

In diesem Whitepaper beschreibt BWT die wichtigsten Aspekte rund um das Thema ‚Kalk im Trinkwasser‘. Zentral behandelt werden die Ursachen der Steinbildung sowie Wirkungsweise und der Stand der Technik bei Weichwasseranlagen. Vorgestellt werden zudem die Ergebnisse einer Studie des Battelle-Instituts vom Frühjahr 2010 hinsichtlich der Vorteile einer Enthärtung von Trinkwasser. Ein Auswahl-Tabelle für Weichwasseranlagen runden das Whitepaper ab.

Zum Stand der Technik bei Weichwasseranlagen

(November 2010)

Hartes, kalkhaltiges Wasser kann die Ursache von vielen Problemen in einem Gebäude sein. Das beginnt in sichtbarer Form als wenig ästhetischer Rückstand auf der Glasdusche, der Sanitärkeramik, im Kaffeevollautomaten, Wasserkocher usw. Schwerer wiegt, dass Kalk im Leitungsnetz zu erheblichen Schäden führen kann. Neuere Untersuchungen fanden zudem im Kalkschlamm von Warmwasserspeichern erhöhte Legionellen-Konzentrationen – ein ernst zu nehmendes hygienisches Risiko.

Auch die Energieeffizienz leidet: Mit zunehmender Steinbildung kommt es zur Behinderung der Wärmeübertragung.

Steinbildung

Die Neigung zur Steinbildung wird primär von der Konzentration an den Härtebildnern Calcium und Magnesium im Wasser beeinflusst. Umgangssprachlich wird auch vom Kalkgehalt eines Wassers gesprochen. Wenn Trinkwasser im Gebäude ankommt, befindet es sich in der Regel im sog. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht (s. weiter unten). In diesem Zustand findet weder eine Auflösung noch eine Ausfällung von Kalk statt. Zu Kalkablagerungen (Steinbildung, Abscheidung von CaCO_3) kann es immer dann kommen, wenn Wasser erwärmt wird, das Erdalkali- (Magnesium, Calcium) und Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^-) enthält. Mit steigender Temperatur nimmt die Tendenz der Steinbildung zu. Entscheidend für das Ausmaß der Steinbildung sind die Wasserbeschaffenheit und die Betriebsbedingungen.

Man unterscheidet drei Härtebereiche: Eingeteilt in die Härteklassen 1 bis 3, erhalten 30 bis 40 Prozent der deutschen Haushalte hartes bis sehr hartes Wasser:

- Härtebereich I unter 8,4°dH (weiches Wasser)
- Härtebereich II 8,4 bis 14°dH (mittelhartes Wasser)
- Härtebereich III über 14°dH (hartes Wasser)



Unter rein technischen Aspekten ist ab 12 bis 14°dH ein Kalkschutz empfehlenswert. Vielfach wird jedoch eine Enthärtung des Wassers auf Werte des Härtebereichs I als eine deutliche Steigerung der Lebensqualität empfunden. Begründet wird dies durch das weichere Empfinden beim Duschen und die Minimierung des Putzaufwands. Eine Enthärtung auch im Härtebereich II und III wird daher oft positiv bewertet.

Die VDI 2035 Blatt 1 („Steinbildung in Trinkwassererwärmungs- und Warmwasser-Heizungsanlagen“) beschreibt, warum wir heute stärker als zuvor mit dem Thema Kalk zu tun haben:

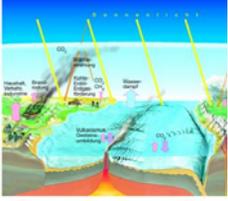
- Ein zunehmendes Steinbildungsrisiko ist mit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung bei gleichzeitiger Entwicklung der Heiztechnik zu kompakteren Wärmeübertragungsflächen zu verzeichnen
- Verschärfung der Vorschriften zur Vermeidung des Legionellen-Infektionsrisikos in Richtung höherer Trinkwarmwassertemperaturen (erhöhter Kalkausfall).

