

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

Band: 57/1/57/2 (1989)

Artikel: Ausbesserung beschädigter Oberflächen von Betonkonstruktionen

Autor: Hilsdorf, Hubert K. / Haardt, Peter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44297>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ausbesserung beschädigter Oberflächen von Betonkonstruktionen
Repair of Deteriorated Surfaces of Concrete Members
Réparation de surfaces détériorées de constructions en béton

Hubert K. HILSDORF
Prof. Dr. -Ing.
IfMB
Karlsruhe, BR Deutschland

Hubert K. Hilsdorf ist seit 1971 Lehrstuhlinhaber und Leiter des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe. Er ist der Autor einer Reihe von Veröffentlichungen zur Betontechnik mit den Schwerpunkten Dauerhaftigkeit, Stoffgesetze und Versuchsmethodik.

Peter HAARDT
Dipl. -Ing.
IfMB
Karlsruhe, BR Deutschland

Peter Haardt ist seit 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe und vornehmlich im Bereich Betoninstandsetzung tätig.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine dauerhafte Instandsetzung beschädigter Betonoberflächen ist u.a. abhängig von den Eigenschaften der Reparaturwerkstoffe und von den Verfahrenstechniken. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Reihe von Untersuchungen zu diesem Thema vorgestellt. Anforderungen an Reparatursysteme werden definiert und der Einfluss unterschiedlicher Umweltbedingungen auf die Verbundfestigkeit wird aufgezeigt. Mit der Realkalisierung karbonatisierter Betonrandzonen durch Auftrag eines hydraulischen Reparatursystems wird eine wirksame Möglichkeit zur Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Bewehrung im Beton aufgezeigt.

SUMMARY

A durable repair of deteriorated concrete surfaces depends on the properties of the repair materials and the techniques of application. In this paper the results of a number of investigations related to these problems are presented. Requirements to be satisfied by the repair systems are defined and the influence of local conditions on the bond strength is shown. It is shown that realkalinization of carbonated concrete sections can be achieved by means of a cement based repair system applied to the concrete surface. This is an effective measure to reestablish corrosion protection of the reinforcement.

RÉSUMÉ

Une réparation durable de surfaces détériorées de constructions en béton dépend des matériaux et des techniques de réparation. Dans cet article, les résultats d'études à ce sujet sont présentés. Les propriétés qui sont exigées des systèmes de réparation sont définies et l'influence des conditions locales sur l'adhérence est mise en évidence. La réalkalisation des zones extrêmes du béton par l'application d'un système de réparation hydraulique présente une possibilité efficace pour rétablir la protection contre la corrosion de l'armature dans le béton.



1. PROBLEMSTELLUNG

Betonkonstruktionen sind häufig Umweltbedingungen ausgesetzt, die zur Korrosion des Bewehrungsstahles und des Betons führen. Solchermaßen geschädigte Betonbereiche müssen durch geeignete Reparaturmaßnahmen instandgesetzt werden.

Als Reparaturwerkstoffe werden organische, rein hydraulische oder organisch modifizierte hydraulische Werkstoffe eingesetzt. Im allgemeinen wird bei solchen Maßnahmen zwischen Altbeton und Reparaturmörtel eine organische oder hydraulische Haftbrücke aufgebracht. Bei großflächigen Instandsetzungsmaßnahmen werden meist hydraulische Reparatursysteme verwendet. Neben Kostenvorteilen besitzen hydraulische Systeme im Vergleich zu organischen Systemen eine größere mechanische und physikalische Ähnlichkeit mit dem Altbeton.

Um eine dauerhafte Instandsetzungsmaßnahme mit hydraulischen Reparatursystemen zu gewährleisten, müssen bestimmte Randbedingungen erfüllt sein. Hierzu erforderliche Materialkenngrößen der Reparaturwerkstoffe, die Auswahl geeigneter Haftbrücken und zweckmäßige Arbeitsverfahren wurden in theoretischen und experimentellen Arbeiten untersucht. Im folgenden werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengefaßt [1, 2, 3].

