

Schäden und Instandsetzungsverfahren für Trinkwasserbehälter – eine Übersicht

Felix Wenk
Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz

Zusammenfassung

Eine Trinkwasserbehältersanierung drängt sich oft auf, wenn Betonoberflächen respektive Mörtelbeschichtungen in den Trinkwasserkammern angegriffen sind oder Rohrleitungen und Armaturen korrodieren. Die Schadenursachen sind sehr vielfältig. Damit die richtigen Maßnahmen ergriffen werden, sollte daher zuerst eine Zustandsanalyse durchgeführt werden. Als Instandsetzungsvarianten liegen in Abhängigkeit des Schadenbildes und der Ursachen verschiedene Möglichkeiten vor: einfache Maßnahmen mit kleiner Eingriffstiefe wie galvanische Auftrennungen oder kathodische Korrosionsschutzanlagen oder flächige Maßnahmen wie Auskleidungen mit Kunststofffolien, Kunststoffplatten, nichtrostendem Stahl respektive neue mineralische Beschichtungen.

1. Einleitung

In Trinkwasserreservoiren treten Schäden an der Beton-/Mörtelsubstanz und an metallischen Einbauten auf, die durch verschiedene Ursachen ausgelöst werden. Neben der Wasserbeschaffenheit können galvanische Elemente, Makroelementbildungen oder Streuströme die einschlägigen Schadenbilder hervorrufen. Damit zur Behebung der Schäden die optimalen Maßnahmen getroffen werden, ist als erster Schritt eine durch kompetente Fachleute ausgeführte Zustandsanalyse zu empfehlen. Basierend auf deren Resultate ist dann durch den fachkundigen Planer das Instandsetzungsprojekt auszuarbeiten. Eine hohe Qualität der Ausführung wird durch geeignete Produkte, erfahrene Verarbeiter und eine konsequente Qualitätssicherung gewährleistet. Diesbezüglich eingeholte Referenzen bilden eine gute Vertrauensgrundlage. Damit die geplante Lebensdauer erreicht werden kann, sind die im Unterhaltsplan festgelegten Instandhaltungs- und Kontrollarbeiten durch den Betreiber sicherzustellen.

2. Schadenbilder und -ursachen

Schäden in Trinkwasserreservoiren können am Beton, an der Mörtelbeschichtung, an der Bewehrung und an den metallischen Einbauten auftreten. In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die verschiedenen Schadenbilder und deren Ursachen eingegangen.

2.1 Betonangriffe

Beton- respektive Mörtelangriffe in Wasserkammern machen sich in der Regel durch eine "waschbetonartige" Oberfläche bemerkbar (Abb. 2.1). Dabei wird in der Regel die Zementsteinmatrix angegriffen und herausgelöst. Die Zuschlagskörner sind normalerweise beständig. Als Ursachen können weiches Wasser oder überschüssige Kohlensäure im Wasser in Frage kommen. Weiches Wasser tritt vor allem in Gebieten der Bundesländer Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Sachsen auf. Kalklösende Kohlensäure kann auch in Mischwässern vorkommen, obwohl sich die einzelnen Wässer durchaus im Kalk-Kohlensäuregleichgewicht befinden (Abb. 2.2).

