
Anwendung von konstruktivem Spritzbeton zur Reprofilierung und Verstärkung anhand von Beispielen

USING STRUCTURAL SHOTCRETE FOR REPROFILING AND REINFORCEMENT - SOME PRACTICAL EXAMPLES

GABOR KÜHNAPFEL, TORKRET GMBH, DRESDEN

Die angeführten Beispiele sollen zeigen, daß es unter Anwendung der in DIN 18551 festgelegten Ausführungs- und Bemessungsregeln möglich ist, befriedigende Lösungen zur konstruktiven Ergänzung bestehender Tragkonstruktionen mit Spritzbeton zu finden.

Fall 1: Eine Spritzbetonkonsole war Basiselement des Sondervorschlages für die Neugestaltung der Krone einer 17 m hohen Stützmauer der Strecke Dresden-München der DB.

Fall 2: Die mehr als 120jährige Sandsteingewölbebrücke über die Müglitz in DD-Heidenau konnte erhalten werden, weil es gelang, eine bewehrte Spritzbetonschale im nachgewiesenen Haftverbund mit dem Sandstein herzustellen und damit die von der DB geforderte erhöhte Gebrauchslast und Fahrtgeschwindigkeit statisch nachzuweisen.

Fall 3: An der Synagoge in Görlitz wurde das Stahlbetonskelett des Turmes mit "Fachwerkstäben" aus Spritzbeton zwischen den Riegelringen ertüchtigt und das gesamte Riegel-Stützen-System reprofilert.

The examples presented show that by applying the execution and design rules laid down in DIN 18551 it is possible to find satisfactory solutions for the structural reinforcement of existing load-bearing systems by means of shotcrete.

Case 1: A shotcrete bracket constituted the basic element of the special proposal for the redesign of the crest of a 17-m-high retaining wall in the course of the Dresden-Munich railway line in Germany.

Case 2: The over 120-year-old sandstone vault bridge across the Müglitz in DD-Heidenau could be preserved because it was possible to realize a reinforced shotcrete shell tightly connected with the sandstone and thus to statically check up the higher use load and drive speed stipulated by the German Federal Railways.

Case 3: In the Görlitz synagogue the reinforced concrete skeleton of the tower was strengthened by means of shotcrete "struts" between the ties and the whole system was reprofiled.

Die angeführten Beispiele sollen zeigen, daß es unter Anwendung der in DIN 18551 festgelegten Ausführungs- und Bemessungsregeln möglich ist, sowohl technisch als auch wirtschaftlich befriedigende Lösungen zur Ergänzung bestehender Tragkonstruktionen mit Spritzbeton zu finden.

1. Instandsetzung der Stützmauer in Edle Krone

1.1 Allgemeines

Im Jahre 1992 wurde durch die Deutsche Reichsbahn -

Reichsbahndirektion Dresden die „Stützmauer Edle Krone der Strecke Dresden - Werdau (weiter bis München) von Kilometer 17,372 bis 17,641 zur Instandsetzung ausgeschrieben. Instandsetzungsziel war zum einen den baulichen Zustand der gesamten Stützwand; Länge an der Krone: 269 m, Höhe: 14 bis 17 m; durch Injektionen und Ausfugen dem Stand der Technik entsprechend herzustellen und zum anderen die Mauerkrone derart neu zu gestalten, daß auf der vollen Mauerkronenlänge von 269 laufenden Metern ein normgerechter Dienstgehsteig zur Streckenbefahrung entsteht. Die Stützmauer wurde in den 60er/70er Jahren des 19. Jahrhunderts als Biotitgneis- Bruchsteinmauerwerk mit einer Sandsteinbrüstung errichtet.



Bild 1: Stützmaueransicht bei Beginn der Instandsetzung im April 1992

1.2 Technische Lösung

Nach der im Leistungsverzeichnis beschriebenen technischen Lösung erfolgte die Abtragung der Lasten des Betonbalkens in Form von Stahlbetonfertigteilen über Einzellasteintragung in die Mauer durch die im Abstand von 9 m angeordneten Konsolen. Die statisch gut funktionierende Mauerwerkskrümmung der Stützmauer wurde durch den punktuellen Ausbruch der Mauerwerkskrone und die hohen Einzellasten gestört. Damit ist die Kontinuität der Krafteinleitung in den Stützmauerbogen nicht mehr gewährleistet.

