

CHRISTOPH HANKERS

Unsere Stahlbetonbauwerke werden alt! Der Umgang mit der vorhandenen Bausubstanz gehört zum Alltag eines jeden konstruktiven Ingenieurbüros. Was früher jedoch abgerissen und neu gebaut wurde, wird heute aus finanziellen oder architektonischen Gründen an die neuen Anforderungen angepasst. Entspricht die vorhandene Standsicherheit des Bauwerkes oder die Tragfähigkeit einzelner Bauteile nicht den Anforderungen, muss deren Tragfähigkeit durch Verstärkungsmaßnahmen erhöht werden. Ein bewährtes Verfahren stellt die Tragfähigkeitserhöhung mittels Spritzbeton und Bewehrung dar. In diesem Beitrag werden die Grundlagen der Tragfähigkeitserhöhung erläutert und anhand von Praxisbeispielen die Eignung des Spritzbetons in Kombination mit Bewehrung dargestellt.

Our concrete structures are getting older. To handle the existing substance is daily work of every consulting engineers office. Due to financial or architectural reasons or due to urban development the existing structures are adjusted to new requirements. If the existing structural stability fulfils not the requirements the structural members must be strengthened. One proven method is shotcrete in combination with reinforcement. The basics of strengthening and the suitability of shotcrete with reinforcement will be presented.

1. Einleitung

Stahlbeton unterliegt, wie jeder andere Baustoff auch, zeitabhängigen Alterungsprozessen. Neben der oberflächennahen Abnutzung des Betons durch mechanische, chemische oder thermische Beanspruchung führt vor allem die Korrosion der innenliegenden Bewehrung zu den bekannten Schadensbildern, wie z.B. abgeplatzte Betondeckung und Rissbildung im Beton. Durch den Querschnittsverlust kann die Tragfähigkeit bis zu einem vollständi-

gen Verlust der Nutzbarkeit oder der Standsicherheit reduziert werden (*Bild 1*).

Ein Abriss und gegebenenfalls Neubau wäre die unweigerliche Folge. Durch verschiedene Verstärkungsmaßnahmen kann dies jedoch vermieden werden. Unter „Verstärkung“ werden alle Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit oder der Dauerhaftigkeit verstanden. Die Tragfähigkeitserhöhung ist also nur ein Teil einer Verstärkungsmaßnahme.

Verstärkungsmaßnahmen mit Spritzbeton werden in festgelegten Arbeitsschritten ausgeführt.

3.1 Untergrundvorbehandlung

Eine Verstärkung von Stahlbetonbauteilen ist nur wirksam, wenn der Verbund in der Verbindungsfuge Spritzbeton-Untergrund dauerhaft sichergestellt werden kann. Dies setzt einen rauhen und tragfähigen Betonuntergrund voraus. Dies ist dann der Fall, wenn fest eingebettete Gesteinskörnung sichtbar wird. Es ist sinnlos, Mindestwerte der oberflächennahen Abreißfestigkeit des vorbehandelten Untergrundes zu fordern, da der Untergrund keine höhere Festigkeit als der Altbeton aufweisen kann. Es muss vielmehr eine Spritzbetonzusammensetzung gewählt werden, die hinsichtlich Festigkeit und Verformungsverhalten dem vorhandenen Beton entspricht.

Karbonatisierter Beton muss nicht vollständig entfernt werden, da durch den Spritzbetonauftrag ein weiteres Eindringen von Kohlendioxid verzögert und somit der Karbonatisierungsfortschritt im Altbeton zunächst gestoppt wird. Korrodierte Bewehrung muss von lose haftendem Rost befreit werden. Eine metallisch blanke Oberfläche, wie sie beim Auftrag von Korrosionsschutzbeschichtungen in Verbindung mit kunststoffmodifizierten Mörteln (PCC) erforderlich ist, ist bei Spritzbeton nicht notwendig. Durch das alkalische Milieu des Spritzbetons ist der Bewehrungsstahl vor Korrosion geschützt. Haftbrücken sind weder auf dem Betonstahl noch auf dem Betonuntergrund erforderlich und als verbundschädigend einzustufen.

