

Angriff von Beton

Nachweis über stabile Isotope

Concrete Attack

Evidence from Stable Isotopes

Martin Dietzel, Dietmar Klammer, Florian Mittermayr



Martin Dietzel habilitierte an der Universität Göttingen im Fach Mineralogie und ist seit 2001 Professor für Mineralogie an der TU Graz. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die Mechanismen der Kristallisation und Auflösung von Mineralen und Gesteinen, Anwendung von Element- und Isotopenfraktionierungen und Modellierungskonzepten.

Martin Dietzel habilitated at the University of Göttingen in Mineralogy and has been professor of Mineralogy at Graz University of Technology since 2001. Focus of his research comprises mechanisms of crystallization and dissolution of minerals and rocks, application of elemental and isotopic fractionation, and modelling approaches.

Am Institut für Angewandte Geowissenschaften wird in grundlagenorientierten Forschungsprojekten und für konkrete Anwendungsgebiete der chemische Angriff von Beton durch Wechselwirkung mit Grund- und Oberflächenwässern untersucht. Diese Thematik stellt für die Betreiber vieler Bauwerke, z. B. Tunnelbauten und Drainagen, eine nahezu allgegenwärtige Herausforderung bezüglich Stabilität, Nachhaltigkeit und Kosten dar. Experimentelle Arbeiten und aktuelle Fallstudien unserer Arbeitsgruppe decken die Ursachen individueller Schädigungen auf. Moderne Methoden der Angewandten Mineralogie und Isotopengeochemie, wie sie in der Material- und Klimaforschung angewendet werden, kommen hierbei zum Einsatz. Ziel ist es, durch ein erweitertes Verständnis des schädigenden Prozessverlaufes zuverlässige Prognosen für bestehende Bauwerke zu geben und die Entwicklung von maßgeschneiderten und nachhaltigen Baustoffen voranzutreiben.

Schädigungen von Betonkonstruktionen durch chemischen Angriff sind oft mit enormen Kosten für Instandsetzung und Gegenmaßnahmen sowie mit erheblichem Gefährdungspotenzial verbunden. Die Art und der Umfang der Schädigung hängen einerseits von der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung des Betons und seiner Mikrostruktur ab. Andererseits steuern die chemische Zusammensetzung des angreifenden Wassers sowie die Wechselwirkung mit der Atmosphäre wesentlich den Reaktionsverlauf. Die Aufklärung der Ursachen einer Schädigung ist mit klassischen Techniken oft nicht möglich. In vielen Fällen können jedoch hochauflösende Materialcharakterisierungen und die Analyse geeigneter Isotopensignale detaillierte Auskunft über Herkunft der schädigenden Komponenten und der zugrundeliegenden Reaktionsmechanismen geben.

The Institute of Applied Geosciences is where fundamental research in the field of chemical attack from ground and surface water on concrete is carried out. Tunnel and drainage system operators are frequently dealing with issues in terms of stability, sustainability and costs. Experiments and case studies are used to discover the actual causes of concrete damage. State-of-the-art methods in the fields of Applied Mineralogy and Isotope Geochemistry – commonly used in material and climate science – are applied. The aim of the study is to gain an advanced understanding of deterioration mechanisms, to provide reliable predictions and to develop tailored and sustainable building materials.

Deterioration of concrete constructions by chemical attack is frequently associated with enormous maintenance charges and countermeasures as well as serious risk exposure. The type of damage is related to the chemical and mineralogical composition and microstructure of the concrete. Additionally the chemical content of the ambient water and gases strongly controls reaction paths. Classical techniques are mostly not able to decipher the causes of the damage. In this case detailed information on the origin of the attacking compounds and their respective reaction mechanisms can be provided by high-resolution analyses of solid material and isotopic distribution in all phases.

Sulphate attack by neoformation of minerals, like thaumasite, may cause deterioration of the microstructure of concrete and can lead to a collapse of the solid structure. In the case of thaumasite, deterioration is related to the transformation of the binding material which is responsible for the strength of the concrete. From crystallization experiments further insight into formation conditions are obtained. In case studies the locally occurring



Abb. 1/ Fig. 1

© Institut für Angewandte Geowissenschaften/Institute of Applied Geosciences

Der Sulfatgriff von Beton kann über die Neubildung von Mineralen, wie dem Thaumasit, eine Schädigung des Mikrogefüges bewirken und letztendlich zu einem kompletten Zerfall der festen Struktur führen. Im Fall des Thaumasits erfolgt dies durch die Umwandlung von Zementphasen, welchen der Beton seine eigentliche Festigkeit verdankt. Experimente zur Kristallisation von schädigenden Mineralen liefern wichtige Erkenntnisse über die Bildungsbedingungen. Fallstudien klären die lokalen Vorgaben ab und sollen das Auftreten und die Herkunft von Sulfat evaluieren. Letzteres wird erfolgreich über das Verhältnis der stabilen Isotope des Schwefels, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, im Sulfat erkannt. Ein ähnlicher Ansatz wird zur Aufklärung der Herkunft des Kohlenstoffs im Karbonat, welches zumeist in Form des Minerals Kalzit aus der Reaktion von Wässern mit Betonphasen gebildet wird, verwendet. In diesem Fall gibt das $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis im Kalzit an, ob der Kohlenstoff im Karbonat aus dem Grundwasser, der Auflösung von Zuschlägen oder der Absorption von atmosphärischem Kohlendioxid generiert wurde. Neben der mikrostrukturellen und -chemischen Untersuchung mittels Elektronenmikroskopie und Mikrosonde erweist sich in unseren neusten Arbeiten insbesondere die Analyse von Porenlösungen aus dem Beton als zielführend zur Aufdeckung von Reaktionsabläufen. Mithilfe einer Presse werden hierbei bei Drücken bis 2000 kN Porenlösungen aus geschädigtem Betonmaterial separiert. Anschlie-

