

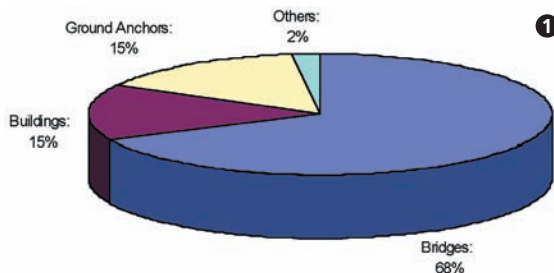


Neue Technologien

**Nouvelles
technologies**

New technologies

Peter Matt



Aufteilung der insgesamt eingebauten Spannstahlmenge auf die Anwendungsarten in der Schweiz (Schätzung).
Totally consumed amount of prestressing steel vs. application areas in Switzerland (estimation).

Einleitung

Der Spannbetonbau hat in der Schweiz früh begonnen. So wurde hier beispielsweise bereits 1943 die weltweit erste Eisenbahnbrücke gebaut, die auch heute noch in Betrieb ist. Es handelt sich um eine Brücke im Gelände des Bahnhofs von Freiburg. Sie bildet einen Teil der Überdeckung der «Passage du Cardinal» mit einer Spannweite von 11,00 m und einer Breite von 13,25 m [1]. Auch in der Entwicklung der Vorspanntechnik haben Schweizer Ingenieure wichtige Beiträge mit grosser internationaler Ausstrahlung geleistet. Unter den industrialisierten Ländern hat die Schweiz den höchsten Verbrauch an Spannstahl pro Einwohner. Die Verteilung der insgesamt eingebauten Spannstahlmenge auf die verschiedenen Anwendungsarten zeigt Bild 1. Der weitaus grösste Anteil von 68% wird für Strassen- und Eisenbahnbrücken verwendet. Auch wenn die Technologie der Spannsysteme bereits über 50 Jahre alt ist und sich überwiegend sehr gut bewährt hat, so sind vor allem aufgrund eines gesteigerten Qualitätsbewusstseins interessante Entwicklungen festzustellen, die nachfolgend kurz vorgestellt werden.

Entwicklungstrends

Verschiedene Gründe wie Korrosionsschäden [2] haben dazu geführt, dass seit den frühen Neunzigerjahren bei Spannsystemen

höhere Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und an die Überwachbarkeit gestellt werden. Es gibt mehrere Wege, diesen gesteigerten Anforderungen gerecht zu werden. Zu den wichtigsten gehören:

- interne Spannglieder mit Verbund mit erhöhter Dauerhaftigkeit (robuste Kunststoffhüllrohre und elektrisch isolierte Spannglieder)
- externe Spannglieder mit der Möglichkeit zur Überwachung und Auswechslung.

Als Zugglied kommen bei diesen Spannsystemen hochfeste Spannstähle zum Einsatz. Die Verwendung von Faserverbundwerkstoffen beschränkte sich bis anhin auf Pilotprojekte. Es ist anzunehmen, dass dies noch einige Zeit so bleiben wird.

In der Schweiz sind in den vergangenen Jahren alle diese Möglichkeiten in der Praxis angewendet worden. Es hat sich aber klar abgezeichnet, dass Spannbetragwerke in der Regel auch in Zukunft mit internen Spanngliedern mit Verbund geplant und ausgeführt werden.

Weiter ist erwähnenswert, dass die seit Ende der Achtzigerjahre etablierten Zulassungsverfahren und die Einführung von zertifizierten Qualitätsmanagementsystemen bei den Spannfirmen positive Auswirkungen haben.

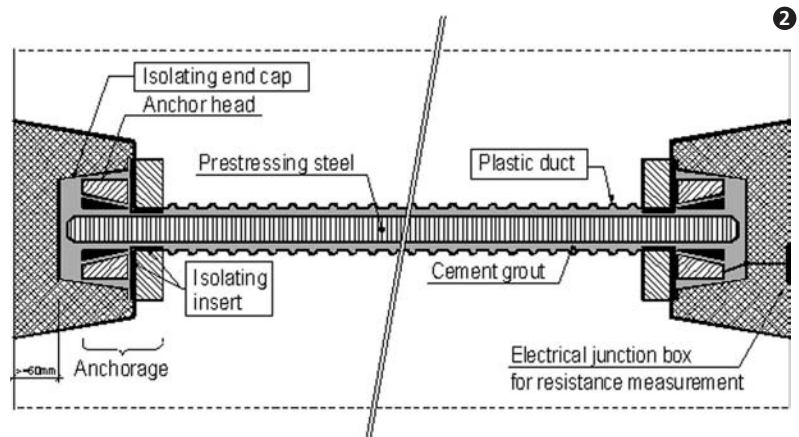
Introduction

In Switzerland, prestressed concrete had an early start. Already in 1943, the first railway bridge was built here and is still in service. It is a bridge within the boundaries of the railway station at Fribourg and is constituting a part of the superstructure of the «Passage du Cardinal» with a span of 11.00 m and a width of 13.25 m [1].

In the development of the post-tensioning (pt) technology Swiss engineers made major contributions with great international impact. Among the industrialised countries, Switzerland has the highest consumption of prestressing steel per capita. Figure 1 shows the distribution of the totally installed quantity of prestressing steel on the various types of applications. By far the biggest amount of 68% has been used for road and railway bridges. Although the technology of pt-systems is over 50 years old and has been predominantly very successful, interesting developments originating from an increased awareness for quality can be noted. These are briefly presented in the following.

Trends of developments

Since the early nineties, various reasons such as corrosion damages [2] have led to higher re-



Schematische Darstellung von Spanngliedern der Kategorie c.
Schematical presentation of category c tendons.

