

Spritzbeton in dünnen Schichten

Application Of Shotcrete In Thin Layers

Univ.-Prof. Dr. W. Lukas, Institut für Baustofflehre und Materialprüfung, Universität Innsbruck

Die Sanierung von großflächigen Betonbauten gewinnt in letzter Zeit immer mehr an Bedeutung. Hierbei gewinnt die Sanierung mit Spritzbeton eine immer wirtschaftlichere Rolle.

Bei Fehler in der Betondeckung und den damit verbundenen Karbonatisierungsproblemen kann zur Behebung eine dünne Schichte zwischen 8 mm bis 25 mm aufgetragen werden. Dadurch ist ein zusätzlicher Korrosionsschutz erzielbar, der auch bei starker Chlorideindringung an der Oberfläche eine Verminderung des Korrosionsfortschrittes erbringt. Zusätzlich können in einem Arbeitsgang auch defekte Betonteile ausgebessert bzw. erneuert werden. Mit fabrikmäßig hergestellten Fertigprodukten einer bestimmten Zusammensetzung läßt sich das Saniermaterial den jeweiligen technologischen Erfordernissen anpassen. Insbesondere kann mit solchen speziellen Produkten auch Feinluft für die Erzielung einer Frost-Tausalzbeständigkeit eingeführt werden. Als günstigste Auftragechnik hat sich das Trockenspritzverfahren herausgestellt.

The repair of large-surface concrete structures has become more and more important in recent years. It has turned out to be a very economical approach to use shotcrete for that purpose.

In order to compensate for an insufficient concrete cover and to remedy carbonation problems, a thin layer of shotcrete (8 mm to 25 mm) can be applied. In this way an additional protection against corrosion is provided, which, even in case of intense superficial chloride penetration, reduces the progress of corrosion. In addition, defective concrete parts can be repaired or renewed in one single operation. By using factory-produced ready-made products of appropriate composition, the repair material can be adapted to the particular technological requirements. In particular, it is possible to introduce air voids by means of such special products and thus ensure resistance against the effects of deicing salts. Dry shotcreting has proved to be the most adapted method.

1. Einleitung

Großflächige Schäden an Betonbauwerken nehmen in den letzten Jahren immer mehr zu. Sie können an Ingenieurbauten (z.B. Brücken, Stützmauern, Staumauern, Kühltürmen) auftreten oder auch den Hochbaubereich - z.B. Stahlbeton- bzw. Fertigteiltbauten - betreffen. Die generelle Ursache kann entweder aus einer statischen Überbeanspruchung des Bauwerkes oder aus chemischen Angriffen resultieren. Letztere können auf Chlorideinwirkung oder eine überdurchschnittliche Karbonatisierung zurückzuführen sein. Teilweise kommt noch SO_2 -Angriff

in Frage. Alle diese Schäden werden durch eine fehlerhafte Betonherstellung bzw. -verarbeitung sehr stark begünstigt. Die zur Zeit am Markt befindlichen Saniersysteme sind in vielen Fällen überfordert oder werden falsch angewandt. Dazu kommt noch, daß teilweise eine Strategie hinsichtlich der Sanierung verfolgt wird, bei der die getroffene Sanierungsmaßnahme den Zustand des Bauwerkes langfristig eher verschlechtert als verbessert. Oft gelingt es nicht, einen langfristigen, dauerhaften Schutz am Objekt zu erzeugen.

HILSDORF (1985, 1986) konnte in verschiedenen Untersuchungen zeigen, daß beim Auftrag von zementgebundenen Feinbetonen bzw. Mörtel eine gewisse Realkalisierungsneigung des bereits karbonatisierten Beton's auftritt. Hier ist mit einem Eindringen von OH^- -Ionen in Porenräume zu rechnen. Ziel des zur Zeit bei uns laufenden Forschungsvorhabens ist es nun, zu klären, ob und unter welchen Bedingungen großflächiges Auftragen von dünnen Betonschichten mit starkem alkalischen Anteil, Betone und Mörtel mit Zement als Bindemittel dauerhaft möglich ist, und ob der von Hilsdorf beobachtete Effekt in der Praxis auch an Objekten nachgewiesen werden kann und mit einer Verringerung feststellbarer Korrosionen verbunden ist. Darüber hinaus sollten im Zuge dieser Untersuchung Grenzen der Einsatzmöglichkeit eines solchen Verfahrens geprüft werden.

Im folgenden sollen die bisherigen Ergebnisse und Erkenntnisse kurz dargestellt und angeschnitten werden.

