

Dr.-Ing. Markus Plannerer

Beratender Ingenieur BAYIK

Von der Industrie - und Handelskammer
für München und Oberbayern öffentlich
bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Betonschäden, Betoninstandsetzung,
Betontechnologie, mineralische Baustoffe

Dr.-Ing. Karl Schmidt

Von der Industrie - und Handelskammer
öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Betontechnologie,
Betonschäden und Betoninstandsetzung

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME

Auftraggeber: Markt Markt Indersdorf

Objekt: Instandsetzung Klärwerk Markt Indersdorf

Anlass: Mängel an der Spritzmörtelauskleidung Becken Ost

Auftrag: 2.6.2015

Gutachten-Nr.: 150506

Datum: 2.7.2015



Anschrift:
Gumstraße 8b
D-82152 Planegg

Fon 089 / 8 11 21 80
Fax 089 / 8 11 23 34
post@ib-plannerer.de
www.ib-plannerer.de

Partner:
Dr. Markus Plannerer
Dr. Karl Schmidt
Partnerschaftsregister:
PR 1223

Die Stellungnahme umfasst 23 Textseiten und - Anlagen

Steuer-Nr.:
146/234/90719

PDF . Fertigung

Bankverbindung:
Kreissparkasse M-S-E
BLZ 702 501 50
Kto 273 704 44
IBAN DE43 7025 0150 0027 3704 44
BIC BYLADEM1KMS

1 Auftrag und Anlass

Der Markt Markt Indersdorf beauftragte mich am 2.6.2015 Rissbildungen an der Spritzmörtelschale des 2014 instandgesetzten Kombibeckens West zu begutachten.

Im Laufe der Begutachtung zeigten sich an dem aktuell instandgesetztem Kombibecken Ost massive Schäden an der Spritzmörtelschale mit Hohllagen und Ablösungen der Schale in Teilflächen.

Diese Stellungnahme befasst sich aufgrund der Dringlichkeit nur mit den Schäden an dem Kombibecken Ost.

2 Unterlagen und Literatur

Für diese Stellungnahme standen mir folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /1/ Ausschreibungsunterlagen komplett
- /2/ Gutachten Dr. Linse und Partner vom 30.5.2014
- /3/ Ausführungsplan Nr. 4.4 - Detail Betonsanierung
- /4/ Bautagesberichte BMF von Okt-Nov 2014 und März-Juni 2015
- /5/ Anzeige Baumaßnahme bei Fremdüberwachung v. 23.9.2014
- /6/ Produktdatenblatt Sika MonoTop AW mit Leistungserklärung EN 1504-3
- /7/ Produktdatenblatt Sika NB 100
- /8/ Prüfprotokolle BMF Abreißfestigkeiten auf Altbeton Becken Ost
- /9/ Prüfprotokolle B&Ø Haftzugprüfungen vom 12.6.15 auf Spritzmörteloberfläche Becken Ost und West
- /10/ Bericht IBQ vom 11.6.15 zur Bohrkernentnahme in Rissen Becken West
- /11/ Bericht IBQ vom 11.6.15 zum Chlorid- und Sulfatgehalt des Altbetons, Becken Ost
- /12/ Bericht IBQ vom 24.6.15 zur Bestimmung der Druckfestigkeit des Spritzmörtels, Becken Ost
- /13/ Bericht IBQ vom 16.6.15 zur Bestimmung der Haftzugfestigkeit des Spritzmörtels auf den Wänden des Belebungsbeckens Ost
- /14/ Fotodokumentation aus der Bauzeit vom 21.4.-19.5.2015
- /15/ Fotodokumentation B&Ø Hohllagen und Schadstellen Becken Ost
- /16/ Email Herr Skarabis vom CBM/MPA der TUM mit Vorabergebnissen der Indent-Prüfung vom 1.7.2015

Literatur:

- /L1/ Richtlinie für Schutz- und Instandsetzung von Betonbauteilen (RL-SIB),
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2001
- /L2/ DIN 14487 Spritzbeton Teil 1 und Teil 2, 2007
- /L3/ Leitfaden Düsenführer, 2007
- /L4/ SIVV-Handbuch, 2002
- /L5/ DBV-Merkblatt Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und
Spannbetonbau, 2006

3 Ortstermine

Im Zuge der Begutachtung führte ich mehrere Ortstermine durch:

- 27.5.2015 Besichtigung Haarrisse in den Wänden Kombibecken West
Teilnehmer: Herr Windeck, Herr Böhm
- 10.6.2015 Inaugenscheinnahme neu aufgetretener Schadstellen Kombibe-
cken Ost, ohne weitere Teilnehmer
- 11.6.2015 Durchführung Oberflächenfestigkeitsprüfung durch BMF
Teilnehmer: Herr Windeck, Herr Böhm, Herr Reichel mit Arbeiter
- 16.6.2015 Besprechung Schadenssituation mit Bauherrn
Teilnehmer: Herr Bürgermeister Obesser, Herr Wöhrl, Herr Nä-
gele, Herr Windeck

4 Beteiligte

- Zustandsuntersuchung: Dr. Linse Ingenieure
- Planung: Dr. Blasy Dr. Øverland
- Objektüberwachung: Dr. Blasy Dr. Øverland
- Hauptauftragnehmer: Wöhrl Spezialtiefbau GmbH
- Betoninstandsetzung:
(Nachunternehmer) BMF Bauwerkserhaltung GmbH

5 Ermittlungen zum Bau- und Schadensablauf

Auf die Wände des Kombibeckens, bestehend aus einem inneren Nachklärbecken und einem äußeren Belebungsbecken, sollte im Zuge einer Instandsetzungsmaßnahme eine Spritzmörtelschicht mit 30 mm Nenndicke aufgebracht werden. Die Fa. BMF hat hierzu einen sulfatbeständigen Spritzmörtel Produkt Sika MonoTop AW eingesetzt, den sie im Nassspritzverfahren appliziert hat.

