

1 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Verfahrens beschrieben, mit dem ZM-Auskleidungen von Gußrohren bereits im Werk so vorbehandelt werden können, daß auch niedrig gepufferte Trinkwässer ohne eine Überschreitung des pH-Grenzwertes von 9,5 transportiert werden können.

Vorversuche zur Behandlung von ZM-Oberflächen mit handelsüblichen Konditionierungsmitteln zeigten keine ausreichende Reduzierung der OH⁻-Abgabe beim Kontakt mit niedrig gepuffertem Wasser. Ein erster Erfolg zeigte sich bei der Optimierung der Herstellungsbedingungen von ZM-Auskleidungen (relative Zentrifugalbeschleunigung, ZM-Alter, Reifebedingungen).

Durch die Behandlung der ZM-Oberflächen im Werk mit Kohlenstoffdioxid - insbesondere in Form von Trockeneis - konnte eine Carbonatschutzschicht gebildet werden, die einen Anstieg des pH-Werts im Trinkwasser über pH 9,5 verhinderte. Bei der Behandlung von bereits verlegten Trinkwasserleitungen erwies sich eine mehrmalige Befüllung der Leitung mit HCO₃-haltigem Wasser als günstig.

Als beste Alternative zu den bisherigen Verfahren zur Vermeidung zu großer pH-Wert-Anstiege in frisch mit Zementmörtel ausgekleideten Trinkwasserrohren zeigte sich die mittlerweile patentierte Phosphatierung (PATENTSCHRIFT DE 196 10 403, 1996) von ZM-Oberflächen.

Insbesondere das 2-Stufen-Verfahren NaH₂PO₄ · 2 H₂O/Ca(OH)₂ (beide Reagenzien gelten im Sinne des LMBG (1974) als unbedenklich) zeichnete sich durch eine statistisch abgesicherte hohe Erfolgsquote bei der Reduzierung der von der ZM-Oberfläche abgegebenen OH⁻-Ionen aus.

Mittels pulverdiffraktometrischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß in der ersten Behandlungsstufe das im Porenwasser des Zementsteins gelöste Calcium als Calciumphosphat in Form von Brushit gefällt wird. In der anschließenden zweiten Behandlungsstufe wird zum einen nicht umgesetztes Konditionierungsmittel auf der ZM-Oberfläche mit einer Ca(OH)₂-Lösung als Brushit gefällt, zum anderen erfolgt im zweiten Behandlungsschritt die Bildung des schwerlöslichen Hydroxylapatits. Auf diese Weise konnte ein Lösen der

Phosphatschutzschicht von der ZM-Oberfläche in das transportierte Trinkwasser so weit reduziert werden, daß es nach den üblichen Spülzyklen nach einer Leitungsverlegung nicht mehr zu Phosphat-Grenzwert-überschreitungen kommt.

Mittels EDX/WDX-REM-Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß die Fällungsreaktionen des Calciumphosphats beim 2-Stufen-Verfahren ausschließlich in der Schlempe- und Feinschicht der ZM-Auskleidung stattfinden.

Bei der Anwendung des 2-Stufen-Verfahrens unter Bedingungen im Technikums-Maßstab für Rohre einer Versuchsleitung zeigte sich, daß hierbei zwar die bei der Konditionierung von ZM-Oberflächen im Labor- und im halbtechnischen Maßstab erwirkte Reduzierung der OH^- -Abgabe nicht erreicht wurde, es aber immer noch zu einer deutlich niedrigeren OH^- -Abgabe gegenüber unbehandelten, bzw. mit bisherigen Methoden behandelten ZM-Oberflächen gekommen ist. Nicht zuletzt der wirtschaftliche Vorteil gegenüber den bisher angewendeten Behandlungsmethoden lassen das 2-Stufen-Verfahren zu einer konkurrenzfähigen Alternative werden.

