

Naßspritzbeton unter Verwendung von Siliziumdioxid zur Verstärkung einer Schlitzwand in Hamburg

WET-MIX SHOTCRETE INCLUDING SILICON DIOXIDE FOR THE REINFORCEMENT OF A DIAPHRAGM WALL IN HAMBURG

DR. PAUL-JOSEF ERBAN, DR. REINHOLD KOENNING UND DIPL.-ING. JOCHEN MEDING, BRÜCKNER GRUNDBAU, ESSEN

Im Zuge des Schnellbahnanschlusses Flughafen Hamburg fertiggestellte Schlitzwandabschnitte zeigten nach dem Freilegen Fehlstellen an der Betonoberfläche. Zur Sanierung dieser Fehlstellen wurde ein neuartiges Naßspritzbetonverfahren angewendet. Dabei wurden die Spritzbetoneigenschaften durch Zugabe von pulverförmigem Siliziumdioxid verbessert. Hierfür kam ein speziell entwickeltes Dosiergerät zum Einsatz. Die Sanierung konnte mit diesem Verfahren erfolgreich durchgeführt werden. Der Spritzbeton genügte voll den hohen Qualitätsanforderungen. Er zeichnete sich durch hohe Gleichmäßigkeit, geringe Wassereindringtiefe und hohe Festigkeiten aus.

In the course of the rapid railway connection of Hamburg airport slurry-cut-off-walls had been established. After excavation defects at the concrete surface of the walls were recognized making reconstructions necessary. For that a new method using shotcrete was applied. The properties of the shotcrete were improved by adding powdery silicon dioxide. Therefore specially developed dosing equipment was used. The reconstruction of the slurry-cut-off-walls was performed successfully. The shotcrete satisfied the high quality demands. It was very homogeneous, the strength was relatively high and the water infiltration value low.

1. Aufgabenstellung

Im Juni 1991 erhielt die Arbeitsgemeinschaft Schlitzwand Flughafen Hamburg unter der technischen Federführung der Brückner Grundbau GmbH den Auftrag zur Ausführung der Schlitzwandarbeiten für das Los 1.1 des sog. "Vorwegbauwerks" (Bild 1). Hierfür waren ca. 5.600 m² Schlitzwände von 1,20 m Stärke herzustellen. Der Auftrag wurde später um das Los 1.2 (ca. 4.800 m² Schlitzwände) erweitert.

Bei dem Vorwegbauwerk handelt es sich um eine vorgezogene Baumaßnahme im Zuge des Schnellbahnanschlusses Flughafen Hamburg. Das Bauwerk besteht aus zwei annähernd parallel verlaufenden Wänden, auf denen ein

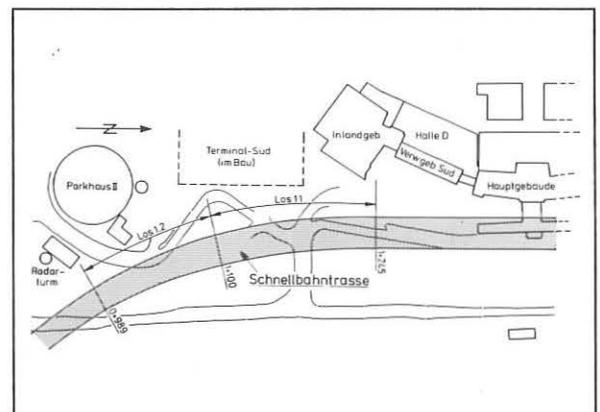


Bild 1: Vorwegbauwerk Flughafen Hamburg, Übersichtslageplan

Deckel aus Stahlbeton abgesetzt wird (Bilder 2 und 3). Die Konstruktion dient zur Aufnahme des Schnellbahntunnels, der erst in einigen Jahren erstellt werden soll. Durch das Vorwegbauwerk wird später die mit einer Offenen Bauweise verbundene Beeinträchtigung des Flughafenverkehrs vermieden.

Der Untergrund im Bereich des Vorwegbauwerks ist unterhalb einer bis zu 2,4 m starken Auffüllungszone aus Sanden aufgebaut, in die z.T. bindige Horizonte aus Geschiebelehm und -mergel eingelagert sind. Das Liegende wird von halbfestem Mergel gebildet, dessen Obergrenze zwischen ca. 5,0 m und ca. 16,0 m Tiefe liegt. Der natürliche Grundwasserspiegel befindet sich in ca. 3,5 m Tiefe.