Wichtig zu wissen für den Betreiber wie für den Installateur: Schäden durch Kalkablagerungen können auftreten, wenn Auslegung/Planung, konstruktive Gestaltung, Betriebsbedingungen und Wasserbeschaffenheit nicht aufeinander abgestimmt sind.

Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und seine Auswirkungen

Das KKG (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht) gibt an, ob ein Wasser einen kalkabscheidenden oder einen kalkauflösenden Charakter besitzt.

Der Wasserkreislauf im Bild 2 zeigt, wie der Kalk ins Wasser kommt.

<p>Der Wasserkreislauf</p> <p>Wie kommt der Kalk ins Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei Verbrennungsvorgängen entstehen Treibhausgase CO_2, SO_2, NO_2, wie z.B. CO_2 • Dieses verbindet sich mit dem verdunsteten Wasser in der Atmosphäre zu Kohlensäure $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ • Die Kohlensäure ist mit verantwortlich für den „sauren Regen“ (pH-Wert ca. 4,5 - 5,5) • Das mit Kohlensäure angereicherte Wasser hat kalklösende Eigenschaften.  <p> <table border="0"> <tr> <td>Kalk</td> <td>Kohlensäure</td> <td>→</td> <td>in Wasser gelöster Kalk</td> </tr> <tr> <td>CaCO_3</td> <td>$+ \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$</td> <td></td> <td>$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$</td> </tr> </table> </p>	Kalk	Kohlensäure	→	in Wasser gelöster Kalk	CaCO_3	$+ \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$		$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	<p>Bild 2: So kommt der Kalk ins Trinkwasser - der Wasserkreislauf.</p>
Kalk	Kohlensäure	→	in Wasser gelöster Kalk						
CaCO_3	$+ \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$		$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$						

Regenwasser mit angereicherter Kohlensäure kann im Boden hauptsächlich Kalk und Gips (Calciumsulfat) lösen und gewinnt dadurch je nach Bodenbeschaffenheit bzw. Grundwasserleiter eine gewisse Menge an Härte.

Grundwasser aus gipshaltigen Schichten können im Extremfall bis zu 78°dH enthalten. Der überwiegende Teil der Wasserhärte entsteht jedoch normalerweise als Carbonathärte durch Auflösung von Kalk (CaCO_3) bzw. Dolomit (Ca-Mg-Mischcarbonat), durch Kohlensäure unter Bildung löslicher Hydrogencarbonate (HCO_3^-). Das Kohlenstoffdioxid (CO_2) stammt überwiegend aus der Atmung der Organismen im Boden – wo vor allem der mikrobielle Abbau organischer Substanzen erhöhte CO_2 -Konzentrationen liefert:

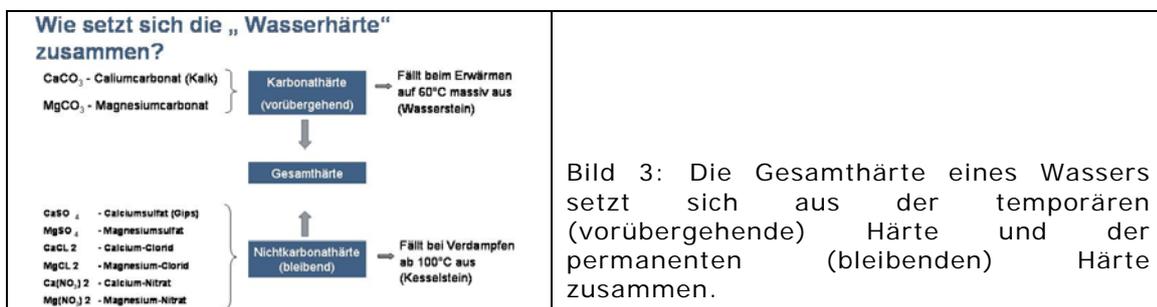


Die „Härte“ (Kalkgehalt) wird oft unterschiedlich bezeichnet. Historisch gesehen geht der Begriff auf das Tastgefühl beim Waschvorgang zurück. Hartes Wasser bildet mit den in Seifen enthaltenen Salzen der Carbonsäure schwerlösliche Kalkseifen. Die Waschlösung fühlt sich dadurch „hart“ an. Sind keine oder wenig Härtebildner vorhanden, überwiegt das „weiche“ Tastgefühl der Lauge.

