

RESERVOIRSANIERUNG MIT SILIKAT-TECHNOLOGIE

Weiches Wasser oder andere aggressive Medien können die Substanz der Bauwerke angreifen und zu unwiderruflichen Schäden der Konstruktion führen – so auch beim Trinkwasserreservoir Waldrüti der Wasserversorgung Weesen, SG. Bei der Sanierung wurde die Silikat-Technologie angewendet. Durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es gelungen, ein zementreduziertes Bindemittel zu entwickeln, das sich vergleichbar zu zementären Systemen verhält und ebenfalls Kalziumsilikat-Hydratphasen ausbildet.

Hossein Maleki, André Stang, Maleki GmbH; Otto Bodmer, FRESO technical-solutions GmbH*

Die Exposition von Konstruktionen aus Beton oder zementhaltigen Baustoffen mit aggressiven Medien, wie sie z. B. in Trinkwasserreservoirs, Klärbecken oder in Biogasanlagen vorhanden sind, stellen an die Dauerhaftigkeit von Beton besondere Anfor-

RÉSUMÉ

RESERVOIRSANIERUNG MIT SILIKAT-TECHNOLOGIE

Die Exposition von Konstruktionen aus Beton oder zementhaltigen Baustoffen mit aggressiven Medien wie sie z. B. in Trinkwasserreservoirs, in Klärbecken oder in Biogasanlagen vorhanden sind, stellen an die Dauerhaftigkeit von Beton besondere Anforderungen.

Zur Wiederherstellung der Schädigungen steht eine Vielzahl von Materialien auf dem Markt zur Verfügung. Die Beschichtung mit mineralischen Baustoffen ist oft die einfachste Lösung und bietet somit dem Verarbeiter und dem Betreiber eine einfache Lösung zur Wiederherstellung der Bauwerke. Im Falle des Trinkwasserreservoirs Weesen, SG, wurde speziell nach einer Lösung gesucht, die mineralisch als auch langlebiger ist, sodass die Vorteile von unterschiedlichen Systemen vereint wurden. Es wurde ein Bindemittel eingesetzt, das auf Ergebnissen von jahrelanger Forschung der Verwendbarkeit von Silikaten basiert. Durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gelang es auf dieser Basis ein zementfreies Bindemittel zu entwickeln. Dieses Bindemittel verhält sich vergleichbar zu zementären Systemen und bildet ebenfalls Kalziumsilikat-Hydratphasen aus. Die optimierte Bildung der Kalziumsilikat-Hydratphasen (C-S-H-Phasen) sorgt für ein dichtes Gefüge, wodurch ein dauerhafter Schutz gegenüber Schadstoffen, Wasser und Feuchtigkeit entsteht.

Die Verwendung von alternativen Rohstoffen aus anderen Industriezweigen und der Optimierung der Matrizen der Bindemittel im Trockenmörtelbereich führt zu erhöhten Resistenzen gegenüber zementären Produkten oder Bindemitteln.

Das resultierende, einkomponentige und mineralische Bindemittelsystem stellt die nächste Generation von Mörteln in der Sanierung und dem Korrosionsschutz dar.

Der Einsatz für Trinkwasser ist durch die Zertifizierung nach DVGW Arbeitsblatt W270 und W347 gewährleistet.



Fig. 1 Blick in das zylindrische Becken

(Quelle 1–4: [1])

Franz. Legende

derungen. So kann weiches Wasser über die Jahre die Bindemittelmatrix des Betons zerstören und so das Bauwerk durch den lösenden Angriff bis in eine Tiefe von mehreren Zentimetern schädigen. Eine Sanierung drängt sich häufig dann auf, wenn die Schäden am Bauwerk oder im Reservoir nicht mehr tragbar sind, wie am Beispiel des Trinkwasserreservoirs Waldrüti der Wasserversorgung Weesen, SG (Fig. 1). Das Reservoir soll so saniert werden, dass es für die nächsten 20 Jahre die erforderlichen Bedürfnisse voll erfüllen kann. Insbesondere gefordert ist ein erhöhter Widerstand gegenüber Säureangriffen.

