

## Mikroskopische Untersuchungen an Beton

**Mikroskopische Untersuchungen an Betonproben sind für die Diagnose verschiedenster Schadenursachen oder zur Beurteilung der Betonqualität von grosser Bedeutung. In diesem TFB-Bulletin stellen wir einige spezifische Anwendungsgebiete vor, wo mikroskopische Untersuchungen erfolgreich eingesetzt werden können. Mit mikroskopischen Untersuchungen an Dünnschliffen ist es z.B. möglich, die Gründe zu ermitteln, weshalb ein Beton die erwartete 28-Tage-Druckfestigkeit nicht erreicht hat. Ein chemischer Angriff wie z.B. Sulfatangriff oder Alkali-Aggregat Reaktion (AAR) kann nur im Dünnschliff zuverlässig diagnostiziert werden.**

### 1 Methodik

Unter starker Vergrösserung werden feinste Strukturen und die verschiedenen Bestandteile im Betongefüge sichtbar. Risse und allfällige Reaktionsprodukte können genau untersucht werden. Möglich wird dies durch die Herstellung eines Dünnschliffs, einer auf einem Glasplättchen aufgeklebten und bis auf 30µm herunter geschliffenen Betonscheibe. Durch die geringe Dicke wird der Beton transparent (Abb. 1) und durch die vorgängige Imprägnation mit fluoreszierendem Epoxidharz treten unter UV-Licht alle Mikro- und Makroporen stark hervor. Mikrorisse, die sonst nicht sichtbar wären, können so untersucht werden. Mit einem speziellen Mikroskop - dem Polarisationsmikroskop - lassen sich die verschiedenen Bestandteile des Zementsteins, der Gesteinskörnung sowie Reaktionsprodukte identifizieren.

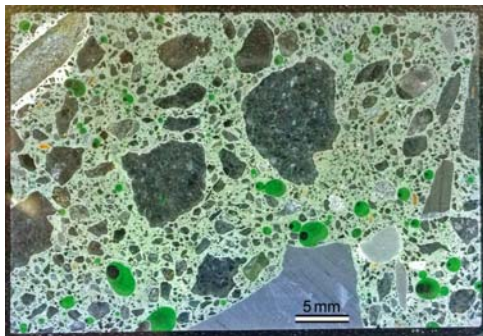


Abbildung 1: Dünnschliff von Beton mit Gesteinskörnung (dunkel-grau bis braun), Zementstein (helle Matrix) und Luftporen (grün durch fluoreszierendes Epoxidharz).

Die Matrix im Beton hat eine komplizierte Mikrostruktur. Sie setzt sich aus feinsten Gesteinskörnung (Mehlkorn), noch nicht vollständig hydratisierten Zementkörnern und deren Hydratationsprodukten, die dem Beton seine Festigkeit verleihen, zusammen. Unter dem Mikroskop lässt sich die Zementart und die verwendeten Zusatzstoffe identifizieren (z.B. Portlandzement, Flugasche, Hüttensand) und wie stark der Zement hydratisiert ist. Durch gewisse schädigende Prozesse im Beton wie chemische Angriffe oder AAR, aber auch durch äussere Einflüsse wie Feuer oder Frost werden neue Mineralphasen gebildet oder bestehende umgewandelt. Solche Neubildungen und Umwandlungen können unter dem Mikroskop leicht identifiziert und untersucht werden. Im Fall von Proben aus Brandfällen lässt sich sogar ein Temperatur-

profil erstellen. Die Identifikation des Schadensmechanismus und Information zur Schädigungstiefe sind für eine gezielte Instandsetzung von geschädigtem Beton unerlässlich. Die Mikroskopie kann dazu einen bedeutenden Beitrag leisten.

### 2 Betonqualität

Mittels einer mikroskopischen Analyse lässt sich ergründen, weshalb ein Beton z.B. die vorgesehene Druckfestigkeit nicht erreicht hat. Dies kann verschiedene Ursachen haben:

#### • Luftporengehalt

Mit zunehmendem Porenvolumen sinkt die Druckfestigkeit. Eine Zunahme des Porenvolumens von 1% kann zu einer Abnahme der Druckfestigkeit um 5-8% führen (siehe SN EN 13791). Der Luftporengehalt kann mit Dünnschliffen und digitaler Bildanalyse quantitativ abgeschätzt werden (Abb. 2).