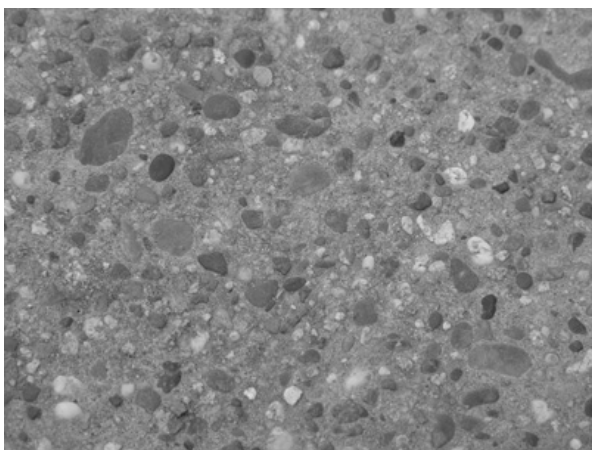


Abb. 2.1 Lösender Betonangriff

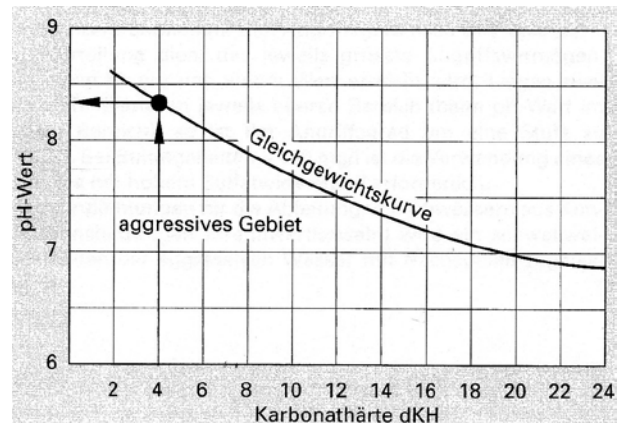


Abb. 2.2 Kalk-Kohlensäuregleichgewicht

Beton- respektive Mörtelangriffe können auch durch hohe Magnesium- und Sulfatgehalte im Wasser verursacht werden. In der Regel liegen die Gehalte im Trinkwasser jedoch unterhalb der kritischen Werte. Die Ursache von weichen Flecken in der Mörtelbeschichtung ist noch nicht restlos geklärt (Abb. 2.3). Untersuchungen zeigen, dass möglicherweise Makroelementströme dafür verantwortlich sind (Abb. 2.4). Grundsätzlich gilt, dass ein dichter, wenig poröser Beton respektive Mörtel beständiger gegenüber den oben genannten schädlichen Einflüssen ist (siehe auch 3.3).

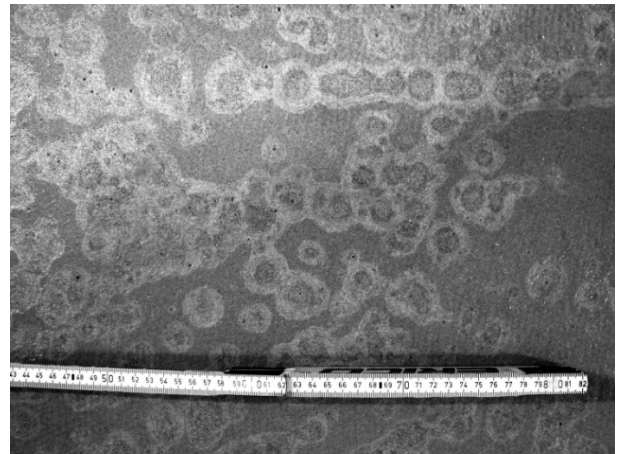


Abb. 2.3 Weiche Flecken

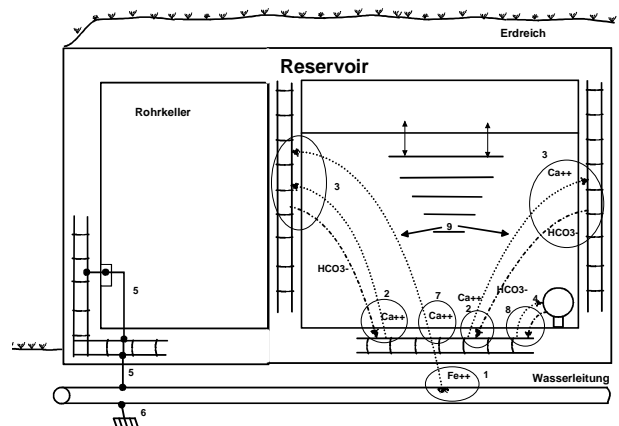


Abb. 2.4 Makroelementströme

2.2 Metallkorrosion

Die Metallkorrosion in Trinkwasserreservoiren ist sehr vielfältig. Betroffen sind nicht nur Rohrleitungen und Armaturen (Abb. 2.5), sondern auch die Bewehrung im Beton (Abb. 2.6).