In den Betonuntergrund eingedrungene Chloride werden für die Bewehrung als unkritisch betrachtet, wenn sie den Wert von 0,4 % Cl^- für Stahlbeton [16], bzw. 0,2 % Cl^- für Spannbetonbauteile, bezogen auf den Zementgehalt, nicht übersteigen. Ein Abtrag des mit höheren Chloridkonzentrationen behafteten Betons ist sehr aufwendig, da die Betonfestigkeit in der Regel nicht vermindert ist. Bei nicht karbonatisiertem Beton kann der Chloridgehalt bis auf 1 % in Nähe der Bewehrung ansteigen, wenn u.a. keine Schäden am Bauwerk vorhanden sind und durch Potentialmessungen nachgewiesen werden kann, dass der Korrosionsfortschritt gering ist [6].

Für die Vorbehandlung des alten Betons zur Erzielung eines ausreichenden Haftgrundes kommen grundsätzlich folgende Maßnahmen in Betracht.

3.1.1 Stemmen

Mit manuell geführten Elektro- oder Druckluftschlämmern können lokal sowohl loser als auch fester Be-

ton entfernt werden. Besonders wenn lokale Hohlstellen infolge von Kiesnestern oder eine durch Korrosion der Bewehrung gelockerte Betondeckung zu entfernen ist, stellt das Stemmen die wirtschaftlichste Methode dar. Der Übergang vom geschädigten auf den intakten Beton wird sehr deutlich durch den erhöhten Mehraufwand bei der Bearbeitung wahrgenommen. Maschinell geführte Stemmhämmer sind für den lokalen Abtrag von Beton für nachfolgende Verstärkungsarbeiten nicht zu empfehlen, da die Gefahr der unbeabsichtigten, weitergehenden Gefügelockerung oder -zerstörung besteht. Nach dem Stemmen ist eine weitere Oberflächenbehandlung z.B. durch Sandstrahlen erforderlich, um alle losen Bestandteile zu entfernen.

3.1.2 Hochdruckreinigen und Druckwasserstrahlen

Hochdruckreiniger mit bis zu 160 bar Druck sind für das Entfernen von Verunreinigungen, Algen und Moosbewuchs geeignet. Als alleinige Untergrundvorbehandlung für einen nachfolgenden Spritzbetonauftrag sind sie nicht einzusetzen. Die Untergrundvorbehandlung mit bis zu 500 bar starken Wasserstrahl eignet sich für das Entfernen von Kiesnestern oder am Beton haftender Rückstände, wie z.B. Bentonit bei Schlitz- und Bohrpfahlwänden.

3.1.3 Strahlen mit festen Strahlmitteln

Beim fachgerechten Strahlen des Betons mit festen Strahlmitteln werden minderfeste Bestandteile wie z.B. Zementschlemme entfernt und das fest eingebettete Korn freigelegt. Die Oberfläche wird aufgerissen und bietet gute Voraussetzungen für einen sicheren Verbund mit dem nachfolgend aufzutragenden Spritzbeton. Eine freiliegende Bewehrung wird in einem Arbeitsgang entrostet. Nachteilig ist der große Staubanfall, der aufwendige Schutzmaßnahmen sowohl für das Personal, als auch für die Umwelt erfordert. Der Staubanfall kann durch Zusatz von Wasser reduziert werden. Wirtschaftlich sinnvoll ist das Strahlen mit festen Strahlmitteln bei Abtragsstärken bis zu maximal ca. 5 mm.

3.1.4 Hochdruckwasserstrahlen

Beim Hochdruckwasserstrahlen wird mit einem Druck von ca. 2000 bar ein scharf gebündelter Wasserstrahl über die Betonfläche geführt. Der Wasserstrahl reißt den Beton wie beim Sandstrahlen auf. Der Hochdruckwasserstrahl ist besonders wirksam, wenn minderfeste Betonbestandteile wie Kiesnester oder Gefügestörungen beseitigt werden sollen. Die Energie, mit der der Wasserstrahl auf die Betonoberfläche trifft ist bei gleichmäßiger

Düsenführung nahezu konstant. Daher werden die Betonbestandteile abgetragen, deren Widerstand geringer als die Beanspruchung durch den Aufprall des Wassers ist. Die Abtragstiefe ist abhängig vom lokalen Widerstand des Betonuntergrundes. Die Oberfläche nach dem Strahlen zeichnet sich deshalb durch eine große Rauigkeit aus und stellt einen idealen Untergrund für den Spritzbetonauftrag dar. Die Bewehrung wird entrostet, aber nicht geschädigt. Durch die maschinelle Führung mehrerer, in Reihen angeordneter Düsen sind flächige Abträge möglich (Bild 4).