* Kontakt: otto.bodmer@technical-solutions.ch

Die Vorabklärungen zur Sanierung wurden in einer Projektarbeit im Studiengang Bauingenieurwesen der Hochschule für Technik Rapperswil, unter der Leitung von *Felix Wenk*, durchgeführt [1].

VORABKLÄRUNGEN

Das Reservoir Waldrüti stammt aus dem Jahre 1905. Obwohl es in den Jahren 1980 und 1996 teilweise erneuert wurde, ist die Behälterhülle noch im Originalzustand. Das Reservoir befindet sich in einem guten Zustand. Einzig die aufgelöste Schlämme im Behälterinneren kann ihrer Funktion nicht mehr gerecht werden (*Fig. 2-4*).

Anhand von durchgeführten Wasseranalysen ist zurzeit keine hygienische Beeinträchtigung des Wassers aufgrund der Behälterbeschichtung vorhanden. Die zum grössten Teil aufgelöste Schlämme und die raue Oberfläche können aber in Zukunft als Unterlage für mikrobiologischen Bewuchs dienen. Dieser könnte die Beschaffenheit des Trinkwassers beeinträchtigen und wäre als Mangel zu bewerten.

Zur Kontrolle allfälliger Makroelemente wurden diverse Widerstands- und Potenzialdifferenz-Messungen durchgeführt. Da zwischen einzelnen Bewehrungsstäben ein grösserer Widerstand gemessen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Bewehrung nicht flächendeckend miteinander verbunden ist. Die weiteren Messresultate weisen eine enge Potenzialverteilung auf, weshalb Makroelementströme nicht zu erwarten sind. Auch Streuströme von aussen sind höchstwahrscheinlich keine vorhanden. Es ist deshalb anzunehmen, dass die weichen Flecken nicht eine Ursache von Korrosionsströmen sind, sondern in Zusammenhang mit der Wasserqualität stehen. Da Makroelementströme als Ursache für die Bildung von weichen Flecken ausgeschlossen wurden, lag der Verdacht auf aggressivem Wasser. Das Trinkwasser wurde deshalb auf pH-Wert und Wasserhärte untersucht, um die Lage im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht zu bestimmen. Der pH-Wert des vor Ort gemessenen Wassers beträgt 7,98 bei einer Wassertemperatur von 7,8 °C. Laut Brunnenmeister *Toni Müller* schwankt die Temperatur zwischen 7 °C im Frühjahr und 13 °C im Herbst. Mit der steigenden Temperatur sinkt auch der pH-Wert leicht. Die Wasserhärte beträgt übers ganze Jahr gesehen zwischen 12° und 15° französischer Härte. Das Wasser ist weich bis mittelhart.

Der sich aus pH-Wert und Wasserhärte ergebende Punkt liegt abhängig von den Qualitätsschwankungen teilweise unterhalb der Gleichgewichtskurve. Das Wasser kann somit den Beton oder Mörtel angreifen. Bei diesem Angriff erfolgt eine Auslaugung der Kalziumhydroxid-Bestandteile des Zementsteins, was schliesslich zum Festigkeitsverlust führt (Absanden). Um die Aggressivität genau zu bestimmen, wurden Proben genommen und ins Labor der Wasserversorgung Zürich geschickt. Die Analysen bestätigten die Vermutung (*Tab. 1*).