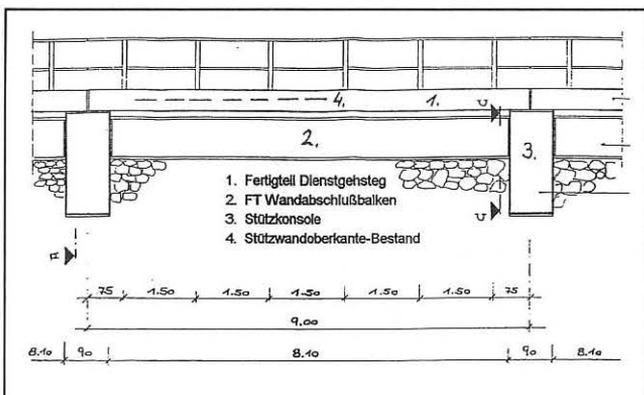


Bild 2: Ausgeschriebene technische Lösung zur Kronenausbildung

Des Weiteren war keine zusätzliche Verankerung der Betonfertigteile mit der Mauerkrone vorgesehen, sondern lediglich eine Verlegung im Mörtelbett.

Darüber hinaus konnte die Fertigung der Konsolen und der Einbau der Fertigteile nur von der anliegenden Landstraße oder von einem Bauzug erfolgen. Das hätte entweder eine Vollsperrung der Straße für den Montagezeitraum oder eine Sperrung des Gleises der DR zur Folge gehabt.

Durch einen von uns ausgearbeiteten Sondervorschlag konnten die genannten Nachteile vermieden werden. Eine wesentliche Massenreduzierung zur Ausschreibung beim Mauerwerksabbruch und dem einzubauenden Beton bedeu-

tete einen enormen wirtschaftlichen Vorteil. Die an einen Polygonzug angelehnte Form unseres Sondervorschlags betont die ästhetische Ansicht des Bauwerkes in dem malerischen Tal der Weißeritz.

Basis für die vorgeschlagene Ausbildung der Mauerkrone war der Auftrag eines Spritzbetonauflegebalkens als Umlaufbalken einschließlich Bewehrungsmatten und Anschlußbewehrung. Mit diesem Spritzbetonauflegebalken wurde die notwendige Auskragung des neuen Dienstgesteges realisiert, dessen Geländer mind. 2,20 m von der anliegenden Gleisachse entfernt sein muß, um ein gefahrloses Inspizieren der Gleisanlage im Bereich der Stützmauer zu ermöglichen.