Der Bedarf an Gußrohren mit einer ZM-Auskleidung, die durch eine Vorbehandlung der ZM-Oberfläche einen Transport von niedrig gepufferten Trinkwässern ohne pH-Grenzwert-Überschreitung ermöglichen, wird auch auf längere Sicht gegeben sein, da ein Großteil der Versorgungsleitungen auf dem südlichen Gebiet der neuen Bundesländer erneuert, bzw. bei der Erschließung neuer Versorgungsgebiete verlegt werden müssen.

Der größte Bedarf an vorbehandelten Gußrohren mit einer ZM-Auskleidung liegt auf europäischer Ebene. In den meisten europäischen Nachbarländern wird das Trinkwasser auf dem Weg von der Gewinnung bis zum Verbraucher nicht aufbereitet. Als Beispiel sei hier England genannt. Hier wird das Rohwasser in den meisten Fällen von der Gewinnung direkt an die Verbraucher geliefert. Vor allem im Norden Englands, wo überwiegend grannithaltige Böden vorkommen und nur gering gepufferte Wässer gewonnen werden können, würde sich die Verwendung von vorbehandelten Gußrohren mit einer ZM-Auskleidung für das Trinkwassertransportnetz anbieten.

2 Literatur

- ANONYMUS, DVGW: *Guß- und Stahlrohrleitungsteile mit ZM-Auskleidung-Handhabung*, DVGW-Arbeitsblatt W 346, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Eschborn (1995)
- ANONYMUS, DVGW: *Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich*, DVGW-Arbeitsblatt W 347, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Eschborn (1998)
- ANONYMUS, TRINKWV: *Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe* (Trinkwasserverordnung - TrinkwV), BGBl Bd. 1 (5. Dez. 1990), S. 2613-2629
- ANONYMUS: *Gesetz über den Verkehr mit Lebensmitteln, Tabakerzeugnissen, kosmetischen Mitteln und sonstigen Bedarfsgegenständen* (Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz LMBG), BGBl Bd. 1 (1974)
- AUFRECHT M.: *Beton als sekundäre Dichtbarriere gegenüber umweltgefährdenden Flüssigkeiten*, Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Berlin (1995)
- AUTORENKOLLEKTIV: *Organikum*, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1988)
- BÄUMEL A., ENGELL H. J.: *Archiv für Eisenhüttenwesen*, 30 (1959), S. 417-428
- BAECKMANN VON W., SCHWENK W., PRINZ W.: *Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes*, 3. Auflage, Weinheim (1989)
- BICZÖK J.: *Betonkorrosion, Betonschutz*, Bau-Verlag GmbH, Wiesbaden, 6. Ausgabe (2. deutsche) (1974)
- BIER T. A.: *Karbonatisierung und Realkalisierung von Zementstein und Beton*, Dissertation Universität Fridericiana zu Karlsruhe (1988)
- BRUNE P., BOCKERMANN K.: *Optimierung der Zementmörtelausschleuderung an duktilen Gußrohren*, 2. Zwischenbericht, interner Bericht Technologie Consult Bochum (1989)
- BRUNE P., BOCKERMANN K.: *Optimierung der Zementmörtelausschleuderung an duktilen Gußrohren*, 7. Zwischenbericht, interner Bericht Technologie Consult Bochum (1990)