Grundanforderung an ein Sanierprodukt, das solche Forderungen erfüllen soll, ist, daß es großflächig sehr schnell und möglichst ohne Begleitmaßnahmen (z.B. Haftbrücke) appliziert werden kann. Dazu muß noch zur Erzielung einer Frostbeständigkeit Feinluft einführbar sein. Dies ist bei vertikalen Flächen oder über Kopf nur in einem Spritzverfahren wirtschaftlich sinnvoll. Um eine möglichst dichte Struktur des aufgetragenen Materials zu erreichen, sind normale Putzmaschinen, wie sie z.B. für die Putzherstellung verwendet werden, nicht einsetzbar. Es müssen daher Verfahren angewendet werden, wie sie in der Spritzbetontechnologie zum Einsatz kommen, die durch hohe Verdichtungsenergien dichte Strukturen erzeugen können. Besonders eignet sich dafür das Trockenspritzverfahren. Neben den technischen Anforderungen ist es in den meisten Fällen gewünscht bzw. notwendig, eine glatte, parallel zur alten Betonoberfläche verlaufende Struktur zu erreichen. Darüber hinaus sind eine Reihe von technologischen Anforderungen an das Material zu stellen, wie möglichst betonähnliche Eigenschaften (Festigkeiten, Frostbeständigkeit). Wird dieser Weg der Sanierung mit Spritzbeton gegangen, so sind eine Reihe von Randproblemen zu bewältigen, die besonders im Bereich der großflächigen, dünnen Auftragschichten liegen. Hierher fällt auch das Einführen von Feinluft in das aufgetragene Produkt. Dadurch unterscheiden sie sich nicht nur von anderen Spritzbetonarten herkömmlicher

Betonherstellung, sondern auch von herkömmlichen Kleinsanierungen.

Untersuchungen an bisher sanierten Stellen aus Bauwerken mit herkömmlichen Sanierverfahren zeigen unterschiedlichste Schwächen, die verschiedenste Ursachen haben. Wesentlichste Mängel resultieren aus der falschen Materialwahl bzw. in der falschen Applizierung der verwendeten Produkte. So z. B. zeigen nach unseren Erkenntnissen Saniersysteme auf Kunststoffbasis langfristig oft negative Ergebnisse. Dies trifft sowohl auf den Füllmörtel, noch mehr jedoch auf die auf den Stahl aufgetragene Korrosionsschlämme zu. Als Beispiel sei das Ergebnis von Laborversuchen genannt, bei denen verschiedene Saniersysteme hinsichtlich der Korrosionsschutzwirkung von Betonstählen geprüft werden. Untersucht wurden reine Kunstharzsysteme, kunstharzvergütete, zementgebundene Systeme und reine Zementprodukte. Eine Versuchsserie wurde ohne Korrosionsschutzschlämme untersucht. Bei dieser Serie erfolgte ein dichtes Auftragen des zementgebundenen Saniermörtels auf die Bewehrung. Dabei sind die Testobjekte vor und nach der Sanierung intensiv mit Chlorid beaufschlagt worden. Im Bereich des sanierten Betonstahles ergeben sich bei allen Systemen trotz starker Chloridbeaufschlagung keine erheblichen Korrosionserscheinungen bzw. -schäden (Abb. 1). In fast allen Fällen tritt aber eine starke Korrosion im Übergangsbereich auf. Dieser liegt - soweit dies aus den Laborversuchen abgeleitet werden kann - nur mehrere Zentimeter vom Sanierrand im Altbeton. Soweit aus den begleitenden Korrosionsmessungen abgeleitet werden kann, sind diese Erscheinungen schon nach relativ kurzer Zeit feststellbar. Dabei läßt sich bei den vorliegenden Testserien eine Abstufung feststellen. Reine Kunstharzprodukte sind relativ rasch von diesen Erscheinungen betroffen.

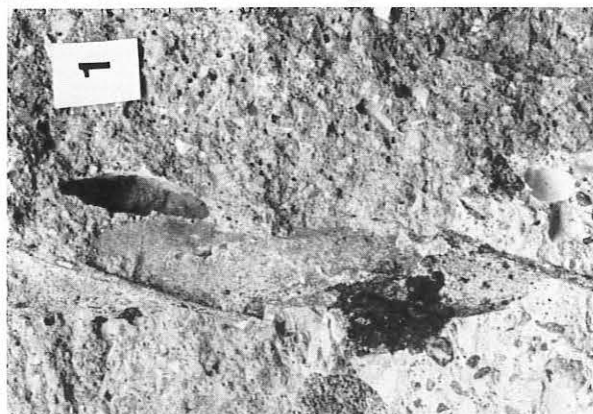


Abb. 1: Starke Korrosion im nichtsanieren Teil

Werden dagegen die Systeme betrachtet, die auf reiner Zementbasis bzw. auf zement-kunststoff-modifizierter Basis bestehen, sind die Verhältnisse in diesen grenznahen Zonen mit Deutlichkeit nicht so extrem ausgebildet und nur selten anzutreffen.