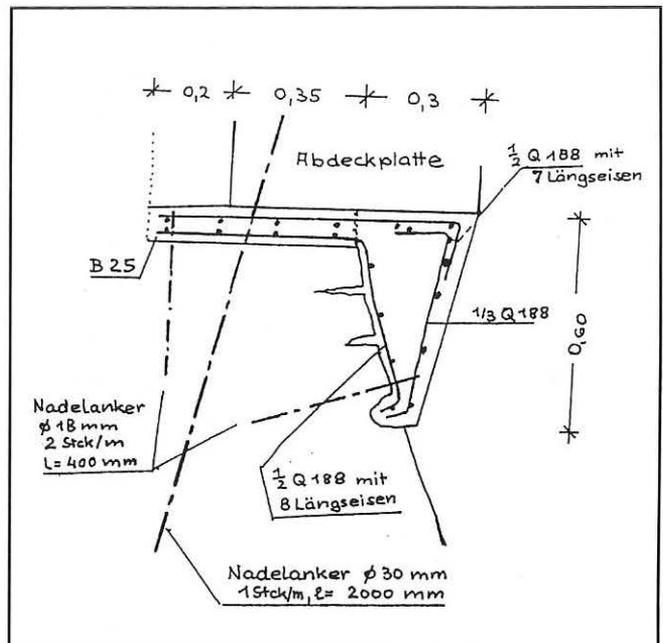


Bild 3: Sondervorschlag zur Ausbildung der Mauerkrone mit Spritzbetonkonsole

1.3 Instandsetzungstechnologie

Nachdem die Sandsteinbrüstung der Mauerkrone abgebrochen und das Kronenmauerwerk verpreßt war, wurden zur Bewehrungsbefestigung zusätzlich zu den nach DIN 18551 geforderten 4 Stück Dübeln je m² stirnseitig und vertikal je laufenden Meter Wand ein Nadelanker l = 40 cm mit 10 cm Überstand eingebaut und verpreßt. An diesen wurden die vorgeschrittenen und gebogenen Baustahlmatten für die Spritzbetonkonsole befestigt. An der unteren Konsolkante mußte das Mattenaufleger in die Natursteinwand mittels Diamantscheibe vorgeschritten und eingestemmt werden. Ein wesentlicher Vorteil der Spritzbetontechnologie bestand darin, daß auf eine Schalung verzichtet werden konnte! Es wurde ein Spritzbeton B₂₅ WU nach DIN 18551 unter Verwendung eines C₃A-freien PZ 45 F-HS/NA auf der Baustelle hergestellt und im Trockenspritzverfahren mit einer Torcret-Spritzmaschine N1 verarbeitet. Dabei wurden Förderlängen von 150 m bei 17 m Förderhöhe problemlos realisiert. Auf die sichtbare Oberfläche des Spritzbetonkonsole wurde in einem zweiten Spritzvorgang ein Spritzmörtel nach

DIN 18551 appliziert und ausgerieben. Im Abstand von 9,85 m wurden stirnseitig Dehnungsfugen ausgebildet und dauerelastisch verschlossen, die deckungsgleich mit der Fugenausbildung in der auf dem Spritzbetonsockel aufliegenden Kragplatte sind. Darüber hinaus wurden in die Spritzbetonkonsole auch die Schalungsbefestigungen für die Kragplattenschalung eingebaut und im Nachgang mit PCC-Mörtel verschlossen.



Bild 4: Auftragen des Spritzbetones

Abschließend sei noch angemerkt, daß der Spritzmörtel nach DIN 18551 auch mit gutem Erfolg für die Verfügung der gesamten Stützmauer angewandt wurde.



Bild 5: Teilansicht der Stützmauer nach Fertigstellung im Jahre 1994

2. Instandsetzung der Müglitzbrücke in Heidenau, Strecke Bodenbach - Dresden km 50,195

2.1 Allgemeines

Die Müglitzbrücke liegt im Hauptstreckennetz der DB. Sie wurde im Jahre 1848 als Sandsteingewölbeviadukt mit vier Öffnungen von 10,20 m lichter Weite gebaut. Anno 1898 wurde die vorhandene Brücke mit einer Fahrbahnwanne aus Stampfbeton mit Armierung und Widerlagervergröße-

rung in Stampfbetonbauweise verstärkt. In den Jahrzehnten der Nutzung war der Fugenmörtel im Sandsteinquadermauerwerk aufgebraucht, so daß es zu Gesteinsverschiebungen im Gewölbe kam. Damit konnte die Brücke nicht mehr die vollen Nutzungsanforderungen hinsichtlich der Achslasten und Fahrgeschwindigkeiten erfüllen. Die Reichsbahndirektion Dresden hatte deshalb einen Ersatzneubau vorgesehen. Durch einen von uns erarbeiteten Sanierungsvorschlag wurde vom Abriß der Brücke abgesehen und die Instandsetzung der Brücke im Jahr 1991 ausgeschrieben.

2.2 Instandsetzungstechnologie

Entscheidend für den Erhalt der Brücke war die technische Möglichkeit in Verbindung mit dem statischen Nachweis der Funktion die stark unterspannten Sandsteingewölbebögen als tragendes Element instandzusetzen und zu verstärken. Grundelement der statischen Berechnungen war ein homogener Gewölbekörper bestehend aus dem vergüteten Sandsteinmauerwerk und der bewehrten Spritzbetontragschale. Das herzustellen gelang durch eine engmaschige Injektion der Gewölbe in voller Steintiefe von 75 cm, durch eine Querverspannung der Gewölbe mittels Spannankereinbau und eine 10 cm starke bewehrte Spritzbetonschicht. Nach der Injektage der Pfeiler - Gründung und Korpus - erfolgte die Injektion der Sandsteingewölbe in jedem einzelnen Fugenwinkel, d.h. durchschnittlich 12 Injektionsöffnungen je m² Gewölbefläche, das Reinigen der Sandsteingewölbe und Öffnen des Steingefüges durch trockenem Granulatstrahlen, das Anbringen einer zweilagigen Mattenbewehrung und der Spritzbetonauftrag.