2. ANFORDERUNGEN AN DIE REPARATURWERKSTOFFE

Reparaturschichten auf Betonbauteilen werden aus der Umwelt, dem Betonuntergrund und der Reparaturschicht selbst beansprucht. Dabei lassen sich Beanspruchungen unterscheiden, die zu Spannungen und Verformungen führen und solche, die die Eigenschaften des Reparatursystems verändern oder korrosiv wirken. Zu den letztgenannten zählen insbesondere die Karbonatisierung der hydraulischen Reparaturschicht mit der damit verbundenen Verminderung des Korrosionsschutzes der Bewehrung, Feuchte- und Frosttausalzeinflüsse sowie der Verschleiß infolge Verkehrsbeanspruchung. Anforderungen an Reparaturwerkstoffe beziehen sich demzufolge auf Karbonatisierungswiderstand, Witterungsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit.

Als wesentliche mechanische Beanspruchung des Systems bestehend aus Reparaturschicht und Altbeton stellen sich jene Lastfälle heraus, die Zugspannungen in Reparaturschichten hervorrufen, insbesondere Schwinden der Reparaturschicht und schockartige Abkühlung des Bauteils, z.B. durch einen Gewitterregen auf eine erhitzte Oberfläche (s. Fig. 1).

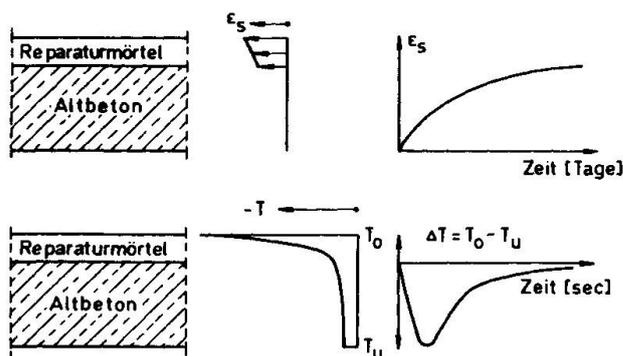
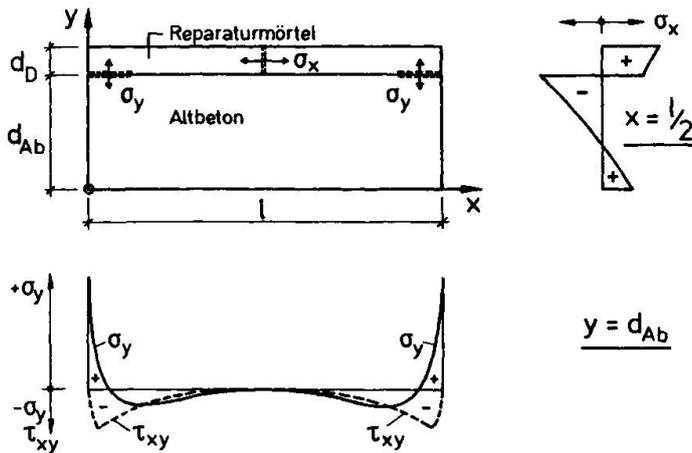


Fig. 1 Beanspruchung von Reparaturschichten

Diese Lastfälle wurden mit Hilfe der FEM unter Berücksichtigung wirklichkeitsnaher Stoffgesetze für Reparaturschicht und Unterbeton analysiert. Infolge der behinderten Verformung kommt es zu horizontalen Zugspannungen in der Reparaturschicht, die zu vertikalen Rissen führen können. In der Verbundzone treten neben horizontalen Schubspannungen vertikale Spannungskomponenten auf, die an freien Rändern als Zugspannungen in jedem Fall die Zugfestigkeit der angrenzenden Schichten oder

die Adhäsionsfestigkeit überschreiten und so zu horizontalen Ablösungen führen (Fig. 2). Daß es nicht zu einem Versagen der Reparaturmaßnahme kommt, liegt am spezifischen Verformungsverhalten zementgebundener Werkstoffe. Mit zunehmender



Dehnung können über die Zugbruchdehnung hinaus noch Zugspannungen aufgenommen werden [4]. Es kommt demnach nicht zu einem reißverschlußartigen Ablösen größerer Bereiche, sondern zur Ausbildung sogenannter geschwächter Zonen über eine Länge von einigen Zentimetern an den freien Rändern der Systeme und zwar normalerweise im weniger festen Unterbeton (Fig. 3). Solchermaßen geschwächte Ränder konnten in experimentellen Untersuchungen nachgewiesen werden.