Abb. 2.5 Korrosion im Schieber

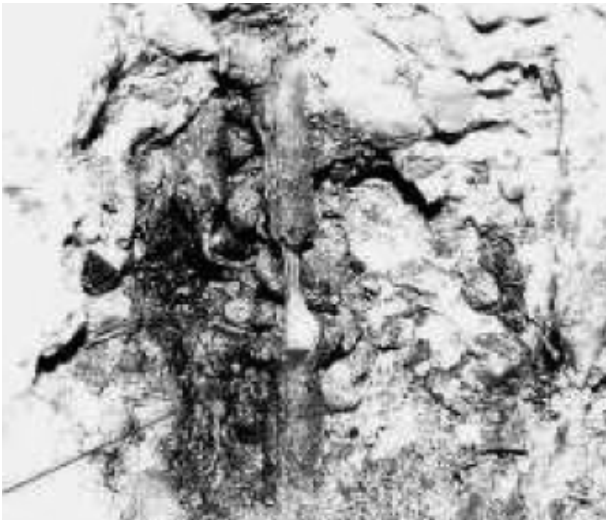


Abb. 2.6 Bewehrungskorrosion

Als Ursachen kommen meistens ungeeignete Werkstoffwahl (Abb. 2.7), galvanische Kontakte zwischen zwei unterschiedlichen Metallen (Abb. 2.8) oder lokal unterschiedliche Umgebungen beim gleichen Metall vor. Niedriglegierter Stahl oder Gusseisen korrodieren normalerweise im Trinkwasser (Abb. 2.9). Hingegen sind nichtrostende Stähle (NRST) in der Regel vor Korrosion geschützt. Bei höheren Chloridgehalten im Trinkwasser ist die Werkstoffqualität entsprechend anzupassen (Abb. 2.10).

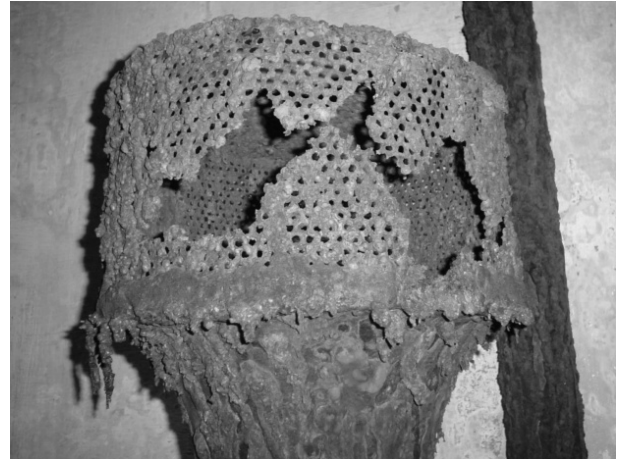


Abb. 2.7 Korrosion eines Seihers



Abb. 2.8 Kontaktkorrosion

Angriffsmittel	Stahl	ver- zinkter Stahl	Guss- eisen	Alu- minum
Atmosphäre	-	+	-	++
belüftet	-	+	-	-
Abwasser anae- rob	+	+	+	--
Erdboden	-	+	+	--
Beton/Mörtel	++	++	++	--
Klärgas	--	-	--	--

Abb. 2.9 Beständigkeit von Metallen [1]

Werkstoff-Nr. nach EN 10088	Beständigkeit bei pH 7		
	max. Cl-Gehalt (g/l)		T
	Lochkorrosion	Spaltkorrosion	(° C)
1.4301 *	0.2 *	0.02 *	25
1.4306	0.2	0.02	25
1.4541	0.2	0.02	25
1.4307	0.2	0.02	25

Abb. 2.10 Beständigkeit von NRST [1]

In Trinkwasserbehältern können sich im Vergleich zu luftberührten metallischen Oberflächen große Makroelemente ausbilden. Die beiden für die Korrosion maßgebenden elektrochemischen Teilreaktionen können mitunter mehrere Meter auseinanderliegen (Abb. 2.4). Zum einen liegt das am Trinkwasser, das alle Oberflächen inklusive die Innenseiten der Leitungen im Rohrkeller elektrolytisch benetzt, zum anderen an der metallisch durchleitenden Verbindung, die oftmals aus Personenschutzgründen durch einen bewusst durchgeführten Potentialausgleich hergestellt wird. Letzterer verhindert, dass eine gefährliche elektrische Spannung zwischen zwei gleichzeitig berührten Metalloberflächen entstehen kann. Makroelemente können zu hohen Korrosionsgeschwindigkeiten führen (Abb. 2.11).

Anode	Kathode	Angreifendes Medium	Makroelementstrom [mA]	Massenverlust [g/Jahr]
Wasserleitungen	Bewehrung	Erboden	50 - 2000	450 - 18000
Tauchpumpen	Bewehrung Rohrleitungen aus NRST	Abwasser, Trinkwasser	6 - 77	55 - 700
Filter	Bewehrung	Abwasser	80 - 145	750 - 1300
Schieber, Klappen	Rohrleitungen aus NRST	Abwasser, Brauchwasser	0.1 - 10	1 - 90
Schützenrahmen	Bewehrung	Abwasser	15 - 50	1 - 450

Abb. 2.11 Makroelementströme [1]



Abb. 2.12 Makroelement Bewehrung-NRST. Makroelementströme sind die mögliche Ursache der Korrosionsspuren auf der Betonoberfläche (Anode = Bewehrung, Kathode = Leitung aus NRST).

