

# Injections en fissures de suspensions de ciment ultrafin

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **64 (1996)**

Heft 4

PDF erstellt am: **26.09.2024**

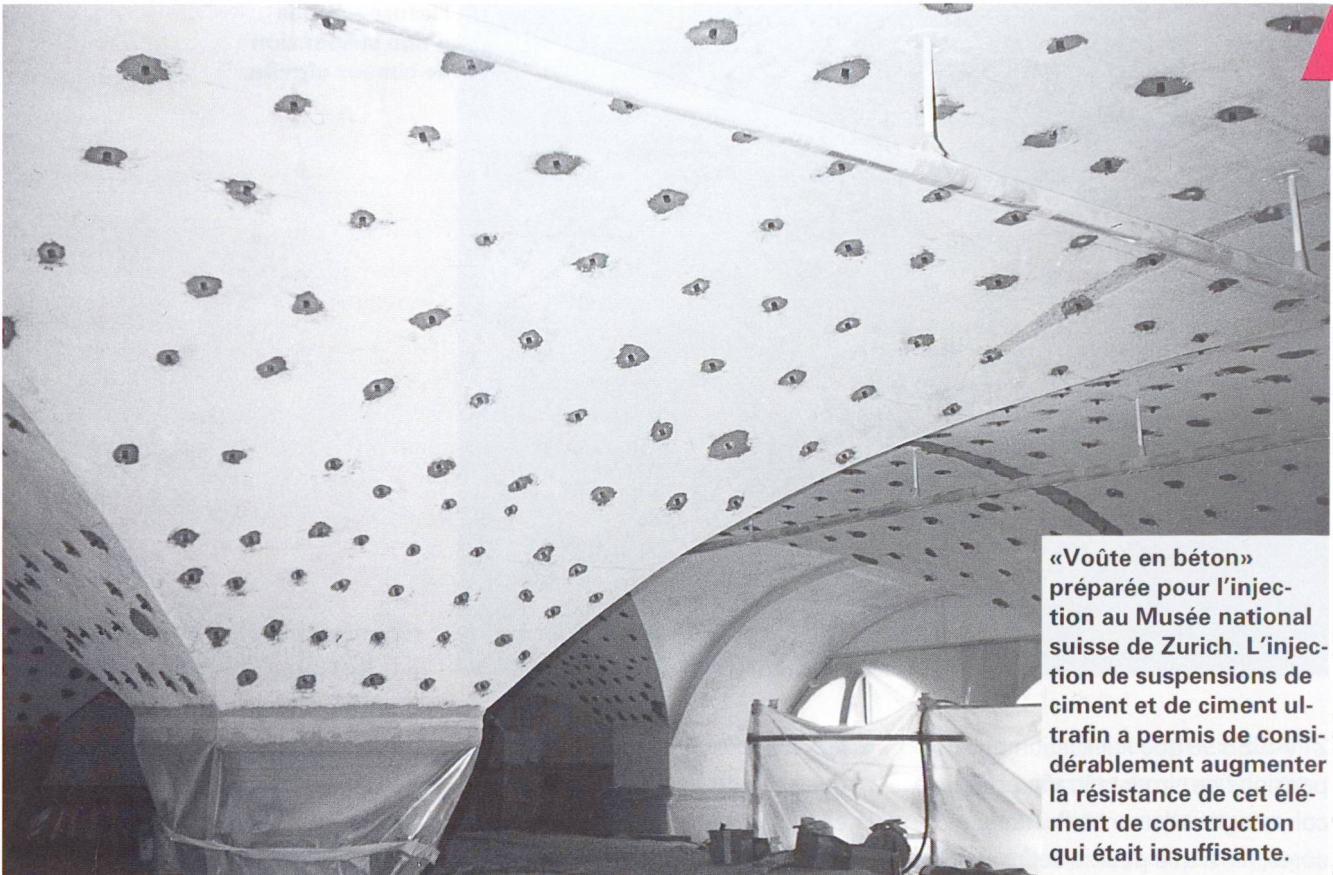
Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-146399>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



«Voûte en béton» préparée pour l'injection au Musée national suisse de Zurich. L'injection de suspensions de ciment et de ciment ultrafin a permis de considérablement augmenter la résistance de cet élément de construction qui était insuffisante.