Fig. 2 Spannungen in Reparaturschichten

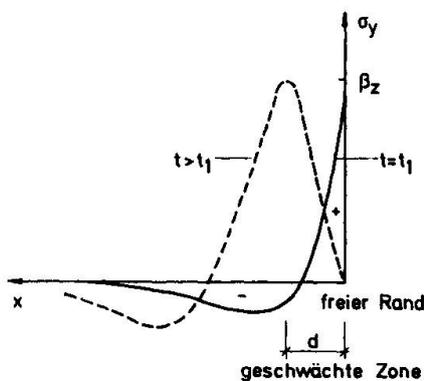


Fig. 3 Geschwächte Zone im Randbereich von Reparaturschichten

Schwinden ($t = 90$ Tage)	$\epsilon_s < 0,8 \text{ ‰}$
Therm. Dehnung	$\alpha_{tRep} = \alpha_{tBeton}$
E-Modul	$E_{Rep} < E_{Beton}$
Kriech- und Bruchdehnung	ϵ_k, ϵ_u mgl. groß
Verbundfestigkeit	mgl. groß $\beta_{HZ} > 2,0 \text{ N/mm}^2$
Reparaturschichtdicke	$d_{Rep} \geq 10 \text{ mm}$

Tab. 1: Anforderungen an Reparaturwerkstoffe

In Tab. 1 sind als Ergebnis der Spannungsanalyse Anforderungen an Eigenschaften von Reparaturwerkstoffen zusammengefaßt, die für eine dauerhafte Instandsetzungsmaßnahme eingehalten werden sollten.

Neben den Anforderungen aus korrosiven und mechanischen Beanspruchungen muß die Reparaturschicht dauerhaft gewährleisten, daß keine schädlichen Substanzen, und hier in erster Linie Chloride, an den Bewehrungsstahl vordringen und dort zu Korrosion führen können.

3. PRÜFVERFAHREN ZUR BEURTEILUNG DES VERBUNDES

Um die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit des Verbundes zwischen Reparatursystem und Altbeton zu bestimmen, bedient man sich unterschiedlicher Prüfverfahren, die allgemein den Nachteil haben, daß der Bruch selten in der Verbundebene erfolgt und die Streuung der Ergebnisse groß ist.

Aufschluß über die Zugfestigkeit der Verbundzone kann der modifizierte Spaltzugversuch geben. Dabei wird ein Bohrkern, bestehend aus Unterbeton und Reparaturschicht in Höhe der Verbundzone über Lastmanschetten so beansprucht, daß Zugspannungen senkrecht zur Verbundzone zum Bruch der Probe in der Verbundzone führen (Fig. 4).

Der Spannungszustand dieses Versuchsaufbaues wurde mit der FEM analysiert und



es konnte eine Beziehung für die mod. Spaltzugfestigkeit hergeleitet werden:

$$\beta_{MS} = K \cdot F_U / (\pi \cdot d^2/4)$$

wobei: F_U = Bruchlast

d = Probendurchmesser

K = Beiwert nach Abb. 5

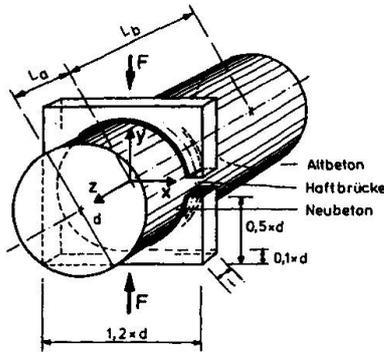


Fig. 4 Der modifizierte Spaltzugversuch

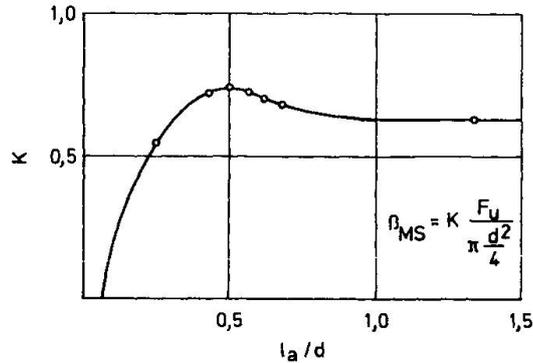


Fig. 5 Die modifizierte Spaltzugfestigkeit

4. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN AN REPARATURSYSTEMEN

In experimentellen Untersuchungen wurde der Einfluß unterschiedlicher Lagerungsbedingungen auf die Verbundfestigkeit hydraulischer Reparatursysteme und dabei insbesondere der Einfluß unterschiedlicher Haftbrücken untersucht [1, 2].

Im Rahmen von Laboruntersuchungen wurden hydraulische Reparatursysteme auf vorbereitete Betonplatten 300x300x100 mm aufgebracht. Als Reparatursysteme wurden rein hydraulische Mörtel mit Zementleimhaftbrücken (CC), thermoplastmodifizierte Mörtel mit thermoplastmodifizierten Zementleimhaftbrücken (TCC) und epoxidharzmodifizierte Mörtel mit Epoxidharzhaftbrücken (ECC) angewandt. Die Lagerung der Probekörper erfolgte bei 20 °C/65 % r.F. unter Wasser oder bei Frosttausalzbeanspruchung. Die Wirkung von Gewitterregen auf erhitze Betonoberflächen wurde durch Temperaturwechsellagerung simuliert. Zur Bestimmung der Verbundfestigkeit wurden u.a. modifizierte Spaltzugversuche durchgeführt. Die Ergebnisse sind auszugsweise in Fig. 6 dargestellt.

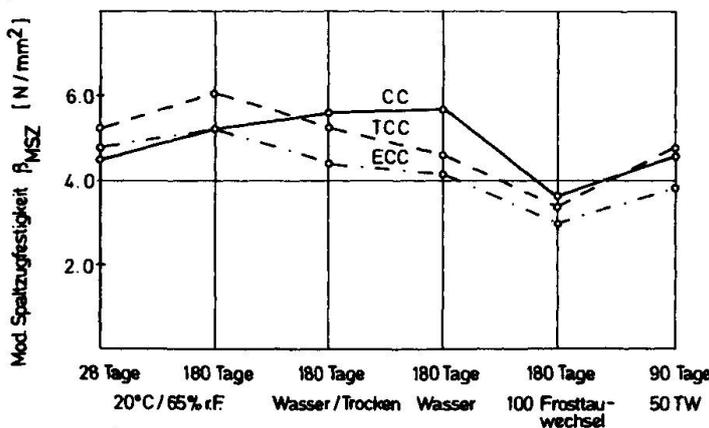


Fig. 6 Verbundfestigkeit von Reparatursystemen bei unterschiedlicher Lagerung

Die rein zementgebundenen Systeme (CC) erreichen hohe Verbundfestigkeiten und stellen sich als ausgesprochen feuchtigkeitsstabil dar. Durch die Zugabe von Kunststoffen kann die Verbundfestigkeit im Trockenzustand gesteigert werden, Feuchteinflüsse können jedoch zum Quellen und Redispersieren von Kunststoffpartikeln führen. Dagegen stellen Verseifungsreaktionen bei den meisten heute angewandten Modifizierungsmitteln kein Gefährdungspotential mehr dar. Die Frosttauschädigung des Verbundes wird hauptsächlich durch

in die Verbundzone eingedrungenes und dort gefrierendes Wasser ausgelöst. Damit ist der Frosttauwiderstand des Verbundes abhängig vom Frosttauwiderstand der Mörtel und evtl. Vorschädigungen durch die Lastfälle Schwinden, Temperatur oder Verkehrslast.

