

Verhalten der grenzflächennahen Zone von  
Instandsetzungs- und Schutzsystemen für Stahlbeton

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels  
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von  
Tausch Jean-Luc  
Dipl. Bau-Ing. ETH  
geboren am 1. April 1968  
von Luxemburg

Angenommen im Auftrag von  
Prof. Dr. F.H. Wittmann, Referent  
Prof. Dr. E. Brühwiler, Korreferent  
Dr. H. Sadouki, Korreferent

Zürich 2000

## Zusammenfassung

Ausgehend von einem Konzept zur Erhaltung bestehender oder zu erstellender Stahlbetonbauteile liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Untersuchung der Mechanik der grenzflächennahen Zone eines Instandsetzungs- und Schutzsystems. Dabei wird bei einem Stahlbetonbauteil zwischen der rein tragenden und der schützenden Funktion des Betons unterschieden. Grundlage dieses Konzeptes ist es, dass das Tragvermögen des Betons während der Nutzungsdauer des Bauteiles nicht beeinträchtigt wird. Dafür ist eine auf den Konstruktionsbeton aufzutragende, schützende Schicht dementsprechend zu bemessen. Ziel der Arbeit ist es, die Ursachen für die mögliche erneute Schädigung des instandgesetzten oder zu schützenden Systems durch das Ablösen der Beschichtung von dem Betonuntergrund quantitativ zu klären.

In der Einleitung wird neben der Bedeutung für die Praxis dieses Konzept der Trennung der Aufgaben des Betons im Bauwerk näher erklärt und es werden die Ziele für diese Arbeit formuliert.

Im folgenden Kapitel wird kurz auf die Dauerhaftigkeit zementgebundener Werkstoffe eingegangen, um anschliessend über die Erläuterung der wichtigsten Instandsetzungsverfahren die Wirkungsweise eines Instandsetzungs- und Schutzsystems explizit zu erklären. Hierbei werden eine ganze Reihe der bisherigen Untersuchungen zu dieser Thematik vorgestellt. Diese Untersuchungen betreffen vor allem die Anforderungen an den Betonuntergrund, an die Beschichtung und schliesslich an die grenzflächennahe Zone eines Instandsetzungs- und Schutzsystems.

Damit ein Instandsetzungs- und Schutzsystem realistisch erfasst werden kann, werden im Kapitel 3 die hierfür benötigten Werkstoffkenngrössen vorgestellt. Anschliessend werden die theoretischen Grundlagen zur Bestimmung dieser Kenngrössen beschrieben. Die Grundlagen stammen für die hygrische Belastung des Systems aus der nicht linearen Diffusionstheorie sowie für die Mechanik des Systems aus der nicht linearen Bruchmechanik zementgebundener Werkstoffe.

Bei der Durchführung der Versuche im Kapitel 4 wird anhand eines Beispiels der Versuchsaufbau, die Durchführung und die Auswertung des Versuches sowie die Ermittlung der Werkstoffkenngrösse angegeben. Dabei werden zwei neue Versuche und deren Auswertung für die Bestimmung der bruchmechanischen Kenngrössen der grenzflächennahen Zone eines Instandsetzungs- und Schutzsystems präsentiert: der für die grenzflächennahe Zone angepasste Keilspaltversuch und der Schubversuch für die grenzflächennahe Zone.

Die Diskussion der Ergebnisse der Versuche befindet sich im Kapitel 5. Der Schwerpunkt liegt bei der Interpretation der unterschiedlichen Einflüsse auf das mechanische Verhalten der grenzflächennahen Zone eines Instandsetzungs- und Schutzsystems. Dabei wird zwischen den oberflächentechnologischen Einflüssen wie Untergrundrauigkeit oder Vornässen des Untergrundes und den materialtechnologischen Einflüssen wie Grösstkorn oder Einsatz von Stahlfasern in der Beschichtung unterschieden.

Im Kapitel 6 wird mit Hilfe von dem am Institut für Baustoffe der ETH Zürich entwickelten numerischen Modell gezeigt, wie die Beständigkeit der grenzflächennahen Zone eines Instandsetzungsverfahrens bestimmt und verbessert werden kann.