Aus den Bauunterlagen ergibt sich im Wesentlichen folgender Ablauf der Arbeiten:

- 1) Die Wandoberflächen wurden ab dem 31.3.15 mit Hochdruckwasserstrahl bearbeitet, bis die groben Gesteinskörner zu rd. 1/3 freigelegt waren.
- 2) Die auf dem so vorbereiteten Untergrund durchgeführten Abreißfestigkeitsprüfungen lieferten für den Auftrag des Spritzmörtels ausreichend hohe Festigkeiten. Über die Abreißfestigkeiten auf dem vorbereiteten Bestandsbeton liegen von BMF die nach RL-SIB geforderten Nachweise/Prüfprotokolle vor /8/.
- 3) Nach dem Hochdruckwasserstrahlen zeigten sich sehr viele Lunker und Schadstellen in den Beckenwänden, die anschließend mit Sika Monotop AW reprofiliert wurden. Der Flächenanteil der reprofilierten Schadstellen lag überschlägig geschätzt bei etwa **25 % (!)** der Fläche, s. Abb. 1. Die punktuellen Reprofilierungsstellen hätten wegen der geringen Mörtelschichtdicke sorgfältigst nachbehandelt werden müssen, damit sie eine ausreichende Oberflächenfestigkeit für den späteren Verbund zum Spritzmörtel erreichen. Angesichts der gleichmäßig über die gesamte Wandfläche verteilten Reprofilierungsstellen hätten die Wände im Grunde vollflächig durch regelmäßigen Wässern und Folienabdeckung nachbehandelt werden müssen. Ob dies erfolgte ist fraglich.



Abb. 1: Reprofilierter Lunker

- 4) Angabegemäß sollen die Wände nach der Reprofilierung nochmals durch Hochdruckwasserstrahlen bearbeitet worden sein. Bei den Schadstellen mit abgelöster Spritzmörtelschale sind keine Spuren einer Bearbeitung durch Hochdruckwasserstrahl erkennbar, s. Abb. 6a. Die Wände wurden nach der Reprofilierung offensichtlich nur abgewaschen.
- 5) Ab dem 21.4.15 wurde dann mit dem Auftrag des Spritzmörtels Sika Monotop AW begonnen. Der Spritzmörtel wurde angabegemäß im Nassspritzverfahren aufgebracht. Angaben zur verwendeten Spritzmaschine liegen nicht vor.
- 6) Wie lange und intensiv der Bestandsbetons vor Auftrag des Spritzbetons vorgesenst wurde ist den Unterlagen nicht zu entnehmen. Den Bautagesberichten BMF /4/ kann jedenfalls nicht entnommen, dass vor dem Spritzmörtelauftrag ausreichend lange und intensiv vorgesenst wurde. Bei ordnungsgemäßer Ausführung hätte mit dem Vornässen des Altbetons bereits rd. 24 h vorher begonnen werden müssen.
- 7) Den Bautagesberichten BMF /4/ sind die täglich verarbeiteten Spritzmörtelmengen zu entnehmen. Diese schwanken zwischen 2100 kg und 11025 kg je Arbeitstag. Nach Angabe von Herrn Reischl, BMF sollen an den Tagen mit überdurchschnittlich hoher Leistung 2 Spritzmaschinen und Trupps gleichzeitig auf der Baustelle im Einsatz gewesen sein.

- 8) Der Auftrag des Spritzmörtels erfolgte nicht systematisch. Meist wurde der Spritzmörtel an einem Tag auf rd. 50 bis 100 qm Fläche in zwei Lagen á ca. 15 mm Stärke aufgebracht und geglättet. Am 28.4. und 9.5.15 wurden dann rd. 11 to bzw. 7,5 to Material nur in der 1. Spritzlage verarbeitet. Bei einem durchschnittlichen Spritzmörtelverbrauch einschließlich Rückprallverlust von ca. 36 kg/m² ergibt sich also an diesen Tagen eine Tagesleistung von rd. 300 qm bzw. 200 qm Spritzmörtel einlagig appliziert. Da die 1. Spritzlage mit nur rd. 1,5 cm Dicke (!) sehr empfindlich gegenüber Wasserverlust ist, hätte diese bis zum nächsten Tag intensivst nass nachbehandelt werden müssen.
- 9) Bezüglich der Nachbehandlung existieren unterschiedliche z.T. widersprüchliche Angaben. Die Bautagesberichte BMF /4/ ergeben, dass die Nachbehandlung ab dem 27.4.15 durch Auftrag eines Nachbehandlungsmittels (Sika NB100 /7/) und Abdeckung mit Folie erfolgte. s. Abb. 2. Der Auftrag des Nachbehandlungsmittels erfolgte nicht fachgerecht, da dieses nicht gleichmäßig in der vom Hersteller vorgegebenen Auftragsmenge aufgesprüht wurde. Ein Austrocknungsschutz ist nur gegeben, wenn das weiß eingefärbte Parafinwachs einen dichten geschlossenen Film auf der Betonoberfläche bildet. Dies war aber zumindest bereichsweise nicht der Fall, s. Abb. 2.



Abb. 2: Unsachgemäßer Auftrag des Nachbehandlungsmittels (Pfeil)

Die Folien hingen von der Wandkrone lose herunter und lagen nicht unmittelbar auf der Spritzmörteloberfläche auf, s. Abb. 2. In dem zwischen Folie und Spritzmörteloberfläche vorhandenen Luftraum kommt es durch Konvektionsvorgänge, Wind und Tunneleffekte zum Luftaustausch mit der Umgebung, so dass die lose herunterhängende Folie keinen wirksamen Schutz vor Austrocknung des Spritzmörtels sicherstellte.

Vor dem 27.4.15 soll die Nachbehandlung angabegemäß durch wasserhaltende Folien (Malervlies) erfolgt sein, eine Dokumentation hierüber liegt mir nicht vor.

Weder den Bautagebüchern noch der Fotodokumentation kann entnommen werden, dass die vom Produkthersteller SIKA in dem technischen Produktdatenblatt SIKA MonoTop /6/ geforderte **Nass**nachbehandlung über eine Zeitdauer von 8-10 Tagen eingehalten wurde, s. Abb. 3.



Abb. 3: Hellgraue, d.h. abgetrocknete, nicht nass nachbehandelte Spritzmörtelschicht

- 10) Anhand der Aufzeichnungen im Bautagebuch und der Fotodokumentation der Bauüberwachung lässt sich nicht durchgängig rekonstruieren, wann auf welchem Wandabschnitt der Spritzmörtel appliziert wurde. Eine lagemäßige Zuordnung der schadhaften Bereiche zum Herstelldatum ist nur für einzelne Wandabschnitte rekonstruierbar, Abb. 4.