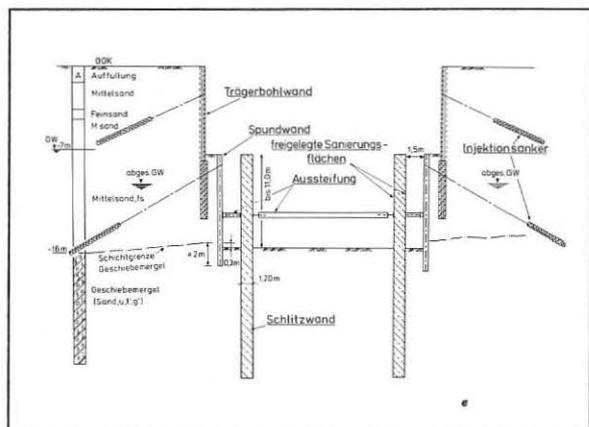


Bild 2: Querschnitt Vorwegbauwerk, Bauzustand

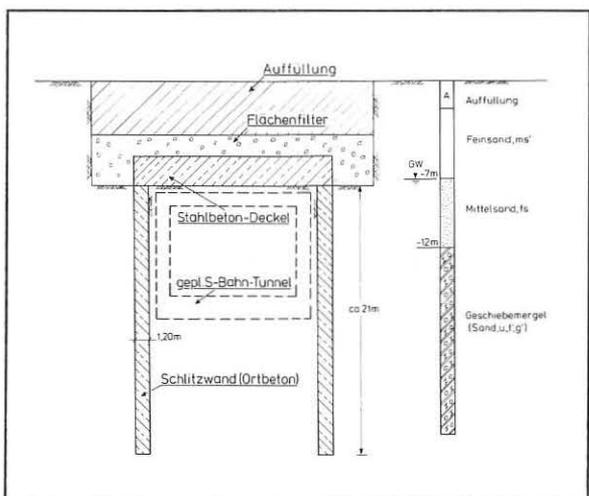


Bild 3: Querschnitt Vorwegbauwerk, fertiger Zustand

Die seitlichen Wände des Vorwegbauwerks wurden als Ortbeton-Schlitzwände von 1,20 m

Stärke ausgeführt. Die Herstellung der Wände erfolgte von einer Arbeitsebene aus, die sich ca. 7,5...9,0 m unter Gelände im Niveau der Unterseite des Stahlbetondeckels befand (Bild 2). Die dafür erforderliche Baugrube wurde durch rückverankerte Trägerbohlwände gesichert. Außerdem war eine Grundwasserabsenkung um ca. 4,5...6,0 m erforderlich. Die Schlitzwände wurden von der Arbeitsebene aus bis auf 21,0 m Tiefe niedergebracht. Der obere Bereich der Schlitzwände kam im Niveau der angetroffenen Sande zu liegen.

Die Schlitzwandarbeiten für das Los 1.1 wurden im August 1991 begonnen und im Oktober 1991 abgeschlossen. Das Los 1.2 wurde in den Monaten Februar bis Mai des Jahres 1992 fertiggestellt. Bei den nachfolgenden Aushubarbeiten wurde festgestellt, daß die für das Los 1.2 bei der Schlitzwandherstellung verwendete Bentonitsuspension im Bereich des Sandhorizontes eine Filterkuchenschicht gebildet hatte, die durch den im Kontraktorverfahren eingebrachten Beton nicht verdrängt worden war. Die Bewehrung der Schlitzwände war daher nicht vollständig in Beton eingebettet (Bild 4). Die Wand war statisch nicht mehr voll funktionsfähig. Eine Sanierung wurde erforderlich. Die Obergrenze des als Liegendes anstehenden Mergels bildete die Untergrenze des Schadens.



Bild 4: Freiliegende Schlitzwandbewehrung

2. Sanierungskonzept

Da der Querschnitt der Schlitzwände geschwächt war, mußte die Sanierung eine Wiederherstellung der vollen Tragfähigkeit der Wand gewährleisten. Außerdem mußte der dauerhafte Korrosionsschutz der freiliegenden Bewehrung sicher gestellt werden. Darüber hinaus sollte der Erfolg der Maßnahmen kontrollierbar

sein. Desweiteren war wegen der Terminplanung für die nachfolgenden Gewerke ein rascher Sanierungserfolg zwingend.

Aufgrund dieser Anforderungen wurde eine Sanierung der Schlitzwände durch Aufbringen von Spritzbeton als geeignetste Lösung erachtet. Es wurde das Naßspritzverfahren favorisiert, da hierbei Transportbeton verwendet werden konnte und der W/Z-Wert als wichtigster der die Betoneigenschaften beeinflussenden Parameter besser einzuhalten war. Außerdem bot das Naßspritzverfahren Vorteile mit Blick auf eine mögliche Staubeentwicklung.

Die Betonfestigkeit war mit B 25 zu gewährleisten. Für die Schubübertragung in der Verbundfuge Ortbeton-Spritzbeton war es günstig, daß ein Teil der zweilagigen Bewehrung noch voll im intakten Schlitzwandbeton eingebettet war. Auf zusätzliche Verbundmittel zwischen bestehendem Bauteil und nachträglich aufgebrachtem Spritzbeton konnte daher verzichtet werden. Ein entsprechender Nachweis wurde geführt.

Zur Vorbereitung des Untergrundes sollte der an der Schlitzwand anhaftende Filterkuchen mit einem Hochdruckwasserstrahl (Wasserdrücke bis 120 MPa) entfernt werden. Im weiteren war vorgesehen, die Oberfläche derart sandzustrahlen bzw. abzuspitzen, bis daß sämtliche Filterkuchen- sowie Feinmörtelreste von der Oberfläche des Altbetons entfernt waren und dessen Grobkorn freilag. Vor Aufbringen des Spritzbetons mußte der Untergrund vorgeätzt werden.

Um eine möglichst hohe Haftung und Frühfestigkeit des Spritzbetons zu erreichen, war der Einsatz von Erstarrungsbeschleunigern vorteilhaft. Um die mit den konventionellen Erstarrungsbeschleunigern verbundenen Nachteile (z.B. Alkalisierung des Grundwassers, geringere Endfestigkeit des Betons) zu vermeiden, wurden die Eigenschaften des Spritzbetons durch Zugabe von synthetisch hergestelltem amorphem Siliziumdioxid (SiO_2) verbessert /3,4/. Bei diesem Stoff handelt es sich um ein in einem Fällprozess hergestelltes, extrem feinteiliges Pulver, dessen besonderes Kennzeichen seine große spezifische Oberfläche ist (ca. $200 \text{ m}^2/\text{g}$).