2.3 Spritzbeton

Das erforderliche Bereitstellungsgemisch wurde nach DIN 18551 als Mischung auf der Baustelle hergestellt. Das Bindemittel war ein PZ 45 F-HS/NA, C₃A- frei, nach DIN 1164 und der Zuschlag war kiesiger Sand der Sieblinie B 8 nach DIN 4226. Die Förderung erfolgte trocken mittels Torkret-Maschine S3. Der horizontale Förderweg war 50 bis 100 m lang. Gespritzt wurde mit einem Torkret-Kappillarmischkörper. Die durch Granulatstrahlen vorbereiteten Auftragsflächen wurden mit zweifacher Bewehrung bestehend aus Q 513 - Matten versehen. Besonderes Augenmerk wurde auf ein intensives langfristiges Vornässen der Auftragsflächen gelegt, da sich der vorhandene Sandstein als äußerst saugfähig erwies. Beim Spritzen wurde darauf geachtet, daß sich kein Rückprall und kein Spritznebel auf die vorbereiteten Auftragsflächen festsetzen konnte, denn eine Störung des Haftverbundes zwischen Sandsteingewölbe-mauerwerk und Spritzbetonschicht hätte den statischen Ansatz zunichte gemacht, der von einem homogenen Mauerwerk und Spritzbetonquerschnitt ausgeht. Durch die Anfasierung der Spritzbetonsichtkante gelang ein optisch kaum zu erkennender Übergang in die Gewölbeansicht hinein.

2.4 Qualität

Zum Nachweis der erzielten Qualitäten wurden aus dem fertigen Bauwerk zahlreiche Bohrkern in voller Gewölbetiefe gezogen. Eine erste optische Bewertung ergab, daß die