Typische Korrosionsschäden der Bewehrung infolge Karbonatisierung des Betons respektive Chloridionen wie im Hochbau oder bei Verkehrsinfrastrukturbauten sind in den Trinkwasserkammern nicht zu erwarten, weil der Beton im feuchten Milieu praktisch nicht karbonatisiert respektive das Trinkwasser meistens einen geringen Chloridgehalt aufweist.

3. Instandsetzungsmaßnahmen

Treten an Beton- oder Mörteloberflächen Schäden auf oder korrodieren metallische Einbauten, gibt es eine Vielzahl von möglichen Instandsetzungsmaßnahmen, die sich bezüglich Kosten, Lebensdauer, Unterhalt, Ästhetik etc. unterscheiden. Die optimale Instandsetzungsvariante hängt zudem auch von den angetroffenen Schadenursachen ab.

3.1 Galvanische Auftrennungen

Bestehen die Einbauten aus verschiedenen Metallen, beispielsweise Rohre aus NRST und Armaturen aus Gusseisen, dürfen sie nicht metallisch leitend verbunden werden. Um Makroelementbildungen zu vermeiden, sind sie galvanisch zu trennen. Dies geschieht normalerweise mit Isolierflanschen (Abb. 3.1) oder Isolierstücken (Abb. 3.2).

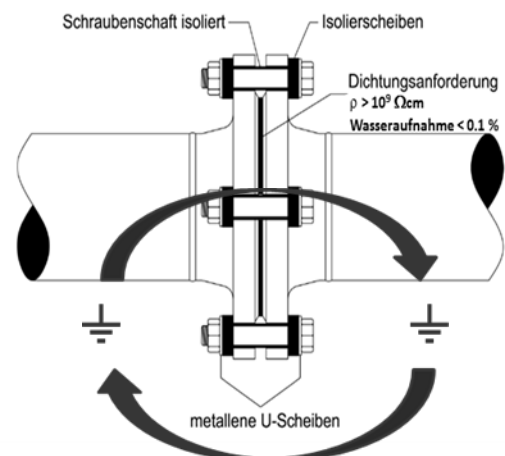


Abb. 3.1 Isolierflansch [1]

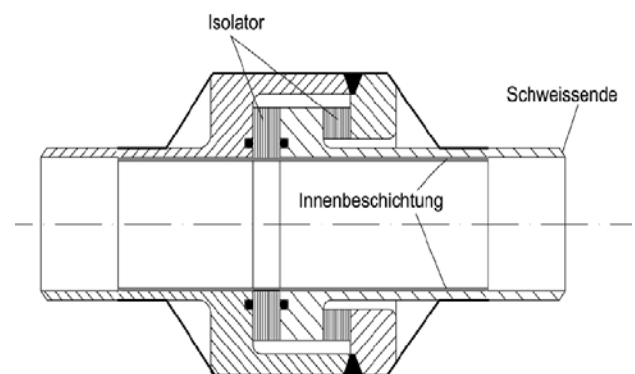


Abb. 3.2 Isolierstück respektive -kupplung [1]

Isolierstücke weisen auf der Innenseite eine nicht leitende Beschichtung auf, die bei Trinkwasser eine Länge von ca. 5mal dem Rohrdurchmesser aufweisen sollte [1]. Diese Isolierstrecke fehlt bei der Lösung mit Isolierflanschen. Sind beide Seiten des Flansches geerdet, kann über den Elektrolyt ein Ionenstrom fließen. Beim Stromaustritt auf der Innenseite korrodiert dann das Metall. Ist die Isolierstrecke ausreichend lang, wird die Korrosionsstromdichte vernachlässigbar. Kann eine entsprechende Innenbeschichtung beispielsweise aus Platzgründen nicht appliziert werden, sollte eine Seite des Flansches via eine sogenannte Abgrenzeinheit separat geerdet werden (Abb. 3.3 und 3.4). Eine Sperrspannung, die nach Bedarf mittels Dioden gewählt werden kann, verhindert, dass ein wesentlicher Korrosionsstrom fließen kann. Gleichzeitig gewährleistet die Abgrenzeinheit auch die Anforderungen an den Personenschutz.