Nach der Sanierung und einer anschließenden starken Beanspruchung der sanierten Oberfläche bzw. des Altbetonbestandes mit Chlorid zeigen sich weitere bzw. beginnende Korrosionserscheinungen bei den alten Systemen nur in jenen Bereichen, in denen höhere Chloridgehalte im Bereich des Stahles überschritten wurden. Hier ist vor allem der Bereich des Altbetons betroffen, da einerseits infolge der vorherigen Belastung eine Chloridanreicherung vorliegt, zum anderen der aufgebrauchte Sanierbeton in der Regel dichter ist. Die Korrosionserscheinungen sind geringfügig und nicht so intensiv ausgeprägt wie im vorgenannten Fall. Interessanterweise ergeben sich bei Serien ohne Korrosionsschutz bei den untersuchten Stellen die geringsten Korrosionserscheinungen.

Bei Testserien, bei denen eine 1,5 cm starke Schicht zusätzlich zu dem zementgebundenen Saniersystem aufgetragen wurde, hat der Untersuchungszeitraum von 1,5 Jahren nicht ausgereicht, um Spuren einer neuen Korrosion zu erzeugen. Tastversuche hinsichtlich der Diffusionsfreudigkeit haben ergeben, daß durch diese aufgebrauchte Dichtschicht eine starke Reduzierung der Chlorid- und CO_2 -Eindringung feststellbar ist. Es lag daher für die vorgegebene Aufgabenstellung auf der Hand, Saniersysteme, die neben einer örtlich begrenzten Sanierungsmaßnahme von bereits zerstörten Bereichen eine zusätzliche Schutzmaßnahme für das gesamte Bauwerk erzielen, anzuwenden. Mit Hilfe solcher großflächigen Sanierung kann darüber hinaus für den nicht korrodierten Normalfall eine Deckungserhöhung und eine Verbesserung der Betonqualität an der Oberfläche erreicht werden. Zusätzlich wird für beide Fälle noch ein nicht zu vernachlässigender Effekt einer Realkalisierung mit ins Spiel gebracht.

2. Vorgangsweise bei der Sanierung

Zuerst werden am Bauwerk alle losen und leicht abzutragenden Betonteile entfernt. Dies kann durch verschiedenste Weise erfolgen. Am günstigsten hat sich für großflächige Bereiche

das Abtragen mit Hochdruckwasserstrahl bewährt. Weniger günstig in diesem Zusammenhang sind Abtragungsarbeiten mit händischen Methoden. Die Bewehrungseisen werden nur in den Bereichen freigelegt wo Korrosion festgestellt werden konnte. Anschließend müssen sie sauber entrostet werden.

Zur Zeit wird dann auf die entrosteten Eisen eine Korrosionsschutzschicht auf Zementbasis aufgetragen. Vor dem Auftrag der dünnen Spritzbetonschicht sind die alten Betonoberflächen durch Sandstrahlen aufzurauen, damit ein sicherer Verbund mit der neu aufgetragenen Deckschicht erzielt werden kann. 24 Stunden vor Auftrag des neuen Betons soll die Betonoberfläche vorgeätzt werden.

Für das Auftragen des Spritzgutes hat sich das Trockenverfahren gegenüber dem Auftrag im Naßspritzen besser bewährt. Hier können ohne großen Aufwand die Auftragsarbeiten unterbrochen bzw. wieder aufgenommen werden. Es fallen so die relativ umfangreichen Reinigungsarbeiten der Maschineneinrichtung inklusive Schlauch bei der Verwendung des Trockenspritzverfahrens weg. Am günstigsten hat sich für diese Verfahrenstechnik eine Spritzbetonmaschine der Type Aliva 240 mit der kleinsten Förderleistung bewährt. Bei Bauwerken, die eine Gerüstung erfordern, treten Probleme mit dem notwendigen Arbeitsabstand auf. Hier können spezielle Einrichtungen (z.B. einer Winkeldüse) eine Reduktion des notwendigen Arbeitsabstandes und somit die Entfernung auf Gerüstverhältnisse abgestimmt werden.