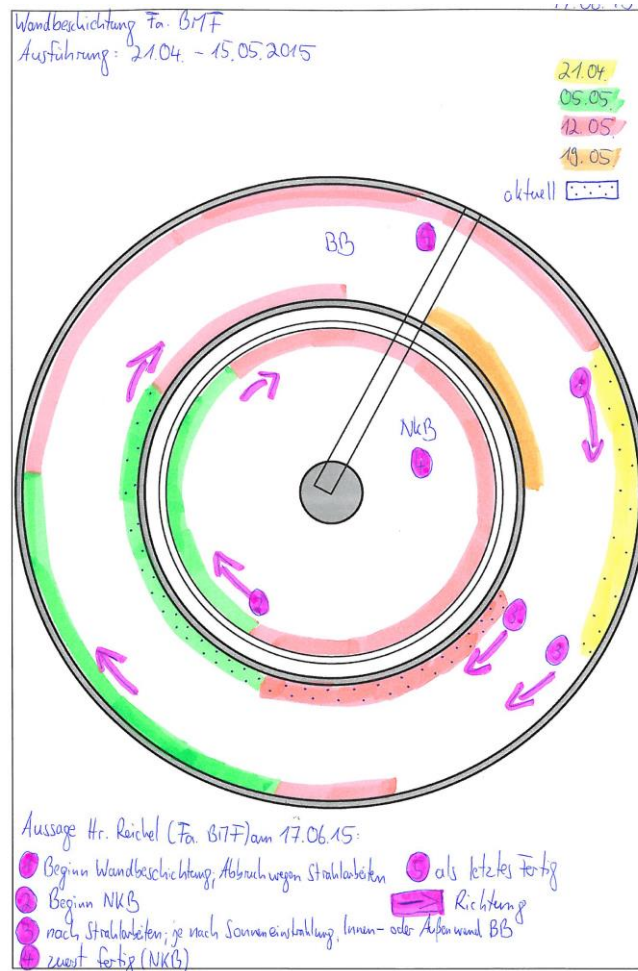


Abb. 4: Rekonstruktion des Bauablaufes

- 11) Zur Beurteilung der Witterungseinflüsse wurden die Wetteraufzeichnungen einer nur wenige Kilometer von Markt-Indersdorf entfernten Messstelle bei Großberghofen herangezogen. Demnach herrschten für die Ausführung von Spritzmörtelarbeiten keine sehr ungünstigen Temperaturverhältnissen. Allerdings näherten sich am 23. und 29.4.15 die Lufttemperaturen über Nacht der Null-Grad Grenze, s. Abb. 5.

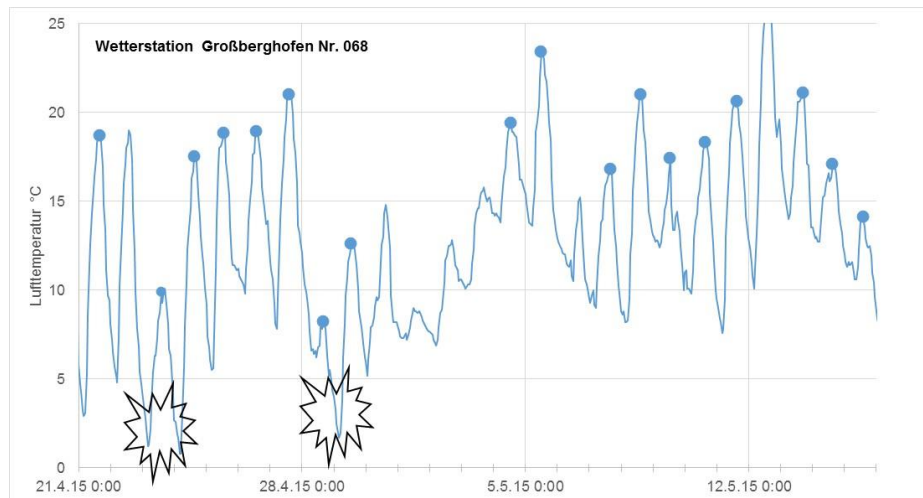


Abb. 5: Lufttemperaturen (Quelle: Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern)

- 12) Die Spritzmörtelarbeiten waren am 14.5.2015 abgeschlossen. Anschließend wurden die Arbeiten an dem Beckenboden begonnen.
- 13) Am 27.5.15 führte ich einen ersten Ortstermin zur Begutachtung der am Kombibecken West beanstandeten Haarrissbildung in den Beckenwänden durch. In diesem Termin waren die Spritzmörtelarbeiten an den Wänden des Kombibeckens Ost bereits abgeschlossen. Bei einer Inaugenscheinnahme habe ich ansatzweise erste Rissbildungen in der Spritzmörtelschale sowie in einem sehr geringen Ausmaß lokal begrenzte Ausbrüche bzw. Ablösungen der Spritzmörtelschale am Becken Ost festgestellt.
- 14) In den darauffolgenden 2 Wochen hat BMF geortete Fehlstellen in der Spritzmörtelschale durch „Entlastungsschnitte“ begrenzt und unzureichend anhaftenden Spritzmörtel abgetragen. Diese Maßnahmen waren angabegemäß nicht mit der Bauüberwachung abgestimmt. Stellenweise wurde bereits begonnen vorhandene Schadstellen wieder zu sanieren ohne dies ebenfalls mit der Bauüberwachung abzustimmen.
- 15) Die Bauüberwachung überprüfte daraufhin die Spritzbetonschale erneut auf Hohllagen. Dabei wurde ausgehend von den bereits entfernten Fehlstellen trotz „Entlastungsschnitte“ eine nennenswerte Ausdehnung der Hohllagen festgestellt. Die neu festgestellten Hohllagen wurden von der Bauüberwachung farblich markiert.

6 Visuelle Feststellungen

Die Spritzmörtelschale zeigt nur wenige Wochen nach der Applikation in Teilflächen Hohllagen. Bei Hohllagen wurde der Spritzmörtel von BMF abgeklopft.

Die Schadensstellen habe ich visuell begutachtet, die Schäden sind in zwei Schadensbilder zu klassifizieren.