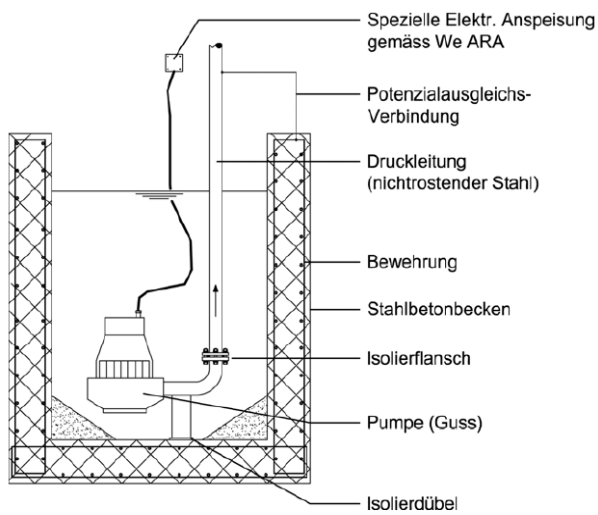


Abb. 3.3 Tauchpumpe separat geerdet [1]

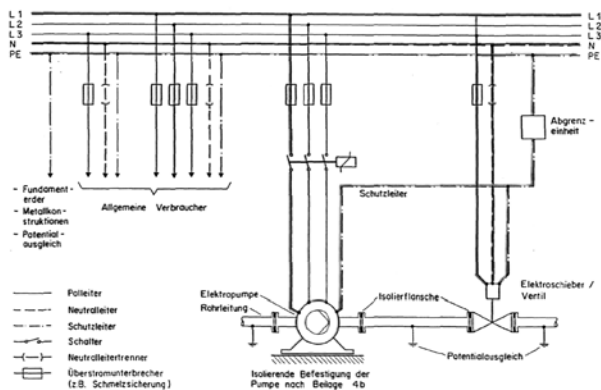


Abb. 3.4 Pumpe via Abgrenzeinheit geerdet [2]

3.2 Kathodischer Korrosionsschutz

In einigen Fällen, insbesondere bei der Erneuerung von bestehenden Anlagen, ist eine galvanische Auftrennung sehr aufwändig bis unmöglich. Hier bietet sich als Lösung der kathodische Korrosionsschutz (KKS) an. Bei geringem Schutzstrombedarf eignen sich Magnesiumanoden als sogenannte Opferanoden. Diese werden ein-

fach mit den zu schützenden Metalloberflächen verbunden. Dadurch fließt ein Schutzstrom von der Anode zur Kathode. Das Magnesium löst sich dabei auf. Zu beachten ist, dass neben dem schutzstrombedingten Gewichtsverlust noch eine hohe Eigenkorrosionsrate der Magnesiumanode von gut 2 kg/m^2 pro Jahr besteht. Bei größeren Trinkwasserbehältern werden daher mit Vorteil Fremdstromanlagen eingesetzt (Abb. 3.5). Zur Anwendung gelangen in der Regel metalloxidbeschichtete Titananoden (Abb. 3.6). Sie werden an den positiven Pol eines Schutzstromgerätes angeschlossen. Ihr Abtrag ist unbedeutend und gewährleistet eine lange Lebensdauer.

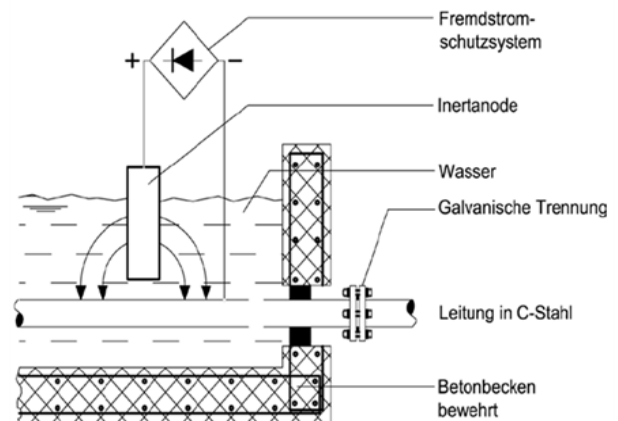


Abb. 3.5 KKS-Fremdstromanlage [1]