- CHAPPELL E. L.: *Chemische Eigenschaften der Rohrzementauskleidung*, Industrial and Engineering Chemistry, 22 (1930), S. 1203-1206
- CORBRIDGE D. E. C.: Phosphorus An Outline of its Chemistry, Biochemistry and Technology, Elsevier, Amsterdam, (1995)
- DAVIES P. L., GATHER U.: *The identification of Multiple Outliers*, Journal of the American Statistical Association, Vol. 88, No. 423 (1993), S. 782-792
- DAVIES P. L.: persönliche Mitteilung an das IWW Mülheim (1997)
- DIN 1164-1, DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: DIN 1164 Teil 1: *Zement - Zusammensetzung und Anforderungen*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, (1994)
- DIN 2614, DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: DIN 2614 Zementmörtel-
auskleidungen für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke; Verfahren Anfor-
derungen Prüfungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, (1990)
- DIN 2880, DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: DIN 2880 Anwendung von
Zementmörtel-
auskleidung für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke, Beuth
Verlag GmbH, Berlin, (1999)
- DIN 4030-1, DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: DIN 4030 Teil 1:
*Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und
Grenzwerte*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, (1991)
- DIN 4030-2, DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: DIN 4030 Teil 2:
*Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Entnahme und
Analyse von Wasser- und Bodenproben*, Beuth Verlag GmbH, Berlin
(1991)
- DOLPHIN D, WICK A.: *Tabulation of infrared spectral data*, John Wiley & Sons (1977)
- EICK, H.: Korrosionsfragen aus dem Transportwasser bei Asbestzement-
Druckrohren, Vom Wasser, Bd.17 (1960), S. 288-305
- FERTNER F.: *Zementmörtel-
auskleidung von Stahlrohren*, Der Bauingenieur, 39
(1964), S. 138-148
- FEHLHABER T.: *Zum Eindringverhalten von Flüssigkeiten und Gasen in
ungerissenen Beton*, Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für
Stahlbeton, Heft 445, (1994), S. 3-86
- GIBSON J. E.: J. Amer. Water Works Ass., 16 (1926), S. 427-437

- HAMMER N. A.: U. S. Patent 3, 139, 351 (1965)
- HAYEK E., STADELMANN W.: *Angewandte Chemie*, Bd. 66, 327 (1955)
- HESSE M., MEIER H., ZEEH B.: *Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie*, Georg Thieme Verlag, 3. Auflage, Stuttgart (1987) S. 27-65
- HILDEBRAND H., SCHULZE M.: *Korrosionsschutz durch Zementmörtelauskleidung in Rohren*, 3R international, 25 (1986) Nr. 5, S. 242-245
- HILDEBRAND H., SCHWENK W.: *Einfluß einer Verzinkung auf die Korrosion von mit Zementmörteln beschichtetem Stahl in NaCl-Lösung*, Werkstoffe und Korrosion, 37 (1986), S. 163-169
- HOLLEMAN A.F., WIBERG N.: *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, de Gruyter-Verlag, 91-100. Auflage (1985)
- HOLTSCHULTE H.: *Praktische Erfahrungen mit der Zementmörtelauskleidung in Wasserrohrleitungen*, DVGW-Schriftenreihe Wasser, 4 (1974), S. 26 - 35
- HOLTSCHULTE H.: *Sanierung von Wasserrohrnetzen aus Guß- und Stahlrohrleitungen*, gwf-Wasser/Abwasser, 125 (1984), S. 333/334
- HÜNERBERG K., TESSENDORFF H.: *Handbuch für Asbestzementrohre*, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin (1977) S. 80-83
- KEIL F.: *Zement, Herstellung und Eigenschaften*, Springer-Verlag, Berlin (1971)
- KLAS H., HEIM G.: *Korrosionsschutz von Stahlrohren durch Zementmörtelauskleidung*, Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrleitungstransport, (1968), S. 54-58
- KÖRBER H., PÖTSCHKE J.: *Zementausgekleidete Trinkwasser-Gußrohre*, unveröffentlichter Bericht des Deutschen Institut für Feuerfest und Keramik, Bonn (1997)
- KOTTMANN A., KRAUT E.: *Großrohre als Verbundkonstruktionen aus metallischem Mantel und Zementmörtelauskleidung*, gwf-Wasser/Abwasser, 111 (1970), S. 232-237
- KÜNZLER R., SCHWENK W.: *Änderung der Wasserparameter bei Kontakt von Trinkwasser mit frischem Zementmörtel*, gwf-Wasser/Abwasser, Heft 1, 127 (1986), S. 11-15
- KÜSTER F. W., THIEL A.: *Rechentafeln für die Chemische Analytik*, 102. Auflage, de Gruyter (1982)

