

Applications en microscopie sur le béton

Les investigations en microscopie sur des échantillons de béton revêtent une importance capitale pour le diagnostic de dommages d'origine diverse ou pour l'évaluation de la qualité du béton.

Dans ce bulletin TFB, nous vous présentons quelques domaines d'application spécifiques, où la microscopie peut être utilisée avec succès. Des examens microscopiques sur des lames minces par exemple, permettent de déterminer les raisons pour lesquelles un béton n'a pas atteint les 28 jours de résistance à la compression escomptés.

Une attaque chimique telle qu'une agression de sulfates par ex. ou une réaction alcali-granulats (RAG), peuvent être diagnostiquées de manière fiable par le biais de lames minces.

1 Méthode

Lors d'un agrandissement maximum, les structures les plus fines et les différents composants du béton deviennent visibles. Les fissures et d'éventuels produits de réaction peuvent être examinés avec précision. Ceci est possible grâce à la confection d'une lame mince, d'une tranche de béton d'une épaisseur de 30µm et collée sur une plaquette de verre. Cette faible épaisseur rend le béton transparent (fig. 1) et par l'action d'une imprégnation antérieure au moyen de résine epoxyde fluorescente, tous les micro- et macropores se détachent distinctement sous la lumière UV. Des microfissures normalement invisibles peuvent être décelées de cette manière. Un microscope spécial, le microscope polarisant, permet d'identifier les différents composants de la pâte de ciment et du granulat, ainsi que les produits de réaction.

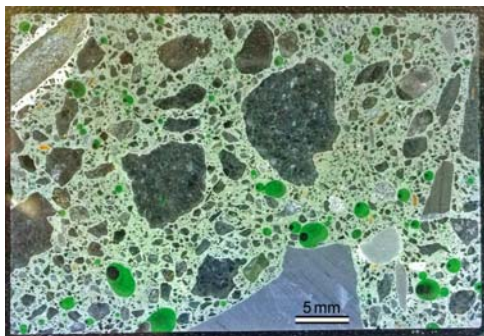


Figure 1 : lame mince de béton avec granulats (gris foncé à brun), pâte de ciment (matrice claire) et pores d'air (verts par l'époxy fluorescent)

La pâte de ciment du béton possède une microstructure complexe. Celle-ci se compose de grains de granulat fins (farines), de grains de ciment partiellement hydratés et de leurs produits d'hydratation qui donnent au béton sa résistance. Au microscope, il est possible d'identifier le type de ciment et les additions utilisées (par ex. ciment Portland, cendres volantes, laitier), ainsi que le taux d'hydratation du ciment. En raison de certains processus pathologiques dans le béton, comme les attaques chimiques ou la RAG, mais aussi par influence extérieure, comme le feu ou le gel, de nouvelles phases minérales se forment et d'autres sont transformées. Ces formations et transformations sont aisément identifiables et analysables sous le microscope. Dans

le cas d'échantillons prélevés sur un béton exposé à un incendie, il est possible d'établir un profil de température. Une identification du mécanisme des désordres et des informations précises sur l'ampleur des dégâts sont indispensables pour décider de la remise en état appropriée d'un béton détérioré. La microscopie peut y contribuer de manière significative.

2 Qualité du béton

À l'aide de l'analyse microscopique, il est possible par ex. d'élucider pourquoi un béton n'a pas atteint la résistance à la compression prévue. Ceci peut avoir différentes causes

• Teneur en pores d'air

La résistance à la compression diminue lorsque la porosité s'accroît. Une augmentation de la porosité de 1% peut réduire la résistance à la compression de 5 à 8% (voir SN EN 13791). La teneur en pores d'air peut être quantifiée à l'aide d'une analyse d'image numérique sur lames minces (fig. 2).

• Teneur en ciment et rapport E/C

L'analyse d'image numérique permet dans certains cas de déterminer les fractions volumiques de la pâte de ciment et du granulat dans le béton (fig. 2). Sur la base de certaines hypothèses, il est possible d'estimer la teneur en ciment et le rapport E/C

• Qualité de la surface du béton

Problèmes de résistance à la compression en surface dus à une ségrégation, à une cure trop brève ou à des désordres dans la structure en phase plastique.

• Type de ciment, granulat

Une des causes pouvant conduire à une dégradation des propriétés est l'emploi d'un type de ciment ou de granulats non appropriés. L'affaiblissement de la structure s'observe très nettement dans la lame mince.

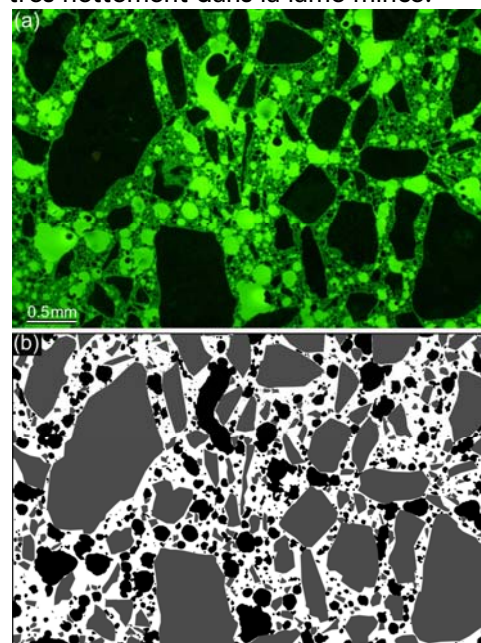


Figure 2 : (a) lame mince d'un échantillon de mortier sous la lumière UV zones de grande porosité à fluorescence verte (pores d'air), zones de faible porosité, sombres (granulat) ; (b) image numérique établie pour la détermination de la teneur en ciment (blanche) et de la porosité (noire)

3 Attaque chimique

Selon les conditions d'exposition, le béton peut être détérioré avec le temps par différents processus. Il existe une série de réactions entre la pâte de ciment et des substances provenant le plus souvent de l'extérieur.