Im Rahmen von Feldversuchen wurden hydraulische Reparatursystem mit unterschiedlichen Haftbrücken zur Instandsetzung frosttausalzgeschädigter Betonfahrbahnplatten auf einer Bundesautobahn eingesetzt. Nach einer Oberflächenvorbereitung wurden rein hydraulische, organisch modifizierte hydraulische Haftbrücken sowie eine Epoxidharzhaftbrücke zusammen mit einem rein hydraulischen Ausbesserungsbeton ($w/z = 0,4$, Größtkorn 8 mm) aufgebracht. Im Alter von 7, 180, 900 und 1200 Tagen erfolgten u.a. modifizierte Spaltzugprüfungen an Bohrkernen im Labor. Die Ergebnisse sind auszugsweise in Fig. 7 dargestellt.

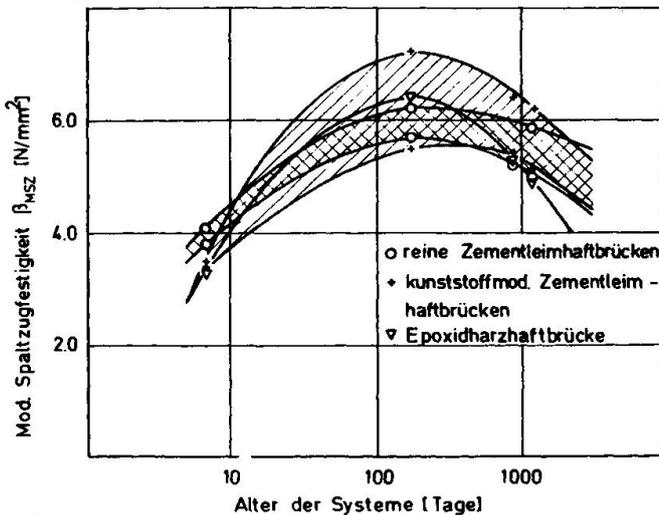


Fig. 7 Verbundfestigkeit der Reparatur-systeme in Abhängigkeit vom Alter

Die von den untersuchten Reparatursystemen erreichten Verbundfestigkeiten liegen weit über den Anforderungen an die Systeme. Es zeigte sich, daß rein hydraulische Systeme in der Lage sind, einen dauerhaften Verbund zu gewährleisten. Der vielfach beschriebene Vorteil der kunststoffhaltigen Haftbrücken konnte in Bezug auf die Dauerhaftigkeit nicht nachgewiesen werden. Von besonderer Bedeutung für die Dauerhaftigkeit der Reparaturmaßnahme ist die Qualität der Durchführung.

5. KORROSIONSSCHUTZ DER BEWEHRUNG DURCH REALKALISIERUNG KARBONATISierter BETONRANDZONEN

Die Wiederherstellung des Korrosionsschutzes der Bewehrung erfolgt in der Praxis meist durch Entfernung des geschädigten, karbonatisierten oder verseuchten Betons, vollständiges Entrosten des Stahles, Anstrich des Stahles und Wiederherstellung des alkalischen Milieus in der Umgebung der Bewehrung durch ein zementgebundenes Reparatursystem. Dieses Verfahren ist insbesondere bei großflächigen Schäden sehr aufwendig. Bei einer Beschichtung der Stähle kann es zudem zu einer Makroelementbildung aufgrund unterschiedlicher Belüftung und zu erneuter, verstärkter Korrosion kommen [5].

Ist der Korrosionsschutz des Bewehrungsstahles durch Karbonatisierung des Betons verlorengegangen, aber noch keine Schädigung des Betons aufgetreten, können durch großflächigen Auftrag hydraulischer Reparaturssysteme in ausreichender Dicke die karbonatisierten Betonrandzonen realkalisiert und eine weitergehende Korrosion verhindert werden, wenn keine Chloridverseuchung des Betons vorliegt.

In experimentellen Untersuchungen wurden hydraulische Reparaturssysteme auf karbonatisierte Oberflächen unterschiedlicher Betone aufgetragen. Nach 14, 28 und 90 Tagen wurde die Realkalisierungstiefe mit Phenolphthalein als Indikator gemessen. In Fig. 8 sind die Ergebnisse auszugsweise dargestellt.