- LABAHN O., KOHLHAAS B.: *Ratgeber für Zementingenieure*, 6. Auflage, Bauverlag GmbH, Wiesbaden (1982)
- LITVAN G. G., MEYER A.: *Carbonation of granulated blast furnace slag concrete during twenty years of field exposure*, Secon International Conference on the use of fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, Madrid (1986)
- LOHMANN D.: *Analytische Untersuchungen zur Kalk-Kohlensäure-Chemie in Trinkwässern*, Diplomarbeit an der Gerhard-Mercator-Universität - GH - Duisburg, Duisburg (1995)
- MILLER W. T. J.: *Die Lebensdauer von Zementmörtelauskleidungen in Gußeisenrohren*, AWWA, (1965), S. 773-783
- NAKAMOTO K.: *Infrared Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*, Wiley-Interscience (1970)
- NEUMÜLLER O. A.: *Römpps Chemie Lexikon*, 8. Auflage (1979)
- NISSING W., KLEIN N.: *pH-Wert-Erhöhung bei der Inbetriebnahme von Guß- und Stahlrohrleitungen mit Zementmörtelauskleidungen*, bbr, 47. Jahrgang, 2 (1996), S. 26-31
- NYQUIST R. A., KAGEL R. O.: *Infrared Spectra of Inorganic Compounds*, Academic Press (1971), S. 7-16
- PASCHMANN H., GRUBE H., THIELEN G.: *Prüfverfahren und Untersuchungen zum Eindringen von Flüssigkeiten und Gasen in Beton sowie zum chemischen Widerstand von Beton*, Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 450 (1995), S. 3-54
- PATENTSCHRIFT DE 196 10 403 DES DEUTSCHEN PATENTAMTS: *Verfahren zum Behandeln der Zementmörtelauskleidung eines insbesondere Trinkwasser führenden Rohres*, Anmelder: Thyssen Guss AG, (1996)
- SCHWENK W.: *Elektrochemische und korrosionschemische Untersuchungen an unlegiertem Stahl in Zementmörtel*, 3R international, 28 (1989) Nr. 10, S. 666-668
- SCHWENK W.: *Maßnahmen zur Vermeidung zu hoher pH-Werte bei der Inbetriebnahme von Wasserleitungen mit Zementmörtelauskleidung*, 3. Bregenzer Rohrleitungstage, Bregenz (1996)

- SPELLER F. N.: *Corrosion, Causes and Prevention*, Mc. Graw Hill Book Co., New York (1951), S. 370
- STELZEL W.: *Über das Korrosionsverhalten von Stahl in sulfidfreiem Beton*, Dissertation TH München (1963)
- SYNOWIETZ C., SCHÄFER K.: *Chemiker Kalender*, Springer-Verlag, 3. Auflage, Berlin (1984)
- TESSENDORF H.: *Zementmörtelauskleidung für Guß- und Stahlrohre*, Ergänzung zum DVGW-Arbeitsblatt W 342 (1972)
- VÖLKEL M., MAURER W., REICHERT J. K.: *Untersuchungsmethodik zur Quantifizierung der Chlorzehrung*, gwf-Wasser/Abwasser, Heft 11, 134 (1993), S. 660 - 666
- WESCHE K.: *Baustoffe für tragende Bauteile*, Bauverlag, 3. Auflage, Wiesbaden (1993)
- WEST R. C. et al.: *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC-Press, 70th edition, Florida (1989)
- WILLMANN G.: *Bewährte Biomaterialien: Keramik und Beschichtung auf Hydroxylapatit-Basis* (Fortsetzung), Keramische Zeitschrift, Heft 11, 48 (1996), S. 1025
- WINSLOW D. N., DIAMOND S.: *A mercury porosimetry study of the evolution of porosity in portland cement*, Journal of Materials, 5 (1970)

Anhang

Tabelle 36: Versuche zur Phosphatierung von ZM-Oberflächen und einer Nachbehandlung mit Ca(OH)_2 oder H_3PO_4

Versuch	Konditionierungsmittel	Konz. [g/l]	Konditionierungsart und -dauer
A1	Vorbehandlung	-	-
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0 sprühen (30 s)
	Nachbehandlung	Ca(OH)_2	1,7 tauchen (6 h) (sofort nach Phosphatierung)
A2	Vorbehandlung	-	-
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0 sprühen (30 s)
	Nachbehandlung	Ca(OH)_2	1,7 tauchen (6 h) (1 Tag nach Phosphatierung)
A3	Vorbehandlung	-	-
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0 sprühen (30 s)
	Nachbehandlung	H_3PO_4	0,05 tauchen (6 h) (1 Tag nach Phosphatierung)