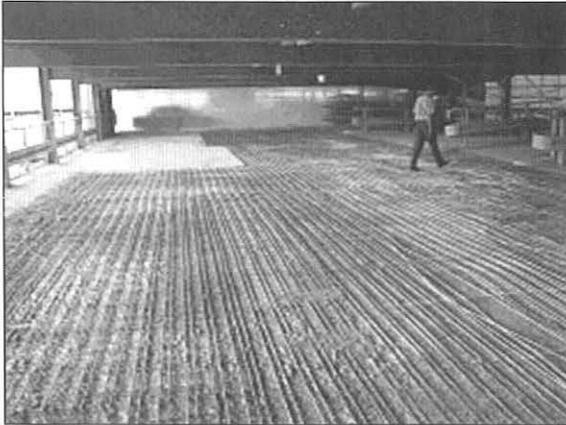


Bild 4: Flächiger Betonabtrag mit HDW

Nachteilig ist der Anfall von großen Mengen an Wasser und Schlamm, die entsorgt werden müssen. Das Verfahren ist besonders für den tiefgehenden oder großflächigen Abtrag von Beton oder den partiellen Betonabbruch geeignet.

3.1.5 Weitere Verfahren

Neben den zuvor beschriebenen Verfahren werden vereinzelt noch weitere Möglichkeiten der Untergrundvorbehandlung eingesetzt. Beim Flammstrahlen werden organische Bestandteile wie Bewuchs in Form von Moos und Algen entfernt. Durch die thermische Beanspruchung entstehen im Untergrund Temperaturspannungen, die zu Gefügelockerungen führen. Durch anschließendes Abbürsten werden diese Bestandteile entfernt. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass gelockerte, aber noch im Verbund haftende Zuschlagskörner auf der Oberfläche verbleiben, so dass weitere Vorbehandlungsmaßnahmen erforderlich sein können. Ein für Spritzbeton tragfähiger Untergrund lässt sich durch Flammstrahlen alleine nicht herstellen.

Mit Betonfräsen wird der Beton in definierter Stärke abgetragen. Bis auf manuell geführte Handfräsen werden Betonfräsen für die Bearbeitung von hori-

zontalen oder leicht geneigten Plattenoberseiten eingesetzt. Die Oberfläche ist nach Entfernen der Fräsrückstände rau und tragfähig. Tiefergehende lokale Fehlstellen und Inhomogenitäten des Untergrundes können bei der flächigen Bearbeitung mit definierter Abtragstiefe jedoch nicht erkannt werden.

Das vereinzelt anzutreffende Schleifen von Beton ist für einen Spritzbetonauftrag nicht geeignet, da die Oberfläche zwar tragfähig sein kann, aber keine genügende Rauigkeit für die Verklammerung des Spritzbetons mit dem Untergrund aufweist.

3.2 Der Auftrag des Spritzbetons und Einbau der Bewehrung

Vor dem Spritzbetonauftrag muss der Betonuntergrund gut vorgegast werden, damit dem frischen Spritzbeton das für die Hydratation erforderliche Wasser nicht entzogen wird. Die Oberfläche muss mattflecht sein, Staub muss entfernt werden.

Beim Spritzen soll die Düse in einem Abstand zwischen 0,50 m und 1,50 m gehalten werden. Dies ist bei der Aufstellung eines Gerüsts zu beachten. Beim Einspritzen von Bewehrung ist ein geringerer Abstand sinnvoll, um Spritzschatten hinter der Bewehrung zu vermeiden. Der Spritzstrahl soll möglichst rechtwinklig auftreffen. Der Spritzbeton wird in ein oder mehreren Lagen aufgetragen, bis die erforderliche Auftragsdicke erreicht ist. Die jeweilige Oberfläche muss vor dem nächsten Spritzvorgang mit Druckwasser abgewaschen werden.