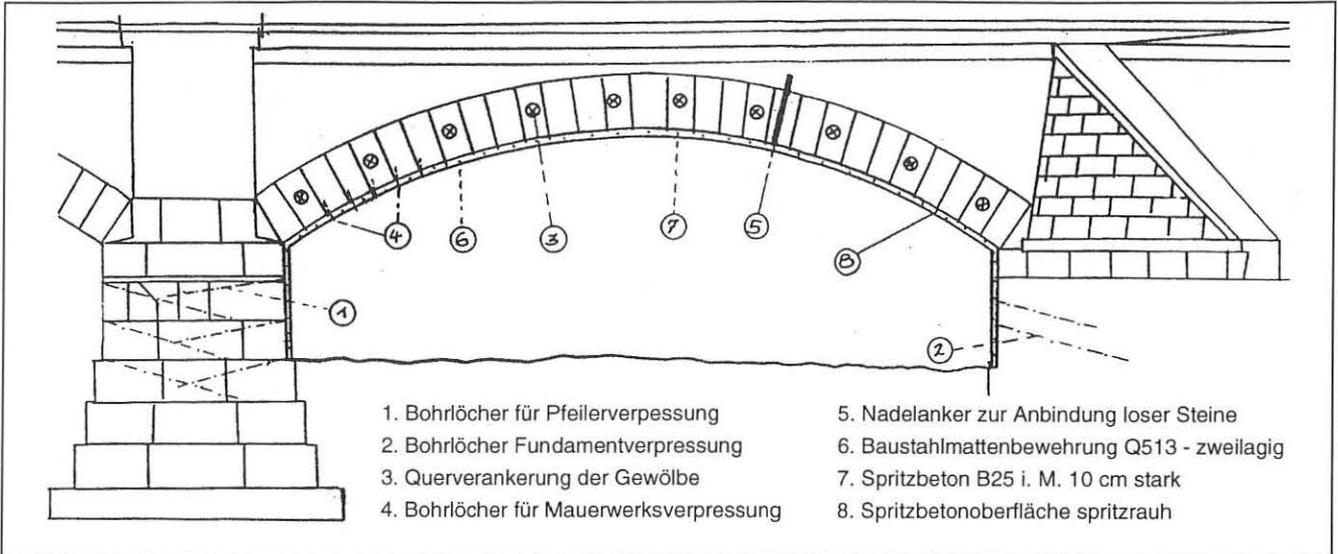


Bild 6: Gewölbeansicht mit Instandsetzungstechnologie

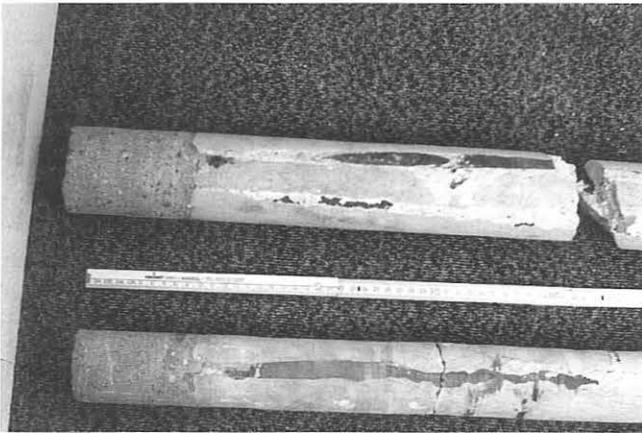


Bild 7: Bohrkerne zur optischen Qualitätsbewertung vom Gewölbe Nr. IV

Verpressung der Stoß- und Lagerfugen zu etwa 98 % erfolgreich war, daß die Sandsteine trotz nasser Kernbohrung und Ausmeißeln fest aneinander hafteten und daß der Spritzbeton einen stoßfesten Verbund mit dem Sandstein hat. Die labormäßige Prüfung erfolgte im Baustoffprüflabor

Hempel in Dresden. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 1** dargestellt.

2.5 Schlußfolgerung

Mit Erreichen der geforderten Festigkeitswerte und insbesondere durch den am Objekt nachgewiesenen guten Haftverbund zwischen dem vorhandenen rund 150-jährigen Sandstein und dem neu aufgetragenen Spritzbeton wurden die statischen Ansätze praktisch bestätigt. Das Bauwerk konnte durch die erfolgreiche Umsetzung der Instandsetzungskonzeption in seinem Bestand erhalten und durch die Reichsbahn für die volle Nutzung freigegeben werden.

3. Instandsetzung des Turmes der Synagoge in Görlitz

3.1 Allgemeines

Der Turm der Synagoge in Görlitz wurde von 1908 bis 1911 als Stahlbetonkonstruktion errichtet. Infolge einer fehlenden

Gewölbenr.	Bohrkernnr.	Sandsteinfestigkeit am Bestand N/mm ² *)	Haftverbund Sandstein-Spritzbeton N/mm ²	Spritzbetondruckfestigkeit N/mm ²	Abrißstelle
I	1	31,54	0,74	62,6	im Sandstein
	3	31,54	1,27		in unmittelbarer Nähe der Grenzfläche Stein-Beton
II	1	31,54	2,35	46,2	wie I.3
	2	31,54	0,60		Grenzfläche Stein-Beton
III	1	31,54	0,55		wie I.3
	2	31,54	2,00	31,1	im Sandstein
IV	1	31,54	1,92		im Sandstein
	2	31,54	0,50		im Sandstein

*) Dies ist der Mittelwert der Sandsteindruckfestigkeit, der über am Bauwerk gewonnene Bohrkerne durch die Baustoffprüfstelle der Deutschen Reichsbahn in Dresden mit Prüfbericht Nr. Bk 358 vom 20.11.1990 ermittelt wurde.