Dieses als Betonzusatzstoff nach DIN 1045 eingesetzte Produkt wird von der Degussa AG unter dem Handelsnamen Sipernat 22 S hergestellt. Dem Produkt ist vom Institut für

Bautechnik das Prüfzeichen PA VII-21/501 zugewiesen worden. Der Nachweis der Brauchbarkeit, wie er in den Landesbauordnungen gefordert ist, wurde erbracht. Die Einhaltung der für das Erzeugnis festgelegten Anforderungen wird durch eine Eigenüberwachung sowie eine Fremdüberwachung geprüft.

Die erstarrungsbeschleunigende Wirkung des Produktes beruht zum einen auf dem Effekt, daß durch die große spezifische Oberfläche der amorphen SiO_2 -Teilchen Wasser physikalisch gebunden wird. Der spontane Wasserentzug läßt den Beton ansteifen. Die Kohäsion des Spritzbetons erhöht sich wesentlich, ohne daß die Plastizität vollständig verloren geht. Der Rückprallanteil reduziert sich hierdurch erheblich. Es können dickere Spritzbetonlagen hergestellt werden. Zum anderen wirken die SiO_2 -Partikel bei der Zementreaktion als Kristallisationskeime. Hierdurch wird eine homogenere Verteilung der Hydratationsprodukte in der Zementsteinmatrix erzielt. Die Dichtigkeit des Betons wird verbessert. Zuschlagkörner und Bewehrung werden fester eingebunden. Der Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel sowie gegen chemische Angriffe erhöht sich. Insbesondere erfahren die Druck- und die Biegezugfestigkeiten eine wesentliche Steigerung. Bedingt durch die physikalische Bindung des Wassers sind die Festigkeitswerte des mit amorphem Siliziumdioxid verbesserten Spritzbetons größer als die der Ausgangsmischung (Bild 5).

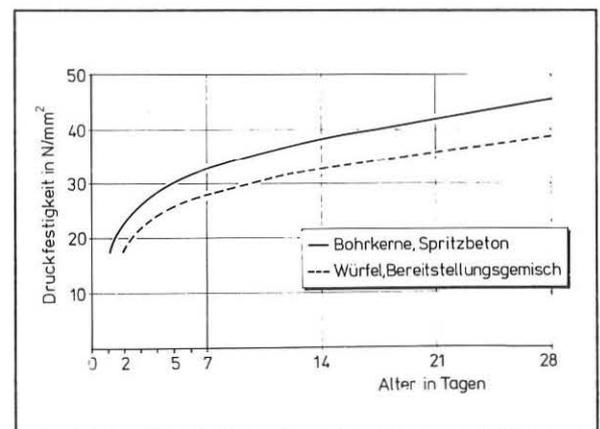


Bild 5: Festigkeit des verbesserten Spritzbetons im Vergleich zur Ausgangsmischung (nach /4/)

Besonders herauszustellen ist die Umweltverträglichkeit des amorphen SiO_2 -Pulvers, das in dieser Form auch in der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie (z.B. auch bei der Zahnpasta-

herstellung) Anwendung findet. Biologisch ist das Pulver absolut unbedenklich. Arbeitsmedizinische Untersuchungen haben gezeigt, daß die Fällungskieselsäuren keine Silikose oder andere spezifische krankhaften Veränderungen der Atemwege hervorrufen.

Das SiO_2 -Pulver wird der Druckluft zugegeben, mit der die Spritzdüse beim Naßspritzen beaufschlagt wird (Bild 6). Der Anteil SiO_2 /Zement liegt in der Regel bei 1,0...4,0 Gew.-%. Um homogene Spritzbetoneigenschaften zu erreichen, muß das SiO_2 -Pulver gleichmäßig und mengen genau zugegeben werden.

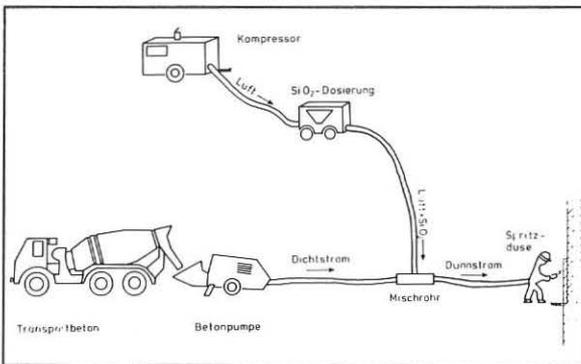


Bild 6: Gerätekonfiguration zur Herstellung von Naßspritzbeton mit verbesserten Eigenschaften

Zu diesem Zweck ist von der maschinentechnischen Abteilung der Brückner Grundbau GmbH in Essen eine spezielle mobile Dosiervorrichtung für pulverförmige Stoffe entwickelt und patentiert worden (Bild 7). Das Arbeitsprinzip dieser Anlage geht aus Bild 8 hervor.



Bild 7: Dosiergerät für SiO_2 -Pulver

Über eine pneumatische Membranpumpe wird

ein Luft- SiO_2 -Gemisch in einem Primärkreislauf ständig umgepumpt. Die Feststoffteilchen werden dabei stets in Bewegung bzw. Schwebelage gehalten. Aus diesem Kreis zweigt ein Sekundärkreislauf ab. Die Konzentration des SiO_2 -Anteils in diesem Kreis wird durch den Mengenregler am Abzweig gesteuert. Der Sekundärkreis durchläuft drei Kammern, die somit stets ein in Bewegung befindliches Luft- SiO_2 -Gemisch einer genau definierten Konzentration enthalten. Über einen Rücklauf, in dem drei elektronisch geregelte Steuerventile V_4 , V_5 und V_6 zwischengeschaltet sind, strömt das Gemisch in den SiO_2 -Vorratsbehälter zurück.