Spannsysteme mit erhöhter Dauerhaftigkeit

Umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten haben gezeigt, dass die Dauerhaftigkeit durch die Verwendung geeigneter Kunststoffhüllrohre und elektrisch isolierter Spannglieder markant erhöht werden kann. Gute Erfahrungen mit Pilotanwendungen bei Brücken ab 1993 haben das Bundesamt für Strassen (ASTRA) und die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB AG) bewogen, die Richtlinie «Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten» zu erarbeiten und kürzlich herauszugeben [3]. Sie unterscheidet in Bezug auf den Grad des Korrosionsschutzes folgende Kategorien von Spanngliedern:

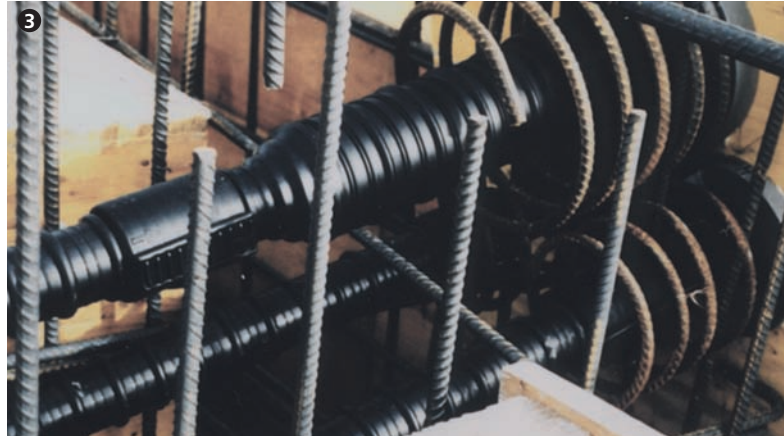
Kategorie a: Spannglieder mit Stahlhüllrohren

Kategorie b: Spannglieder mit robusten Kunststoffhüllrohren

Kategorie c: elektrisch isolierte Spannglieder, d.h. Hüllrohre wie in Kategorie b und zusätzlich Verankerungen und Kupplungen so ausgebildet, dass eine dauerhafte elektrische Isolation zwischen Spannstahl und Bewehrung sichergestellt ist. Im Unterschied zu den Kategorien a und b ermöglicht die elektrische Isolation den Schutz des Spannstahls gegen Streustromeinwirkung sowie die Überwachung der Dichtigkeit der Schutzhülle.

Bei der Kategorie a handelt es sich um den früher üblichen Spanngliedertyp. Durch die Einführung und Zulassung eines geeigneten robusten Kunststoffhüllrohr-Systems gemäss Kategorie b hat sich der Anteil der Kategorie a stark reduziert. Bild 2 stellt den Aufbau der Kategorie c schematisch dar, während die Bilder 3 bis 5 eine praktische Anwendung zeigen.

Die Richtlinie enthält unter anderem wichtige Empfehlungen zur Wahl der Spanngliedkategorie (Tabelle 1). Massgebend sind dabei der vorhandene konstruktive Schutz, die zu erwartenden Einwirkungen und die Exposition



Spanngliedende mit robustem Kunststoffhüllrohr und Kunststoffstutzen.
Tendon end with robust plastic duct and plastic sleeve.

requirements with regard to durability and surveillance. There are several options to satisfy these increased requirements. Among the most important ones are:

- internal bonded tendons with increased durability (robust plastic ducts and electrically isolated tendons)
- external tendons with the possibility for surveillance and replacement.

For these pt-systems, high-strength prestressing steels are used as tensile members. The application of fibre-composite materials is restricted to date to pilot projects. It can be assumed that this will not change for some time to come.

In the past years, in Switzerland, all these possibilities have been applied in practice. It was, however, clearly recognised that also in the future prestressed concrete structures will generally be planned and executed with internal bonded tendons.

Furthermore, it is noteworthy that the approval procedures first established in the late eighties and the introduction of certified quality management systems by the prestressing firms had positive effects.

Post-tensioning systems with increased durability

Comprehensive research and development works have demonstrated that the durability can be

strongly enhanced by using suitable plastic ducts and electrically isolated tendons. Good results with pilot applications in bridges since 1993 have encouraged the Swiss Federal Roads Authority and the Swiss Federal Railways to develop and recently publish the guideline entitled "Measures to ensure the durability of post-tensioning tendons in bridges" [3]. With regard to the degree of corrosion protection, the guideline distinguishes between the following tendon categories:

Category a: tendons with metal ducts

Category b: tendons with robust plastic ducts

Category c: electrically isolated tendons, i.e. plastic ducts as in category b and additionally anchorages and couplers being electrically isolated from the ordinary reinforcement. Unlike the categories a and b, the electrical isolation provides the protection of the prestressing steel against stray currents and permits the surveillance of the tightness of the protection envelope.

Category a represents the previously traditional type of tendon. By introducing and approving a suitable plastic duct system according to category b, the share of category a has been greatly reduced. Figure 2 presents the tendon components of category c schematically, whereas figures 3 to 5 show an application in practice.



Elektrisch isolierte Spannverankerung.
Electrically isolated stressing anchorages.

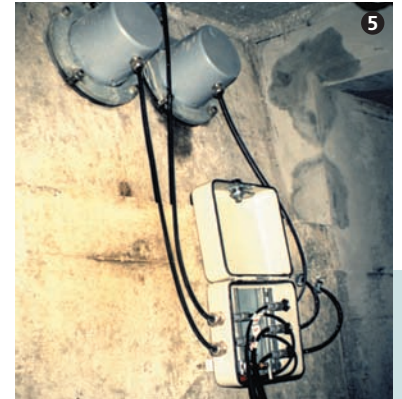
bzw. Nähe der Spannglieder zu den schädigenden Einwirkungen. Das letzte Kriterium bedeutet, dass Spannglieder, die ganz in der Fahrbahnplatte einer Brücke verlaufen (Querspannglieder, Längspannglieder bei Freivorbaubrücken usw.), zumindest in Kategorie b ausgeführt werden. Im Weiteren gibt die Richtlinie für

die Kategorie c Hinweise zur Planung und Durchführung der elektrischen Widerstandsmessungen und legt Grenzwerte für die elektrische Isolation als Mass für die Dichtigkeit der Schutzhülle fest. Sie erwähnt auch, dass die Qualität der Zementinjektion trotz der zusätzlichen Schutzhülle unvermindert hoch sein muss.

Schlussbemerkungen

Nach den guten Erfahrungen mit den Pilotprojekten sind in den letzten Jahren in über 50 Brücken Spannglieder der Kategorie b und in über 20 Brücken solche der Kategorie c erfolgreich eingesetzt worden. Als Beispiel sei die Seebücke Luzern erwähnt, welche in den Jahren 1994 bis 1996 erbaut wurde (Bild 6). Da die Brücke in Zukunft möglicherweise auch für eine gleichstrombetriebene Trambahn genutzt wird, entschied man sich dafür, die gekuppelten Längsspannglieder gemäss Kategorie c, d.h. elektrisch isoliert auszuführen [4]. Nach der Überwin-

Among others, the guideline contains important recommendations with regard to the choice of the tendon category (table 1). Decisive parameters are the foreseen structural protection, the expected actions and the exposition resp. proximity of the tendons to adverse actions. The last criterion means that for tendons being lo-



Schutzhauben und Messkasten für die Überwachung.
End caps and electrical junction box for tendon monitoring.