Zur Wiederherstellung der Schädigungen steht eine Vielzahl von Materialien auf dem Markt zur Verfügung. So kommen u.a. Kunststofffolien, Kunststoffplatten, kunststoffvergütete Mörtel, polymerbasierte oder mineralische Beschichtungen zum Einsatz. Die Beschichtung mit mineralischen Baustoffen ist oft die naheliegendste Lösung und bietet somit dem Verarbeiter und dem Betreiber eine einfache Lösung zur Wiederherstellung der Bauwerke. Im Falle des Trinkwasserreservoirs Waldrüti wurde speziell nach einer Lösung gesucht, die umweltfreundlich,

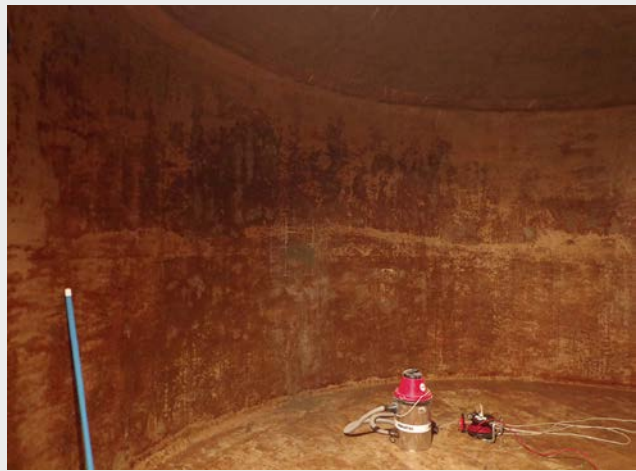


Fig. 2 Behälter Ansicht Süd
Franz. Legende



Fig. 3 Behälterwand mit weichen Flecken, Nord
Franz. Legende



Fig. 4 Weiche Flecken, Nahaufnahme
Franz. Legende

Probe	Einheit	EE14042301
Wassertemperatur	°C	8,6
pH	n/a	7,74
pH im Gleichgewicht	n/a	7,90
Sättigungsindex	n/a	-0,16
Leitfähigkeit bei 20 °C	µS/cm	211
CO ₂ aggressiv	mg/l CO ₂	1,7
CO ₂ Frei	mg/l CO ₂	5,5
CO ₂ im Gleichgewicht	mg/l CO ₂	3,8
Hydrogenkarbonat	mmol/l	2,43
Karbonat-Härte	mmol/l	1,21
Calcium-Härte	mmol/l	1,02
Magnesium-Härte	mmol/l	0,22
Gesamt-Härte	mmol/l	1,24
Kieselsäure als SiO ₂	mg/l	1,7
Chlorid	mg/l	0,2
Ammonium	µg/l	4
Nitrit	µg/l	<1
Nitrat Sulfat	mg/l	2,0
Sulfat	mg/l	0,7
Phosphat-P	µg/l	4
UV-Extinktion 254 nm	Ext./m	1,0
DOC	mg/l	0,26
Eisen	µg/l	<5
Kalium	mg/l	0,3
Mangan	µg/l	<0,5
Natrium	mg/l	<0,7

Tab. 1 Prüfbericht der Wasserversorgung Zürich: Wasseranalytik
Gemeinde Weesen (Prüfdatum: 23.-29. April 2014)

Franz. Legende

nachhaltig, leicht zu verarbeiten und kostengünstig ist. Die Silikat-Technologie der zweiten Generation erfüllt alle diese Anforderungen.

DIE ZWEITE GENERATION VON BINDEMITELSYSTEMEN

Um zementäre Bauteile beständiger und leistungsfähiger zu machen, wird in vielen Forschungsarbeiten versucht, Zement vollständig zu ersetzen oder bis zum Minimum zu reduzieren. Jedoch hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass der Zement zur Aktivierung der Reaktionen notwendig ist. Daher werden häufig kunststoffbasierende Produkte oder kunststoffvergütete Mörtel in korrosiven Bereichen verwendet, da diese eine höhere Beständigkeit als rein zementbasierende Systeme aufweisen.