Schadensbild 1

Die fertige Spritzmörtelschale hat sich nahezu rückstandslos ohne Anhaftungen von Zementmörtel vom Altbeton und den vorab händisch mit Betonersatz reprofilierten Lunker und Löcher gelöst, s. Abb. 6a. Der Altbeton zeigt keine Bruchflächigkeit, d.h. die durch Hochdruckwasserstrahlen vorbereitete Altbetonoberfläche mit den freigelegten groben Gesteinskörner ist noch intakt, Ausbrüche aus dem Altbeton sind i.d.R. nicht vorhanden.

Der visuelle Befund belegt, dass der Spritzmörtel zum Zeitpunkt der Ablösung keinen mechanisch Verbund mit dem Untergrund (Altbeton und Betonersatz) eingegangen ist.



Schadensbild 1

Abb. 6a: Ablösung der Spritzmörtelschale vom Untergrund und den mit Mörtel vorab reprofilierten Fehlstellen (Pfeile) ohne Ausbildung von Bruchflächen



Abb. 6b: Intakte Zuschlagmatrix des Altbetons ohne Ausbildung von Bruchflächen

Schadensbild 2

In der insgesamt rd. 3 cm dicken Spritzmörtelschale hat sich die 2. Spritzmörtellage in größeren zusammenhängenden Flächen abgelöst, Abb. 7a. Die zum Vorschein kommende Oberfläche der 1. Spritzmörtellage zeigt eine sehr stark ausgeprägte Rissbildung. Das netzartige Rissbild mit großen Rissweiten ist charakteristisch für raschen Wasserlust des Mörtels zu Beginn der Erhärtung, s. Abb. 7b.

Die 1. Spritzmörtellage muss bis zum Auftrag der 2. Lage sehr stark ausgetrocknet sein. In der verbliebenen 1. Spritzlage zeichnen sich Spuren eines Hochdruckwasserstrahls ab. Angabegemäß wurden die am Vortrag vorgespritzten 1. Spritzlagen vor Auftrag der 2. Spritzmörtellage mittels Hochdruckwasserstrahl mit 500 bar vorbereitet.

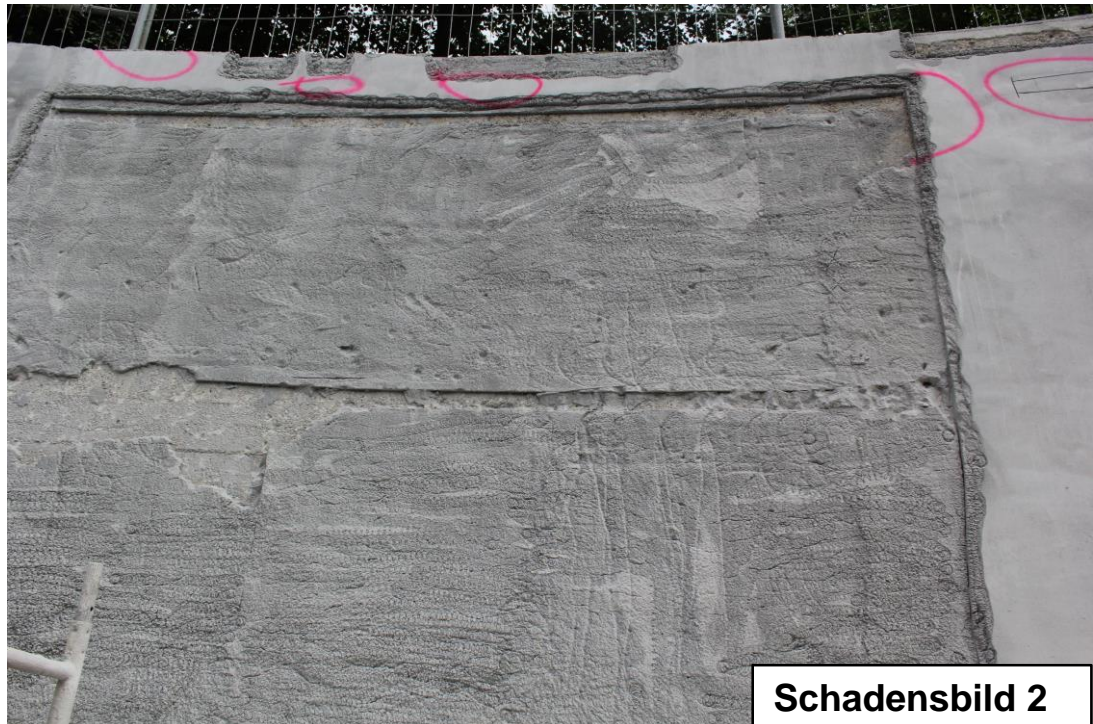


Abb. 7a: Trennlagenbildung zwischen 1. und 2. Spritzmörtellage, in dem horizontalen Streifen befand sich offensichtlich eine Leiste als Höhenlehre.



Abb. 7b: Nach Ablösung der 2. Spritzlage sind starke Rissbildungen in der 1. Spritzlage erkennbar.

Bei der Außenwand sind auch Kombinationen der beiden vorbeschriebenen Schadensbilder aufgetreten, s. Abb. 7c.



Abb. 7c: Unregelmäßiger Übergang der beiden Schadensbilder

Die von der Bauüberwachung zur Verfügung gestellte Fotodokumentation der Ablösungen und Hohllagen habe ich hinsichtlich der lagemäßigen Verteilung qualitativ ausgewertet, um einen Überblick über den Schädigungsgrad und die Verteilung zu erhalten, s. Abb. 8.