Aus verschiedenen technischen Gründen (z. B. zur Erzielung einer bestimmten Homogenität, Erreichung der vorgegebenen Qualität, Möglichkeit der Abstimmung des Materialverhaltens auf den Untergrund, Verringerung der Schwindneigung des Sanierbetons, die Einführung von Feinluft usw.) ist es sinnvoll, Fertigmörtel bzw. -betone zu verwenden. Das so verwendete Material hat auf Grund seiner fabrikmäßigen Herstellung immer gleichbleibende Qualität und Eigenschaften und kann so im Labor leicht auf die Erfordernisse geprüft bzw. überprüft werden.

Das Größtkorn richtet sich nach der Auftragsstärke. Bis 25 mm ist eine Begrenzung auf 4 mm sinnvoll. Darüber hinaus werden maximale Korngrößen bis 12 mm vorgeschlagen. Für die Stärken bis 30 mm ist es nicht notwendig, Beschleuniger dem Trockenspritzgut zuzugeben. Es las-

sen sich ohne Beschleuniger Stärken bis 30 mm, im Extremfall bis 50 mm in einem Arbeitsgang auftragen, ohne daß es zu einer Ablösung vom Untergrund kommt.

Für einige Einsatzzwecke wird eine Oberflächenbearbeitung gewünscht, die in einem Glattreiben des aufgetragenen Spritzbetongutes besteht. Für solche Fälle sind begleitende Maßnahmen für eine gesicherte Bearbeitung der Oberfläche vorzusehen (Abb. 2). Besonders schwierig ist es in diesem Zusammenhang, gleichmäßige Dicken aufzutragen. Gute Erfahrungen wurden mit einem vorherigen Einbau von Holzleisten mit vorgegebener Stärke erzielt, die nach dem ersten Abziehen wieder herausgenommen werden (Abb. 3).



Abb. 2: Auftrag unter Baustellenbedingung



Abb. 3: Auftrag und Verarbeitung des Spritzgutes am Spritzstand

Wichtig und von besonderer Bedeutung ist die Nachbehandlung nach Fertigstellung der Auftragsarbeiten.

3. Anforderungen an den Spritzbeton in dünnen Schichten

Um die vorher skizzierten Effekte eines zusätzlichen Korrosionsschutzes zu erzielen, müssen verschiedene Punkte erfüllt werden (Abb. 4). Dazu sind neben den normalen Untersuchungen von Beton wie Festigkeitsentwicklung,

Anforderungskatalog (Spritzbeton dünne Schichten)

- 1.) Druckfestigkeit: >40 und $<50 \text{ N/mm}^2$
- 2.) E-Modul: $26-28 \text{ kN/mm}^2$
(Sonderf. 20 kN/mm^2)
- 3.) Quellverhalten (Volumensmessung)
7 Tage $>0,8\%$
28 Tage $>0,0\%$
- 4.) Feinluft: $0/4 = 4-8\%$ AF- $0,22 \text{ mm}$
 $0/8 = 3-5\%$
- 5.) Haftzugfestigkeit nach 28 Tagen
5.1.) am Objekt: $>1,5 \text{ N/mm}^2$
($<1,5 \text{ N/mm}^2$ Bruch im Altbeton)
5.2.) im Labor: $50 \text{ FTW} \Rightarrow 3,0 \text{ N/mm}^2$
(Untergrund: $>B 400$, sandgestrahlt, vorgeätzt)
2 cm Schicht auf Betonplatte
nach Schock: $>2,2 \text{ N/mm}^2$
- 6.) Austrocknung - Klimaschrank
1 cm Schicht auf Betonplatte
keine Schwindrisse

Abb. 4: Anforderungskatalog

E-Modul, Luftporengehalt, Schwindkriechen (Hartl 1983) einige neue Prüfmethode anzuwenden, wie z. B. Schockbeanspruchung, Haftzugfestigkeit, Frost-Tausalzbeständigkeit sowie Quellfähigkeit. Die herkömmlichen technologischen Prüfungen werden an gespritzten Prüfkörpern vorgenommen (Bohrkerne aus Kisten).

Bei der neu eingesetzten und für diesen Fall entwickelten Prüfmethode handelt es sich um die Temperatur-Schockbeanspruchung. Dazu werden analog zu der Probenherstellung für die Frost-Tausalz-Bearbeitung auf Betonplatten ($30 \times 30 \text{ cm}$) dünne Schichten des Testmaterials in zwei verschiedenen Stärken (8 und 20 mm) im Trockenspritzverfahren aufgebracht. Die gewünschte Spritzbetonschichtstärke wird durch seitlich angebrachte Leisten eingestellt. Nach dem Auftragen wird die Oberfläche abgezogen und glattgerieben.