#### • Zementgehalt und w/z-Wert

Mit digitaler Bildanalyse ist es oft auch möglich die Volumenanteile von Zementstein und Gesteinskörnung im Beton zu bestimmen (Abb. 2). Unter bestimmten Annahmen kann daraus der Zementgehalt und w/z-Wert berechnet werden.

#### • Qualität der Betonoberfläche

Probleme mit der Oberflächendruckfestigkeit durch Entmischungen, zu kurzer Nachbehandlung oder die Störung des Gefüges in der plastischen Phase, z.B. durch Setzungen oder Erschütterungen.

#### • Zementart, Gesteinskörnung

Eher seltenere Ursachen von zu geringer Festigkeit sind die Verwendung einer ungeeigneten Zementart oder Gesteinskörnung. Eine daraus entstandene Schwächung des Gefüges ist im Dünnschliff gut zu beobachten.

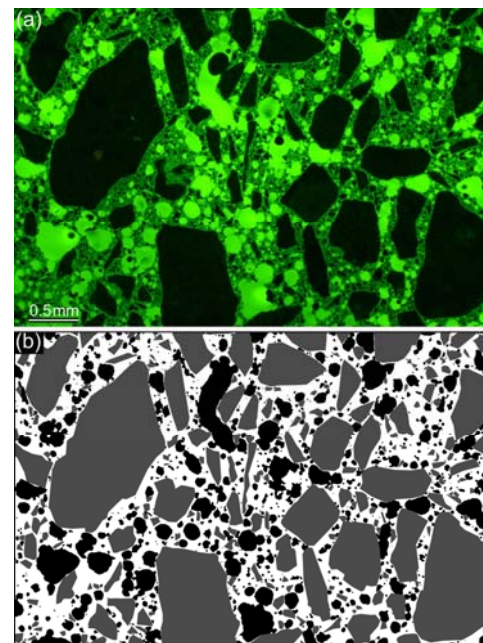


Abbildung 2: (a) Dünnschliff einer Mörtelprobe im UV-Licht. Bereiche mit grosser Porosität fluoreszieren grün (Luftporen), Bereiche mit geringer Porosität sind dunkel (Gesteinskörnung); (b) Digital bearbeitetes Bild für die Bestimmung von Zementgehalt (weiss) und Porosität (schwarz).

### 3 Chemischer Angriff

Je nach Umgebungsbedingungen kann Beton mit der Zeit durch verschiedene Prozesse geschädigt werden. Es gibt eine Reihe von Reaktionen zwischen dem Zementstein und meist von aussen eingetragenen Stoffen.

Bei einem Angriff durch sulfathaltiges Wasser entstehen grosse Mengen Ettringit, ein stark wasserhaltiges Mineral, dessen Bildung mit einer grossen Volumenzunahme einhergeht. Dadurch entsteht ein typisches Mikrorissbild mit Ablösungen um die Gesteinskörnung, wobei das Gefüge zerstört wird. Weitere Mineralien, welche durch sulfathaltiges Wasser entstehen können sind Gips (Abb. 3) und Thaumazit.

Saure Lösungen, aber auch weiches (kohlenensäurehaltiges) Wasser, greifen den Zementstein an und weichen die Oberfläche auf. Dabei kann die Oberfläche leicht erodiert werden und die Gesteinskörnung freigelegt werden.

Der weitaus häufigste chemische Angriff ist die Karbonatisierung. CO<sub>2</sub> aus der Luft reagiert mit dem Zementstein zu Kalk (Abb. 3). Grundsätzlich ist diese Reaktion für den Beton nicht problematisch, weil dabei dessen Eigenschaften sogar eher verbessert werden (Druckfestigkeit, Dichtigkeit). Problematisch ist die Karbonatisierung wegen der damit verbundenen pH-Wert-Absenkung für die Bewehrung, die in karbonatisiertem Zementstein nicht mehr vor Korrosion geschützt ist.

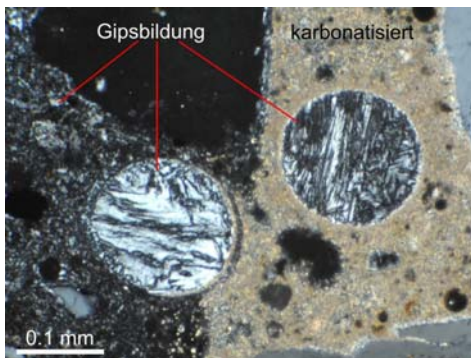


Abbildung 3: Biogener Sulfat-Angriff und Karbonatisierung von Beton: Starke Gipsbildung in Luftporen und im Zementstein in der Nähe der Betonoberfläche..