Photo: Renesco AG, Regensdorf

## Injections en fissures de suspensions de ciment ultrafin

**Les injections de suspensions de ciment ultrafin permettent de colmater par solidarisation les fissures des éléments de construction en béton.**

Les fissures dans le béton ne sont pas uniquement un problème d'esthétique: le cas échéant, elles peuvent nuire considérablement à la durabilité et à l'aptitude au service, et parfois même à la capacité portante des éléments de construction en béton. C'est pourquoi dans la plupart des textes réglementaires, la largeur admissible des fissures est limitée à 0,1–0,4 mm, selon les influences de l'environnement sur l'élément de construction. Les fissures dans le béton ont pour autres conséquences

négligentes importantes [1]:

- l'atteinte à la protection contre la corrosion de l'armature;
- l'étanchéité qui ne peut plus être garantie à partir de largeurs de fissures de 0,05 mm.

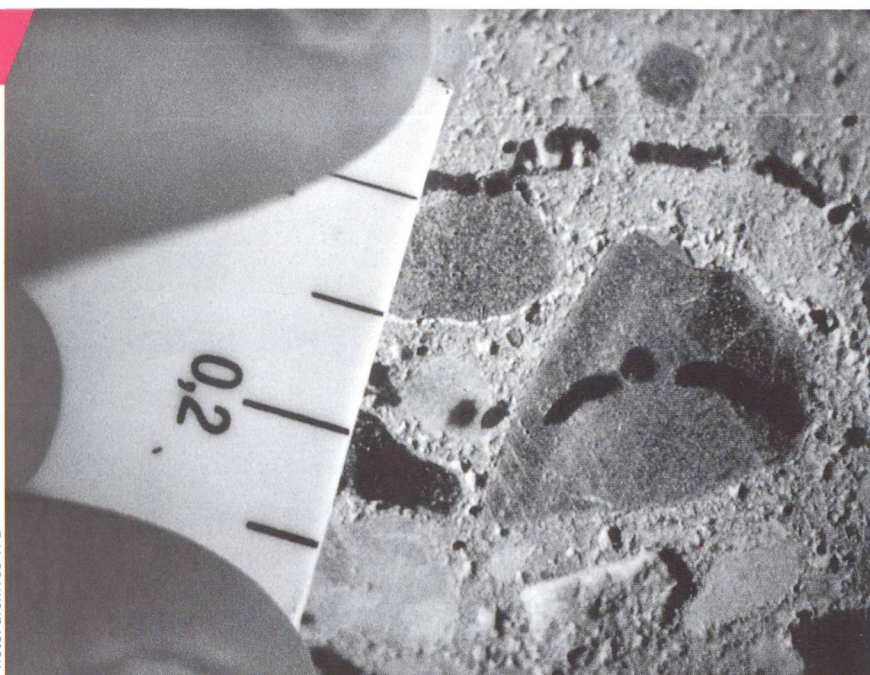
C'est pourquoi il est souvent nécessaire de colmater les fissures. Un procédé de plus en plus utilisé ces dernières années est l'injection de suspensions de ciment ultrafin.

### Procédés pour le colmatage de fissures

Depuis plus de 30 ans déjà, le colmatage par solidarisation des fissures dans le béton de construction s'effectue avec succès au moyen de résines époxy, lesquelles témoignent d'une adhérence et d'une résistance propre élevées. Dans le cas idéal, elles permettent de colmater, jusque dans

leurs plus infimes ramifications, même les fissures les plus fines. Mais dès que, par exemple, le béton est humide ou que le colmatage des fissures doit être élastique, les résines époxy sont source de problèmes. Ces problèmes peuvent généralement être évités grâce à l'utilisation d'autres matériaux (résines polyuréthanes, pâtes ou suspensions de ciment). Le *tableau 1* [2] donne un aperçu des domaines d'utilisation des principaux matériaux de colmatage (suspensions de ciment, pâtes de ciment, résines polyuréthanes ou époxy) et des modes de colmatage possibles (bourrage, injection) en fonction du degré d'humidité des fissures. Ce tableau provient de «Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Füllen von Rissen in Betonbauteilen» (ZTV-RISS 93). C'est dans





Fissure remplie d'une suspension de ciment ultrafin.