Das Aufspritzen des Saniermaterials auf die Betonlatten ist besonders wichtig, da sich durch den Spritzvorgang andere betontechnologische Parameter, z.B. Festigkeit, Luftporengehalt ergeben, als bei einem Aufgießen des Betons. Auch ergibt sich infolge des Rückpralls eine geänderte Betonzusammensetzung. Festigkeiten, Frost-Tausalz-Beständigkeit sowie Haftzugvermögen werden nach den herkömmlichen Methoden

geprüft. Für die Beurteilung des Quellverhaltens wird wie üblich eine Mischung im Mörtelmischer mit einem W/Z von 0,5 hergestellt und analog zu Einpreßhilfen getestet. Die Schockbeanspruchung hat sich als sehr kritische Prüfmethode herausgestellt und liefert anscheinend extremere Belastungen als die Frost-Tausalzprüfung an beschichteten Platten. Bei dieser werden die mit 0,8 und 2 cm im Trockenspritzverfahren beschichteten und oberflächenbearbeiteten Platten auf 60°C auf einem Versuchsstand aufgeheizt und plötzlich mit sehr kaltem Wasser abgekühlt. Dadurch ergeben sich kurzfristig Temperaturdifferenzen in den beiden Grenzflächenbereichen von 10 - 12°C.

Einige geprüfte Sanierprodukte zeigen nach dieser Beanspruchung ein komplettes Ablösen vom Untergrund, andere zeigen über die gesamte Oberfläche spinnenartige Rißausbildung. Werden von intakten Produkten nach der Beanspruchung Abreißfestigkeiten ermittelt, so liegen diese zwischen 1,5 - 2,5 N/mm². Die dazugehörigen Nullwerte von unbelasteten Serien liegen bei einer Abreißfestigkeit um 4 N/mm².

Erfahrungen aus Praxisversuchen (Testflächen mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Aufbauten) haben gezeigt, daß Saniersysteme nur dann erfolgreich waren, wenn die Prüfung am Versuchsstand eine Abreißfestigkeit von mindestens 1,5 N/mm² ergaben. Systeme die bei den Labortests diese Werte nicht erreicht hatten versagten teilweise in der Praxis. Es ist deshalb sinnvoll, eine Mindesthaftzugfestigkeit von 1,5 N/mm² zu fordern. Nach der Frostbeanspruchung im Labor zeigen sich generell höhere Abreißfestigkeiten; im konkreten Fall konnten bei den ausgewählten Systemen die Abreißfestigkeiten um 3 N/mm² nachgewiesen werden.

Da die dünnen Schichten im jungen Alter sehr empfindlich auf Rißbildung sind (besonders bei hohen Untergrundtemperaturen durch Sonneneinstrahlung und Wind vor dem Aufbringen), wurde eine Beurteilungsmethode ausgearbeitet, die zunächst nur die Aussage zuläßt, ob eine Oberfläche zur Rißbildung neigt oder nicht. Dazu wird die beschichtete Betonplatte in einem Klimaschrank einer Windbeanspruchung ausgesetzt. Zusätzlich zur optischen Beurteilung werden noch die Verformungen des Untergrundes und die der aufgetragenen Deckschicht gemessen.

Alle bisherigen Ergebnisse mit ausgewählten Sanier-Betonen zeigen auf Testflächen an Brückenbauwerken mit intensiver Beanspruchung hinsichtlich der Beständigkeit und Korrosionsschutzwirkung gute Ergebnisse. Eine Langzeitbeurteilung liegt in der Praxis auf Grund der geringen Beobachtungsdauer noch nicht vor. Bei der Beurteilung des Korrosionsfortschrittes an Bewehrung von Laborplatten (80 x 80 cm) konnte im Untersuchungszeitraum von einem Jahr nach dem Auftrag der Sanierschicht keine weitere Korrosion mehr festgestellt werden. Dies trifft für Betone zu, die in der obersten Schicht vorher karbonatisiert oder als auch mit Chlorid beaufschlagt wurden. Bei einigen Prüfkörpern wurde eine zusätzliche Belastung mit CO₂ bzw. Chlorid vorgenommen. Bei parallel dazu verlaufenden Versuchen, bei denen die Prüfflächen unbeschichtet weiterbeansprucht wurden, ging die Korrosion weiter. Um hier eine ausreichende Erfahrung zu gewinnen, sind noch etliche Untersuchungsserien über längere Zeiträume notwendig. Auch eine Überprüfung an Bauwerken in der Praxis ist für eine weitere Aussage von unbedingter Notwendigkeit.



Abb. 5 und 6: Bauwerk vor und nach der Sanierung