Instandsetzung Kläranlage Markt Indersdorf

Schadensbild		Hohllagen Flächenanteil in % (geschätzt)						I ... Adäsionsversagen 1. Spritzlage-Altbeton II ... Adäsionsversagen 2. - 1. Spritzlage ? ... Nicht zuordenbar	
		obere Hälfte			untere Hälfte			Gesamt	Herstelldatum
		I	II	?	I	II	?		
A1	✗	25			25			<div></div> 25	
A2	✓				20			<div></div> 10	
A3	✗	50				40		<div></div> 45	
A4	✗		50		40	20		<div></div> 55	
A5	✗	10	70		10	40		<div></div> 65	
A6	✗		70			70		<div></div> 70	
A7	✗		80			5		<div></div> 43	
A8	⚠		20			10		<div></div> 15	
A9	✗		30		10	50		<div></div> 45	
A10	✗		60			50		<div></div> 55	
A11	✓							<div></div> 0	
A12	⚠		40			5		<div></div> 23	
A13	✗		30			20		<div></div> 25	
A14	✓		20			5		<div></div> 13	
A15	⚠		20			10		<div></div> 15	
A16	⚠		25			15		<div></div> 20	
A17	✗		20			30		<div></div> 25	
Summe		85	535	0	105	370			
B1	⚠			10	20			<div></div> 15	
B2	✓			5	10			<div></div> 8	
B3	✓	10			10			<div></div> 10	
B4	✓	5			20			<div></div> 13	
B5	⚠	5			25			<div></div> 15	
B6	✓			5	5			<div></div> 5	
B7	⚠				40			<div></div> 20	
B8	⚠	20			20			<div></div> 20	
B9	✓			10				<div></div> 5	
B10	✓						10	<div></div> 5	
B11	✓							<div></div> 0	
B12	✗		50					<div></div> 25	
B13	✗			30		30		<div></div> 30	
B14	✓			5		20		<div></div> 13	
B15	⚠			10		20		<div></div> 15	
B16	✓	15			10			<div></div> 13	
B17	✓							<div></div> 0	
Summe		55	50	75	160	70	10		
C1	✓			5				<div></div> 3	
C2	⚠			10			20	<div></div> 15	
C3	✗			25			40	<div></div> 33	
C4	✓			10				<div></div> 5	
C5	✓			20				<div></div> 10	
C6	✓						5	<div></div> 3	
C7	✓			10				<div></div> 5	
C8	✓			10			5	<div></div> 8	
C9	✓			20				<div></div> 10	
C10	✗			40			10	<div></div> 25	
C11	✓			10			10	<div></div> 10	
C12	⚠			40			5	<div></div> 23	
C13	✓			20				<div></div> 10	
C14	⚠			5			30	<div></div> 18	
C15	✓						20	<div></div> 10	
C16	✓			10			15	<div></div> 13	
C17	✓			20				<div></div> 10	

Abb. 8: Verteilung der Schadstellen auf den Beckenwänden, die Flächenanteile sind geschätzt, /15/

Am stärksten betroffen ist die Außenwand des Kombibeckens. Von den 17 Wandsegmenten ist nur 1 bislang schadensfrei. Der Flächenanteil der Schadstellen variiert hier zwischen ca. 10 und 70 % , im Mittel sind auf rd.

32 % der Fläche Schadstellen vorhanden, wobei das Schadensbild 2 (Ablösung der 2. Spritzmörtelschicht) den größten Anteil am Schaden hat.

An der Innenwand sind innen und außen ebenfalls Hohllagen und Ablösungen aufgetreten, jedoch in einem geringeren Ausmaß. Der Flächenanteil beträgt im Mittel rd. 12 %, bei einzelnen Wandsegmenten erreicht die Schadensquote bis zu ca. 30 %.

7 Weitergehende Untersuchungen

- 7.1 BMF hat im Rahmen Ihrer Überwachungspflicht (vgl. RL-SIB Teil 3, Anhang A) lediglich die Abreißfestigkeit auf dem Bestandsbeton nach erfolgter Untergrundvorbereitung überprüft /8/. Hierzu liegen diverse Prüfprotokolle über Abreißfestigkeitsprüfungen vor.
- 7.2 Die Haftung der erhärteten Spritzmörtelschale auf dem Untergrund entsprechend RL-SIB Teil 3, Anhang A, Blatt 4, Zeile 23 wurde von BMF bislang nicht nachgewiesen. Die vom 9.6.-12.6.15 von BMF auf der Spritzmörtelschale durchgeführten Abreißfestigkeiten mit rd. 5 mm tief vorgebohrter Ringnut /9/ liefern keine Aussage zur Haftung auf dem Altbeton.
- 7.3 Zur Beurteilung des Haftverbundes der übrigen, nicht schadensbetroffenen Spritzmörtelschale wurde IBQ mit der Durchführung von Haftzugprüfung beauftragt. IBQ hat im Belebungsbecken an 8 Stellen des augenscheinlich intakten und hohllagenfreien Spritzmörtels sowie an 4 Schadstellen mit noch anhaftender 1. Spritzlage Haftzugfestigkeitsprüfungen durchgeführt /13/, s.a. Abb. 9.

Schadens- bild	Wand	Prüfung Nr.	Haftzug- festigkeit N/mm ²	Anteil Bruchfläche in %						Bemerkung	
				AB	AB- SM1	SM1	SM1- SM2	SM2	SM2- Y		
Auf Spritzmörtelschicht geprüft											
	B	HZ12	0,49			100				Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	BK3
	B	HZ14	(0,90)						100	wird nicht gewertet, da Abriß im Kleber	BK4
2	B	HZ15	0,49		100		<- auf SM1 geprüft			Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	
	B	HZ16	0,52		100					Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	BK5
2	A	HZ1	0,93		20-80		<- auf SM1 geprüft			Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	
	A	HZ2	0,60		100					Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	BK1
	A	HZ5	0,62		100					Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	
	A	HZ6	0,01		100					Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	
2	A	HZ7	0,72		10-90		<- auf SM1 geprüft			Einzelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,0	
	A	HZ8	1,00		100						BK2
2	A	HZ9	1,27		20-80		<- auf SM1 geprüft				
2	A	HZ10	1,16		100		<- auf SM1 geprüft				
Mittelwert			0,71							Mittelwert nicht erfüllt Wert ≤ 1,5	

Auf Altbeton geprüft											
1	A	HZ3	1,48	100	<- auf AB geprüft						
1	A	HZ4	2,27	100	<- auf AB geprüft						
1	B	HZ11	2,54	100	<- auf AB geprüft						
1	B	HZ13	3,10	100	<- auf AB geprüft						
Mittelwert			2,35								

Anforderungen an Haftzugprüfung gemäß RL-SIB, Teil 3, Anhang A, Blatt 4:

Einzelwerte $\beta_{HZ} \geq 1,0 \text{ N/mm}^2$
Mittelwert $\beta_{HZ} \geq 1,5 \text{ N/mm}^2$