Die Gesamthärte eines Wassers setzt sich aus der temporären (vorübergehende) Härte und der permanenten (bleibenden) Härte zusammen. Die Gesamthärte ist eine Angabe der Konzentration von Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} und Ba^{2+} (Erdalkali)-Ionen. Wegen der üblicherweise geringen Konzentration werden die letztgenannten Ionen in der Regel vernachlässigt. Chemisch wird die Wasserhärte in mmol/l angegeben. Die gebräuchlichste Bezeichnung ist in Deutschland jedoch „Grad deutscher Härte = °dH“.

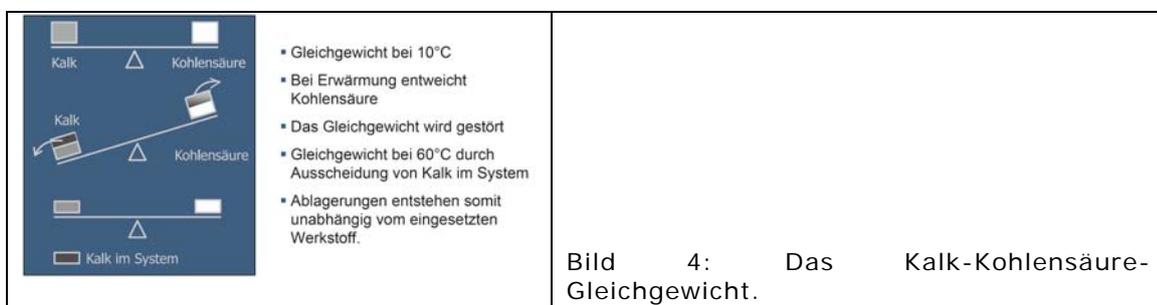
Gesamthärte = temporäre Härte + permanente Härte

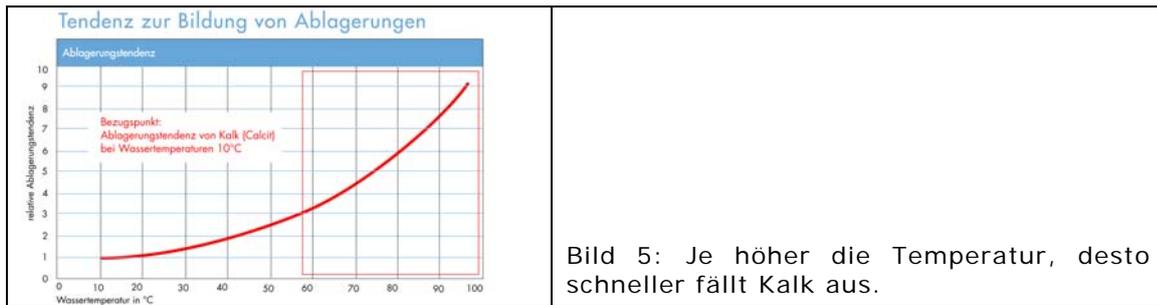
Gesamthärte = Carbonathärte + Nichtcarbonathärte



1°dH-Härte entspricht per Definition 10 mg CaO pro Liter. Da der Kalk als Calciumcarbonat und nicht als Calciumoxid ausfällt gilt: 1°dH in einem Liter Wasser = 17,8 mg/l Calciumcarbonat. Enthält ein Liter Wasser 10°dH und diese Härte fällt aus, entstehen demnach 178 mg/l „Stein“.

Mit steigendem Wert für die Carbonathärte (vorübergehende Härte) steigt der Anteil der zugehörigen freien Kohlensäure überproportional an. Damit die Carbonathärte in Lösung bleibt, ist ein Anteil freier zugehöriger Kohlensäure notwendig.