Kunststoffbasierte Mörtel oder auch polymerbasierte Beschichtungssysteme weisen jedoch häufig einige Nachteile auf. So haben zum Beispiel einige Epoxidharze folgende Eigenschaften:

- nicht temperaturbeständig
- häufiger Inhalt: Lösungsmittel und andere gesundheitlich bedenkliche Stoffe
- nicht dampfdiffusionsoffen
- basierend auf Polymerverbindungen gewonnen aus Öl
- nicht auf feuchten Untergründen anwendbar

Frühere Versuche, polymerbasierte Systeme mit rein silikatischen Produkten zu ersetzen, sind jedoch daran gescheitert, dass die früheren Silikate zweikomponentig, nicht frühzeitig wasserbelastbar und schwierig in der Applikation waren.

Durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konnte *Hossein Maleki* vielfältige Erfahrungen bei der Anwendung erneuerbarer Rohstoffe gewinnen. Auf dieser Basis gelang es, ein zementreduziertes Bindemittel zu entwickeln, das sich vergleichbar mit zementären Systemen verhält und ebenfalls Kalziumsilikathydratphasen ausbildet. Die verwendeten Silikate bzw. alternativen Rohstoffe werden so kombiniert, dass Produkte mit herausragenden Eigenschaften und Resistenzen entstehen. Dies gelingt, indem man durch Reaktionen der einzelnen Bestandteile die Zementmatrix stabilisiert. Durch stöchiometrische Anpassung des Bindemittels entstehen keine Kalziumionen, die sich im Wasser lösen können. Die optimierte Bildung der Kalziumsilikathydratphasen (C-S-H-Phasen) sorgt für ein dichtes Gefüge, wodurch ein dauerhafter Schutz gegenüber Schadstoffen, Wasser und Feuchtigkeit entsteht.

Durch den Einsatz von alternativen Rohstoffen aus anderen Industriezweigen entsteht so ein Produkt, das zum einen den grünen Aspekt berücksichtigt und die Umweltbelastung reduziert und zum anderen eine Beständigkeit liefert, die von rein zementgebundenen Baustoffen nicht gewährleistet werden kann.

Um den Schutz für Bauwerke noch weiter zu erhöhen, sodass auch stärkere Säureangriffe mit pH 1 oder pH 0 ohne Schäden überstanden werden können, hat das Haus Maleki noch ein weiteres Bindemittelsystem konzeptioniert (Fig. 5). Dieses Bindemittel ist zu 100% zementfrei und ein rein silikatisches System, das als einkomponentiger Mörtel auch einfach in der Anwendung ist. Langzeitlagerungen über 52 Wochen unter dauerhaft korrosivem Angriff in Form von Schwefelsäure und Milch-/Essigsäure zeigten, dass das rein silikatische Bindemittelsystem eine signifikante Verbesserung der Beständigkeit gegenüber anderen mineralischen Systemen aufweist (Fig. 6). Ebenso ist das Bindemittelsystem frühzeitig mit Wasser belastbar, da die Druckfestigkeit mit der Zeit unter Wasser zunimmt (Tab. 2).

Um die Dauerhaftigkeit der Beschichtung mit dem je nach Objekt optimierten Mörtel im Vorfeld zu zeigen, wurden Tests über sechs Monate mit deionisiertem Wasser durchgeführt. Tests mit korrosivem Wasser zeigen deutlich die zerstörende Wirkung auf zementgebundene Materialien in Form von lösenden Angriffen. Im Vergleich zeigt sich jedoch deutlich, dass die oben beschriebenen Optimierungen der Bindemittelmatrix dazu führen, dass keine Schädigungen der Bindemittelmatrix durch den Angriff beobachtet werden konnte (Fig. 7).

Da die Beschichtung und Abdichtung auf feuchtem Untergrund erfolgen kann, ist es möglich, kurz nach der Reinigung und Untergrundvorbereitung die Sanierung zu beginnen. In Kombination mit der früheren Wasserbelastbarkeit nach 24 Stunden können so die Stillstandzeiten signifikant reduziert werden.