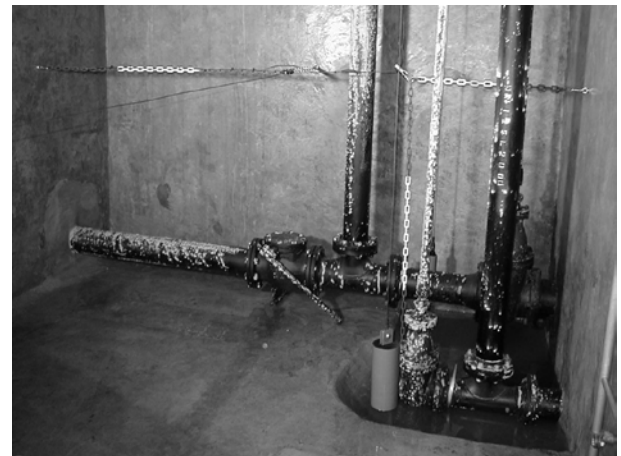


Abb. 3.6 Fremdstromanlage mit Titananodendraht

Grundsätzlich hat der KKS zum Ziel, das Potential der zu schützenden Metalloberflächen unter ihr sogenanntes Schutzpotential abzusenken. Allerdings reicht schon eine geringere Potentialabsenkung, um die Korrosionsgeschwindigkeit deutlich zu reduzieren. Die Wirkung von Makroelementen wird zudem unterbunden. Auf der Oberfläche der geschützten Metalloberflächen läuft die kathodische Teilreaktion unter Bildung von Hydroxidionen ab. Letztere bilden zusammen mit den Calcium- und Hydrogencarbonationen im Trinkwasser Kalkablagerungen. Die Entstehung von Kalk ist an den Stellen mit dem höchsten Schutzstromeintritt am größten, d.h.

dort wo in der Regel zuvor Korrosion aufgetreten ist (Abb. 3.6). Damit sich die Kalkablagerungen nicht störend auswirken, sind die Anodengeometrie und die Schutzstromereinstellungen aufeinander abzustimmen. Der KKS wird auch zur Vorbeugung oder Behandlung von weichen Flecken in Mörtel- oder Betonoberflächen angewandt. Gemäß der Makroelement-Theorie (siehe auch Abschnitt 2.1) sollen dabei die korrosionsverursachenden Potentialdifferenzen aufgehoben, ein Stromaustritt aus der Mörtel- respektive Betonoberfläche und somit die Bildung von neuen Flecken verhindert werden. Bestehende weiche Flecken können aber nicht rückgängig gemacht werden. In der Schweiz sind in den letzten 20 Jahren über 50 Trinkwasserkammern mit KKS ausgerüstet worden. Dabei wurde ein Stopp oder eine starke Verlangsamung des Wachstums von weichen Flecken beobachtet. Die Wirkungsmechanismen sind jedoch noch nicht geklärt und bedürfen weiterer Untersuchungen. Ein entsprechendes Forschungsprojekt läuft zurzeit in der Schweiz. Der Schutzstrombedarf und somit die Stromkosten sind gering. Der Schutz sollte jedoch kontinuierlich erfolgen, was Kontrollen vor Ort oder eine Fernüberwachung notwendig macht. Beim Betonangriff durch weiches Wasser oder kalklösende Kohlensäure ist das Verfahren nicht geeignet.

3.3 Mineralische Beschichtungen

Rein mineralische Beschichtungen entsprechen am besten den natürlichen Umgebungsverhältnissen von Wasser. Wasserzisternen aus der Antike belegen zudem, dass bei geeigneter Mörtelzusammensetzung eine hohe Lebensdauer erreicht werden kann. Moderne Beschichtungssysteme weisen aus verarbeitungstechnischen und qualitativen Gründen teilweise Kunststoffzusätze auf. Damit keine unerwünschten Elemente an das Wasser abgegeben und das Wachstum von Mikroorganismen nicht gefördert werden, müssen gewisse Anforderungen an sämtliche Bestandteile der Systeme erfüllt sein. In der Regel werden dazu die Arbeitsblätter W 270 (Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung) und W 347 (Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung) des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches DVGW herangezogen. Neben den hygienischen Anforderungen sind auch technische Kriterien wichtig. Die Mörtel müssen auf den Zustand des Untergrundes abgestimmt sein. Insbesondere sind die Elastizitätsmoduln miteinander zu vergleichen. Eine hohe Dauerhaftigkeit hängt zudem von der Porosität der Mörtel ab. Gute Systeme weisen Gesamtporositäten von < 10 Vol.-% auf. Entsprechende Anforderungen sind im Arbeitsblatt W 300 des DVGW (Wasserspeicherung - Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Wasserbehältern in der Trinkwasserversorgung) aufgeführt. Die einzelnen Arbeitsschritte sind während der Ausführung zu kontrollieren. Dazu gehören die Prüfung der Untergrundraueheit, der Vor- und Nachbehandlung, der Haftzugfestigkeit und der Porosität. In

der Regel werden heute die Beschichtungen im Trockenstrom- oder Nassstromverfahren gespritzt. In Gebieten mit weichem oder kalklösendem Trinkwasser sind möglicherweise Kunststofffolien respektive –platten (siehe Abschnitt 3.5) oder Auskleidungen aus nichtrostendem Stahl (siehe Abschnitt 3.6) mineralischen Systemen vorzuziehen. Auch bei vorhandenen Makroelementströmen (siehe Abschnitt 2.1) müssen eventuell Alternativen oder zusätzliche Einrichtungen wie KKS-Anlagen (siehe Abschnitt 3.2) in Betracht gezogen werden.