Legende:
Schadensbild 1 ... komplette Ablösung der Schale
Schadensbild 2 ... Ablösung der 2. Lage
AB... Altbeton
SM1 ... Spritzmörtel 1. Lage
SM2 ... Spritzmörtel 2. Lage
Y ... Kleber
Wand A... Außenwand BB
Wand B... Innenwand BB

Abb. 9: Auswertung der Haftzugprüfungen (durchgeführt von IBQ)

Zusammenfassend liefern die von IBQ durchgeführten Haftzugprüfungen folgendes Bild:

- Die nach RL-SIB Teil 3, Anhang A, Blatt 4, Zeile 23 einhaltenden Haftzugfestigkeiten werden nicht erreicht.
- Bei 8 Prüfungen wird das Einzelwertkriterium $\beta_{HZ} \geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ signifikant unterschritten.
- Bei Schadstellen, bei denen nur mehr die 1. Spritzmörtellage vorhanden ist, ist auch der Verbund zum Altbeton völlig unzureichend.
- Der Mittelwert der Haftzugfestigkeiten erreicht nicht einmal 50 % des erforderlichen Wertes und nicht einmal 30 % der lt. Herstellerangabe erreichbare Haftzugfestigkeit ($2,0 \text{ N/mm}^2$)

- e) Bei 3 Prüfstellen, 2 davon befinden sich auf einer Schadstelle, liegen die einzelnen Haftzugfestigkeiten über $1,0 \text{ N/mm}^2$ und erfüllen damit knapp das Einzelwertkriterium. Das Mittelwertniveau der Haftzugprüfungen ist insgesamt aber deutlich zu gering.

Im Resümee kann mit den Prüfungen nicht die nach RL-SIB Teil 3, Anhang A erforderliche Haftung der verbliebenen Spritzmörtelschale nachgewiesen werden. Die Spritzmörtelschale besitzt auch in den augenscheinlich intakten Flächen nicht den erforderlichen Verbund. Es liegt ein wesentlicher Mangel vor.

- 7.4 An 3 Prüfkernen des Spritzmörtels wurde durch IBQ die Druckfestigkeit bestimmt /12/. Hinsichtlich der Druckfestigkeit bestehen keine konkreten Anforderungen, die Prüfungen wurden zur Ermittlung der Schadensursachen benötigt. Die Prüfkerns stammen aus den Wänden des Belebungsbeckens.

Die Spritzmörtelprüfkerns haben ein Höhen-Durchmesserverhältnis (h/d) deutlich kleiner 1 und weichen von der normierten Probekörpergeometrie $h/d=1$ ab. An gedrunenen Probekörpern mit h/d kleiner 1 wird die Druckfestigkeit wegen des Einfluss der Probekörpergeometrie überschätzt. Um auf die normierte Druckfestigkeit f_{ck} zu kommen, müssen die gemessenen Druckfestigkeiten deshalb abgemindert werden. Der Faktor zur Berücksichtigung der Schlankheit des Probekörpers liegt je nach Verhältnis h/d bei ca. 0,8 bis 0,9.

Die so umgerechnete Druckfestigkeit liegt mit im Mittel ca. 28 N/mm^2 signifikant unter dem vom Hersteller gemäß Leistungserklärung /6/ angegebenen Festigkeitsniveau Klasse R4 (Druckfestigkeit $\geq 45 \text{ N/mm}^2$ nach DIN 1504-3). Im Produktdatenblatt gibt der Hersteller sogar eine Druckfestigkeit von ca. 55 N/mm^2 an. Natürlich muss berücksichtigt werden, dass am Bauteil wegen Imperfektionen auf der Baustelle stets geringere Festigkeiten zu erwarten sind als im Labor. Der hier vorgefundene Festigkeitsabfall der Bauteilfestigkeit gegenüber der Normprüfung im Labor ist allerdings außergewöhnlich groß und durch normale Abweichungen auf der Baustelle nicht zu erklären.

Da mit der Druckfestigkeit nicht nur mechanische Kennwerte wie die Zugfestigkeit korrelieren, sondern auch dauerhaftigkeitsrelevante Kennwerte wie z.B. die Dichtigkeit und u.U. auch der Frostwiderstand, sind bei niedrigen Druckfestigkeiten entsprechend auch negative Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit nicht mehr auszuschließen.

- 7.5 Im Rahmen der Ursachenermittlung wurden am CBM der TU München weitere Laboruntersuchungen an Bohrkernen durchgeführt /6/. An Bohrkern Nr. 5 wurden Untersuchungen zur Beurteilung der Nachbehandlungsqualität durchgeführt, in dem die Mikrohärtigkeit des Mörtelgefüges durch Indent-Tests (Vickershärtigkeit) überprüft wurde. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen, eine erste Aussage ist aber schon möglich, s. Abb. 10.

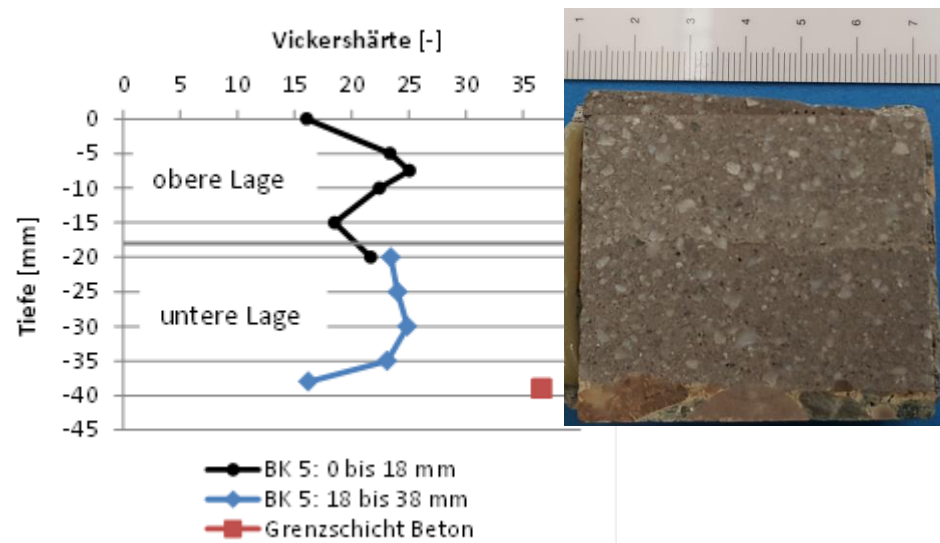


Abb. 10: Prüfung der Mikrohärtigkeit der Spritzmörtelschichten auf der polierten Schnittfläche des Prüfkerns Nr. 5

Bei der Prüfung wird unter dem Mikroskop entlang definierter Messlinien die Härte des Mörtels mit einer Mikrosonde geprüft, dadurch lassen sich Veränderungen über den Querschnitt nachweisen. Die Mikrohärtigkeit nach Vickers verhält sich in etwa proportional zur Druckfestigkeit des Mörtels, es sind aber auch Rückschlüsse auf die Verbundfestigkeit möglich.