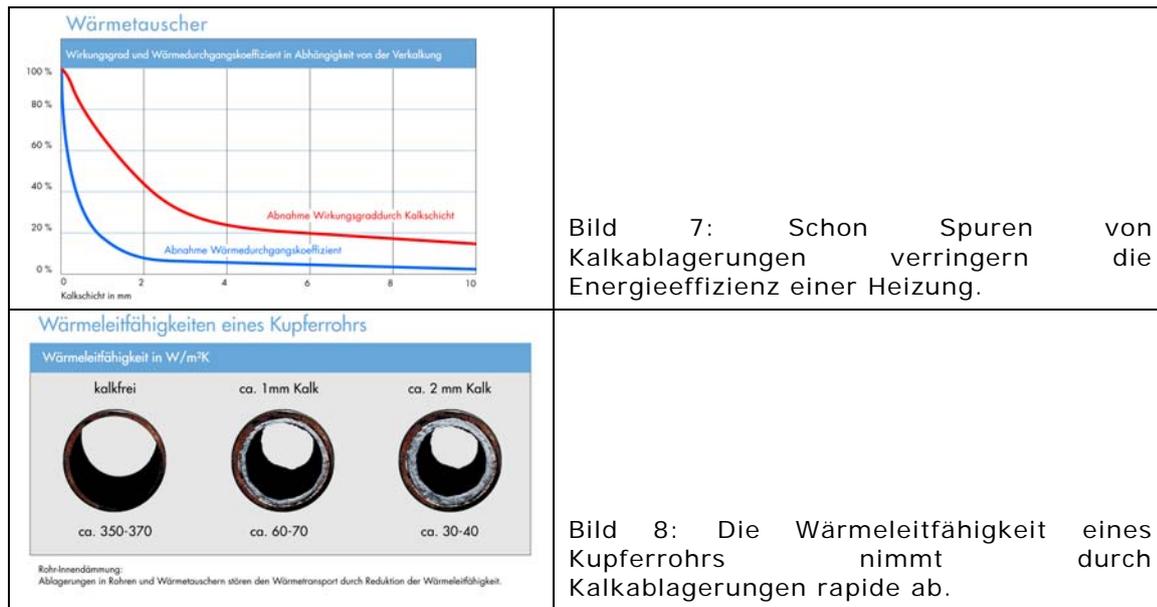
Nicht nur eine Temperaturerhöhung, auch Verwirbelungen oder umgekehrt eine Stagnation des Wassers verändern das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht des Wassers in ungünstiger Weise. In beiden Fällen kann es als nachteilige Konsequenz zu Kalkabscheidungen kommen: Die Rohrleitungen wachsen langsam zu, der erforderliche Versorgungsquerschnitt der Rohrleitungen ist nicht mehr gegeben, es kommt zunehmend zu einem Druckabfall. Hinzu kommen verkalkte Warmwasserbereiter, verstopfte Perlatoren, Verkalkung der Oberflächen im Badbereich etc. – hier sind die Hausfrauen die besten Verbündeten des Installateurs, wenn es um die Installation eines geeigneten Kalkschutzes geht. Bei den technischen Wässern kommt es darüber hinaus durch die Verdunstung des Wassers zu einer Aufsalzung.

Übrigens: Gleichgültig, welche Materialien verwendet werden: Rohrleitungen verkalken unabhängig vom Rohrleitungswerkstoff, selbstverständlich auch Kunststoffrohre! Zwar trägt die Rauigkeit einer Rohrleitung dazu bei, dass sich Kalkablagerungen leichter festsetzen. Aber das gilt auch für jede Kunststoffrohrleitung spätestens dann, wenn Muffenübergänge vorliegen, die gepresst, geklebt oder geschweißt sind.



Verfahren zur Vermeidung von Kalkablagerungen/Steinbildung

Die Besonderheiten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes wurden gerade beschrieben. Kalkablagerungen sind für manche Prozesse (z.B. Heizungen, Dampferzeuger, Kühltürme) aus energetischen Gründen und für die Wirksamkeit der Systeme zu vermeiden. Mit hartem Wasser wird man aber auch im Haushalt immer wieder auf eine harte Probe gestellt.



Wer einmal aus einem Hartwassergebiet in einem Weichwassergebiet zu Besuch war, wird ein weiches Wasser als herrlich auf Haut und Haar empfinden. Das ist der Grund, warum immer mehr Menschen sich für die Kalkvermeidung interessieren.