Die Oberfläche des Spritzbetons sollte möglichst spritzrau verbleiben, da ein Abreiben oder Glätten zu Gefügestörungen führen kann. Wird eine entsprechend glatte Oberfläche gewünscht, wird in einem weiteren Arbeitsgang eine zusätzliche Feinmörtelschicht aufgetragen.

Für die Tragfähigkeitserhöhung von Stahlbetonbauteilen mit Spritzbeton muss Bewehrung eingebaut werden, da die Zugfestigkeit des Spritzbetons analog zu Normalbeton rechnerisch nicht berücksichtigt wird. Die Anordnung und Dimensionierung der Bewehrung ergibt sich aus der statischen Berechnung. Alle Grundsätze des Stahlbetonbaus sind zu beachten.

Bei der Verwendung von Ortbeton muss die Bewehrung so eingebaut werden, dass sie das Einbringen und Verdichten des Betons nicht behindert und der Betonstahl im vollflächigen Verbund liegt. Beim Spritzbetonverfahren muss dementsprechend bei

4.3 Bemessungsprogramme für Spritzbetonverstärkungen

Seit kurzem stehen die neuen Versionen der Bemessungsprogramme für spritzbetonverstärkte Biegebauteile und Stützen zur Verfügung. Die Programme basieren auf den Grundlagen der DIN 1045-1 (2001) und DIN 18 551 (2005). Für die gängigen Querschnittstypen Platte, Rechteck- und Plattenbalken sowie Quadrat- oder Rundstütze lässt sich mit Hilfe dieser Software die zur Aufnahme der erhöhten Beanspruchung erforderliche Zusatzbewehrung berechnen (Bild 7). Weiterhin hat der Anwender auch die Möglichkeit, Verankerungs- und Verbundnachweise zu führen, die Querkrafttragfähigkeit des Stahlbetonquerschnitts zu überprüfen und gegebenenfalls auch die zusätzliche Schubbewehrung zu ermitteln [7].

Die Biegemomentebeanspruchung des zu verstärkenden Systems ist im Vorfeld der Bemessung durch eine Statische Berechnung zu ermitteln. Weiterhin werden für die Bemessung der Zusatzbewehrung die Querschnittsangaben, der vorhandene Bewehrungsgehalt sowie die verwendete Beton- und Betonstahlgüte des unverstärkten Stahlbetonquerschnitts benötigt. Am einfachsten erfolgt dies durch Einsichtnahme in vorhandene Bestandsunterlagen des Bauwerks, wie z.B. statische Berechnungen,

Positionspläne etc. Sofern diese Möglichkeit nicht besteht, muss eine Zustandserfassung vor Ort durchgeführt werden. Unter Umständen ist auch eine Probenentnahme zur Überprüfung der Betondruckfestigkeit oder der eingebauten Betonstahlgüte erforderlich.

Neben der Auswahl der üblichen Betonfestigkeitsklassen und Betonstahlgüten nach DIN 1045 lassen sich die Betondruckfestigkeit, die Stahlzugfestigkeit und die zugehörigen Grenzdehnungen auch frei definieren. Das Programm bietet weiterhin die Möglichkeit, bei der Bemessung der Zusatzbewehrung einen Vordehnungszustand zu berücksichtigen. In der Regel handelt es sich dabei um die Beanspruchung infolge Eigengewicht zum Zeitpunkt des Spritzbetonauftrags.

Das Programm ermittelt mit Hilfe der Querschnittsdaten zunächst das rechnerische Bruchmoment für den unverstärkten Querschnitt und anschließend die erforderliche Zusatzbewehrung für den verstärkten Zustand. Die Berechnung erfolgt iterativ unter Ausnutzung der Gleichgewichtsbedingungen für die inneren Kräfte. Dabei wird ein ebener Dehnungszustand über die Querschnittshöhe vorausgesetzt. Für Beton und Betonstahl gelten die nichtlinearen Spannungs-Dehnungsbeziehungen. Die Berechnungsergebnisse können bei Bedarf über die ermittelte Dehnungsverteilung kontrolliert werden.