ZTV-RISS 93 que l'utilisation de suspensions de ciment ultrafin pour le colmatage et l'étanchéification de fissures, ainsi que pour la solidarisation des lèvres de fissures, a été admise pour la première fois en Allemagne. Les suspensions de ciment présentent quelques avantages par rapport aux résines époxy ou polyuréthanes:

- elles sont ouvrables plus longtemps;
- elles sont utilisables aussi bien en milieu sec qu'en milieu humide;
- elles offrent une précieuse protection contre la corrosion de l'armature;

- leur matériau de base est le même que celui du béton;
- elles peuvent être évacuées comme tous les matériaux de construction minéraux.

### Ciments ultrafins

Les ciments ultrafins, dont les principaux paramètres sont comparés avec ceux des ciments CEM I (CP et CPHR) dans le *tableau 2*, se distinguent avant tout par leur surface spécifique très élevée (11 000 à 16 000 cm<sup>2</sup>/g). Mais c'est leur répartition granulométrique favorable constante qui est déterminante pour leur utilisation lors d'injections en fissures

(voir *figure 1*). Pour témoigner d'un pouvoir de pénétration aussi élevé que possible, les suspensions de ciment ultrafin ne doivent contenir que peu de grains de barrage (grains grossiers). C'est pourquoi seuls des produits dont les propriétés correspondent à peu près à celles des ciments ultrafins rangés sous type B dans le *tableau 2* peuvent être utilisés pour les injections en fissures dans le béton. Avec 16 µm (0,016 mm), la fraction passante de ces ciments est de 100 %. Les ciments ultrafins de type A (95–96 % de fraction granulométrique < 16 µm) conviennent par exemple pour les injections courantes de consolidation ou d'étanchéification dans le domaine géotechnique.

| But                                  | Degré d'humidité des fissures |                               |                           |  |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|
|                                      | sèches                        | humides                       | aquifères «sans pression» | aquifères sous pression                              |
| Colmatage par bourrage avec          | EP                            | EP <sup>1</sup>               |                           |  |
| Colmatage par injection avec         | ZS, ZL, EP, PUR               | ZS, ZL, EP <sup>1</sup> , PUR | ZS, ZL, PUR               | ZS <sup>3</sup> , ZL <sup>3</sup> , PUR <sup>2</sup> |
| Etanchéification par injection avec  | ZS, ZL, EP, PUR               | ZS, ZL, EP <sup>1</sup> , PUR | ZS, ZL, PUR               | ZS <sup>3</sup> , ZL <sup>3</sup> , PUR <sup>2</sup> |
| Solidarisation par injection avec    | ZS, ZL, EP                    | ZS, ZL, EP <sup>1</sup>       | ZS, ZL                    | ZS <sup>3</sup> , ZL <sup>3</sup>                    |
| Liaison élastique par injection avec | PUR                           | PUR                           | PUR                       | PUR <sup>2</sup>                                     |

ZS: suspension de ciment  
 ZL: pâte de ciment  
 EP: résine époxy  
 PUR: résine polyuréthane

<sup>1</sup> Avec utilisation de résines époxy spéciales

<sup>2</sup> Avec utilisation de PUR moussant rapidement (SPUR) avant PUR

<sup>3</sup> Allié à des mesures d'étanchéification temporaires pour réduire la pression

Tab. 1 Domaines d'application des matériaux et modes de remplissage selon ZTV-RISS 93, d'après [2].