Wahl der Spanngliedkategorie in Abhängigkeit des vorgesehenen konstruktiven Schutzes und der zu erwartenden schädigenden Einwirkungen.
Choice of tendon category as function of the structural protection and adverse actions to be expected.

Tabelle 1/Table 1

	Structural protection		
	High e.g. • sealing and waterproofing • inspectable drainage • simple and proven details • concrete cover > 80 mm ¹⁾	Average e.g. • waterproofing • concrete cover 60–80 mm ¹⁾	Small e.g. • segment joints ²⁾ • no waterproofing possible • structural element not inspectable
Actions			
High e.g. • stray current • severe deicing action (contact and splash zones) • frequent changes of humidity	b / c*	b / c*	c
Average e.g. • deicing salt action (sprinkle fog zone) • few changes of humidity	a / b**	b	b
Small e.g. • detrimental actions less probable	a / b**	a / b**	b

* Category c is imperative for stray current actions, except e.g. in cases where the prestressing tendons are orientated perpendicularly to the flow of current

** Category b for structures where fatigue is governing

¹⁾ In segment joints the continuity of the plastic ducts has to be assured by appropriate means

²⁾ Concrete cover to the tendon



Seebrücke Luzern.
Lake bridge Lucerne.

ding einzelner Anfangsschwierigkeiten konnten die sehr hohen Anforderungen erfüllt werden. Für die Querspannglieder wurde die Kategorie b gewählt. Weitere Anwendungen befinden sich in Ausführung oder in Planung. Zusammen mit einer Weiterentwicklung der elektrischen Widerstandsmessung (bei Kategorie c), mit welcher eine stark verbesserte Aussagekraft erzielt werden konnte [5], bewirkt die sich in Gang befindende Umsetzung dieser Entwicklungen die gewünschte Erhöhung der Dauerhaftigkeit bei Spannsystemen. Eine Tatsache, die auch in anderen Ländern mit Interesse aufgenommen wurde. ●

cated in the deck slab of a bridge (transversal tendons, longitudinal tendons in free cantilever bridges, etc.), category b is generally used. Furthermore, for category c the guideline provides recommendations for the planning and execution of the electrical resistance measurements and determines limiting values for the electrical isolation as the measure for the tightness of the protection envelope. It also mentions that the quality of the grouting must be invariably high despite the presence of the additional protection barrier.

Concluding remarks

Based on the good experience with pilot projects, tendons of category b have been successfully used in over 50 bridges and those of category c in over 20 bridges. As an example, the lake bridge of Lucerne, constructed between

1994 and 1996, can be mentioned (figure 6). In the future, the bridge will possibly also be used for a direct-current-driven tramway and, therefore, coupled longitudinal tendons according to category c, i.e. electrically isolated tendons, have been selected [4]. After having overcome initial difficulties, the very high requirements could be respected. The transversal tendons were executed in category b. More applications are in execution or planning phase.

Together with a further development of the electrical resistance measurement of category c, allowing a greatly improved evaluation of the results [5], the ongoing transfer of these developments into practice brings about the desired improvement of the durability of pt-systems. A fact which has also been noted with interest by other countries. ●

Verfasser / Author
Peter Matt
dipl. Bauing. ETH
Ingenieur-Beratung
Talweg 21
CH-3063 Ittigen
petermatt@email.ch

Referenzen/References

- [1] Bericht zur Tagung der Professoren A. Stucky, J. Bolomey und F. Panchaud vom 29.04.1944 an der Ingenieurschule Lausanne, Bulletin Technique de la Suisse Romande, Nr. 12 / 1944, S. 149-155
- [2] F. Hunkeler, H. Ungricht, P. Matt; Korrosionsschäden an Spannstählen in Spanngliedern und vorgespannten Boden- und Felsankern, Forschungsbericht Nr. 534, Dezember 1998, VSS, Zürich
- [3] Richtlinie des Bundesamtes für Strassen und der SBB AG; Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten, Ausgabe 2001, BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern sowie als pdf-download unter www.astra.admin.ch (English version under preparation)
- [4] V. Sigrist, K. Lüpold, M. Jost; Seebrücke Luzern – Elektrische isolierte Spannglieder, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft Nr. 24/1997, S. 20-22
- [5] B. Elsener, L. Toller, C.-H. Vouïte, H. Böhni; Überprüfen des Korrosionsschutzes von Spanngliedern in Kunststoffhüllrohren, Forschungsbericht Nr. 564, Februar 2002, VSS, Zürich

Fritz Münger

Einleitung

Betontragwerke können verstärkt werden, indem eine neue tragende Betonschicht aufgebracht wird. Diese Betonschicht verstärkt die Biegedruck- oder Biegezugzone, je nach Lage im Tragwerk. Die strukturellen Eigenschaften des verstärkten Tragwerkes sollen möglichst weitgehend denjenigen des monolithischen Tragwerkes entsprechen.

Die Erfahrung und auch theoretische Modelle zeigen, dass unterschiedliches Schwinden und häufige Temperaturschwankungen die Hauptursachen für eine mögliche Trennung der beiden Betonschichten sind. Forschungsarbeiten beantworten deshalb zwei Fragen: 1. Kann die Art der Oberflächenvorbereitung die Wirksamkeit des Verbundes verbessern? 2. Sind zu dessen Optimierung auch mechanische Verbindungen durch die Verbundfuge notwendig?



1
Instandsetzung einer Brücke mit Hilfe von Aufbeton.
Bridge rehabilitation by means of concrete overlay.

Die Problemstellung

Die Beanspruchung der Verbundfuge ergibt sich aus der Überlagerung äußerer Lasten und innerer Zwängungskräfte. An den Rändern des Aufbetons erreichen die Spannungen aus Schwinden und Temperaturschwankungen den grössten Wert. Die Kombination von Spannungen aus äußerer und innerer Beanspruchung überschreitet oft die Adhäsion des Verbundes. Der Ingenieur muss deshalb für die Bemessung von einer gerissenen Verbundfuge ausgehen. Dies gilt insbesondere für Brücken, wo die Verkehrslasten die Verbundfuge auf Ermüdung beanspruchen. Die Beanspruchung ist zudem zeitabhängig, und der Verbund kann noch Jahre nach dem Aufbringen des Aufbetons versagen.