environmental conditions and the origins of sulphate are evaluated. The latter are successfully discovered by using the stable isotope ratio of sulphur, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, in sulphate. A similar approach is used to decipher the origin of carbon in carbonate, which is mostly present as calcite and formed by the reaction of concrete and water. The $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of calcite permits distinction of potential carbon sources from groundwater, dissolution of aggregates and absorption of atmospheric carbon dioxide.

Besides micro-structural investigations using a scanning electron microscope and electron micro probe, the separation and analyses of interstitial solutions from damaged concrete is an effective way to evaluate reaction paths. The solutions are extracted from damaged material using a hydraulic press at pressures up to 2000kN and are subsequently analyzed for major and trace elements as well as their isotopic signatures. Isotope ratios of oxygen, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, and hydrogen, $^2\text{H}/^1\text{H}$, of the H_2O molecules indicate that extremely high chloride and sulphate concentrations are caused by evaporation, which is also documented by trace element accumulation. Interpretation of data obtained from the interstitial solution is supported by experiments and modelling approaches based on thermodynamic and kinetic databases.

Novel insights can be obtained by combining theoretical and applied science. Both approaches are currently being advanced at the Institute of



Dietmar Klammer habilitierte im Fach Mineralogie und ist seit 1998 Professor am Institut für Angewandte Geowissenschaften. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die grundlagen- und anwendungsorientierte physikalische, chemische und strukturelle Charakterisierung von anorganischen Materialien.

Dietmar Klammer habilitated in Mineralogy and has been professor at the Institute of Applied Geosciences since 1998. The focus of his research comprises physical, chemical and structural characterisation of natural and synthetic inorganic materials.

Abb. 1: Probennahme

Fig. 1: Sampling



Abb. 2/ Fig. 2 © Institut für Angewandte Geowissenschaften/Institute of Applied Geosciences



Florian Mittermayr studierte Petrologie an der Universität Innsbruck und ist Projektassistent am Institut für Angewandte Geowissenschaften. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Angewandten Mineralogie und Mikroanalytik.

Florian Mittermayr studied Petrology at the University of Innsbruck and is a research assistant at the Institute of Applied Geosciences. His research activities are applied mineralogy and micro analytics.

Abb. 2: Zerfall eines Betonsockels zu Brei durch die Bildung des Minerals Thaumassit.

Fig. 2: Destruction of a concrete foundation into mush by formation of the mineral thaumasite.

ßend erfolgt die Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente sowie der Isotopenverhältnisse. Das Verhältnis der stabilen Isotope des Sauerstoffs, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, und Wasserstoffs, $^2\text{H}/^1\text{H}$, in den H_2O -Molekülen zeigt eindrücklich, dass extrem hohe und für Beton äußerst schädliche Konzentrationen an Sulfat oder Chlorid oft über Verdunstungseffekte entstehen. Anreicherungen an Spurenelementen belegen dieses Verhalten, sodass der Akkumulationsgrad und die Reaktionsumsätze ermittelt werden können. Schlussfolgerungen bezüglich des Systems Porenlösung – Beton werden durch speziell designte Laborversuche und hydrochemische Modellierungskonzepte, im Wesentlichen basierend auf thermodynamischen und kinetischen Datensätzen, verifiziert und weiter entwickelt. Neuartige Erkenntnisse basieren wesentlich auf der Kopplung von grundlagenorientierten Forschungsergebnissen und konkreten Anwendungen in der Praxis. Beide Aspekte werden am Institut für Angewandte Geowissenschaften intensiv vorangetrieben und mündeten in aktuellen Großprojekten in Kooperation mit Forschungspartnern am Standort Graz (Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie, TU Graz, und Laborzentrum für Isotopenhydrologie und Umweltanalytik, Joanneum Research) sowie vielfältigen nationalen und internationalen Partnern. Vielversprechende Perspektiven ergeben sich durch die Kombination von Kenngrößen und der verstärkten Implementierung von Isotopensignalen der Elemente Ca, Mg und Sr.

Applied Geosciences, in cooperation with scientific partners in Graz (Institute of Technology and Testing of Building Materials, Graz University of Technology, and Laboratory Centre for Isotope Hydrology and Environmental analysis, Joanneum Research) and further national and international partners. Promising perspectives are arising for the implementation of additional isotopes of the elements Ca, Mg and Sr.



Abb. 3: Rasterelektronenmikroskopie von Thaumassitnadelchen (10.000-fache Vergrößerung).

Fig. 3: Scanning electron microscopy of thaumasite needles (10000x magnification).