Die wichtigsten Ergebnisse und deren Bedeutung für die Praxis werden als Folgerungen dieser Arbeit im Kapitel 7 zusammengefasst.

## **Abstract**

The present study focuses on the investigation of the mechanical behaviour within the interface of a repair system or protective coating when a certain concept for preserving existing or projected reinforced concrete structures is being applied. This concept is characterised by the separation of assignments for reinforced concrete structures which distinguishes a solely structural, load bearing role of concrete from the role as protection. In order to preserve the bearing capacity of structural concrete over the whole useful life time, a specially designed protective layer is applied onto the surface of the structural concrete. The aim of the present study is to quantitatively analyse the causes leading to a delamination of the protective layer from the concrete substrate which might result in a deterioration of the structure.

As an introduction the practical implications of a separation of assignments for concrete in reinforced concrete structures are being explained and the aims of the present study formulated.

The following chapter briefly outlines the influences on durability of cement based materials. Different important restoration systems are explained while emphasizing on the mode of effectiveness of restoration systems and protective layers. The investigations that are referred to mainly treat with the requirements regarding the properties of concrete substrate, protective layer and interface of a restoration system or protective system.

Chapter 3 presents the material properties needed for a realistic investigation of a restoration resp. protective system. The theoretical background for determining these properties is being described. Stresses due to hygral deformation are explained using non linear diffusion theory whereas the mechanical behaviour of the systems are interpreted using non linear fracture mechanics of cement based materials.

In chapter 4 an example is used to illustrate the experimental setup, the execution and interpretation of the experiments as well as the determination of material properties. Two new experimental arrays and their method of evaluation are being introduced which are suitable for determining the fracture mechanical properties of the interfacial zone of restoration systems and protective layers: the wedge splitting test adapted to the interfacial zone and the shear test applied to the interfacial zone.

The experimental results are presented and discussed in chapter 5. The discussion focuses on the interpretation of different parameters influencing the mechanical behaviour of the interfacial zone of restoration resp. protective systems. Parameters related to the surface such as the roughness or the wetting of the substrate before application are differentiated from influences related to material technology such as the size of maximum aggregate or the use of steel fibres within the layer.

In chapter 6 the numeric model developed at the institute of building materials of the ETH in Zurich is used to determine and optimize the durability of the interfacial zone of a restoration system.

The most important results of this study and their practical implications are summarized in chapter 7.

## Résumé

L'analyse de la mécanique de la zone interfaciale d'un système d'assainissement et de protection pour béton armé est le sujet principal de cette thèse de doctorat. Comme base de cette analyse figure un concept pour la maintenance d'ouvrages en béton armé existant ou en voie de construction en séparant clairement entre la fonction structurelle et la fonction protectrice du béton. L'idée de ce concept consiste dans le fait que la capacité portante du béton n'est jamais détérioré durant sa durée de vie. Pour cette raison on dimensionnera un recouvrement protecteur qu'on appliquera sur le béton de structure. Le but de cette thèse est de déterminer les raisons d'une détérioration éventuelle du système assainissant ou protecteur par la délamination du recouvrement à base de ciment à partir du substrat.

L'introduction se concentre sur les explications de ce concept de la séparation des fonctions du béton dans l'ouvrage en invoquant l'importance de ce concept pour la pratique. Aussi les buts de la thèse présente sont-ils énoncés.

La durabilité des matériaux à base de ciment et les plus importantes méthodes d'assainissement d'une construction en béton armé sont traitées dans le deuxième chapitre. Un certain nombre d'études à ce sujet concernant les exigences au substrat, au recouvrement et surtout à la zone interfaciale d'un système d'assainissement et de protection sont alors présentées.

Les caractéristiques des matériaux nécessaires à la description réaliste d'un système d'assainissement et de protection sont présentées dans le troisième chapitre. Les bases théoriques pour la détermination de ces caractéristiques qui pour la charge hygrique respectivement pour la mécanique du système proviennent de la théorie de diffusion non linéaire respectivement de la mécanique de rupture non linéaire des matériaux à base de ciment sont ensuite décrites.