Zu dieser Problemstellung hat die Hilti-Konzern-Forschung in ihren Labors zusammen mit der Universität Innsbruck ausführliche Untersuchungen durchgeführt. Die daraus entwickelte Bemessungsempfehlung [1] wird schon seit einigen Jahren für die Instandsetzung aller Arten von Tragwerken befolgt. So werden vor allem Brücken instand gesetzt (Bilder 1, 2, 3 und 4), zum Beispiel, wenn deren Bewehrung korrodiert ist (Bild 5). Ausserdem liegen zahlreiche Erfahrungen vor über

Introduction

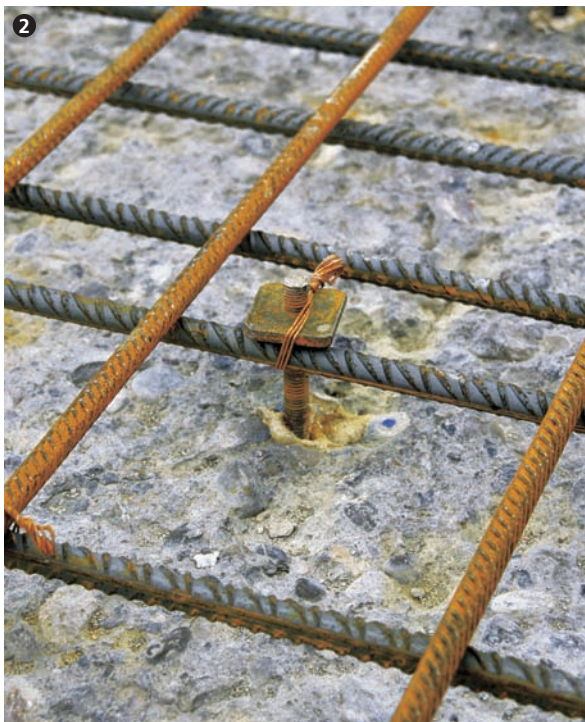
In order to repair or reinforce a structure, a load-bearing layer of new concrete can be placed on an existing concrete structure. Its function is to strengthen the compression or tension zones, depending on its position on the structure. The structural characteristics of the resulting composite concrete structure are intended to correspond to those of a monolithic structure.

Case studies and theoretical models show that differential shrinkage and frequent temperature changes are the primary causes of separation of the new concrete at the interface with the original concrete, thus emphasising the requirement for surface preparation and mechanical restraint across the interface.

Task

Initially, stresses in the bonded interface result from the combination of external loads and internal forces of constraint. Stresses due to shrinkage and temperature fluctuations reach a maximum at the perimeter of the overlay. The combination of stresses caused by external and internal loading often exceeds the bond adhesion, thus requiring the engineer to allow for a separated interface during design work. This applies particularly to bridge overlays whose bond interfaces are subjected to fatigue stressing caused by traffic. Furthermore, this stressing is a function of time, and bond failure can take place years after the overlay was put into place.

In this respect, extensive testing has been carried out in the research laboratories of the Hilti Corporation in cooperation with the University of Innsbruck. The resulting design recommendation [1] has been used for many years now to repair all kinds of load-bearing structures. It is, for exam-



2
Verbinder und Bewehrung.
Connector and reinforcement.

die Sanierung von Parkgaragen, Tunnel, Wasserwerken (Bild 6) und Fundamenten sowie über die Umnutzung von Industriebauten (Bild 7).

Forschungsarbeiten

Im Jahre 1991 hat Menn [2] Versuche über das Verbundverhalten von Betonbalken publiziert, welche auf der Zugseite mit bewehrtem Aufbeton verstärkt waren. In den Labors der Hilti-Konzern-Forschung sind darauf umfangreiche Schubversuche durchgeführt worden (Bild 8). Dabei wurde geprüft, wie unterschiedliche Oberflächenrauigkeit und unterschiedliche Anzahl Verbinder die Schubtragfähigkeit von Aufbetonfugen verändert. Die Adhäsion in der Fuge wurde vor dem Aufbringen des Aufbetons mit einem Anstrich aus Schalungsöl gebrochen. Die Versuchsergebnisse bestätigen den starken Einfluss der Rauigkeit der Verbundfuge auf die Tragfähigkeit und die Steifigkeit des Verbundes. Die drei Komponenten, Formschluss, Reibung im Beton und Biegung der Verbinder, konnten getrennt betrachtet werden. Bruchmechanische Untersuchungen von Verbundsystemen werden herangezogen, um den



Korrosion in der Bewehrung.
Corrosion of reinforcement.

ple, used in particular when upgrading bridges (figures 1, 2, 3 and 4), for example when the reinforcement has corroded (figure 5). In addition, a great deal of experience has been gained with the repair and rehabilitation of car parks, tunnels, water treatment plants (figure 6), foundations and the conversion of industrial buildings (figure 7).

Research work

In 1991, Menn [2] published results from testing the bond behaviour of concrete beams which had been strengthened on the tension side with additional reinforcement in a concrete overlay. Extensive shear tests (figure 8) have been carried out in the laboratories of the Hilti Corporation. They investigated how various degrees of joint surface roughness and different numbers of connectors change the transferable shear stress at the interface of an overlay and original concrete. Before the new concrete was placed, adhesion at the joint interface was impaired by applying a coat of form work oil. The test results confirmed the strong influence of surface roughness at the interface on the shear resistance and stiff-



Vorbereitung der Brücke für Aufbeton.
Preparation of bridge for overlay.



Setzen von Verbindern für Aufbeton.
Placement of connector for overlay.

ness of the joint. It was also possible for the three components – cohesion, friction in the concrete and bending of the connectors – to be regarded separately.

Investigations into composite systems from a fracture mechanics perspective were used to study the separation behaviour at the interface. Forces of constraint are reduced in the case of ductile composite joints, and loads are redistributed, redundantly, to connectors with surplus loading capacity. The mechanisms of concrete-to-concrete bonds have been extensively researched by Tschegg et al. [3] in a fracture mechanics respect. It was then confirmed that by giving the interface surface an optimal treatment in accordance with Hilti [4], when the surface roughness has to be matched with the largest aggregate size used in the overlay, the mechanical properties obtained at the concrete interface are comparable to those of a homogeneous cross section.

After the design fundamentals for concrete-concrete composite systems had been stipulated, the question of site quality control had to be answered. Surface



Erweiterung einer Kläranlage.
Upgrade of water works.