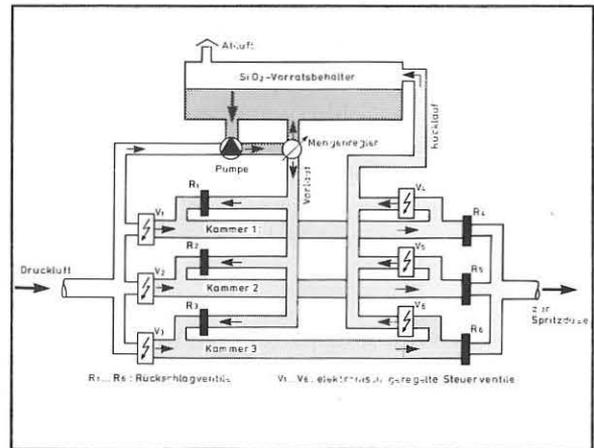


Bild 8: Funktionsprinzip der SiO_2 -Pulver-Dosierung

Wird nun von der Spritzdüse Druckluft angefordert, so werden wechselseitig die Steuerventile V_1 , V_2 bzw. V_3 geöffnet und die Ventile V_4 , V_5 und V_6 synchronisiert dazu geschlossen. Das in den Kammern befindliche Luft- SiO_2 -Gemisch wird alternierend in die zur Spritzdüse führende Leitung derart ausgeblasen, daß hier ein kontinuierlich strömendes Luft- SiO_2 -Gemisch vorliegt. Die Steuerung der Kammerventile erfolgt dabei elektronisch. Das Gerät ist für eine Kompressorleistung von ca. $10 \text{ m}^3/\text{min}$ bei einem Druck von ca. $0,8 \text{ MPa}$ ausgelegt.

Die Zusammensetzung des Bereitstellungsgemisches wurde weitgehend an den für die Schlitzwand verwendeten Beton angeglichen, um mit Blick auf die Verbundwirkung ein möglichst gleichartiges mechanisches Verhalten der beiden Betone zu erreichen.

Für das Bereitstellungsgemisch wurde daher folgende Beton-Rezeptur vorgeschlagen:

Zement HOZ 35 L - NW/HS/NA $350,0 \text{ kg}/\text{m}^3$

- Zusatzstoff Hanse-Füller GK 50,0 kg/m³
- Fließmittel Isola 3,5 kg/m³
- Grubensand 0/2a 940,0 kg/m³
- Kies 2/8 787,0 kg/m³
- Wasser 195,0 kg/m³

Damit ergaben sich nachstehende Betonkennwerte:

- W/Z-Wert 0,54
- Konsistenz KF
- Frischbetonrohddichte 2,3 kg/dm³

3. Eignungsprüfungen und Qualitätssicherung

Die Durchführbarkeit des Sanierungskonzeptes sowie die Eignung des Betons wurde durch Eignungsprüfungen nachgewiesen. Die im Zuge dieser Prüfungen durchgeführten Festigkeitsuntersuchungen lieferten die in **Tabelle 1** zusammengestellten Resultate. Die Anforderungen an einen Beton B 25 werden erfüllt. Die an einer gespritzten Probefläche gemäß ZTV-SIB 90, Anhang 2 /1/ ermittelte Abreißfestigkeit β_{HZ} an Bohrkernen von 50 mm Durchmesser ergab nach 7 Tagen Werte zwischen 0,6 und 1,5 N/mm². Die Brüche traten meist innerhalb des Spritzbetons auf und nur zum Teil in der Verbundfuge zum Altbeton.

Betonalter [d]	β_{WN} [N/mm ²]	β_C [N/mm ²]
7	-	16,0
14	19,0	30,0
28	34,0	31,0
56	39,0	37,0

β_{WN} : Druckfestigkeit der Bereitstellungsmischung, bestimmt an Würfel mit 20 cm Kantenlänge
 β_C : Druckfestigkeit des Spritzbetons, bestimmt an Bohrkernen von 100 mm Durchmesser

Tab. 1: Ergebnisse der Eignungsprüfung

Zur Gewährleistung der Güte der Sanierung wurde ein besonderes Qualitätssicherungskonzept ausgearbeitet /2/.

Neben der Aufzeichnung sämtlicher relevanter Herstellungsdaten wurden folgende Prüfungen gefordert:

- ständige Sichtkontrolle der Untergrundvorbehandlung

- stichprobenhafte Bestimmung der Abreißfestigkeit des vorbehandelten Untergrundes (geforderter Mindestwert 1,0 N/mm²)
- BII-Güteüberwachung des Bereitstellungsgemisches sowie des Spritzbetons unter Einschaltung von Betonprüfstellen E und F
- Abklopfen der sanierten Flächen zur Feststellung von Hohllagen

Im Einzelnen umfaßte die BII-Güteüberwachung folgende Maßnahmen:

- Prüfebene 1: Bereitstellungsgemisch (Transportbeton)*
- Prüfung der Lieferunterlagen auf Übereinstimmung mit der Bestellung und der Lieferung (jede Lieferung)
 - Beurteilung der Zusammensetzung und der Konsistenz nach Augenschein (jede Lieferung)
 - Messen der Konsistenz vor und nach Zugabe des Fließmittels (in der Anfangsphase jede Lieferung, danach jede 5. Lieferung)
 - Bestimmung der Frischbetonrohddichte und der Druckfestigkeit an Würfeln oder Zylindern (Serie von 3 Proben je 500 m²)

- Prüfebene 2: Gespritzter Beton (Frischbeton)*
- Bestimmung der Frischbetonrohddichte an einer Platte 50x50x15 cm (in der Anfangsphase eine Probe täglich, danach eine Serie von 3 Proben je 500 m²)
 - Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN 1048 Teil 1, Abs. 3.4.2 (Serie von 3 Proben je 500 m²)