### 4 Alkali-Aggregat-Reaktion

Die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) ist eine Reaktion zwischen der basischen Porenlösung und der (quarzhaltigen) Gesteinskörnung.

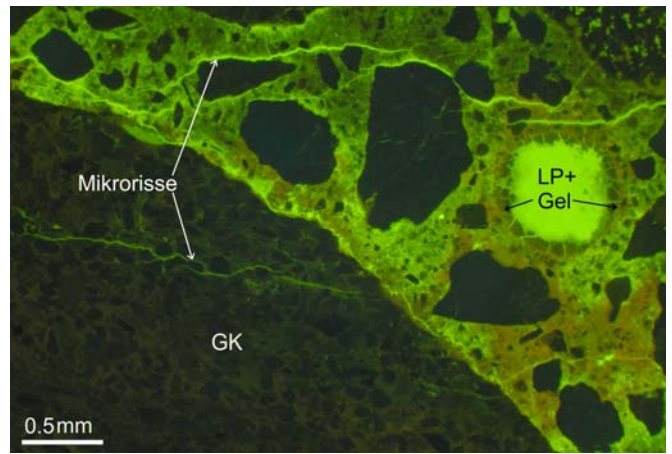


Abbildung 4: Typische Ausbildung einer AAR im Dünnschliff: GK = reaktives Gesteinskorn; LP = Luftpore mit AAR-Silikagel; Mikroriss im Gesteinskorn und Matrix.

Es bildet sich dabei in den reaktiven Gesteinskörnern ein Silikagel das durch Wasseraufnahme quillt und demzufolge Mikrorisse ausbildet (Abb. 4). Expandierende Gesteinskörner führen zu expandierendem Beton und zu einem charakteristischen Rissnetz.

AAR ist ein häufiges Problem älterer Betone in der Schweiz und kann die Dauerhaftigkeit stark beeinträchtigen. Durch die Ausbildung eines Rissnetzes im gesamten Bauteilquerschnitt nehmen Zug- und Druckfestigkeit sowie E-Modul ab und Schadstoffe (z.B. Tausalze) können einfacher in den Beton eintreten. Häufig sind es deshalb kombinierte Schäden aus AAR, Frost und Bewehrungskorrosion.

Mikroskopische Untersuchungen an Dünnschliffen ermöglichen eine sichere Diagnose von AAR in Bauwerken. Es kann nachgewiesen werden, ob eine AAR stattfindet und wie weit die Reaktion fortgeschritten ist. In einer mikroskopischen Untersuchung für AAR werden die Anzahl der von AAR betroffenen Gesteinskörner sowie die Menge von Silikagel beurteilt. Zudem wird die Art und Häufigkeit der von AAR betroffenen Gesteinskörnung bestimmt, was einen Anhaltspunkt für das AAR-Restpotential gibt.

Für ein Instandsetzungskonzept eines AAR-geschädigten Bauwerks sind Informationen über den Reaktionsfortschritt, das Ausmass und die räumliche Verteilung der Reaktion unerlässlich.

Dr. Jan Bisschop, Dr. Leonhard Klemm

WEITERBILDUNG BEI UNS IM HAUS



Mai 2014

- 08./09.05 Auf der Baustelle überzeugen, verhandeln und gewinnen
- 14.05. Erhaltungsmanagement
- 15./16.05. Führen aber wie? Kommunikation + Mitarbeitergespräche
- 20.05. Hangsicherungen und Baugrubenabschlüsse
- 22.05. Fissures dans le béton
- 27.05. Sanierung und Neubau von Liegenschaftswässerung
- 28.05. Anlagentechnik für Architekten und Ingenieure

Juni 2014

- 03.06. Die revidierte Norm SIA 267 - Geotechnik
- 12.06. Haftungsrisiken für Organe, leitende Angestellte
- 24.06. Naturgefahren begegnen im Hoch- und Tiefbau
- 25.06. Änderungen in der revidierten SIA 262
- 25./26.06. Führen aber wie? Veränderung + Widerstand

ANMELDUNG unter: Weiterbildungszentrum TFB AG, 062 887 72 77, [schulung@tfb.ch](mailto:schulung@tfb.ch), <http://www.bauundwissen.ch>

### AUSBLICK AUF KÜNFTIGE THEMEN

- Wasserdichte Betonkonstruktionen
- Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit des Überdeckungsbeton