Trennmechanismus in der Fuge zu untersuchen. Bei duktilen Verbundfugen werden die Zwängungskräfte reduziert. Ausserdem lagern sich Belastungen redundant auf Verbinder mit Tragreserven um. Die Wirkungsweise von Beton-Beton-Verbund in bruchmechanischer Hinsicht haben Tschegg et al. [3] ausführlich mit Hilfe von Keilspaltversuchen erforscht. Dabei bestätigte sich, dass bei optimaler Oberflächenbehandlung nach Hilti [4], bei der die Oberflächenrauigkeit auf das Grösstkorn des Aufbetons abgestimmt wird, die mechanischen Verbundeigenschaften vergleichbar sind mit denen des homogenen Querschnittes. Nachdem die Grundlagen für die Bemessung von Beton-Beton-Verbundsystemen bereitstanden, war die Art der Baustellenüberprüfung noch festzulegen. Die Ober-

flächenrauigkeit kann mit dem Sandflächenverfahren [5] gemessen werden. Die Einmörtelung der Verbinder in den bestehenden Beton lässt sich bei Bedarf auf der Baustelle stichprobenweise mit einfachen Zugversuchen (Bild 9) überprüfen.

Bemessung von Verbundfugen

Die praktische Bemessungsmethode mit Berechnungsbeispielen für den Ingenieur ist im Hilti-Handbuch der Befestigungstechnik dargestellt [1]. Das Institut für Betontragwerke der Universität Innsbruck hat wissenschaftliche Unterstützung während der Versuche und der Entwicklung der Bemessungsmethode geleistet, welche auf dem Eurocode EC 2 [6] basiert. Die Auswertung ist in der Dissertation von Randl [7] enthalten, und eine Zusammenfassung

roughness can be measured by the sand patch method [5]. The quality of connectors bonded in existing concrete can be readily checked on a sampling basis by carrying out simple pull-out tests (figure 9) on the site.

Design of composite joints

The practical design procedure with design examples for engineers is shown in the Hilti Fastening Technology Manual [1]. The Institute for Concrete Structures of the University of Innsbruck, Austria, provided scientific support during the testing and the development of this design method, which is based on Eurocode EC 2 [6]. The evaluation is contained in the thesis written by Randl [7], and a summary has been published by Randl and Wicke [8].

This design method is particularly notable for its transparency as regards the various influencing factors, namely surface roughness, friction and connector bending. Calculation work has been simplified for engineers by design charts and an Excel program.

Conclusions

The kind of treatment given to the surface of an original concrete influences crack propagation in the interface of a concrete overlay reinforcement. The greater part of the system energy is taken up by additional mechanical connectors during crack propagation. Consequently, the connectors act as redundant crack inhibitors. With optimum roughened concrete surfaces, according



Verstärkung eines Industriegebäudes.
Reinforcement of an industrial building.

ist von Randl und Wicke publiziert worden [8].

An der Bemessungsmethode fällt besonders die Transparenz in Bezug auf die unterschiedlichen Einflüsse Rauigkeit, Reibung und Dübelbiegung auf. Bemessungsdiagramme und ein Excelprogramm vereinfachen die Rechenarbeit für den Ingenieur oder die Ingenieurin.

Folgerungen

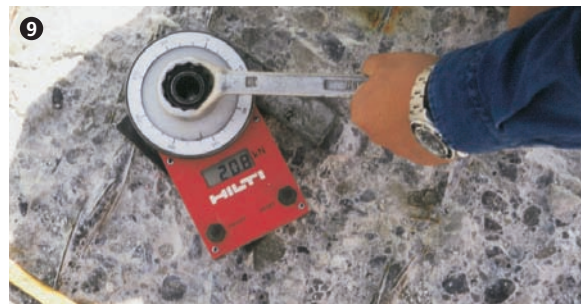
Die Art der Betonvorbereitung bei Beton-Beton-Verbund beeinflusst im Gebrauchszustand die Rissfortpflanzung in der Fuge von neuem zu altem Beton. Zusätzlich angeordnete mechanische Verbinder nehmen während der Rissfortpflanzung einen grossen Teil der Systemenergie auf. Die Verbinder wirken somit als redundante Rissstopper. Angemessenes Aufrauen der Fuge reduziert zusätzlich die Rissbreite. Bei optimal rauer Fuge nach den Empfehlungen von Hilti [4] ergeben sich – in Kombination mit den Verbindern – Verbundsysteme, die genauso stark sind, wie wenn die beiden Betonteile in einem Guss hergestellt worden wären. ●

to the recommendations in Hilti [4], mechanical properties can be achieved in the way that the composite interface is no longer a weakness compared to a monolithic concrete member. A reasonable amount of roughening the interface surface additionally re-

duces the crack width. Composite systems result with the same strength as the two members built as a monolithic one, if the interface surface is roughened optimally and is designed in combination with the connectors. ●



8 Schubversuche in den Labors der Hilti Konzern-Forschung. Shear test in the laboratories of Hilti Corporate Research.



9 Baustellentests an Verbindern. Site tests on connectors.

Verfasser / Author

Fritz Mürger
dipl. Bauing. ETH
BA Fastening & Protection Systems
Hilti Corp.
FL-9494 Schaan
Principality of Liechtenstein
Tel. (+423) 236 30 47
Fax (+423) 236 30 96
muenfri@hilti.com

Referenzen/References

- [1] Hilti; Handbuch der Befestigungstechnik, Bewehrungsanschluss für Aufbeton; Teil 6, Ausgabe 2002.
Fastening Technology Manual: Connections for Concrete Overlays, Part 6, Issue 2002.
- [2] C. Menn; Bonding of Old and New Concrete for Monolithic Behaviour; Swiss Federal Institute of Technology, Zurich; Report No. 185, 1991.
- [3] E.K. Tschegg, M. Ingruber, C.H. Surberg, F. Mürger; Factors Influencing the Fracture Behaviour of Old-New Concrete Bonds; ACI Structural Journal, Vol. 97 No. 4, July–August 2000, p. 447–453.
- [4] Hilti; Process for surface treatment of articles to be coated, European Patent No. 0634 526 (1996).
- [5] DAfStB; Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Beuth Verlag, Berlin 30 und Köln 1, Teil 3, Abschnitt 3.2.7, 1991.
BS 598; Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas, Methods of tests for the determination of texture depth; Part 105: 1990.
- [6] EC 2; Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken: Teil 1. Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau; ENV 1992-1-1: 1991.
EC 2; Design of concrete structures: Part 1. General rules and rules for buildings; ENV 1992-1-1: 1991.
- [7] N. Randl; Untersuchungen zur Kräfteübertragung zwischen Alt- und Neubeton bei unterschiedlicher Fugenrauigkeit; Institut für Betonbau an der Universität Innsbruck, Eigenverlag (1997).
Investigations into the transfer of forces between original concrete and a concrete overlay when the interface surface has various degrees of roughness.
- [8] N. Randl, M. Wicke; Schubübertragung zwischen Alt- und Neubeton, Beton- und Stahlbetonbau 95, Heft 8, Aug. 2000, S. 461–473.
Shear transfer between original concrete and a concrete overlay, concrete and reinforced concrete construction, Beton- und Stahlbetonbau, Issue 8, Aug. 2000, p. 461–473.