Die auf der Basis des rein silikatischen Bindemittels resultierende pulverförmige Dichtungsschlämme ist besonders geeignet für säurebelastete Bereiche wie Wasserbehälter (Trinkwasserreservoirs), Kanäle, Güllebehälter, Laborräume, Abwasserleitungen etc. und bietet eine Alternative zu polymer-basierten Systemen mit hervorragenden Eigenschaften:

- absolut wasserdicht bis 15 m Wassersäule
- hohe chemische Resistenz bis pH 0

- hohe Haftung auf nahezu allen Oberflächen
- sehr hohe Dichtigkeit und Haftverbund zum Untergrund
- anwendbar auf feuchtem Untergrund und bei hoher Luftfeuchtigkeit
- hohe Temperaturbeständigkeit
- 100% anorganisch, deshalb umweltfreundlich
- dauerhafte Lösung für Bereiche mit hoher Korrosionsbelastung
- dampfdiffusionsfähig
- keine Sondermüllentsorgung, da mineralisch (auch beim Ausbau)

Die von unabhängigen Prüfinstituten bestätigte chemische Beständigkeit der neuen silikatischen Bindemittelsysteme stellt einen Durchbruch in der Trockenmörteltechnologie dar. Das Silikat-System besteht aus einem anorganischen und einkomponentige Bindemittel mit umweltfreundlichen Bestandteilen. Die Verarbeitung verlangt keine erweiterte Schutzmassnahme und verringert den Aufwand. Die Auftragsdicke beträgt nach der Untergrundbearbeitung max. 4 mm.

Mit der Erstellung der neuen Beschichtung wird der Beton wieder vor eindringendem Wasser geschützt und die Dauerhaftigkeit der Tragkonstruktion erhöht.

AUSFÜHRUNG DER SANIERUNG DES RESERVOIRS WALDRÜTI

Die Verantwortlichen der Wasserversorgung Weesen haben zusammen mit dem Trinkwasserinspektor des Kantons St. Gallen und dem Gemeindeingenieur Folgendes entschieden:

- Die alte Schlämme und die obersten Millimeter der Zementhaut werden per Höchstdruckwasserstrahlen abgetragen.
- Für die Untergrundvorbereitung wird die einkomponentige Dichtungsschlämme Maleki-DS220 mit Quarzsand (max. 1,0mm) im Verhältnis 1:1 gemischt.
- Darauf folgt die Beschichtung mit der reinen Dichtungsschlämme Maleki-DS220. Schichtdicke max. 4 mm. Das DVGW-Arbeitsblatt W300, betreffend Schichtdicke, gilt für die Maleki-Produkte nicht.

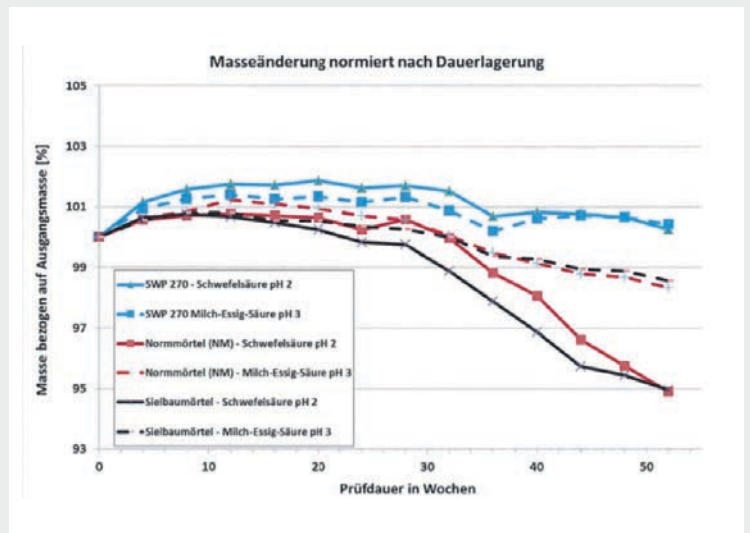


Fig. 6 Vergleich in Bezug auf Massenverlust des silikatischen Mörtels SWP 270 und eines Kanalmörtels bzw. Normmörtels, gelagert in einem Milch-/Essigsäuregemisch und Schwefelsäure über 52 Wochen bei pH 3 und pH 2