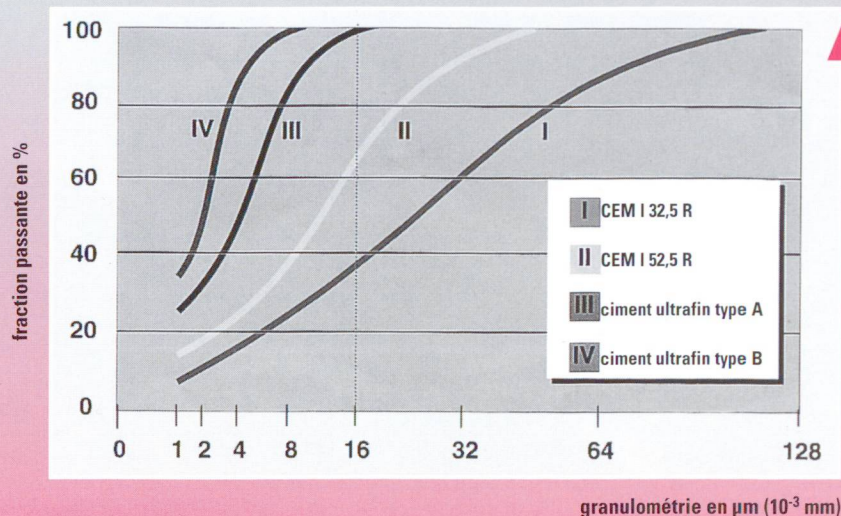


Fig. 1 Comparaison de la répartition granulométrique des ciments ordinaires et des ciments ultrafins (selon [4]).

## Suspensions de ciment ultrafin

Les suspensions de ciment ultrafin doivent satisfaire à de très hautes exigences, dont quelques-unes sont mentionnées ci-après [5]:

- presque pas d'extraction d'eau par absorption capillaire du béton pendant et après l'injection
- insensibilité au degré d'humidité du béton
- injection facile dans des fissures de  $\leq 20$  mm de largeur
- bon pouvoir d'écoulement dans les fissures et crevasses, permet-

tant d'éviter des pressions d'injection élevées

- résistances constantes
- long espace de temps pour la mise en œuvre

Plus la mouture est fine, plus le ciment a besoin d'eau. C'est pourquoi, pour l'injection dans les sols, on travaille par exemple avec des rapports eau/ciment (rapports  $e/c$ ) allant jusqu'à 5. Des rapports  $e/c$  de 1,0, ou même au-dessous, sont en revanche

exigés pour certaines injections, afin d'obtenir une pâte de ciment durcie de faible porosité et à résistances initiale et finale élevées, témoignant d'une bonne résistance aux attaques chimiques et physiques [3]. Les suspensions de ciment ultrafin témoignant de ces propriétés ne peuvent être fabriquées qu'en utilisant des auxiliaires d'injection (adjuvants et ajouts). Ces derniers stabilisent les suspensions, car ils empêchent les

| Désignation                         |                    | PZ 35 F<br>(CEM I 32,5 R) | PZ 55<br>(CEM I 52,5 R) | Ciment ultrafin<br>type A | Ciment ultrafin<br>type B |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Surface spécifique                  | cm <sup>2</sup> /g | 2700–3300                 | 5400–5700               | 11 000–12 000             | 15 000–16 000             |
| Granulométries                      |                    |                           |                         |                           |                           |
| – fraction < 2 µm                   | % de la masse      | 10–12                     | 17–22                   | 30–35                     | 45–50                     |
| – fraction < 16 µm                  |                    | 41–50                     | 75–85                   | 95–96                     | 100                       |
| – fraction < 32 µm                  |                    | 62–75                     | 96–99                   | 100                       | 100                       |
| Masse volumique apparente           | kg/dm <sup>3</sup> | ca. 1,30                  | ca. 1,30                | ca. 0,70                  | ca. 0,70                  |
| Densité                             | kg/dm <sup>3</sup> | ca. 3,10                  | ca. 3,10                | ca. 3,00                  | ca. 3,16                  |
| Besoin en eau pour rigidité normale | % de la masse      | 25–31                     | 31–34                   | ca. 55                    | ca. 60                    |
| Résistance à la compression         |                    |                           |                         |                           |                           |
| – à 2 jours                         | N/mm <sup>2</sup>  | 22–30                     | 35–45                   | 40–45                     | 45–50                     |
| – à 28 jours                        |                    | 47–51                     | 65–70                   | 60–65                     | 50–55                     |
| Rapport eau/ciment                  |                    | 0,50                      | 0,50                    | 0,55 <sup>1</sup>         | 0,65 <sup>1</sup>         |

<sup>1</sup> Dans les conditions de la pratique, des rapports  $e/c$  entre 0,8 et 1,0 sont usuels. Les résistances à la compression en résultant se situent entre 30 et 35 N/mm<sup>2</sup>.