- Prüfebene 3: Gespritzter Beton (Festbeton)*
- Bestimmung von Druckfestigkeit β_{D56} und Rohddichte an Bohrkernen von 100 mm Durchmesser aus gespritzten, plattenförmigen Probekörpern (Serie von 3 Proben je 500 m²)
 - Bestimmung der Abreißfestigkeit β_{HZ} am Bauwerk gem. ZTV-SIB 90, Anhang 2 (Serie von 5 Prüfungen je 500 m²)

4. Durchführung der Sanierung

Die Sanierungsarbeiten wurden nach dem vorbeschriebenen Konzept in den Monaten August bis November des Jahres 1992 durchgeführt. Zur Sanierung der äußeren Flächen des Vorwegbauwerks mußten diese zunächst im Schutze eines Verbaus im Bereich der anstehenden Sande freigelegt werden. Als Verbau wurden Spundwände bis in das Liegende (Mergelhorizont) eingebracht (**Bild 9**). Die Spundwände mußten an ihrem Kopf rückverankert werden. Im unteren Teil wurden Steifen eingebaut. Um die Steifenkräfte schadlos aufzuneh-

men war es notwendig, auch im Inneren des Vorwegbauwerks zwischen den Schlitzwänden Aussteifungen anzuordnen. Die Baugruben reichten - entsprechend der Tiefenlage des Mergels - z.T. bis 11,0 m unter OK-Schlitzwände bei einer Arbeitsraumbreite von nur etwa 1,5 m. Der Grundwasserspiegel mußte um 2...3 m zusätzlich abgesenkt werden, um hydraulische Grundbrüche an der Sohle der Gruben sicher auszuschließen.

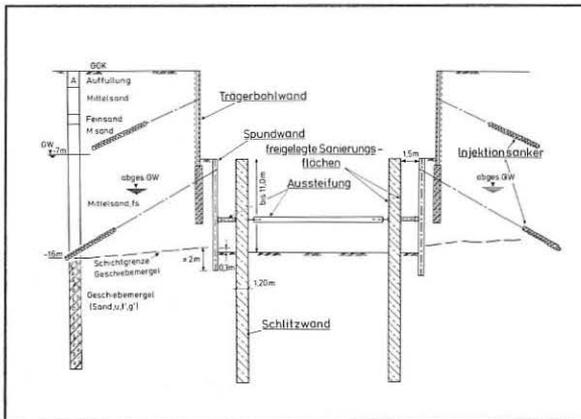


Bild 9: Querschnitt Vorwegbauwerk, Bauzustand Sanierung

Es läßt sich denken, daß die Enge des Arbeitsraumes die Durchführung der Sanierungsarbeiten an den Außenwandflächen des Vorwegbauwerks stark erschwerte. Die **Bilder 10 und 11** zeigen die Schlitzwände außen bzw. innen nach dem Erdaushub. Anschließend erfolgte die Untergrundvorbehandlung mit dem Hochdruckwasserstrahl (**Bild 12**, linker Wandbereich). Im weiteren wurde durch Abspitzen der gesunde Schlitzwandbeton freigelegt (**Bild 12**, rechter Wandbereich). Die Sandstrahltechnik, die zunächst eingesetzt wurde, hat sich dabei nicht bewährt. Es folgte ein nochmaliger Übergang mit dem Hochdruckwasserstrahl. Hierdurch wurden noch lose Teile vollständig entfernt. **Bild 13** zeigt einen für das Auftragen des Spritzbetons fertig vorbereiteten Wandabschnitt.

Vor dem Aufbringen des Spritzbetons wurden die Auftragsflächen 6...8 Stunden vorgeätzt. Wegen des beengten Arbeitsraumes konnte an den äußeren Wandflächen der Spritzbeton nur mit einem geringen Düsenabstand von ca. 0,5 m aufgebracht werden (**Bilder 14 und 15**). Dies hatte zur Folge, daß der Rückprallanteil mit ca. 15...20 % relativ hoch war. Außerdem ergab sich eine ziemlich unebene Oberfläche, die jedoch die Gebrauchsfähigkeit der sanierten Schlitzwand nicht weiter beeinträchtigt. **Bild 16**

zeigt die Spritzarbeiten an einem innen liegenden Wandabschnitt. Durch den möglichen größeren Düsenabstand - innen wurde mit einem Düsenabstand von ca. 1 m gearbeitet - reduzierte sich der Rückprall auf ca. 5...10 %. Die Düse konnte sauberer geführt werden, so daß eine glattere Oberfläche erzielbar war.

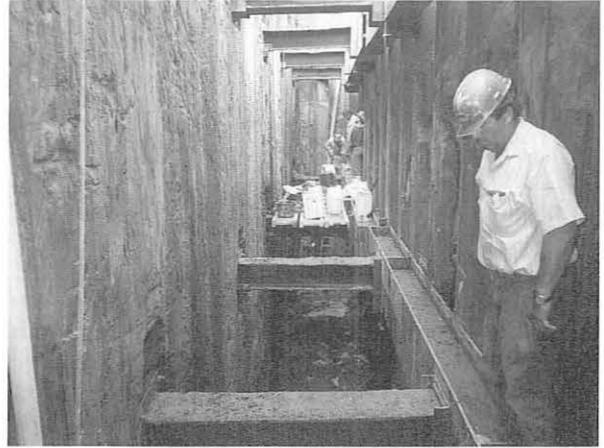


Bild 10: Freigelegte Schlitzwand außen, Baugrubensicherung durch Spundwände und Aussteifungen