Die bereits vorliegenden Untersuchungen geben eindeutige Hinweise, dass der Mörtel der 2. Spritzlage an der Vorder- und auch an der Rückseite deutlich stärker ausgetrocknet ist als im Kern der Schicht. Wenn dem Mörtel das Wasser frühzeitig durch Austrocknung entzogen wird, steht für die Zementhydratation nicht mehr genügend Wasser zur Verfügung mit der Folge, dass der Zement nur mehr unvollständig hydratisieren kann. Die Härte bzw. Festigkeit des Mörtels wird dadurch beeinträchtigt.

Ein rascher Wasserverlust zur Luftseite hin ist auf eine unzureichende Nachbehandlung zurückzuführen, ein Wasserverlust zum Untergrund ist durch ka-

pillares Saugen der 1. Spritzlage zu erklären. Dies tritt vor allem dann ein, wenn die 2. Spritzmörtelschicht erst am darauffolgenden Tag appliziert wurde und die 1. Spritzmörtellage nicht ausreichend nass nachbehandelt wurde. Auch bei der 1. Spritzmörtellage zeigen die Versuche einen Abfall der Härte bzw. Festigkeit des Mörtels in Richtung der Verbundfuge zum Altbeton. Dieser Abfall ist ebenfalls durch kapillares Wassersaugen des Altbetons aufgrund eines ungenügenden Vornässens zu erklären.

Verglichen mit dem Bestandsbeton (Altbeton) ist die Mikrohärtigkeit des Spritzmörtels insgesamt ungewöhnlich gering. Über den Querschnitt betrachtet erreicht sie nur rd. 55 % (=20/37) des Bestandsbetons. Dieser Unterschied zwischen Bestandsbeton und Spritzmörtel zeigte sich auch schon bei der Bestimmung der Druckfestigkeit an den Bohrkernen, vgl. Ziff. 7.4.

Auch der Abfall der Mikrohärtigkeit des Spritzmörtels zur Oberfläche bzw. Verbundfuge hin ist signifikant. Der Abfall beträgt rd. 40 % (=10/25), d.h. die Festigkeit und damit auch die Verbundfestigkeit des Spritzmörtels ist in diesen Bereichen deutlich reduziert.

8 Zusammenfassende Bewertung und Ursachen

An der Spritzmörtelschale auf den Wänden des Kombibeckens Ost sind kurz nach der Herstellung folgende Mängel und Mangelfolgeschäden festzustellen:

1. Hohllagen und Ablösungen des Spritzmörtelschale vom Altbeton
2. Hohllagen und Ablösungen der 2. Spritzmörtellage
3. Nicht ausreichende Haftzugfestigkeit des noch haftenden Spritzmörtels auf dem Untergrund
4. Schwindrisse in der 1. Spritzmörtellage aufgrund unzureichender Nachbehandlung (erst erkennbar nach Ablösen der 2. Spritzmörtelschicht)

Ferner lassen die außergewöhnlich niedrigen Druckfestigkeiten des Spritzmörtels sowie die ersten Ergebnisse der Untersuchungen am CBM/MPA der TU München auf Defizite bei der Verarbeitung, insbesondere der Nachbehandlung des Spritzmörtels schließen.

Die vorgenannten Schäden sind aufgrund der Ermittlungen zum Bauablauf, den Feststellungen vor Ort sowie der Untersuchungen auf folgende Ursachen zurückzuführen:

a) Unzureichende Nachbehandlung

Eine regelmäßige Nassnachbehandlung des Spritzmörtels für die Dauer von rd. 8-10 Tagen, wie sie lt. Verarbeitungsvorschrift des Herstellers /6/ gefordert ist, wurde nicht ausgeführt.

„Der frische und erhärtete Instandsetzungsmörtel ist vor dem Austrocknen zu schützen. Im frischen Zustand wird dies durch Abhängen mit Folie erreicht. Nach 24 Stunden muss der Mörtel immer wieder gewässert werden. Die Nachbehandlungsdauer beträgt mindestens 8-10 Tage.“

Auszug aus technischen Datenblatt Sika MonoTop AW

Vor dem 28.4.15 wurde der Spritzmörtel bzw. das Arbeitsgerüst mit Folien abgedeckt bzw. eingehaust, ab dem 28.4. wurde der Spritzmörtel mit einem Nachbehandlungsmittel auf Paraffinbasis besprüht und mit Folien abgedeckt. Selbst bei einem gleichmäßigen Auftrag und Einhaltung der vom Hersteller vorgegebenen Auftragsmenge (s. hierzu aber Ziff. 5 (9)) ist die Austrocknung des Spritzmörtels mit einem Nachbehandlungsmittel nicht zu 100 % verhinderbar, so dass geringe Mengen an Wasser verdunsten können.

In dünnen Schichten, wie sie hier verarbeitet wurden, kann ein Wasserverlust an der Oberfläche infolge Verdunstung nicht durch einen Nachtransport von Überschusswasser aus tieferen Schichten ausgeglichen werden. Bei dicken Betonschichten kann sich der Beton das Wasser aus den tieferliegenden Schichten holen (innere Nachbehandlung). Da bei dünnen Schichten dieser Wassernachschub fehlt, hätte die dünne Spritzmörtelschicht nass nachbehandelt werden, um Wasserverluste an der Oberfläche ausgleichen zu können.

Bei Wänden, die mit Nachbehandlungsmittel behandelt wurden, ist eine darauffolgende Nassnachbehandlung nicht mehr effektiv, da der Wachsfilm die Wasseraufnahme über die Oberfläche be- bzw. verhindert.