Zum Erreichen dieses Zieles gibt es unterschiedliche Verfahren:

1. Ionenaustauschertechnik
2. Polyphosphatdosierung
3. geprüfte alternative Kalkschutzverfahren
4. Membranverfahren (Nanofiltration).

Kalkschutz für alle Bedürfnisse und das Gefühl von weichem Wasser erzielt man durch das Ionenaustauschverfahren. Diese Technik ist im folgenden Thema dieses Whitepapers.

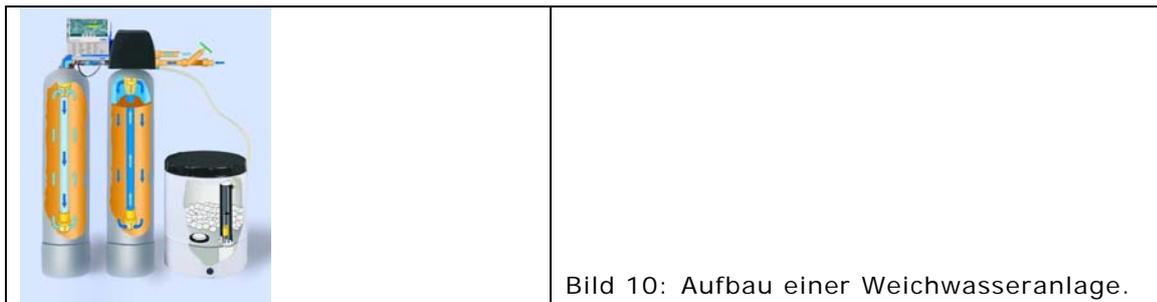
Enthärtung auf Basis der Ionenaustauschertechnik

Dieses Verfahren findet vor allem im Bereich der Haus- und Gebäudetechnik und für industrielle Anwendungen seinen Einsatz. Bei der Wasserenthärtung werden durch ein spezielles Material (Ionenaustauscher) die Härtebildner Calcium und Magnesium gegen Natrium getauscht.



Jeder Liter Ionenaustauscherharz hat eine festgelegte Austauschkapazität, d.h. es können dem Wasser definierte Mengen an Härte entnommen werden und es werden ebenso definierte Mengen an Natrium dem Wasser zugefügt. Pro Grad deutscher Härte, das dem Wasser entnommen wird, erhöht sich der Natriumgehalt um 8,2 mg/l. Das Wasser wird durch den Austausch der Härtebildner Calcium- und Magnesium-Ionen gegen Natrium-Ionen weich. Die Menge der gelösten Salze bleibt bei diesem Austausch unverändert. Wird das Wasser als Trinkwasser verwendet, muss der Grenzwert für den Natriumgehalt von 200 mg/l (Trinkwasserverordnung) beachtet werden (s. Text im Kasten).

Eine Weichwasseranlage besteht aus einer oder mehreren Harzflaschen mit dem Ionenaustauschermaterial, einem Steuerkopf mit dem verschiedene Ventilstellungen ermöglicht werden, einer Steuereinheit und einem Solebehälter.



Der Enthärtungsprozess läuft stets nach dem gleichen Schema ab:

Schritt 1

Das Ionenaustauscherharz befindet sich in der ‚Natriumform‘, d.h. es ist regeneriert (frisch).

Schritt 2

Durchläuft das Wasser das Ionenaustauscherharz, absorbiert das Harz die Calcium- und Magnesium-Ionen; gleichzeitig wird eine adäquate Menge Natrium ins Wasser abgegeben (Ionenaustausch).

Schritt 3

Nach dem Verbrauch der Na^+ -Ionen ist das Ionenaustauscherharz mit Calcium- und Magnesium-Ionen gesättigt.