Tabelle 37: Versuche zur Phosphatierung von ZM-Oberflächen kombiniert mit einer NaF- bzw. CaCl₂-Behandlung

Versuch		Konditionierungsmittel	Konz. [g/l]	Konditionierungsart und -dauer
B1	Vorbehandlung	-	-	-
	Phosphatierung	NaH ₂ PO ₄ · 2 H ₂ O	20,0	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	NaF	0,84	tauchen (6 h)
B2	Vorbehandlung	-	-	-
	Phosphatierung	NaH ₂ PO ₄ · 2 H ₂ O + NaF	20,0 + 0,84	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
B3	Vorbehandlung	-	-	-
	Phosphatierung	NaH ₂ PO ₄ · 2 H ₂ O + NaF + NaOH (pH > 12)	20,0 + 0,84	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
B4	Vorbehandlung	-	-	-
	Phosphatierung	NaH ₂ PO ₄ · 2 H ₂ O + NaF + CaCl ₂ + NaOH (pH>12)	20,0 + 0,84 + 23,5	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
B5	Vorbehandlung	-	-	-
	Phosphatierung	NaH ₂ PO ₄ · 2 H ₂ O + NaF + NaOH (pH > 12)	20,0 + 0,84	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	CaCl ₂	23,5	tauchen (24 h)

Tabelle 38: Versuche zur Phosphatierung von ZM-Oberflächen mit einer Ca(OH)_2 -Vorbehandlung

Versuch		Konditionierungsmittel	Konz. [g/l]	Konditionierungsart und -dauer
C1	Vorbehandlung	Ca(OH)_2	1,7	sprühen (30 s)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (2 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
C2	Vorbehandlung	Ca(OH)_2	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	sprühen (30 s)
	Nachbehandlung	-	-	-
C3	Vorbehandlung	Ca(OH)_2	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (1 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
C4	Vorbehandlung	Ca(OH)_2	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (2 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
C5	Vorbehandlung	Ca(OH)_2	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (12 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
C6	Vorbehandlung	Ca(OH)_2	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	-	-	-

Tabelle 39: Versuche zur Phosphatierung von ZM-Oberflächen mit einer $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Vor- und Nachbehandlung

Versuch		Konditionierungsmittel	Konz. [g/l]	Konditionierungsart und -dauer
D1	Vorbehandlung	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (2 h)
	Nachbehandlung	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,7	tauchen (10 min)
D2	Vorbehandlung	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,7	tauchen (1 h)
D3	Vorbehandlung	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,7	tauchen (10 min)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,7	tauchen (24 h)

Tabelle 40: Versuche zur Phosphatierung von ZM-Oberflächen mit verschiedenen Phosphatierungsmitteln sowie Vor- und Nachbehandlung mit diesen Reagenzien bzw. Ca(OH)_2

Versuch		Konditionierungsmittel	Konz. [g/l]	Konditionierungs- dauer
E1	Vorbehandlung	Ca(OH)_2	1,7	tauchen (4 h)
	Phosphatierung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	8,4	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
E2	Vorbehandlung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$	2,0 + 0,8	tauchen (24 h)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (0,17 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
E3	Vorbehandlung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$	2,0 + 0,8	tauchen (24 h)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (6 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
E4	Vorbehandlung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$	2,0 + 0,8	tauchen (24 h)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	20,0	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
E5	Vorbehandlung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	1,0	tauchen (24 h)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	2,0	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	-	-	-
E6	Vorbehandlung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	1,0	tauchen (24 h)
	Phosphatierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	2,0	tauchen (24 h)
	Nachbehandlung	Ca(OH)_2	0,85	tauchen (6 h)