Die unzureichende Nachbehandlung des Spritzmörtels ist ursächlich für die Fröschwindrisse in der 1. Spritzmörtellage wodurch die Wahrscheinlichkeit von Ablösungen der 2. Spritzmörtellage vergrößert wurde. Die ungewöhnlich geringen Festigkeiten des Spritzmörtels sind nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen ebenfalls auf einen frühzeitigen Wasserverlust des Mörtels infolge Austrocknens zurückzuführen, s. Ziff. 7.4. Auch der zu den Verbundfugen stark abfallende Gradient der Mikrohärtigkeit (Ziff. 7.5) weist auf eine durch übermäßiges Austrocknen verursachte Festigkeitseinbuße hin.

b) Untergrundvorbereitung durch HDWS und Vornässen

Der Altbeton wurde durch Hochdruckwasserstrahlen HDWS vorbereitet, die Protokolle der Abreißfestigkeitsprüfung /8/ weisen ausreichende Festigkeiten nach. Vor dem Auftrag des Spritzmörtels hätte der Altbeton durch Vornässen konditioniert werden müssen. Das ausreichende Vornässen ist bei dünnen Schichten aus den vorgenannten Gründen besonders wichtig, damit der Altbeton dem frischen Mörtel kein Wasser entziehen kann, welches dem Mörtel dann später nicht mehr zur Hydratation zur Verfügung steht. Mit dem Vornässen muss rechtzeitig i.d.R. 24 Stunden vorher begonnen werden, zum Zeitpunkt der Applikation darf der Untergrund aber nicht nass sein, sondern nur mehr mattfeucht. Ein ungenügendes Vornässen führt dazu, dass dem Spritzmörtel in der Übergangszone das zur Hydratation benötigte Wasser entzogen und die Erhärtung des Mörtels gestört wird. Bei einem zu späten Vornässen bzw. bei Applikation des Spritzmörtels auf einen nassen Beton (Wasserfilm) wird die mechanische Verkrallung des Spritzmörtels mit dem Untergrund behindert.

Im Zusammenspiel mit einem ggf. zu frühen Auftrag bzw. Glätten der 2. Spritzmörtellage kann der Haftverbund im jungen Alter beeinträchtigt werden, so dass es zum Ablösen der Spritzmörtelschale kommen kann, ohne dass es überhaupt zur Ausbildung von Bruchflächen in der Verbundfuge kommt.

In der Verbundfuge Altbeton-Spritzmörtel sind in der Regel keine Bruchflächen entstanden, im Spritzmörtel zeichnet sich der Altbeton als Negativ-Abdruck ab, ohne so dass es zu wesentlichen Anhaftungen des Spritzmörtels auf dem Betonuntergrund kam.

c) Oberflächenbearbeitung

Die abschließende Bearbeitung der Spritzmörteloberfläche durch Glätten kann das Risiko von Gefüge- und/oder Verbundstörungen zum Untergrund fördern /L4/. Da der Produkthersteller SIKA in seinem technischen Datenblatt /6/ die Nachbearbeitung des Spritzmörtels MonoTop AW nach ausreichendem Ansteifen des Mörtels aber ausdrücklich zulässt, ist allenfalls bei einer nicht vorschriftsmäßigen Ausführung ein Schadensbeitrag an den Hohllagen des Schadensbildes 2 denkbar. In der Gesamtschau aller möglichen Schadenseinflussfaktoren ist der Oberflächenbearbeitung durch Glätten der geringste Beitrag zuzuweisen.

Abschließend wird noch zu den von BMF aufgeworfenen Schadenstheorien Stellung genommen:

- Eine rückseitige Durchfeuchtung scheidet als Ursache aus, da das Grundwasser permanent abgesenkt wird, die Verbundstörungen an der Außenwand auch oberhalb GOK sowie auch an der Innenwand beidseits auftreten. Darüber hinaus ist das Schadensbild 2 dadurch nicht erklärbar.
- Eine Verbundschädigung durch auskristallisierende Salze (Chlorid) ist aufgrund der Laborergebnisse IBQ auszuschließen.
- Ein Schädigung durch Sulfatreiben ist nicht möglich, da gerade wegen der bekannten Sulfatbelastung ein sulfatbeständiger Spritzmörtel mit C₃A-freiem Zement eingesetzt werden sollte.
- Fehlende Bewegungsfugen bzw. dadurch ausgelöste Temperaturspannungen in den Becken sind als Ursache für die Schäden völlig abwegig, die vorhandenen Schadensbilder stehen überdies damit im Widerspruch. Zum einen sind bei den Schadstellen keine Risse im Altbeton der Beckenwände vorhanden, zum anderen sind zwischen Applikation des Spritzmörtel und Schadenseintritt nur geringe Temperaturänderungen zu verzeichnen gewesen. Nicht Risse oder hohe Spannungen haben zu den Hohllagen und Ablösungen geführt, sondern ein unzureichender Verbund der Spritzmörtelschichten. Sofern BMF als Schadenstheorie auch auf hohe Bauteil- bzw. Betontemperaturen während der Verarbeitung des Spritzmörtels abstellen sollte, ist dem mit Hinweis auf Abb. 5 zu widersprechen.

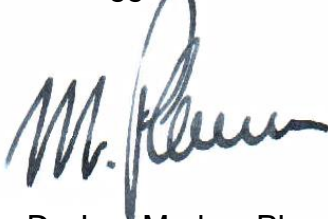
Unabhängig davon hätte es in der Verantwortung von BMF gelegen entsprechende Schutzmaßnahmen zu veranlassen.

Würde nur eine der o.g. Schadenstheorien zutreffen, müsste die gesamte bisher von BMF erbrachte Leistung, also auch die Spritzmörtelauskleidung des Beckens West, in Frage gestellt werden.

Im Resümee können aber alle von BMF vorgebrachten Schadenstheorien verworfen werden, da sie im Widerspruch mit dem vorgefundenen Schadensbild, den örtlichen Baustellenbedingungen sowie den Laborergebnissen stehen.

Für Rückfragen stehe ich Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

Planegg, 2.7.2015



Dr.-Ing. Markus Plannerer
ö.b.u.v. Sachverständiger