Schritt 4 (Regeneration, Wiederertüchtigung)

Die im Solebehälter bereitete Natrium-Lösung (aus Kochsalz $[\text{NaCl}]$ und Wasser) wird anstelle des harten Wassers über das Ionenaustauscherharz geführt. Durch den Überschuss an Natrium-Ionen wird das Harz wieder in die ‚Natriumform‘ gebracht, d.h. das Ionenaustauscherharz absorbiert nun die Natrium-Ionen und gibt gleichzeitig die Calcium- und Magnesium-Ionen ins zu entsorgende Spülwasser ab.

Schritt 5

Das Ionenaustauscherharz (Harzbett) befindet sich in der ‚Natriumform‘. Der Prozess kann wieder mit Schritt 1 beginnen, d.h. der Zyklus beginnt aufs Neue.

Der Steuerkopf der Weichwasseranlage wird über die Steuereinheit so eingestellt, dass in der Stellung ‚Betrieb‘ das zu behandelnde Wasser durch die Harzflaschen geführt wird. Bei der Stellung ‚Regeneration‘ wird das Wasser, das über einen Injektor die Natriumlösung aus dem Solebehälter ansaugt, durch die Harzsäule in den Ablauf geleitet. So gelangt der Kalk, der durch das Natrium verdrängt wird, aus dem Trinkwasser ins zu entsorgende Spülwasser. Nachdem eine definierte Menge Natriumlösung (= Sole) durch die Harzsäule geführt wurde, wird die Harzsäule mit Wasser gespült. Dieser Vorgang – Betrieb/Regeneration, Spülen/Betrieb – läuft automatisch ab.

Da Weichwasseranlagen immer nur eine gewisse Menge Weichwasser produzieren können (abhängig von der Ionenaustauschermenge und der Kapazität) und dann regenerieren (also wieder ertüchtigt werden müssen), gibt es unterschiedliche Anlagenvarianten.

Zeitgesteuerte Weichwasseranlagen als Einsäuler

Über eine Zeitschaltuhr wird ein fester Zeitpunkt (z.B. jeder dritte Tag, nachts um 2.00 Uhr) für die Regeneration eingegeben. Diese Anlagen finden ihre Anwendung im technischen Bereich (z.B. Heizungswasseraufbereitung).

Vorteil:

- es handelt sich um eine preiswerte, einfache Anlagentechnik

Nachteil:

- während der Regenerationsphase (zwischen 20 min und 2 h) steht kein Weichwasser zur Verfügung
- wird mehr Wasser innerhalb des Zyklus verbraucht, liefert die Anlage Hartwasser
- wird weniger Wasser innerhalb des Zyklus verbraucht, werden unnötig Salz und Spülwasser verbraucht

Wassermengengesteuerte Weichwasseranlagen als Einsäuler

Die verfügbare Wassermenge zwischen zwei Regenerationszeitpunkten und die dabei ausgetauschte Wasserhärte ergeben die Kapazität einer Anlage.

Um die Kapazität vergleichbar zu machen, werden in der Regel folgende Angaben gemacht: Kapazität = $20^{\circ}\text{dH} \times \text{m}^3$.

Das bedeutet:

- wird Wasser mit der Härte 20°dH auf $<0,1^{\circ}\text{dH}$ enthärtet, kann die Anlage 1 m^3 Weichwasser produzieren
- wird Wasser mit der Härte 5°dH auf $<0,1^{\circ}\text{dH}$ enthärtet, kann die Anlage 4 m^3 Weichwasser produzieren.

Bei wassermengengesteuerten Anlagen befindet sich im Weichwasserausgang ein Wasserzähler. Dieser Wasserzähler löst, wenn die eingestellte Weichwassermenge abgezählt ist, eine Regeneration aus. Diese Anlagentechnik findet ihre Anwendung im technischen Bereich.

Vorteil:

- es handelt sich um eine preiswerte, einfache Anlagentechnik
- es wird nur Salz und Spülwasser verbraucht, wenn die eingestellte Weichwassermenge entnommen wurde.

Nachteil:

- während der Regenerationsphase (zwischen 20 min und 2 h) steht kein Weichwasser zur Verfügung.