Bild 11: Freigelegte Schlitzwände innen

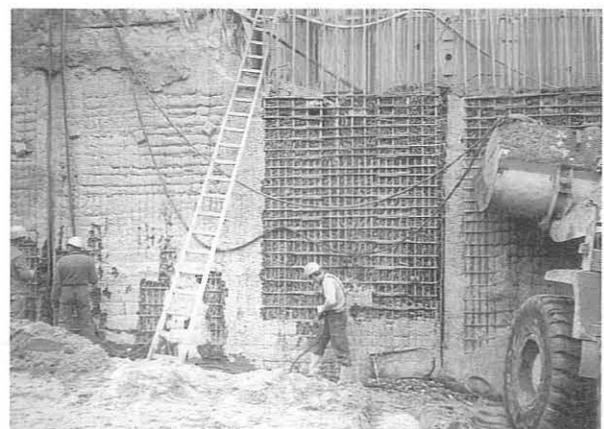


Bild 12: Vorbereiten des Untergrundes, innen

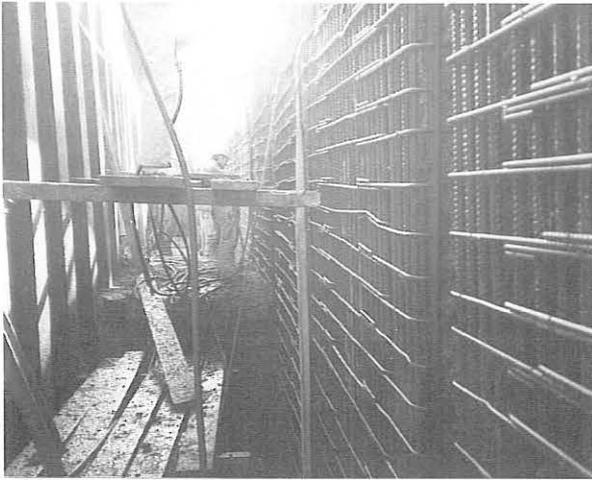


Bild 13: Zum Auftragen des Spritzbetons vorbereiteter Wandabschnitt, außen



Bild 16: Aufbringen des Spritzbetons innen



Bild 14: Aufbringen des Spritzbetons außen

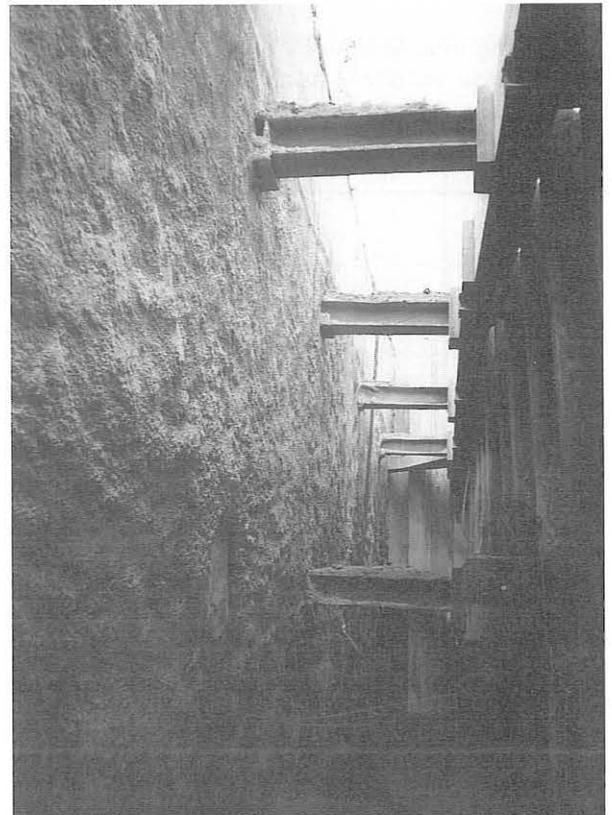


Bild 17: Fertig sanierte Schlitzwand außen

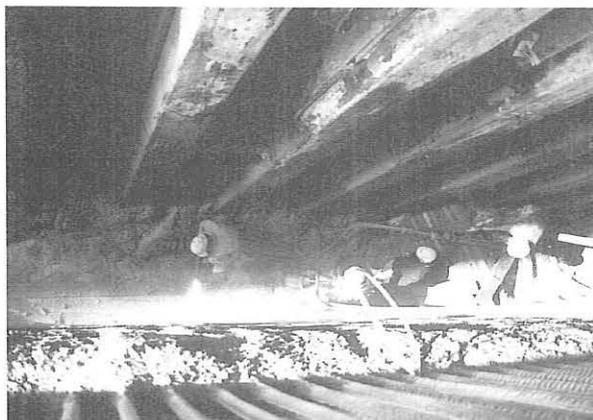


Bild 15: Erschwerte Spritzarbeiten infolge beengten Arbeitsraumes

Nach dem Spritzen wurden die sanierten Wandabschnitte mit einem Curingmittel eingesprüht, um ein Austrocknen des frischen Betons und die damit verbundene Bildung von Schwindrissen zu vermeiden. Bei warmer Witterung wurde die Oberfläche zusätzlich laufend befeuchtet. Während der kälteren Perioden wurde eine Folien- bzw. Juteabdeckung vorgesehen, um ein zu rasches Abkühlen des Betons zu verhindern. Der Erfolg der ergriffenen Maßnahmen zeigte sich dadurch, daß nur in äußerst geringem Umfang Schwindrisse auftraten. Fertig sanierte Wandabschnitte zeigen die **Bilder 17 und 18**.