Lors d'une attaque par une eau chargée en sulfates, il se forme de grandes quantités d'ettringite, un minéral fortement hydraté induisant une augmentation volumique importante. Il en résulte une microfissuration typique avec décollements à l'interface entre les granulats et la pâte, ce qui détériore la structure. D'autres minéraux pouvant être générés en présence d'eau chargée en sulfates, sont le gypse (fig. 3) et le thaumasite.

Des solutions acides, mais aussi des eaux douces (contenant du dioxyde de carbone) attaquent le béton en surface. Celle-ci peut subir une légère érosion et le granulat peut être mis à nu.

La carbonatation est la transformation de phase la plus fréquente. Le CO₂ dans l'air réagit avec la pâte de ciment en produisant de la chaux (fig. 3). En principe, cette réaction n'affecte pas le béton dont certaines propriétés (résistance à la compression, étanchéité) s'améliorent même quelque peu. La carbonatation constitue surtout un problème pour les armatures qui ne sont plus à l'abri de la corrosion dans une pâte de ciment carbonatée, à cause de l'abaissement du pH.

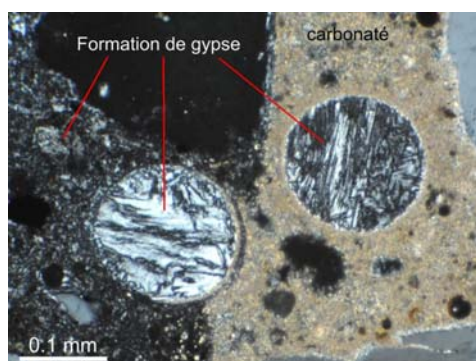


Figure 3 : agression de sulfate biogène et carbonatation du béton : formation importante de gypse dans les pores d'air et dans la pâte de ciment à proximité de la surface du béton.

4 Réaction alcali-granulats

La réaction alcalis-granulats (RAG) est une réaction chimique entre la solution de pores basique et le granulat (siliceux). Cette réaction entraîne la formation de gel de silice dans les granulats réactifs. Ce gel de silice gonfle par l'absorption d'eau et donne naissance à des microfissures (fig. 4). Les granulats expansifs conduisent à une expansion du béton et à un réseau de fissures caractéristique.

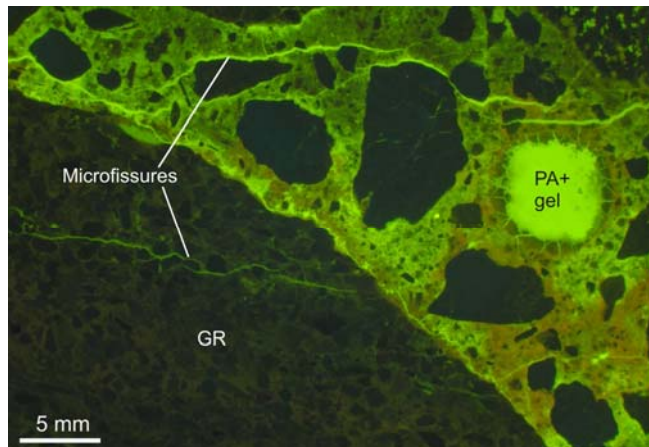


Figure 4 : manifestation typique de RAG dans la lame mince

GR = granulat réactif ; PA = pore d'air avec gel de silice engendré par la RAG ; microfissures dans le granulat et la matrice.

En Suisse, la RAG constitue un problème fréquent pour les bétons âgés et peut entraver sérieusement leur durabilité. Suite à la formation de ce réseau de fissures dans l'élément de construction, la résistance à la traction et à la compression, ainsi que le module d'élasticité s'amouindrissent, et les substances nocives pénètrent plus facilement (par ex. sels de déverglaçage) dans le béton. Les désordres constatés sont donc souvent le résultat d'une combinaison d'effets de la RAG, du gel/dégel et de la corrosion des armatures.

Les investigations microscopiques effectuées sur des lames minces permettent un diagnostic fiable de la RAG dans les ouvrages en béton. Elles peuvent mettre en évidence l'existence d'une RAG et démontrer son stade d'évolution. Lors d'un examen microscopique relatif à la RAG, on évalue le nombre de grains de granulat touchés par la RAG ainsi que la quantité de gel de silice. On détermine en outre le genre et le nombre de grains de granulat altérés par la RAG, ce qui constitue un point de repère pour estimer le potentiel résiduel de la RAG.

Les informations sur la progression, l'étendue et la distribution de la réaction dans l'ouvrage, permettent d'affiner le concept de remise en état d'un ouvrage endommagé par la RAG.

Dr Jan Bisschop, Dr Théodore Chappex, Dr Leonhard Klemm

NOS PROCHAINES JOURNÉES TECHNIQUES

Mai 2014

22.05. Fissures dans le béton

THÈMES EN PERSPECTIVE

- Ouvrages en béton étanche
- Étanchéité et durabilité du béton d'enrobage

Inscription: Compétences pour la construction, TFB AG,
062 887 72 77, schulung@tfb.ch, <http://www.bauundwissen.ch>