Weichwasser-Pendelanlagen (Doppelsäuler)

Hierbei handelt es sich um Weichwasseranlagen mit zwei gleich großen Enthärtersäulen, die im Pendelbetrieb arbeiten. Ist die eingestellte Weichwassermenge von Säule 1 entnommen (Messung über Wasserzähler), wird automatisch auf die im Stand-by-Modus stehende 2. Säule umgeschaltet. Diese Säule übernimmt dann den Betrieb, während die andere Säule in den Regenerationsmodus schaltet.

Diese Anlagen sorgen für Weichwasser rund um die Uhr; der Salz- und Spülwasserverbrauch hängt vom Weichwasserbedarf ab. Solche Anlagen finden sich im technischen Bereich (Einsatz vor Dampferzeugern, Kühlwasser, Klimawasser usw.).

Die drei genannten Anlagenvarianten werden als ‚Industrieenthärter‘ bezeichnet. Stammt das Einspeisewasser (Hartwasser) aus dem Trinkwassersystem, muss gemäß DIN 1988 Teil 4 bzw. EN 1717 eine Systemtrennung vorgenommen werden.

Wichtig: Da ‚Industrieenthärter‘ nicht eigensicher sind, ist das den Enthärter verlassende Wasser kein Trinkwasser mehr.

Trinkwasserenthärter

Gemäß DIN 1988 Teil 2 und Teil 7 dürfen in Trinkwassersystemen nur Enthärtungsanlagen mit dem DIN DVGW-Prüfzeichen (Prüfgrundlage DIN EN 14743) eingebaut werden. Diese Weichwasseranlagen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- maximaler Druckverlust bei Nenndurchfluss 1 bar
- PN 10 (Nenndruck)
- zusätzliche Desinfektion des Austauschharzes bei jeder Regeneration
- der mengen- oder qualitätsabhängigen Steuerung ist eine Zeitsteuerung überlagert (vier Tage); die Kapazität der Anlagen ist so klein zu halten, dass sie im Zeitraum von vier Tagen erschöpft ist
- die Anlagen dürfen nur mit ‚Sparbesalzung‘ betrieben werden
- uvm.

Moderne Weichwasseranlagen sind noch sparsamer und umweltfreundlicher. Die DVGW-Prüfungen beinhalten vor allem auch sehr strenge hygienische Kontrollen (z.B. Desinfektionsleistung bei verkeimten Ionenaustauschersäulen) bzw. hygienische Vorgaben für die eingesetzten Materialien.

Ein im Ionenaustauschverfahren enthärtetes Wasser enthält nur noch Spuren von Calcium- und Magnesium-Ionen. Deshalb wird im Trinkwasserbereich durch Vermischen mit nicht enthärtetem Wasser eine Härte von 4 bis 8°dH eingestellt. So ist eine ausreichende Versorgung der Hausbewohner mit Mineralstoffen gewährleistet.

Trinkwasser-Einsäulenenthärter mit Präzisionsbesalzung und kapazitätsbedarfsabhängiger Steuerung

An der Steuerung dieser Weichwasseranlage lassen sich unterschiedliche Kapazitäten einstellen. Die Anlage kann so auf den Wasserverbrauch bzw. die vorliegende Wasserhärte der Benutzer angepasst werden. Erwähnenswert ist die intelligente, mengenabhängige variable Regeneration. Bei der Inbetriebnahme wird der verfügbare Weichwasservorrat in Abhängigkeit der Rohwasserhärte eingegeben. Die Weichwasseranlage prüft zu einem frei wählbaren Zeitpunkt (z.B. nachts um 2.00 Uhr), ob der verbliebene Weichwasservorrat noch für den nächsten Tag ausreicht. Ist dies nicht der Fall, wird die Anlage entsprechend dem prozentualen Verbrauch (z.B. 70 %) mit nur 70 % des Salzverbrauches regeneriert.

Diese Regenerationsweise ist möglich, da ein Präzisionssolemesser die benötigte Solemenge exakt zumessen kann. Die Präzisionsbesatzung und die variable Regeneration reduzieren den Verbrauch an Regeneriermittel und Spülwasser auf das technisch erforderliche Minimum.