Tabelle 1: Druckfestigkeiten und Haftverbund

Instandhaltung seit ca. 60 Jahren waren die Dächer 1990 akut einsturzgefährdet. Zur Erhaltung der Bausubstanz und zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Gesamtsystems wurde der Turm zur Instandsetzung und zur statischen Verstärkung mittels Spritzbeton 1991 durch die Stadt Görlitz ausgeschrieben.

Das Instandsetzungskonzept wurde vom Ing.-Büro Prof. Berndt in Dresden auf der Grundlage von umfangreichen Voruntersuchungen am Bauwerk erarbeitet.

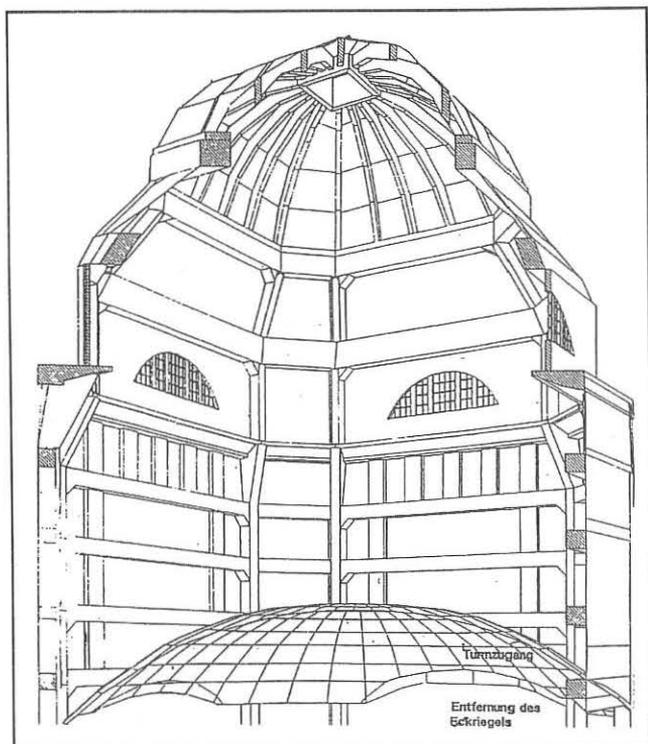


Bild 8: Schnittbild der Turmkonstruktion in Ost-West-Richtung

Der zentrale Turmbau hat einen achteckigen Grundriß, der über die abgeschnittenen Ecken eines Quadrates gleichmäßig ist. An den Knickpunkten stehen Stahlbetonpfeiler, die in ca. 16 m Höhe durch einen ersten Riegelring verbunden sind. Diesem ersten folgen bis in eine Höhe von 30 m sechs weitere. Durch mangelhafte rechnerische Ansätze, aus heutiger Sicht falsche Bewehrungsführung und Schäden im Beton und Betonstahl wurde diese Konstruktion der neuen Nutzungskonzeption, die für den Turm eine weitere Lasterhöhung um ca. 10 % bedeutet nicht mehr gerecht.

3.2 Instandsetzungskonzept

Die Instandsetzung sah eine Spritzbetonbeschichtung der inneren und äußeren Betonoberflächen nach den Regeln der DIN 18551 und der „Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ Teil 2 herausgegeben vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton vor. Daß heißt: Abstemmen der schadhaften Betonteile, Vorbereiten des Betonuntergrundes und der freiliegenden Bewehrung, zusätzlicher Korrosionsschutz der Bewehrung und Auftragen einer 3 cm starken Spritzbetonschicht.

Die Bearbeitung der Spritzbetonoberfläche erfolgte unter denkmalpflegerischen Aspekten. Es wurden dazu vier verschiedene Probestellen angelegt und nach dem von der Unteren Denkmalschutzbehörde bestätigten Muster sämtliche Spritzbetonoberflächen nachgestellt.

