

## Dauerhaftigkeit von SCC

Dr. Frank Jacobs, TFB, Lindenstrasse 10, 5103 Wildegg,

Nach nur 20-jähriger Betriebsdauer zeigten sich im Schöneichtunnel Schäden am Beton wegen der Korrosion der Bewehrung, die eine Instandsetzung erforderten. Die TFB unterstützte die Ingenieurgemeinschaft Dobler, Schällibaum & Partner und Ernst Basler & Partner bei der Formulierung der Anforderungen an den Beton für die Instandsetzung und der Qualitätskontrolle bei der Ausführung. Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit des Betons lauteten:

- Gute Haftung zum Untergrund
- Dichter Beton, um das Eindringen von Schadstoffen zu minimieren
- Hoher Frost-Tausalzwidehrstand, insbesondere im Portalbereich

Da während der bisherigen Nutzung des Tunnels durch das Tausalz Chloride weit in den Beton eindringen, wurde der Chloridwiderstand des neuen Betons zusätzlich bestimmt. Wird in mehreren Jahren einmal die Tiefe der eingedrungenen Chloride im Beton ermittelt, kann abgeschätzt werden, mit welchem Chloridwiderstand des Betons bei der vorliegenden Exposition welche Lebensdauer zu erwarten ist. Das Eindringen von Chloriden oder anderen Schadstoffen findet in den Beton über das Porengefüge statt. Dieses Porengefüge bestimmt auch die Gaspermeabilität massgeblich. Deshalb sollte hier auch überprüft werden, ob mittels der zerstörungsfreien Prüfung der Gaspermeabilität (Abbildung 1) die Betonqualität beurteilt werden kann. In der Tabelle 1 sind die durchgeführten Prüfungen und die Anforderungen aufgeführt.



**Abbildung 1:** Bestimmung der Gaspermeabilität an der Versuchswand

**Tabelle 1: Anforderungen an Festbetoneigenschaften**

<b>Eigenschaft</b>	<b>Anforderung</b>	<b>Prüfmethode</b>
Haftzugfestigkeit	$\geq 1.5 \text{ N/mm}^2$ (Mittelwert) $\geq 1.0 \text{ N/mm}^2$ (Einzelwert)	DIN 1048
Frost-Tausalzwiderstand	hoch	Norm SIA 162/1, Nr. 9, mod. nach VPL
Wasserleitfähigkeit	$\leq 7 \text{ g/m}^2\text{h}$ (Mittelwert) $\leq 8 \text{ g/m}^2\text{h}$ (Einzelwert)	Norm SIA 162/1, Nr. 5, mod. nach VPL
Chloridwiderstand	Keine	Methode ibac, siehe auch Cementbulletin 7/8, 1999
Gaspermeabilität	Keine	Methode Torrent, siehe auch Cementbulletin 11, 2000
Druckfestigkeit	B 40/30	Norm SIA 162/1, Nr. 1
Elastizitätsmodul	keine	Norm SIA 162/1, Nr. 3

Aufgrund der Vorversuche an einer speziell hergestellten Versuchswand wurde eine für die Instandsetzungsarbeiten im Tunnel geeignete SCC-Betonrezeptur ausgewählt (Tabelle 2). Hierbei wurde das Konzept der mineralischen Stabilisierung von SCC gewählt. Da SCC mit einer sehr flüssigeren Konsistenz hergestellt wird (Ausbreitmass von 500 – 600 mm, ohne Tischheben), ist der SCC durch unvermeidliche Schwankungen u.a. im Anmachwassergehalt anfällig für Entmischungen oder steife Konsistenzen. Um die Auswirkungen dieser unerwünschten Erscheinungen zu minimieren, muss SCC dagegen „immun“ gemacht werden, d.h. stabilisiert werden. Dies kann über Betonzusatzmittel oder einen relativ hohen Mehlkorngelalt (mineralische Stabilisierung) erreicht werden.

Die Instandsetzung findet in drei Phasen statt. Insgesamt ist vorgesehen die Dauerhaftigkeitseigenschaften Wasserleitfähigkeit, Frost-Tausalzwiderstand, Chloridwiderstand jeweils – über alle drei Phasen hinweg – ca. ein Dutzend Mal zu bestimmen. Von den Bauphasen 1 und 2 liegen Ergebnisse zu den Dauerhaftigkeitseigenschaften vor (Tabelle 2). Sie ergaben eine gute Konstanz bei den Ergebnissen, die Anforderungen wurden eingehalten. Eine Ausnahme stellt hier die Frost-Tausalzwiderstand dar.

Der Frost-Tausalzwiderstand war nicht immer „hoch“, sondern teilweise „mittel“. Eine Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten konnte bisher weder in den Frischbetondaten noch in den Festbetoneigenschaften gefunden werden. Auch aus dem In – und Ausland ist bekannt, dass SCC bei der FT-Prüfung teilweise mit „mittel“ und nicht mit „hoch“ abschneidet. Erklärungen hierfür werden noch gesucht. Da der SCC eine hohe Dichtigkeit aufweist, darf - trotz der nur mittleren FT-Beständigkeit bei der Laborprüfung - erwartet werden, dass der eingebaute SCC im Tunnel über eine ausreichende FT-Beständigkeit verfügt und kaum nennenswerte FT-Schäden zeigen wird.