**Tabelle 41: Versuche zur Konditionierung der ZM-Oberflächen mit
phosphat-/carbonathaltigen Lösungen**

Versuch		Konditionierungsmittel	Konz. [g/l]	Konditionierung sart und -dauer
F1	Carbonatisierung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$	1,0 + 5,90	tauchen (24 h)
F2	Carbonatisierung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$	2,0 + 1,18	tauchen (24 h)
F3	Carbonatisierung	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$	10,0 + 5,90	tauchen (24 h)
F4	Carbonatisierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$	1,1 + 0,59	tauchen (24 h)
F5	Carbonatisierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$	1,1 + 5,92	tauchen (24 h)
F6	Carbonatisierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$	2,2 + 1,18	tauchen (24 h)
F7	Carbonatisierung	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$	11,0 + 5,92	tauchen (24 h)

Tabelle 42: Analysenergebnisse des Talsperrenwassers am Zulauf und am Ablauf der Versuchsstrecke

PN-Tag		30.03		31.03		31.03		02.04	
PN-Stelle		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf
Temperatur	[°C]	7,8	9,9	8,5	7,5	9,8	9,8	7,5	8,5
pH-Wert		8,9	8,9	8,9	8,9	9,0	8,9	8,9	9,0
Trübung	[FNU]	0,13	1,18	0,23	2,18	0,26	0,48	0,22	5,10
K _{S 4,3}	[mmol/L]	0,53	0,51	0,51	0,58	0,59	0,60	0,60	0,63
Phosphat	[mg/L]	< 0,1	0,43	< 0,1	3,87	< 0,1	2,19	< 0,1	4,51
Leitfähigkeit	[µS/cm]	264	271	263	301	263	277	267	303
OH ⁻ -Abgabe	[mmol/m ²]	0,05		0,04		>0,01		0,1	
PN-Tag		06.04		09.04		16.04		24.04	
PN-Stelle		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf
Temperatur	[°C]	6,1	5,7	6,6	6,4	9,2	7,9	10,2	10,7
pH-Wert		8,7	9,2	8,8	9,2	9,0	9,7	9,2	9,3
Trübung	[FNU]	0,23	6,1	0,24	n.b.	0,57	0,69	0,18	14,8
K _{S 4,3}	[mmol/L]	0,63	0,57	0,52	0,54	0,51	0,65	0,56	0,53
Phosphat	[mg/L]	< 0,1	3,45	< 0,1	3,2	< 0,1	2,50	< 0,1	0,64
Leitfähigkeit	[µS/cm]	261	274	259	270	261	273	253	257
OH ⁻ -Abgabe	[mmol/m ²]	0,7		0,8		3,5		0,25	

Fortsetzung von Tabelle 42

PN-Tag		27.04		05.05		07.05		04.06	
PN-Stelle		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf
Temperatur	[°C]	7,6	9,8	7,9	12,6	8,2	16,6	n.b.	n.b.
pH-Wert		9,1	9,9	9,2	9,5	8,9	9,2	9,3	10,0
Trübung	[FNU]	0,45	0,91	0,19	0,55	0,30	1,48	0,21	2,12
K _{S 4,3}	[mmol/L]	0,48	0,65	0,51	0,55	0,52	0,55	0,66	0,75
Phosphat	[mg/L]	< 0,1	1,29	< 0,1	0,25	< 0,1	0,35	< 0,1	0,43
Leitfähigkeit	[µS/cm]	247	266	249	253	247	251	253	270
OH ⁻ -Abgabe	[mmol/m ²]	4,6		1,2		0,8		6,5	
PN-Tag		09.06		11.06					
PN-Stelle		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf				
Temperatur	[°C]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.				
pH-Wert		9,3	9,4	9,3	10,4				
Trübung	[FNU]	0,29	1,07	0,29	1,07				
K _{S 4,3}	[mmol/L]	0,52	0,62	0,52	0,95				
Phosphat	[mg/L]	< 0,1	0,17	< 0,1	0,17				
Leitfähigkeit	[µS/cm]	247	298	252	298				
OH ⁻ -Abgabe	[mmol/m ²]	0,3		11,0					