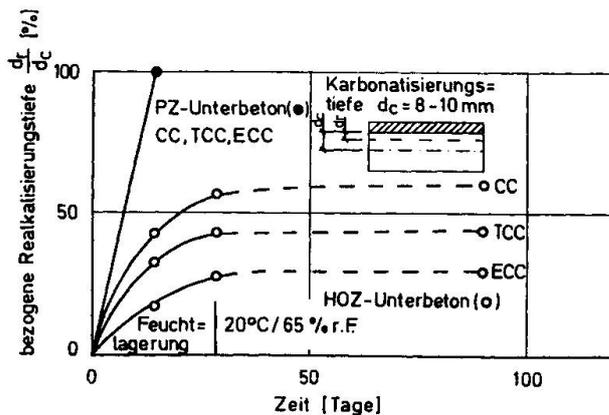


Fig. 8 Realkalisierungsfortschritt für unterschiedliche Reparatursysteme, Unterbetone und Lagerungsbedingungen

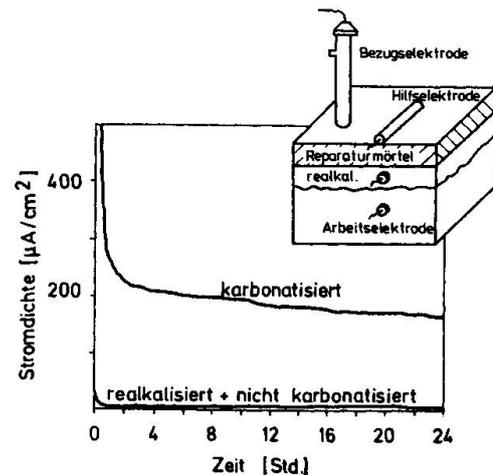


Fig. 9 Potentiostatischer Halteversuch an Stählen im karbonatisierten, nicht karbonatisierten und realkalisierten Beton

Es zeigt sich, daß durch eine Feuchtlagerung die Realkalisierung beschleunigt wird, aber daneben von der Art des Unterbetons und von diffusionsbehindernden Kunststoffbestandteilen der Haftbrücke oder der Reparaturmörtel abhängt.

Um zu überprüfen, ob mit der Realkalisierung karbonatisierter Betonrandzonen auch eine Repassivierung von Stählen verbunden ist, die im karbonatisierten Beton eingebettet sind, wurden in [3] potentiostatische Halteversuche in Anlehnung an die Prüfung von Betonzusatzmitteln auf stahlaggressive Substanzen durchgeführt (s. Fig. 9). Für den Stahl im karbonatisierten Bereich wurde nach 24 Std. eine Stromdichte von ca. 150 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ beobachtet; der Stahl korrodierte. Die Stromdichte-Zeitfunktionen für Stähle im nicht karbonatisierten bzw. realkalisierten Bereich zeigten keinen signifikanten Unterschied. Die Realkalisierung hat damit eine Repassivierung eingebetteter Stähle zur Folge.

Vor einem verbreiteten Einsatz dieses Verfahrens sind jedoch noch eine Reihe von baupraktischen Randbedingungen abzuklären und hierbei insbesondere Fragen der Verfahrenstechnik und erforderliche Nachbehandlungsdauern zu lösen. Die Probleme werden z.Z. im Rahmen eines Forschungsvorhabens bearbeitet.

6. LITERATUR

1. HAARDT P., HILSDORF H.K., Reparatur geschädigter Oberflächen bewehrter und unbewehrter Betonkonstruktionen. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben, 1988
2. HAARDT P., HILSDORF H.K., Einfluß von Haftbrücken auf die Haltbarkeit von Ausbesserungen mit Zementmörtel (Feldversuche). Schlußbericht zum Forschungsvorhaben, 1988
3. BIER TH.A., Karbonatisierung und Realkalisierung von Zementstein und Beton. Dissertation Universität Karlsruhe, 1988
4. HILLERBORG A., Analysis of one single crack development, Fracture mechanics of concrete. Elsevier, 1983
5. VOLKWEIN A., Anstriche als Korrosionsschutz der Bewehrung bei Sanierungen. Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, 2. Int. Kolloquium, T.A. Esslingen, 1986