Fritz Münger



Tragwerkinstandsetzung.
Structural upgrade.

Zusammenfassung

Wie kann nachträglich eingemörtelte Bewehrung bestehenden Beton zuverlässig mit neuem Beton verbinden? Welche Gesichtspunkte müssen der Ingenieur und die Ingenieurin bei der Bemessung besonders berücksichtigen? Bei der Bemessung dürfen nicht nur die Verbundeigenschaften des Mörtels betrachtet werden. Die Kapazität des Betons zur Lastaufnahme ist beschränkt. Insbesondere bei engen Stababständen und/oder bei Stäben in der Randzone müssen bei Mörteln mit hoher Verbundfestigkeit die Verankerungs- bzw. die Übergreifungslängen gegenüber Verankerungslängen in der Fläche wesentlich vergrößert werden, wenn die Fließgrenze des Stahls ausgenutzt werden soll. Selbstverständlich achtet der Fachmann oder die Fachfrau auf eine ausreichende Lebensdauer des Verbundmörtels und auch darauf, dass dessen Eigenschaften auf Beton und Stahl abgestimmt sind. Ebenso wichtig ist jedoch die Baustellenarbeit. Um Mängel an der Ausführung zu vermeiden, ist ein baustellentaugliches System mit den entsprechenden Arbeitsgeräten notwendig.

Einführung

Beim Bau von Stahlbetonkonstruktionen ist die Anordnung von Betonierfugen ein übliches Hilfsmittel für die zweckmässige Planung

des Bauvorganges. Die Verbindung der Betonstahlbewehrung wird normalerweise mit Übergreifungsstößen hergestellt. Wenn bei Neubauten die aus der Abschaltung der Fuge herausstehenden Stäbe stören, verlangt der Unternehmer meistens schraubbare Verbindungen. Stösse zu schweißen, ist bei den heutigen, walzvergüteten Stählen nicht mehr üblich.

Das Verstärken und Instandsetzen von Bauten gewinnt an Bedeutung, und im Neubau werden Zeit sparende Baumethoden gewünscht. Deshalb hat der Bedarf nach einer zuverlässigen Methode für nachträglich eingemörtelte Bewehrungen in den vergangenen Jahren zugenommen. Hilti bietet schon seit einiger Zeit erfolgreich ein vollständiges, baustellentaugliches Injektionssystem für die nachträgliche Anbindung von Bewehrungen an [1]. Das System hat sich als sehr zuverlässig und wirtschaftlich erwiesen. Für die Bemessung kann die mit dem Hilti-Injektionssystem nachträglich montierte Bewehrung in normalen Fällen wie einbetoniert betrachtet werden. Der Anwendungsbereich ist gross und reicht von allen Arten von kraftschlüssigen Ergänzungen zum Tragwerk (Bild 1) über Pfahl- und Schlitzwände (Bild 2) bis zu Tragwerkinstandsetzungen (Bild 3) [2].

Bemessung der Verankerung von nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben

Für die Analyse des Kraftflusses im Stahlbetonbauteil wird meistens das Fachwerkmodell (Bild 4) herangezogen. In diesem Modell wird, zum Beispiel beim Auflager, die Querkraft einer geeigneten Druckstrebe zugeordnet. Eine vertikale Fuge durch diese Strebe muss deshalb aufgeraut werden, damit zur Kraftübertragung genügend innere Reibung erzeugt werden kann.



Kraftschlüssige Ergänzung eines Tragwerkes.
Monolithic connection of structures.

Summary

How can post-installed reinforcement connect reliably new to existing concrete? Which aspects do engineers have to consider particularly during design work? Not only the bonding properties of the injection adhesive has to be taken into account during design work. The loading capacity of concrete is restricted. If the injection adhesive has a high bond strength, especially when reinforcing bars are narrowly spaced and/or close to edges of members, the basic anchorage depths and/or lapped splice lengths have to be considerably extended if yield strength of the steel is to be utilised. Needless to say, the specialist pays attention to the adhesive having an adequate service life and to its stiffness for load transfer being in line with that of the cast-in reinforcement. Just as important though, is work execution on the site. A system suitable for construction sites with corresponding equipment is required if poor work execution is to be avoided.



Pfahl- und Schlitzwände.
Retaining walls.

Die Kraft wird von der Bewehrung vorwiegend über die Verzahnung der Rippen in den Beton übertragen. Die daraus resultierenden Spreizkräfte (Bild 5) senkrecht zum Stab werden durch die Betonüberdeckung des Stabes, den gegenseitigen Stababstand und die Querbewehrung aufgenommen. Wird das Spalten des Betons durch die Kombination dieser Parameter verhindert, versagt die Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit erst, wenn der Stahl fließt oder wenn die Bewehrungsstäbe herausgezogen werden.

Wenn andererseits radiale Risse vollständig durch die Betondeckung dringen, muss Spalten des Betons bei der Bemessung von vornherein berücksichtigt werden. Sonst versagt die Verbindung vorzeitig je nach Zugfestigkeit des Betons. Die Kräfteinleitung bei nachträglich montierten Bewehrungsstäben ist analog zur Kräfteinleitung von einbetonierten Stäben, sofern der verwendete Mörtel bezüglich dem Verbundmechanismus eine ähnliche Steifigkeit aufweist.