**Tabelle 2: Betonzusammensetzung und wichtige Dauerhaftigkeitskenngrössen, gemessen im Alter von 1 – 3 Monaten; FBK = Frischbetonkontrolle**

<b>Zusammensetzung</b>		
Zement CEM II/A-L 32.5 R	[kg/m <sup>3</sup> ]	361
Flugasche FA	[kg/m <sup>3</sup> ]	112
W/(CEM + FA), gemäss FBK	[-]	Ca. 0.40
Hochleistungsbetonverflüssiger	[% von Zement]	1.60
Luftporenbildner	[% von Zement]	0.30
Schwindreduktionsmittel	[% von Zement]	0.76
<b>Eigenschaften</b>		<b>Messwerte</b>
Haftzugfestigkeit	[N/mm <sup>2</sup> ]	1.8
Wasserleitfähigkeit; d = 200 mm	g/m <sup>2</sup> h	3 – 4
Frost-Tausalz widerstand	[-]	Hoch – mittel
Chloridwiderstand	[10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s]	4 – 5
Gaspermeabilität	[10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup> ]	Ca. 0.1
Druckfestigkeit	[N/mm <sup>2</sup> ]	> 45
Elastizitätsmodul	[kN/mm <sup>2</sup> ]	37

Die ermittelten Werte der Wasserleitfähigkeit und des Chloridwiderstandes sind sehr niedrig. Die an der Betonoberfläche zerstörungsfrei bestimmte Gaspermeabilität entspricht ebenfalls einer hohen Betonqualität. Der Elastizitätsmodul liegt eher unterhalb den Werten von Normalbetonen. Dies war zu erwarten, da SCC's höhere Zementsteingehalte als Normalbetone aufweisen.

Insgesamt betätigen sich die bisherigen Erkenntnisse und Erfahrungen beim Einsatz von SCC. Ob der Einsatz eines Schwindreduktionsmittels Vorteile erbrachte, kann (noch?) nicht beurteilt werden. Bekanntlich reduzieren diese Mittel das Schwinden. Nicht notwendigerweise wird damit auch die Rissbildung infolge des Schwindens (im gleichen Masse) reduziert.

Abschliessend ist noch auf die Frage einzugehen, ob es sich lohnte, so viele Dauerhaftigkeitseigenschaften zu bestimmen. Zum Chloridwiderstand ist hierzu folgendes auszusagen:

In einem in der TFB durchgeführten Forschungsprojekt mit Betonen sehr unterschiedlichen Druckfestigkeiten, Zementen und Betonzusatzstoffen ergab sich, dass die Druckfestigkeit kein zuverlässiger Indikator für die Dauerhaftigkeitseigenschaft „Chloridwiderstand“ ist, da der Einfluss der verwendeten Bindemittel für diese Eigenschaft sehr wichtig ist. Zwischen der Wasserleitfähigkeit und dem Chloridwiderstand ist ebenfalls keine sehr enge Abhängigkeit vorhanden. Von daher gesehen ist es demnach zweckmässig, zukünftig Anforderungen an den Chloridwiderstand von Beton zu stellen, wenn der Beton entsprechend exponiert ist. Die zerstörungsfreie Bestimmung der Gaspermeabilität erwies sich bisher als geeignet zur Qualitätskontrolle.

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen ist folgende Überprüfung der Dauerhaftigkeitseigenschaften zu empfehlen:

- Ist der Beton einem starken Frostausatzangriff ausgesetzt, sollte geprüft werden, ob neben der FT-Anforderungen auch Anforderungen an den Chloridwiderstand zu stellen sind und jedoch nicht an die Dichtigkeit (z.B. Wasserleitfähigkeit). Bei einem weniger starken FT-Angriff ist es ausreichend Anforderungen an die Dichtigkeit zu stellen.
- Mittels der Bestimmung der Gaspermeabilität lässt sich – aufgrund der bisherigen Erfahrungen - die Betonqualität gut beurteilen. Die Bestimmung der Gaspermeabilität an Beton sollte frühestens 28 Tage nach der Herstellung und frühestens 14 Tage nach einem Regen (sofern der Beton dadurch nass werden kann) bestimmt werden. Die Methode ist schnell und zerstörungsfrei. Bei guter Zugänglichkeit dauert eine Messung ca. 15 Minuten.
- Natürlich war auch eine umfassende Frischbetonkontrolle durchzuführen, damit von den angelieferten Betonchargen nur die geeigneten eingebaut wurden.

Mit den erzielten Betoneigenschaften sollte es möglich sein, den Schöneichtunnel während mehrerer Jahrzehnte ohne weitere ungeplante Instandsetzungsarbeiten zu nutzen.

Dr. Frank Jacobs, TFB, Lindenstrasse 10, 5103 Wildegg, Tel.: 062 887 73 32; jacobs@tfb.ch