3.4 Organische Beschichtungen

Im Trinkwasserbereich werden strenge Anforderungen an organische Beschichtungen gestellt. So dürfen sie keine Gefahr für die Gesundheit darstellen, keine Veränderung der Zusammensetzung des Wassers verursachen und keine Minderung der geschmacklichen Qualität bewirken. Die Anforderungen sind beispielsweise in der Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Beschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser, der sogenannten Beschichtungsleitlinie, des deutschen Umweltbundesamtes sowie im Arbeitsblatt W 270 des DVGW geregelt. Ein europäisches Akzeptanzsystem für Bauprodukte im Kontakt mit Trinkwasser ist noch im Aufbau. Neben den hygienischen müssen selbstverständlich auch die technischen Anforderungen an den Untergrund (u.a. Sauberkeit, Untergrundfeuchtigkeit und –temperatur) sowie die Applikationsbedingungen bezüglich relativer Luftfeuchtigkeit, Schichtstärke und Fehlstellenfreiheit erfüllt werden. Kunststoffbeschichtungen werden aus obengenannten Gründen selten eingesetzt, allenfalls aus korrosionsschutztechnischen Gründen bei Stahl oder Gusseisen.

3.5 Kunststofffolien und -platten

Als Alternative zu mineralischen Beschichtungssystemen können Kunststofffolien und –platten in Betracht gezogen werden, insbesondere in folgenden Fällen:

- Es liegt weiches, kalklösendes Trinkwasser vor, das den Beton respektive den Mörtel angreift.
- Makroelementströme führen zu weichen Flecken.
- Der bestehende Behälter ist undicht.

Damit keine Veränderung der Zusammensetzung und keine Minderung der geschmacklichen Qualität des Trinkwassers erfolgt, müssen analog der organischen Beschichtungen strenge Anforderungen betreffend Migration und Mikroorganismen erfüllt werden. Außerdem muss durch eine entsprechende Drainagemöglichkeit hinter den Folien/Platten sichergestellt werden, dass von außen in den Behälter eindringendes Wasser oder Kondenswasser kontrolliert abgeführt werden kann. Folien und Platten wurden in den letzten 5 Jahren in zunehmendem Masse eingebaut. Es bestehen Erfahrungswerte seit ca. 20 Jahren. Deren Lieferanten geben zudem bis zu 10 Jahre Garantie auf das Material. Es wird trotzdem empfohlen, direkt bei den Wasserversorgungen Referenzen einzuholen unter Klärung der Aspekte Dichtheit, Einbindung von Mauerdurchführun-

gen, mechanische Belastbarkeit, Reparierbarkeit, Hygiene, Mikrobiologie und Wassergeschmack. Gegenüber der Variante mineralische Beschichtungen besteht der Nachteil, dass die Tragkonstruktion der Kammer nachher nicht mehr direkt eingesehen werden kann. Dafür sind die Bauzeit vergleichsweise kurz und bei den Folien die Baukosten verhältnismäßig günstig. Bei den Platten sind die Baukosten vergleichbar mit den mineralischen Systemen.

3.6 Nichtrostender Stahl

Nur wenige Trinkwasserkammern wurden bisher mit nichtrostendem Stahl (NRST) ausgekleidet. Der Hauptgrund dürften sicherlich die Baukosten sein. Analog zu den Kunststofffolien und -platten sind Auskleidungen mit mindestens 1.5 mm dicken, schweißbaren Blechen aus NRST grundsätzlich eine Alternative zu mineralischen Beschichtungen, insbesondere wenn Probleme bezüglich der Trinkwasserbeschaffenheit, Makroelementströme oder Undichtheit der bestehenden Kammer vorliegen. Migration und Mikrobiologie stellen keine spezifischen Probleme dar. Hingegen muss auch hier sichergestellt werden, dass von außen in den Behälter eindringendes Wasser oder Kondenswasser kontrolliert abgeführt werden kann. Besonders zu beachten ist die spezifische Situation bei den elektrischen Installationen und bei der Begehung der Kammern mit elektrischen Geräten. Als sehr positiv bewertet wird vom Betriebspersonal die Hygiene in optischer und unterhaltstechnischer Sicht. Die Reinigungsintervalle können offensichtlich auf 3 bis 5 Jahre verlängert werden, da der Schmutz schlecht haften soll. Als Vorteil zu erwähnen sind auch die mechanische Widerstandsfähigkeit und der einfache Anschluss an Mauerdurchführungen. Als Nachteile sind die nicht mehr mögliche visuelle Kon-

trolle der Tragstruktur und die Baukosten anzuführen. Im idealen Fall – große Einstiegsöffnungen, wenig Zuschneide- und Schweißarbeiten – liegen die Baukosten in der Größenordnung von mineralischen Beschichtungen. Ist die Einstiegsöffnung aber eher klein und müssen die Bleche aufwändig zugeschnitten werden, steigen die Baukosten jedoch stark an.