Le dispositif expérimental, l'exécution et l'évaluation des essais ainsi que la détermination des caractéristiques du matériau sont décrits à l'aide d'un exemple dans le quatrième chapitre. Deux nouveaux essais pour la détermination des paramètres de la mécanique de rupture de la zone interfaciale d'un système d'assainissement et de protection sont alors présentés: l'essai de fendage adaptés à la zone interfaciale et l'essai de cisaillement pour la zone interfaciale.

La discussion des résultats expérimentaux se trouve au cinquième chapitre. Les accents sont mis sur l'interprétation des différentes influences sur le comportement mécanique de la zone interfaciale d'un système d'assainissement et de protection. Dans cette interprétation on différencie clairement entre des influences de la technologie de surface tel que la rugosité ou l'arrosage du substrat avant l'application du recouvrement et les influences du matériau appliqué comme la taille maximum de l'agrégat ou l'adjonction de fibres en acier au recouvrement.

Au sixième chapitre on démontre à l'aide d'un modèle numérique développé à l'institut des matériaux de construction comment l'aptitude au service d'une zone interfaciale d'un système d'assainissement et de protection peut être déterminée et améliorée.

Les plus importants résultats et leur signification pour la pratique sont résumés comme conclusions de cette thèse au septième chapitre.

## Sintesi

Il punto fondamentale della presente tesi è l'analisi della meccanica della zona interfacciale di un sistema di riparazione e protezione. La tesi basa sul concetto di mantenimento di costruzioni in cemento armato esistenti o future, il quale che richiede che la resistenza portante del cemento armato non venga ridotta durante tutta la durata d'utilizzo della costruzione. Seguendo questo principio viene fatta una distinzione tra la funzione portante e la funzione protettiva del calcestruzzo, quest'ultima potendo essere ottenuta applicando uno strato protettivo di materiale cementizio, il quale deve essere dimensionato per questo scopo. La tesi si pone come obiettivo di descrivere quantitativamente le cause del rinnovato staccarsi dello strato esterno protettivo dal substrato delle costruzioni in cemento armato già rinnovate o da proteggere.

Nell'introduzione si spiega in dettaglio il concetto di mantenimento menzionato e la sua importanza per l'industria, gli obiettivi della tesi vengono definiti.

La durabilità dei materiali a base di cemento e i metodi più importanti di risanamento di una costruzione in cemento armato vengono trattati nel secondo capitolo. Per spiegare il funzionamento dello strato di protezione applicato al substrato da proteggere vengono presentate le analisi conosciute di questo problema. Queste trattano delle esigenze poste al substrato, allo strato di ricoprimento e alla zona interfacciale tra questi ultimi.

Nel terzo capitolo vengono discussi i parametri del materiale necessari alla descrizione e definizione realistica del sistema di riparazione e protezione. I principi teorici per la determinazione di questi parametri vengono presentati. Il carico igrico del sistema viene descritto sulla base della teoria non lineare di diffusione mentre la meccanica del sistema substrato-strato protettivo basa sulla meccanica di rottura non lineare dei materiali cementizi.

Nel quarto capitolo vengono descritti con un esempio il dispositivo sperimentale, l'esecuzione e la valutazione degli esperimenti e la determinazione dei parametri del materiale descritti nel capitolo tre. In questo capitolo vengono presentati due nuovi esperimenti per la determinazione dei parametri di meccanica di rottura della zona interfacciale del sistema di riparazione e protezione e la loro valutazione.

Nel quinto capitolo vengono discussi i risultati degli esperimenti con l'importanza posta nel valutare i vari effetti sul comportamento meccanico della zona interfacciale del sistema di riparazione e protezione. Si distingue tra gli effetti della tecnica di trattamento della superficie da risanare, come la ruvidità del substrato o l'umidificazione del substrato prima della posa dello strato protettivo, e gli effetti della tecnica dei materiali nel dimensionamento dello strato protettivo, come la scelta della finezza degli aggregati o l'utilizzo di fibre d'acciaio nello strato protettivo.

Nel sesto capitolo viene mostrato, con l'aiuto di un modello numerico sviluppato all'istituto per materiali da costruzione del Politecnico Federale di Zurigo, come la resistenza e la durabilità della zona interfacciale di un sistema di risanamento può essere valutata e perfezionata.

Nella conclusione della tesi nel settimo capitolo vengono riassunti i risultati più importanti e la loro rilevanza per l'industria.