Bild 18: Fertig sanierter Schlitzwandabschnitt innen

Die sanierten Abschnitte sind im Grundriß im Bild 19 und in der Ansicht im Bild 20 darge-

stellt. Zu bemerken ist, daß an den Lamellen 35.2 bis 38.2 keine Sanierung vorgenommen werden mußte, da hier ein anderer Bentonittyp - nämlich Reste des für das Los 1.1 verwendeten Typs - bei der Schlitzwandherstellung eingesetzt worden war.

Eine Übersicht der sanierten Flächen und des Betonverbrauchs sowie der im Zuge der Güteprüfungen festgestellten Kennwerte des Betons gibt Tabelle 2. Der Betonverbrauch pro Quadratmeter sanierter Fläche lag - einschließlich Rückprall - bei $0,18 \text{ m}^3$. Bemerkenswert sind die erreichten hohen Festigkeiten sowie die geringe Wassereindringtiefe. Die an einen Beton B 25 zu stellenden Anforderungen werden voll eingehalten. Die Gleichmäßigkeit der Betonqualität wird durch die relativ geringen Standardabweichungen in den Betonkennwerten dokumentiert.

Abschnitt	Fläche [m ²]	Verbrauch [m ³ /m ²]	w [%]	β_{HZ} [N/mm ²]	$\beta_{WN 56}$ [N/mm ²]	β_{CS6} [N/mm ²]	e [mm]
1 außen	81,9	0,31	19,7	0,8	39,0	37,0	23,0
1 innen	73,8	0,11	19,1	1,2	37,0	29,0	10,0
2 außen	122,9	0,22	16,8	1,4	33,3	39,0	20,0
2 innen	100,6	0,14	19,6	1,1	40,0	34,0	
3 außen	182,2	0,20	19,6	1,0	39,0	40,0	10,0
3 innen	162,7	0,18	19,2	1,1	38,0	34,0	
4 außen	125,4	0,23	18,3	1,2	38,0	34,0	10,0
4 innen	120,0	0,21	19,4		38,0	37,0	6,0
5 außen	98,1	0,18	20,0	1,3	36,0	32,0	9,0
5 innen	96,2	0,18	19,5	1,1	39,0	35,0	14,0
6 außen	173,0	0,18	18,9	1,0	32,0	39,0	
6 innen	161,3	0,20	16,2	1,0	39,0	35,0	14,0
7 außen	146,4	0,18	19,4	1,1	42,0	40,0	9,0
7 innen	141,2	0,19	16,2	1,1	39,0	35,0	14,0
8 außen	88,9	0,13	19,9	1,4	37,0	36,0	12,0
8 innen	80,0	0,13	20,1	1,4	38,0	35,0	8,0
9 außen	123,0	0,17	18,8	1,4	39,0	41,0	
9 innen	122,6	0,11	20,3	1,4	39,0	35,0	8,0
10 außen	104,7	0,21	20,0	1,3	39,0	32,0	8,0
10 innen	92,0	0,15	19,3	1,1	38,0	40,0	10,0
11 außen	66,0	0,18	19,7	1,2	38,0	34,0	
11 innen	70,7	0,13	19,8	1,1	39,0	37,0	
Summe	2.534						
Mittel		0,18	19,1	1,2	38,0	35,9	11,6
Standardabw.			1,2	0,2	2,1	3,0	4,4
w:	Wassergehalt im Darrversuch gem. DIN 1048						
β_{HZ} :	Abreißfestigkeit gem. ZTV-SIB 90, Anhang 2						
$\beta_{WN 56}$:	56-Tage-Druckfestigkeit der Bereitstellungsmischung, Würfel von 20 cm Kantenlänge						
β_{CS6} :	56-Tage-Druckfestigkeit des Spritzbetons, Bohrkern von 100 mm Durchm. und 100 mm Höhe						
e:	Wassereindringtiefe, Prüfung gem. DIN 1048						

Tab. 2: Zusammenstellung der im Zuge der Qualitätssicherung ermittelten Betonkennwerte