Franz. Legende

	Wasser		Luft	
	Biegezugfestigkeit [Mpa]	Druckfestigkeit [Mpa]	Biegezugfestigkeit [Mpa]	Druckfestigkeit [Mpa]
Silikatischer Mörtel	5,92	52,5	6,04	48,5
Normmörtel	6,34	54,3	6,33	51,9

Tab. 3 Verhalten des silikatischen Mörtelsystems im Vergleich zu einem Normmörtel auf Zementbasis bei Luft- und Wasserlagerung

Franz. Legende



Fig. 5 Vergleich zwischen einem silikatischen Mörtel und einem Kanalmörtel – beide gelagert in Schwefelsäure für 28 Tage bei pH = 1 (Quelle 5-7: Maleki GmbH)

Franz. Legende

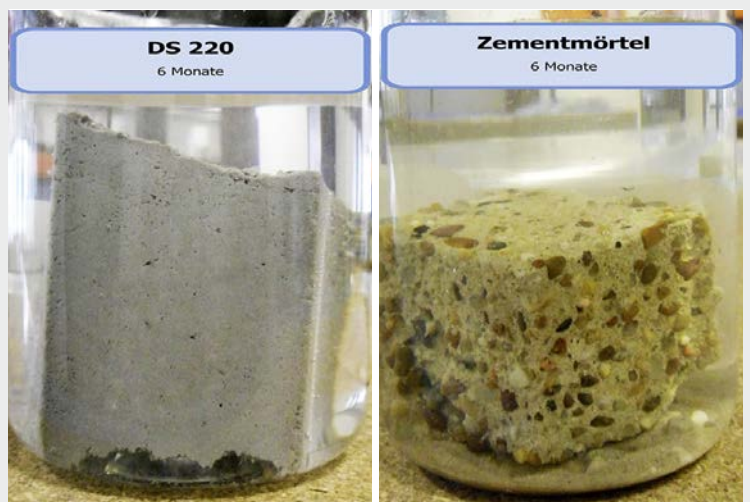


Fig. 7 Vergleich eines Zementmörtels und eines optimierten Mörtels bei deionisiertem Wasser über einen Zeitraum von sechs Monaten bei ständigem Wasser-austausch

Franz. Legende



Fig. 8 Innenansicht nach der Sanierung
Franz. Legende

(Bild: T. Müller)

Maleki-DS220 ist eine innovative, starre Dichtungsschlämme, basierend auf einem chemisch und mechanisch widerstandsfähigen Bindemittelsystem. Es erhärtet hydraulisch zu einer festen mineralischen Abdichtung, die alle hygienischen Anforderungen an die Trinkwasserbeschichtung gemäss DVGW-Arbeitsblatt 270 und 347 erfüllt.

Als zusätzliche Massnahme kann, je nach Situation, das Produkt Maleki-DW100 oder Maleki-LL100 in einer dünnen Schicht aufgesprüht werden. Maleki-DW100 ist eine einkomponentige, wässrige Flüssigkeit mit silikatischen Wirkstoffen, dringt tief in den Untergrund ein und bildet eine stabile, säurebeständige und dichte Silikat-Struktur. Maleki-LL100 hat zusätzlich eine hydrophobe Wirkung. Diese Zusatzmassnahme war im Reservoir Waldrüti nicht notwendig. Die Ausführung der Sanierungsarbeiten wurde der Winterthurer Firma Betosan AG übertragen. Über den Arbeitsablauf und die Erfahrungen wird Brunnenmeister Toni Müller an der SVGW-Wasserfachtagung vom 13. Januar 2015 in Olten berichten (Fig. 8).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Wenk, F.; Marti, R.: Projektarbeit im Studiengang Bauingenieurwesen der Hochschule für Technik Rapperswil