Ob der Verbund zuverlässig ist, hängt auch ab von der Mörtelfestigkeit im Bereich der konzentrierten Kräfteinleitung bei den Rippen und vom Lasteintragungsmechanismus zwischen Mörtel und Bohrlochwand. Je nach Mörtelsystem sind die reinen Verbundwerte von nachträglich montierten Stäben höher als bei einbetonierten Stäben. Bei geringen Randabständen und/oder engen Stababständen können jedoch die Spaltzugkräfte infolge der geringen Betonzugfestigkeit zum Versagen führen. Übergreifungsstöße (Bild 6) stellen die Verbindung bei Betonierfugen sicher. Die Bewehrungsstäbe werden in der Regel möglichst nahe an der Oberfläche des Bauteils angeordnet – zu Gunsten einer günstigen Rissverteilung und eines optimalen Biege widerstandes. Für Übergreifungsstöße mit relativ weitem Stababstand (normalerweise bei Platten, Bild 7) ist die Tragfähigkeit von der Über-

Introduction

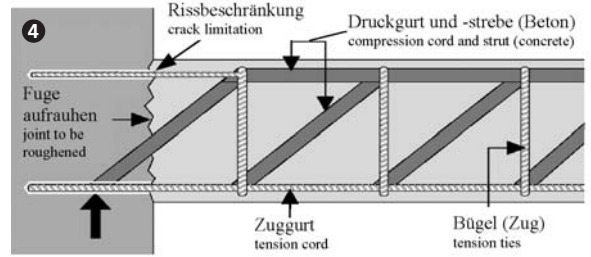
When building reinforced concrete structures, providing construction joints is a usual means which supports the work execution process. Generally, reinforcing bar laps are used to join up or extend steel reinforcement in concrete. If rebars protrude beyond formwork during new construction are an impairment, the contractor will usually ask for screw-type connections to be made. Welding to connect rebars is hardly practised with today's roll-hardened steels.

The reinforcement and upgrading of existing structures are gaining in importance and, for new construction, time-saving construction methods are called for. This is why the demand for post-installed reinforcement has risen in recent years. For some years now, Hilti has been a successful supplier of a complete and practical injection adhesive system for post-installing reinforcing bars in structures [1]. For design the reinforcement post-installed using the Hilti injection system can be regarded as cast-in for normal cases. The field of application is large, ranging from all kinds of monolithic additions to structures (figure 1), to retaining walls (figure 2) up to structural upgrading (figure 3) [2].

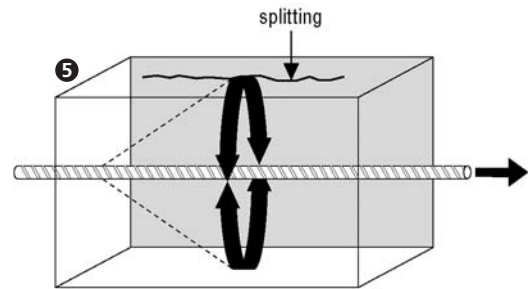
Design of joints using post-installed rebars

Generally, the strut-and-tie model is referred to when assessing the flow pattern of forces in reinforced concrete members (figure 4). In this model, the shear force, in the case of a support for example, is assigned to an inclined diagonal strut. A vertical joint passing through this line of compression must thus be given a rough interface to ensure that sufficient internal friction is generated for shear transfer.

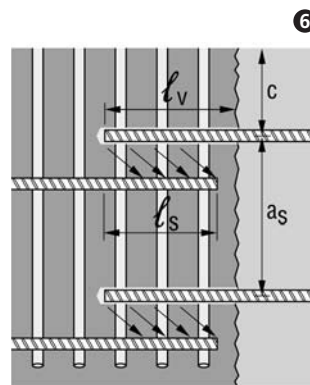
Forces are transferred to the concrete primarily by the serration of the ribs. The resulting splitting forces perpendicular to the bar (figure 5) are controlled by the cover of concrete on the bar, the bar spacing and the transverse reinforcement.



Fachwerkmodell.
Strut-and-tie model.



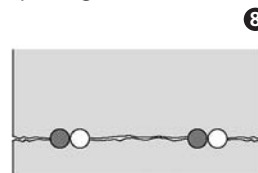
Spreizkräfte.
Splitting forces.



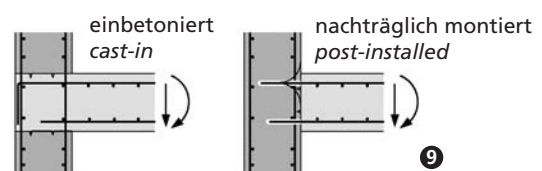
Übergreifungsstoss.
Lapped splice.



Spalten der Überdeckung.
Splitting of cover.



Abplatzen der Überdeckung.
Spalling of cover.



Einleitung eines Biegemomentes durch die Bewehrung.
Connection of bending moment by means of reinforcement.



Hilti Ferroskan FS 10.
Hilti Ferroskan FS 10.



Elektrischer Bohrhammer Hilti TE 76-ATC.
Electric hammer drill Hilti TE 76-ATC.



Bohrlochreinigung.
Cleaning of the pre-drilled holes.



Injektion von Bohrlöchern mit Hilti HIT-Verbundmörtel.
Injection of the pre-drilled holes using Hilti HIT-Adhesive.



Injektion mit dem pneumatischen Injektionsgerät Hilti HIT-P 5000 HY.
Injection by means of the pneumatic dispenser Hilti HIT-P 5000 HY.

deckung abhängig. Bei relativ engem Stababstand (normalerweise bei Balken, Bild 8), ist die Tragfähigkeit vom Stababstand abhängig. Geringe Betondeckung und/oder enge Stababstände brauchen deshalb grössere Verankerungstiefen, wenn die volle Kapazität des Stahles ausgenutzt werden soll.

Der Setzvorgang im Bohrloch lässt lediglich gerade Stabenden zu. Sind solche Verankerung nach der heutigen Anwendungspraxis nicht zu modellieren, kann allenfalls die Ankertechnik [3] angewendet werden. Eine typische Anwendung dieser Art ist die Einleitung eines Biegemomentes bei der Anbindung eines Bauteiles an ein quer verlaufendes Element (Bild 9). Die nachträglich montierte, kürzere Verbindung weist offensichtlich einen geringeren möglichen Grenzwert der Tragfähigkeit auf als die gebogene, einbetonierte Lösung.

Die Arbeit auf der Baustelle

Die gute Qualität der Baustellenarbeit ist wichtig für das Verbundverhalten von nachträglich eingemörtelten Verankerungen. Aus diesem Grund bietet Hilti ein vollständiges, baustellentaugliches Paket von Geräten an. Vor dem Bohren markiert man die Lage der bestehenden Bewehrung mit Hilfe von Hilti Ferroskan FS 10 (Bild 10) oder Hilti PS 20.

Das Loch wird normalerweise mit einem elektrischen Bohrhammer wie etwa dem Hilti TE 76-ATC (Bild 11) gebohrt. Bohrer sind bis zu zwei Meter Länge lieferbar. Tiefe Verankerungen für grosse Stabdurchmesser werden oft auch mit pneumatischen Geräten gebohrt. Die gebohrten Löcher werden mit Druckluft (Bild 12) und speziellen Bürsten gereinigt.