Der Nachweis der Verankerung über dem Endauflager wird unter Berücksichtigung des im vorhandenen Betonquerschnitt liegenden Bewehrungsstahls geführt. Das Programm gibt an, ob die zugelegte Längsbewehrung nachträglich übers Auflager geführt werden muss. Gegebenenfalls wird die erforderliche Verankerungslänge berechnet oder ein Nachweis der Tragfähigkeit der Betondruckstrebe geführt.

Die Schubtragfähigkeit des Bauteils wird nach DIN 1045 nachgewiesen. Dabei wird die vorhandene Bügelbewehrung des Altquerschnitts mit angerechnet. Je nach Schubbeanspruchung werden Schubbereich und erforderlicher Querschnitt der Zulagebügel ermittelt. Des weiteren berechnet das Programm die Schubspannung in der Verbundfläche und gibt eine Empfehlung zur Wahl der Verbundmittel. Bei Stützen werden die unter Abschnitt 4.2 beschriebenen Nachweise geführt.

5. Literatur

- [1] Hankers, Ch.:
Möglichkeiten zur Verstärkung von Stahlbeton-

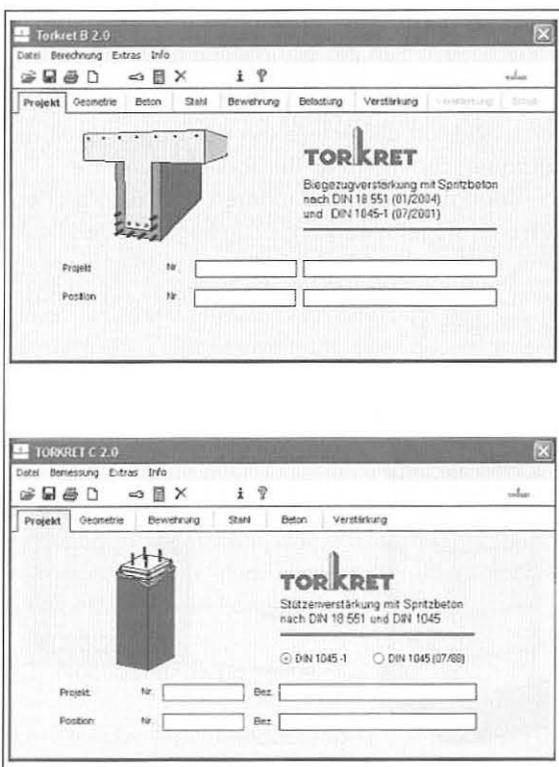


Bild 7: Bemessungsprogramme für Spritzbetonverstärkungen

- bauteilen. Beton- und Stahlbetonbau 95 (2000), Ernst & Sohn, Berlin, 2000.
- [2] **Hankers, Ch.:**
Zum Verbundtragverhalten laschenverstärkter Stahlbetonbauteile. Diss. TU Braunschweig, 1996.
- [3] **Teichert, P.:**
Die Geschichte des Spritzbetons. Verlags-Aktiengesellschaft der Akademischen Technischen Vereine, Zürich, 1976.
- [4] **Ruffert, G.; Brux, G.; Badzong, H.-J.:**
Spritzbeton. Expert-Verlag, 1995.
- [5] **Maidl, B.:**
Handbuch für Spritzbeton. Ernst & Sohn, Berlin, 1992.
- [6] **Hillemeier, B. et.al.:**
Instandsetzung und Erhaltung von Betonbauwerken. In: Betonkalender 1999, T. 2. Ernst & Sohn, Berlin, 1999.
- [7] **Onken, P.; Matzdorff, D. :**
Einführung in das Bemessungsprogramm "Torkret_B -Biegezugverstärkung mit Spritzbeton". Fachtagung: Verstärken von Massivbauteilen, Würzburg, März 2001.
- [8] **DIN 1045 1-3:**
Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. 2001.
- [9] **DIN 18 551:**
Spritzbeton, Herstellung und Güteüberwachung. Ausg. März 1992.