Tab. 2 Grandeurs caractéristiques de ciments et de ciments ultrafins [3, 4].



particules de ciment en suspension de former des grumeaux, c'est-à-dire de s'agglomérer (des examens révèlent que dans les suspensions de ciment, la répartition granulométrique est à peu près la même que dans les ciments ultrafins secs [6]). Les adjuvants abaissent en outre fortement la viscosité des suspensions de ciment, et augmentent leur pouvoir de rétention d'eau. Ils ne nuisent pas au durcissement de la pâte de ciment injectée [3].

Les suspensions de ciment ultrafin stables contiennent de l'eau de gâchage, du ciment ultrafin et des additifs. On trouve sur le marché des sys-

tèmes à deux composants, dont un composant en poudre et l'autre liquide. Les suspensions sont préparées au moyen de mélangeurs à haute vitesse à têtes spéciales (mélangeurs colloïdaux). Pendant la mise en œuvre, ces mélangeurs sont constamment maintenus en mouvement par des agitateurs à marche lente.

### Injections en fissures

Les injections en fissures exigent la pose de manchettes. Pour les suspensions de ciment, les manchettes collées ont fait leurs preuves. Elles se composent de plaquettes métalliques ou en matière plastique, dotées

d'une tubulure d'entrée verrouillable (voir *photo*). Ces manchettes sont collées directement sur la fissure nettoyée. Les ouvertures de fissures qui ne sont pas recouvertes d'une manchette collée doivent être obturées avec du mastic de ciment ou du mastic synthétique.

On peut remplacer les manchettes collées par des manchettes introduites dans des canaux forés préalablement de façon à croiser la zone des fissures. Ces manchettes se composent généralement de petits tubes métalliques filetés, sur lesquels est glissé un dispositif d'écartement. Ce dispositif bloque la manchette et étanche en même temps le canal foré. Avec ce genre de manchettes, on peut souvent renoncer à obturer les fissures.

L'injection proprement dite s'effectue à basse pression. La pompe basse pression devrait être réglable pour des pressions d'injection de 2 à 8 bars. La suspension de ciment ultrafin arrive à la tubulure d'entrée de la manchette par un flexible à haute pression. Les réinjections sont possibles.

Les manchettes collées et les matériaux d'obturation sont enlevés après environ un jour. Les manchettes pour canaux forés peuvent généralement être retirées environ une heure après la réinjection. Elles sont ensuite net-

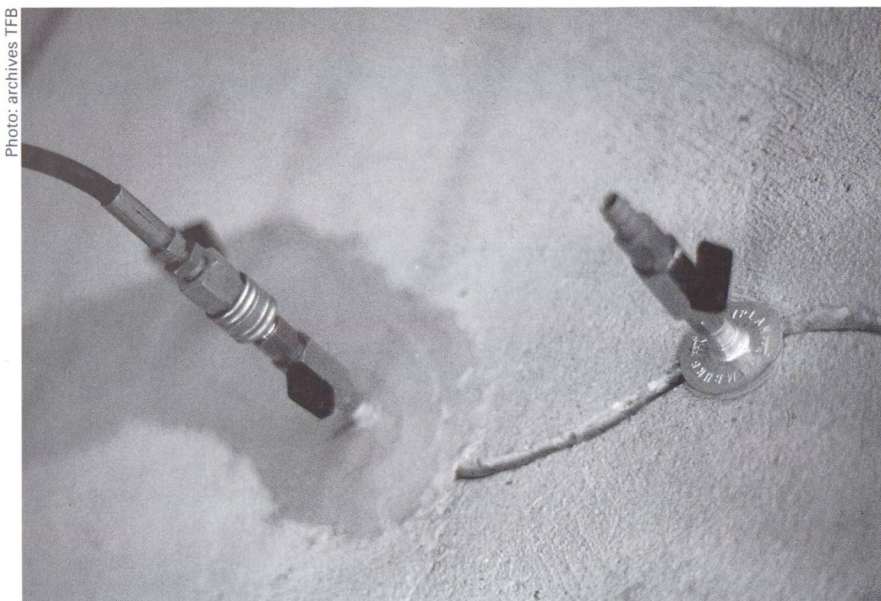


Photo: archives TFB

**Pour les injections en fissures avec des manchettes collées, les fissures doivent être préalablement obturées.**





Photo. archives TFB

### Injection réticulaire pour le remplissage de vides dans la structure du béton d'un pont.

toyées, et peuvent être réutilisées ultérieurement.

