasser-elemente/Salze (Natrium, Kalium). Es wurden stets 15 Schichten nacheinander ablatiert, was einer Tiefe von ca. 30 – 35  $\mu\text{m}$  entspricht. Alle Experimente wurden an Zementsteinprobenkörpern durchgeführt.

## 3 Bearbeitung der Proben

Die hier untersuchten Proben können in 3 Gruppen eingeteilt werden: Bruchstücke, Presslinge und gesägte Prismen jeweils aus CEM I 42,5 R mit w/z-Werten von 0,4 und 0,25; 90 Tage alt. Diese wurden wiederum einen Tag entweder bei Raumtemperatur, bei 40 °C unter Vakuum oder bei 105 °C im Trockenschrank gelagert. Dabei

verloren die Proben unterschiedlich viel Porenwasser. Eine nachträgliche, weitergehende Trocknung bei 105 °C bis zur Massenkonstanz ergab folgende Restfeuchten:

Tabelle 1: Restfeuchten bei versch. Trocknungsarten

Probe	Art der Trocknung	Restfeuchte [M.-%]
w/z=0,4; Pressling, 10 t	Luftgetrocknet	10,87 %
	40 ° C Vakuum	8,97 %
	105 ° C	4,71 %

Die Tabelle zeigt, dass die erste Trocknung zu jeweils unterschiedlichen Restfeuchten führten und die 24 h bei 105 °C getrocknete Probe die geringste Restfeuchte aufwies.

## 4 Auswertung und Interpretation

Die folgenden Diagramme zeigen die tiefenabhängigen Intensitäten eines im Porenwasser vorhandenen Elements (hier Natrium) im Vergleich zu einem im Feststoff Zementstein enthaltenen Element (hier Silicium). Dabei ist zu sehen, dass sich die Elemente bei allen drei Vortrocknungsarten nach einem anfänglichen, unterschiedlich starken Abfall, auf einem bestimmten Gleichgewichtswert einpendeln. Die für verschiedene Experimente erzielten Ergebnisse haben gezeigt, dass die Presskraft, mit der die Presslinge hergestellt werden, keinen Einfluss auf das Verhältnis von Na/Si hat. Wie in Abb.1 zu sehen, hat auch die nachträgliche Trocknung (105°C TS/ 40 °C Vak) keinen Einfluss auf die Höhe der Oberflächenanreicherung.

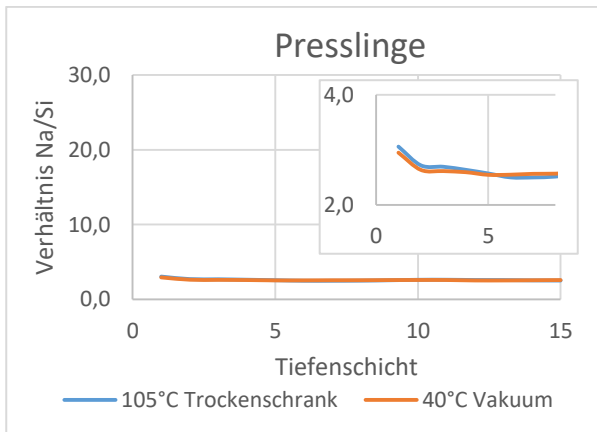


Abbildung 1: Presslinge 20t - Verhältnis Na/Si

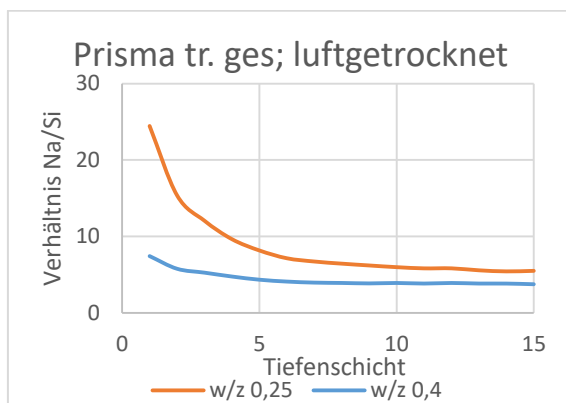


Abbildung 2: Prismen Trocken gesägt luftgetrocknet - Verhältnis Na/Si

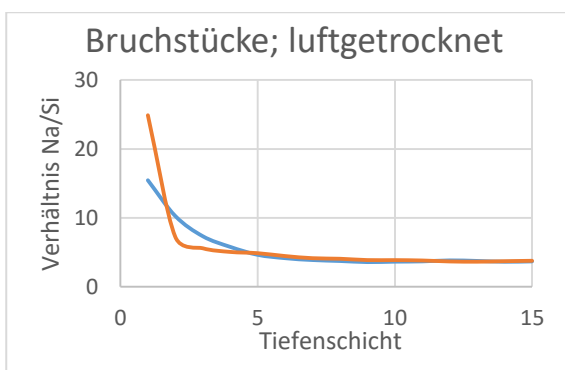


Abbildung 3: Bruchstücke luftgetrocknet - Verhältnis Na/Si

Bei den gesägten Prismen und Bruchstücken zeigen die Probekörper der zwei gewählten w/z Werte eine stärkere Aufkonzentrierung von Salzen an der Oberfläche, die sich allerdings speziell im Falle des luftgetrockneten Bruchstücks sehr schnell auf den Gleichgewichtswert einpendelt. Bei den anderen Proben verläuft die Anrei-

cherung ungefähr bis zur 7. Tiefenlage. Tendenziell fällt bei den niedrigeren w/z-Werten (w/z 0,25) die Salzanreicherung stärker aus, fällt aber auch schneller wieder auf den Gleichgewichtswert ab.

## 5 Zusammenfassung

Salzanreicherungen im Oberflächenbereich treten bei allen untersuchten Proben als Präparationseffekt durch die Vortrocknung auf. Signifikante Unterschiede in der beeinflussten Schichtdicke sind nicht erkennbar, jedoch ist die Anreicherung bei Presslingen deutlich weniger stark. Dies kann am zerstörten Kapillarporennetzwerk liegen.

Die für eine unverfälschte Ermittlung von Elementprofilen zunächst abzutragende Schicht einer ausgewählten Serie von 3 Prismen kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 2: Preablation bei versch. Trocknungen

Probe	Art der Trocknung	Preablation [µm]
w/z=0,4; Prisma, nass gesägt	Luftgetrocknet	21,8
	40 ° C Vakuum	23,1
	105 ° C	17,9

Eine Preablation ist folglich immer nötig. Speziell bei niedrigen w/z-Werten fällt die Anreicherung sehr stark aus, da durch den niedrigeren Wasseranteil die Salzkonzentration im Porenwasser höher ist. Mit einem Oberflächenabtrag von ca. 20 µm kann unabhängig von Präparationsmethode und nachträglicher Trocknungsart eine konstante Verteilung von Porenwassererelementen im Zementstein gemessen werden.

## 6 Literatur

- [1] RUCKER, P., BEDDOE, R.E., SCHIEßL, P: "Wasser- und Salzhauhalt im Gefüge zementgebundener Baustoffe-Modellierung der auftretenden Mechanismen." Beton- und Stahlbetonbau, 2006. 101(6): p. 402-412.
- [2] RUSSO, R.E., ET AL., "Laser ablation in analytical chemistry—a review. Talanta, 2002. 57(3): p. 425-451

Die Ergebnisse entstanden im Rahmen der Bachelorarbeit von Martin Behringer.