Hilti bietet mehrere Typen von Injektionsgeräten (Bild 13) an. Das pneumatische Auspressgerät Hilti HIT-P 5000 HY (Bild 14) kann Mörtel bis in eine Verankerungstiefe von zwei Metern sicher injizieren. Unmittelbar nach dem Einbringen der benötigten Mörtelmenge wird



Setzen der Stäbe.
Setting of the bars.

If splitting of the concrete is prevented in this way, the connection fails in the ultimate limit state only if the bars yield or they are pulled out.

If, on the other hand, radial cracks propagate through the entire concrete cover, splitting must be taken into account in the design work right from the start. If it is not, the connection will fail prematurely, depending on the tensile strength of the concrete. The transfer of forces in the case of post-installed reinforcement is the same as with cast-in reinforcement, provided that, as regards the bonding mechanisms, the injection adhesive used has a similar stiffness. Whether or not the connection is reliable, also depends on the strength of the adhesive in the zone of concentrated load transfer near the ribs and on the mechanism of load transfer between adhesive and wall of the rebar hole. Depending on the adhesive system used, the pure bond values of post-installed bars are higher than those of cast-in bars. If edge distances are small and/or bar spacing is narrow, however, the tensile splitting forces may cause failure as a result of too low a concrete tensile strength. Reinforcement splices (figure 6) connect tensile forces in the case of construction joints. As a rule, the bars are positioned as close as possible to the surface of the member, i.e. with a minimum of cover, in favour of a more ideal distribution of cracks and optimal bending resistance.



Prüfen des Verbundes.
Site test for bond.

der Stab zügig in das Bohrloch gesetzt (Bild 15). Im Bedarfsfall kann der Verbund mit hydraulischen Pressen überprüft werden (Bild 16).

Folgerungen

Das umfassende Hilti-Injektions-system für die nachträgliche Anbindung von Bewehrungsstäben ist seit einigen Jahren weltweit erfolgreich im Einsatz. Für die Bemessung der Verankerung können die Bewehrungsstäbe in einer ersten Näherung wie einbetoniert betrachtet werden, und die konstruktive Ausbildung erfolgt nach den geltenden Stahlbetonnormen. Es können jedoch nur gerade Stabenden eingemörtelt werden. Wären gebogene Stabenden erforderlich, müsste die Krafteinleitung mit besonderen Modellierungen nachgewiesen oder ersatzweise mit der Anker-methode berechnet werden. Die Qualität der Baustellenarbeit hat einen wesentlichen Einfluss auf die Verbundeigenschaften der Vermörtelung. Deshalb bietet Hilti das einfach zu handhabende Montagesystem Hilti HIT-Rebar, Beratung und Training an. Als Erstes seiner Art hat dieses System im Jahr 2000 in Deutschland eine DIBt-Zulassung [4] auf der Basis der europäischen Stahlbeton-norm Eurocode EC 2 erhalten. ●

Verfasser/Author

Fritz Münger
dipl. Bauing. ETH
BA Fastening & Protection Systems
Hilti Corp.
FL-9494 Schaan
Principality of Liechtenstein
Tel. (+423) 236 30 47
Fax (+423) 236 30 96
muenfri@hilti.com

If lapped bars have a relatively wide spacing (as normally for slabs, figure 7), the bearing capacity of the concrete depends only on the thickness of the concrete cover. If the bar spacing is narrow (as normally for beams, figure 8), the loading capacity depends on the bar spacing. Consequently, small concrete cover and/or close bar spacing call for larger anchorage depths if full yield capacity of the steel is to be utilised.

The method of installing the bars permits the use only of bars with straight ends. If such means of anchoring can not be modelled in current practice with applications, the anchor approach can perhaps be used. The Hilti anchor design system is explained in the corresponding Hilti manuals [3].

A typical application of this kind is the transfer of bending moments when connecting a building component to a transverse member (figure 9). The post-installed, shorter connection has a lower loading capacity than the curved, cast-in solution.

Installation of bars

The quality of work carried out on the construction site is important for good bonding of post-installed bars. With this in mind, Hilti provides a complete system of convenient tools suitable for use on construction sites.

Prior to drilling the bar holes, it is recommended that the position of existing reinforcement in the concrete is determined by means of the Hilti Ferroscon FS 10 (figure 10) or Hilti PS 20 detector and then marked on the concrete surface. Normally, the hole is drilled with a hammer drill, such as a Hilti TE 76-ATC (figure 11). Drill bits up to two meters long are available for this work. Often too, deep

holes for bars of large diameter are drilled using pneumatic hammer drills. The drilled holes are cleaned by means of a jet of compressed air (figure 12) and special brushes. Hilti supplies various dispensers for adhesive injection (figure 13). The Hilti HIT-P 5000 HY dispenser (figure 14) can reliably inject adhesive to anchorage depths of up to two metres. Immediately after sufficient adhesive has been injected, the bar is inserted without delay into the drilled hole (figure 15). If required, the bond can be verified using a hydraulic device on site (figure 16).

Conclusions

For many years now, the Hilti adhesive injection system has been used successfully for post-installed reinforcement. When designing the connections, they may, for an initial approximation, be regarded as cast-in reinforcing bars, and the design work is carried out in accordance with the currently valid rules and regulations of reinforced concrete construction. Only straight ended bars can, however, be post-installed. If bent-up bar ends were required, the transfer of forces would have to be verified by means of special models or, as a substitute, based on the anchor fastening design process. The standard of work execution on the construction site has a considerable influence on the properties of the bond. In view of this, Hilti offers the easy-to-use installation system Hilti HIT-Rebar, advice and training. As the first of its kind, this system was granted a DIBt approval in Germany in 2000 [4] which is based on the European reinforced concrete standard Eurocode EC 2. ●

Referenzen/References

- [1] Hilti; Handbuch der Befestigungstechnik, Teil 5; Ausgabe 2002 / Fastening Technology Manual, Part 5, Issue 2002
 - [2] Hilti; Handbuch der Befestigungstechnik, Teil 6; Ausgabe 2002 / Fastening Technology Manual, Part 6, Issue 2002
 - [3] Hilti; Handbuch der Befestigungstechnik, Teil 3; Ausgabe 2002 / Fastening Technology Manual, Part 3, Issue 2002
 - [4] DIBt, Berlin; Bewehrungsanschluss mit Injektionsmörtel Hilti HIT-HY 150, Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-21.8-1648, 07.02.2000 und Ergänzung 22.11.2000.
- Post-installed reinforcing bar connections made with Hilti HIT-HY 150 injection adhesive. General construction supervisory authority approval Z-21.8-1648, 07.02.2000 und supplement 22.11.2000.