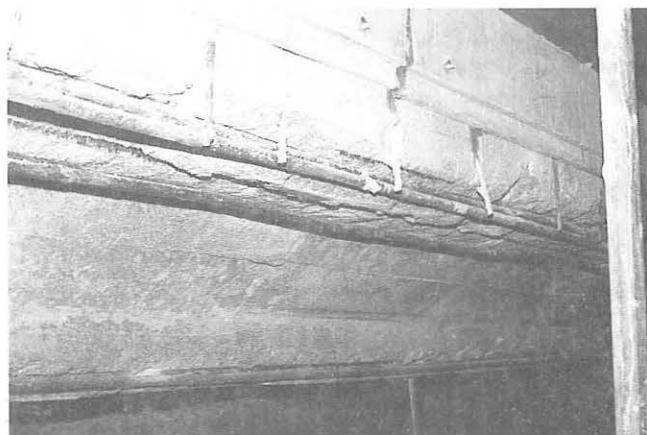


Bild 9: Freiliegende korrodierte Bewehrung am Riegelring Nr. V - Nord

Die statische Verstärkung der Konstruktion wurde durch zwei Maßnahmen erreicht. Zum einen wurden die Riegelringe Nr. 2 bis sechs an der Ober- und Unterseite, Riegelring Nr. 1 nur an der Oberseite und Riegelring Nr. 7 nur an der Unterseite durch Zulagebewehrung von 2 bis 3 Stäben, BST 500 S, im Durchmesserbereich von 20 bis 28 mm als endlos umlaufender Ring ertüchtigt. Dieser Ring wurde an den Riegeloberseiten über Durchbohrungen und Verschweißungen durch die jeweiligen Stützenanschlüsse hergestellt. An den Riegelunterseiten wurden die Bewehrungsstäbe durch Klebpatronen in den Beton der Eckstützen eingebaut. Die Zugversuche für das Ankerklebesystem wurde am Objekt unter Aufsicht der Bauleitung und des Prüfstatikers mit Erfolg durchgeführt.

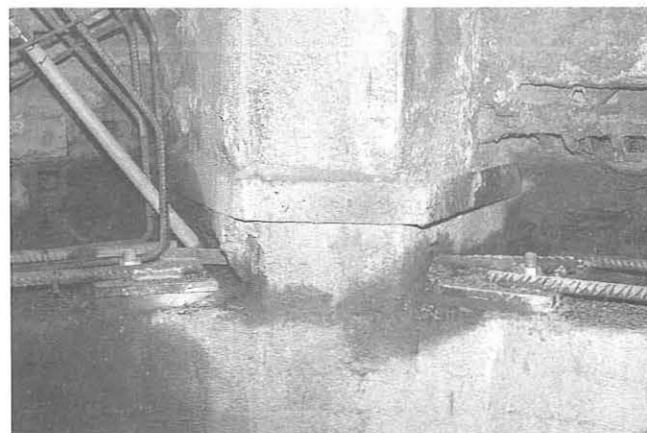


Bild 10: Zulagebewehrung der Riegeloberseite Riegl Nr. III

Die Verstärkung der Turmkonstruktion zwischen den Riegelringen wurde als Fachwerkstabtragwerk gerechnet. Für die praktische Ausführung war bewehrter Spritzbeton vorgesehen. Zur Krafteinleitung von den Zug- und Druckstäben

in die Riegel bzw. Stützen wurde ein bauaufsichtlich zugelassenes Klebeankersystem verwendet. Bei nicht ausreichender Haftspannung (zu geringe Haftstreckenlänge) des genannten Systems wurden die Riegel durchbohrt, die Bewehrungsstäbe durchgesteckt und im Nachgang kraftschlüssig verpreßt. Nach Einbau der Bewehrungskörbe wurde um die Fachwerkstäbe herum eine dreiseitige schnittraue Schalung gestellt und die Fachwerkstäbe mit Spritzbeton ausgespritzt. Die Oberflächenbehandlung erfolgte analog der oben beschriebenen Oberflächenqualität.