#### Applications des injections de ciment ultrafin

Les injections de ciment ultrafin en suspension permettent de colmater par solidarisation des fissures même très fines dans les éléments de construction en béton. Des fissures de largeurs entre 0,2 et 0,3 mm en surface ont été traitées en laboratoire avec des suspensions de ciment ultrafin et des manchettes collées. Toutes les fissures ont été remplies intégralement et de façon homogène jusqu'à une largeur de 0,05 mm; le degré d'humidité du béton ne jouait en l'oc-

currence aucun rôle [8]. Dans la pratique, on part du fait que la granulométrie maximale du matériau injecté doit être d'environ  $\frac{1}{5}$  de la largeur minimale de la fissure à remplir. Avec des suspensions de ciment ultrafin présentant une granulométrie maximale de 16  $\mu\text{m}$  (0,016 mm), il est donc possible de remplir intégralement des fissures d'une largeur à partir de 0,10 mm [9].

Initialement, on a mis au point des ciments ultrafins pour des applications en géotechnique. Mais ils sont de plus en plus utilisés pour la consolidation de roches et la réfection d'ouvrages et de canalisations, comme matériaux compatibles avec l'environne-

ment servant à remplacer les produits d'injection chimiques (résines époxy et polyuréthannes). Des injections réticulaires de suspensions de ciment ultrafin permettent par exemple de consolider et d'étancher efficacement des bétons mal compactés, de structure macroporeuse et comportant de nombreux vides; les résines époxy ne conviennent que très rarement dans de tels cas [10]. Une autre application intéressante est l'injection en fissures longitudinales, transversales et radiales, dans des égouts non praticables, au moyen de manchettes, sous la surveillance d'une caméra TV [11].

Kurt Hermann, TFB

#### Bibliographie

- [1] Huth, W., «Betongerechte Rissverpressung mit neuartigen Feinstzementsuspensionen», *Zement und Beton* **1996** [1], 32–33.
- [2] Perbix, W., «Anwendungen von Injektionen mit Feinstbindemitteln», *Felsbau* **12** [3], 202–205 (1994).
- [3] Kühling, G., «Rissverpressung mit Feinstzementen», *Betonwerk und Fertigteil-Technik* **58** [3], 106–110 (1992).
- [4] Kühling, G., et Rothenbühler, H., «Feinstzemente – mikrofeine hydraulische Bindemittel», *Schweizer Baumarkt* **1991** [6], 17–19.
- [5] Rosa, W., «Injektionen mit Zementsuspensionen – Konzepte, Verfahrenstechniken und Ausführungsbeispiele bei der Instandsetzung von Betonbauten», documentation écrite pour le cours de technologie du béton du TFB, Wildegg (1994/95).
- [6] Tax, M., Kühling, G., et Schulze, B., «Verbesserung der Injizierbarkeit und der chemischen Widerstandsfähigkeit von Feinstzement-Suspensionen», *Felsbau* **11** [2], 88–96 (1993).
- [7] «Injizieren in Fels und Beton», rapports de la conférence internationale concernant les injections dans la roche et le béton, Salzbourg, 11–12 octobre 1993, édités R. Widmann, Verlag A. A. Balkema, Rotterdam (1993).
- [8] Budelmann, H., Brandau, A., et Fromm, K.-H., «Erprobung und Anwendung der Feinstzementinjektion zur kraftschlüssigen Risssschließung in Beton», pages 19–23 dans [7].
- [9] Sager, H., et Graeve, H., «Einsatzmöglichkeiten zementgebundener Injektionssysteme – Instandsetzung und Erhaltung gerissener Bauwerke», *Beton* **44** [1], 12–15 (1994).
- [10] Iványi, G., et Rosa, W., «Füllen von Rissen und Hohlräumen im Konstruktionsbeton mit Zementsuspension», *Beton- und Stahlbetonbau* **87** [9], 224–229 (1992).
- [11] Kühling, G., et Szucsanyi, A., «Die neue Lösung für undichte Kanäle: Instandsetzung mit mineralischen Bindemitteln», *Betonwerk + Fertigteil-Technik* **58** [7], 63–67 (1992).