3.7 Überblick und Vergleich

Die folgenden Angaben (Tabelle 3.1) wurden direkt bei den Anbietern angefragt und betreffen eine Musterkammer aus Stahlbeton im Schweizer Mittelland mit folgenden Eigenschaften:

- Zugang zur Kammer erfolgt über Rohrkeller und ist nicht erschwert
- Kammer ist gereinigt
- Inhalt 1'000 m³
- Abmessungen L x B x H = 20 m x 10 m x 5 m
- Drei Stützen mit Querschnitt 0.4 m x 0.4 m
- Drucktüre sowie Zulauf- und Entnahmeleitung aus NRST
- Instandgesetzt werden Boden, Stützen und Wände (Oberfläche 524 m²)

Quellenverzeichnis

- [1] Richtlinie C6 der Korrosionskommission der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz, 2010
- [2] Weisungen für elektrische Installationen in Abwasserreinigungsanlagen (WeARA), Eidgenössisches Starkstrominspektorat, 1990

	KKS	Mineralische Beschichtung	Kunststoff-folien	Kunststoff-platten	Auskleidung NRST
Produkt-beispiele	Guldager suicorr	MC-RIM PW Sika -102 HD Vandex Cem-line	NeoVac / Sika-plan WT	Etertub-aqua	
Baukosten ¹⁾	ca. 30 k€	ca. 90 k€	ca. 45 k€	ca. 95k€	≥ 95 k€
Bauzeit	2 Tage	ca. 5 Wochen	1 – 2 Wochen	1 - 2 Wochen	
Garantie	²⁾	In der Regel: 2 Jahre / 5 Jahre ⁶⁾	2 Jahre / 5 Jahre ⁶⁾ 10 Jahre für Material	2 Jahre / 5 Jahre ⁶⁾ 10 Jahre für Material	2 Jahre / 5 Jahre ⁶⁾
Lebensdauer	Theoretisch > 50 Jahre ³⁾ , Erfahrung seit 1994	Theoretisch > 50 Jahre ⁷⁾ seit Antike angewandt	Theoretisch > 50 Jahre, > 15 Jahre Erfahrung	Theoretisch > 50 Jahre, > 20 Jahre Erfahrung	Theoretisch > 50 Jahre, in Bayern ca. 10 Jahre Erfahrung
Unterhalt Reinigung	Jährliche Funktionskontrolle, normale Reinigung	normale Reinigung	normale Reinigung	normale Reinigung	normale Reinigung, verlängertes Intervall
Externe Unterhaltskosten	1 – 2 k €/a	-	-	-	-
Migrationsprüfung	KTW ⁴⁾	W 347 ⁸⁾	KTW ⁴⁾	KTW ⁴⁾	Nicht notwendig
Mikrobiologieprüfung	W 270 ⁵⁾	W 270 ⁵⁾	W 270 ⁵⁾	W 270 ⁵⁾	Nicht notwendig
Lecksystem	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Ja	Ja	Ja
Reparierbarkeit	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

¹⁾ Kostenbasis Schweiz (2012), Umrechnungskurs 1 € = 1.25 CHF

²⁾ Nur zusammen mit Funktionskontrollvertrag

³⁾ Nur Anode

⁴⁾ KTW-Leitlinie, Beschichtungsleitlinie des deutschen Umweltbundesamtes

⁵⁾ DVGW-Arbeitsblatt W 270 Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung

⁶⁾ Norm SIA 118 (CH): 2 Jahre Rügefrist für alle Mängel, 5 Jahre für verdeckte Mängel

⁷⁾ Abhängig von Ausführungsqualität, Wasserbeschaffenheit, Makroelementströmen

⁸⁾ DVGW-Arbeitsblatt W 347 Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung

Weitere Erläuterungen sind in den Abschnitten 3.2 bis 3.6 zu finden.

Tabelle 3.1 Überblick und Vergleich von Instandsetzungsmaßnahmen an einem Mustertrinkwasserbehälter