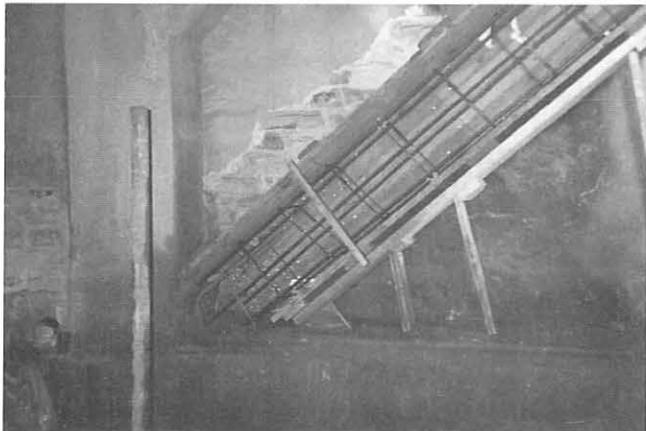


Bild 11: Zum Spritzen vorbereiteter bewehrter und geschaltem Fachwerkstab

Für den Spritzbeton wurden höchste Ansprüche bezüglich der Qualität - B25 WU -, der Maßgenauigkeit - an den Riegeln waren bei ca. 8 m Länge und 0,80 m Höhe max. 0,50 cm Abweichung zulässig -, und der ästhetisch gleichmäßigen Oberflächenstruktur gestellt und durch die Torkretierer auch vollständig nachgewiesen. Das bedeutete höchste Maßgenauigkeiten bei den Schalungsarbeiten und insbesondere in den Übergängen Riegel zur Stütze ein bis zu 6-maliges Umbauen der Schalung! Als günstig für die Herstellung der Oberflächenstruktur erwies sich der Einsatz eines werkstoffgefertigten Trockenmaterials mit rolligem Zuschlagskorn.

Nicht zu vernachlässigen waren die äußerst komplizierten Baustellenbedingungen:

- der zu bearbeitende Raum war nur über zwei Wandöffnungen von 0,80 mal 0,80 m Größe an der Nord- und

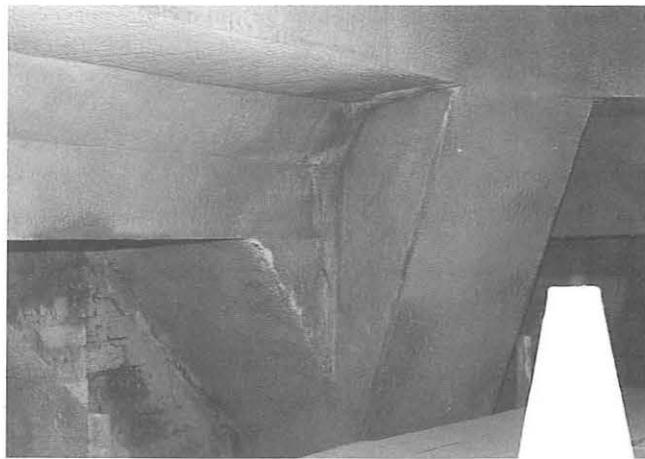


Bild 12: Eckbereich Riegelring Nr. V verdeutlicht die Komplexität der Schalungsarbeiten

Südseite des Turmes in ca. 16 m Höhe erreichbar. Das heißt, daß sämtliches einzubauendes Material dorthinein und der anfallende Strahlmittelrückstand und der Spritzbetonrückprall dorthinausbefördert werden mußten.

- die Arbeiten erfolgten nur unter künstlicher Beleuchtung
- durch die qualitätsoptimierte Forderung an die Spritzbetonoberfläche war es nötig mit einem zweiten Silo werkstoffgefertigten Trockenmörtel nach DIN 18551 zu fahren, was höchste Anforderung an die Zusammenarbeit von Maschinist und Düsenführer stellte, da zu keinem Zeitpunkt ein Sichtkontakt möglich war.

Nach erfolgreich durchgeführter Instandsetzung und statischer Verstärkung des Turmes der Synagoge Görlitz wurde in den letzten zu torkretierenden Fachwerkstab eine vom Auftraggeber gestellte Grundsteinkassette eingespritzt, die mit einer Dokumentation zur Geschichte und zum Erhalt der Synagoge in Görlitz als bedeutendes Kulturdenkmal der Stadt gefüllt ist.

Die genannten Beispiele sollen verdeutlichen, daß es möglich ist, das Spritzbetonverfahren unter speziellen Anforderungen und zu verschiedensten Instandsetzungszielen mit gutem technischem und wirtschaftlichem Erfolg einzusetzen und so einen gewichtigen Beitrag zum langfristigen Erhalt unsres Kulturerbes zu leisten.