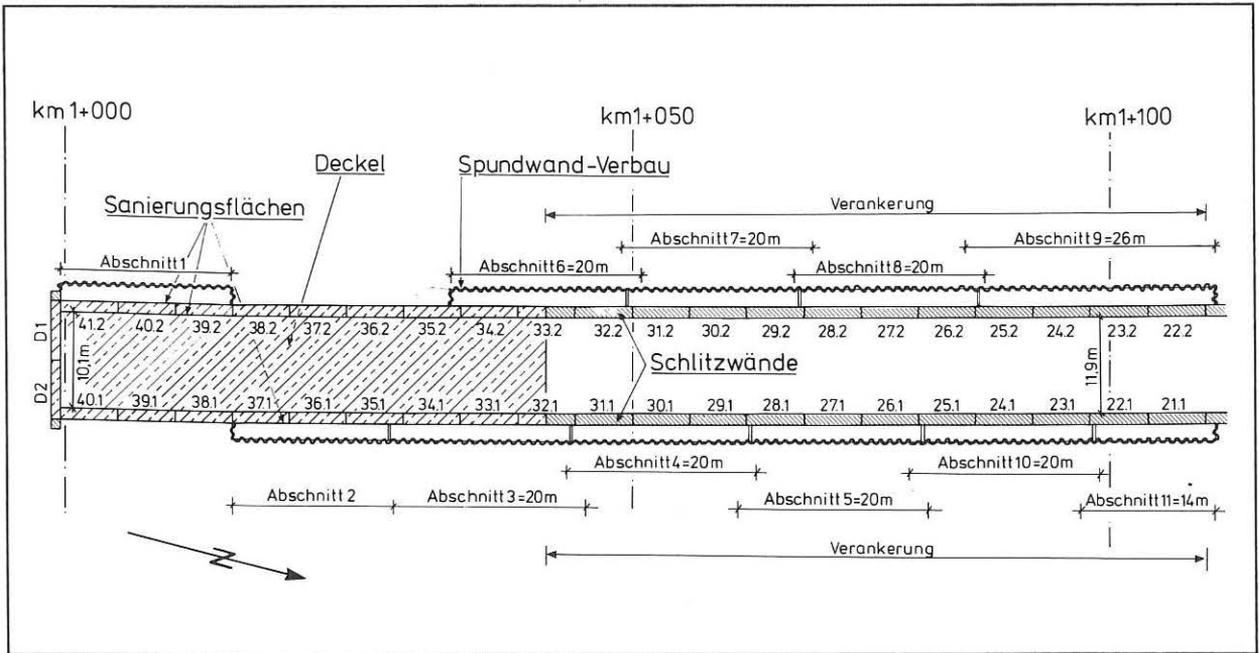


Bild 19: Sanierungsabschnitte, Grundriß

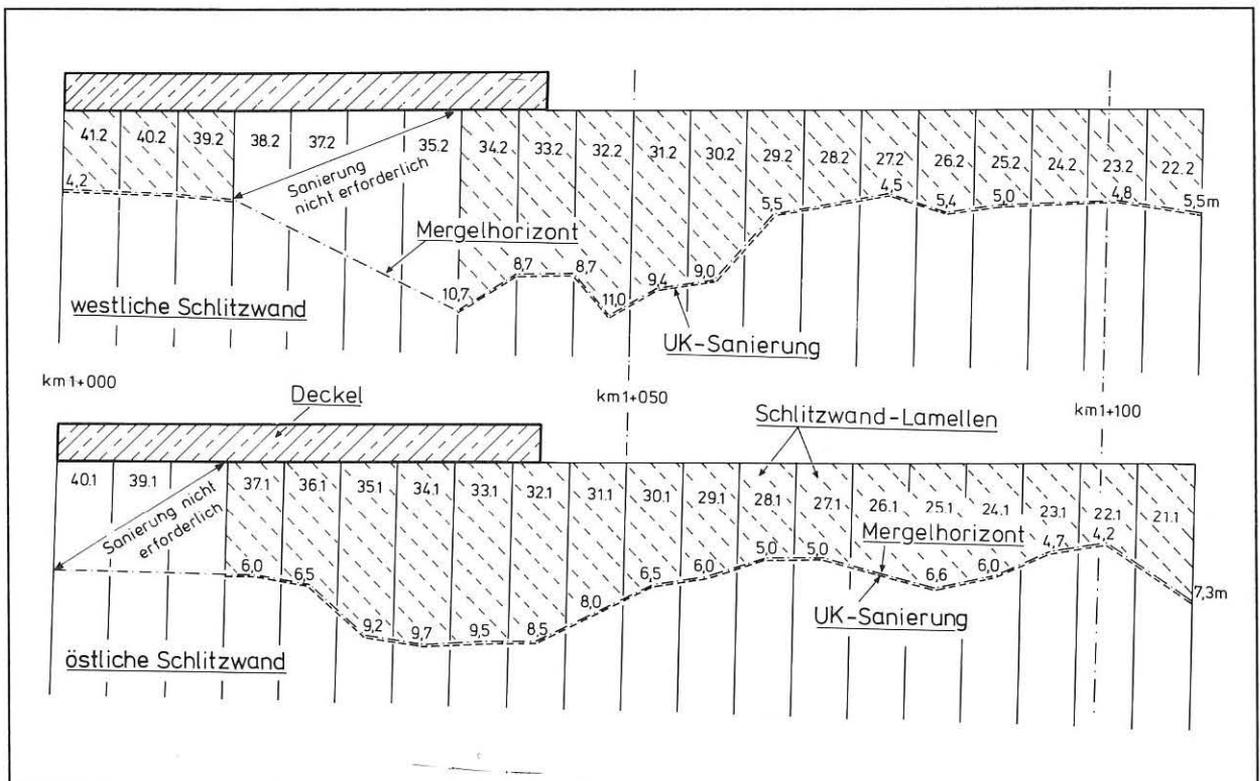


Bild 20: Sanierungsabschnitte, Ansicht (1:2 überhöht)

5. Zusammenfassung

Teile der im Verlauf des Vorwegbauwerkes für den Schnellbahnanschluß Flughafen Hamburg erstellten Schlitzwände mußten saniert werden.

Dazu wurde das Naßspritzbetonverfahren angewendet. Die Eigenschaften des Spritzbetons wurden durch Zugabe von Siliziumdioxid vorteilhaft verbessert. Dabei kam ein speziell entwickeltes, transportables Dosiergerät zum Ein-

satz. Insgesamt wurden ca. 2.500 m² Schlitzwandfläche erfolgreich bearbeitet, wobei hohe Anforderungen an die Qualität der Ausführung gestellt wurden.

6. Schrifttum

- /1/ **Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Hrsg.):**
ZTV-SIB 90, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen.
- /2/ **Flohrer, C.:**
Die Herstellung und Überwachung von SiO₂-Naßspritzbeton. Arbeits- und Prüfanweisung der HOCHTIEF, Abteilung QS, Frankfurt/M., 1991, unveröffentlicht.
- /3/ **N.N.:**
Naßspritzbeton mit verbesserten Eigenschaften durch Zugabe von amorphem Siliziumdioxid. Prospekt der Brückner Grundbau GmbH, Essen.
- /4/ **Pohl, R.; Deuse, T.; und Hillemeier, B.:**
Neues Naßspritzverfahren; Synthetisches amorphes Siliciumdioxid als Zusatzstoff. Beton 40 (1990), Nr. 2, Betonverlag, Düsseldorf.