Trinkwasser-Pendelenthärter mit alternierender Fahrweise

Diese Anlage funktioniert nach dem klassischen Ionenaustauschverfahren mit zwei separaten Enthärtersäulen. Üblicherweise wird eine Säule automatisch regeneriert, während die andere in Betrieb ist. Bei sehr geringer Wasserentnahme kann es aber vorkommen, dass das Wasser lange in der bereitstehenden Säule verweilt.

Um die Standzeiten in den Enthärtersäulen signifikant zu verkürzen, wurde die alternierende Betriebsweise für Duplex-Enthärter entwickelt: Alternierend bedeutet zwischen zwei Zuständen hin und her schwankend. Bei dieser Betriebsweise wird in kurzen Intervallen jede Säule mikroprozessorüberwacht separat angesteuert. Das zu enthärtende Wasser wird dadurch im Wechsel über beide Säulen geführt. Sobald die vorgegebene Restkapazität erreicht ist, übernimmt die eine Säule den Betrieb, während die andere Säule in den Regenerationsmodus schaltet. Dadurch steht das Wasser nie lange in einer Säule, sondern ist immer in Bewegung und bleibt hygienisch frisch.

Die Entwickler konnten mit Hilfe dieses Kurzzeit-Wechselbetriebs die bislang kürzeste Standzeit realisieren – und das verschafft maximale hygienische Sicherheit. Selbstverständlich verfügt die Anlage zudem über eine separate Hygieneschutzvorrichtung, die während der Regenerationszeit die Enthärtersäulen desinfiziert.

Bei Inbetriebnahme wird lediglich die örtliche Wasserhärte eingegeben, den Rest übernimmt die mikroprozessorgesteuerte Elektronik der Anlage. Während des Betriebs können jederzeit alle relevanten Daten - wie z.B. Restkapazität und Durchflussmenge - abgefragt werden. Die automatische Regeneration wurde soweit perfektioniert, dass die Geräte besonders salzarm arbeiten und wenig Spülwasser verbrauchen.

Erhöhung des Natriumgehalts

Durch den Austausch der Calcium- und Magnesium-Ionen gegen Natrium-Ionen steigt zwangsläufig der Natriumgehalt im Trinkwasser. Laut Trinkwasserverordnung ist der Gehalt an Natrium auf 200 mg/l beschränkt. Wird 1°dH aus dem Wasser entfernt, wird im Gegenzug der Natriumgehalt um 8,2 mg/l erhöht. Unter der Voraussetzung, dass kein Natrium im unbehandelten Wasser enthalten ist, kann aufgrund dieser gesetzlichen Beschränkung Trinkwasser nicht mehr als um ca. 24°dH enthärtet werden. Meist enthält bereits das Rohwasser Natrium. Dieser Grundgehalt muss von den 200 mg/l der gesetzlichen Beschränkung abgezogen werden, um den maximal möglichen Grad der Enthärtung zu ermitteln.

Einerseits spielen Natrium-Ionen eine wichtige Rolle bei der Entstehung und Weiterleitung von ‚Erregung‘ in Nervenzellen, andererseits steht es aber nach wie vor im Verdacht, ein Risikofaktor bei Bluthochdruck zu sein. Tatsächlich kann eine natriumreduzierte Ernährung bei kochsalzempfindlichen Menschen zu einer Senkung des Bluthochdrucks beitragen. Es gibt jedoch auch viele Menschen, die auf eine solche Maßnahme nicht ansprechen. Im menschlichen Körper sind bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von 70 kg etwa 100 g Natrium als Natrium-Ionen enthalten. Der Mensch sollte pro Tag etwa 1 bis 3 g Natrium (entspricht etwa 5 g Natriumchlorid) zu sich nehmen. Gemessen am Grenzwert entspricht dies mindestens 5 Liter Trinkwasser. Kochsalz ist in den meisten Lebensmitteln bereits in großer Menge enthalten. Menschen, die sich natriumarm ernähren, können auf kochsalzhaltige Lebensmittel verzichten. Trinkwasser steht ihnen jedoch nur zur Verfügung, wie es am Zapfhahn geliefert wird. Daher muss es auch für empfindliche Menschen uneingeschränkt genießbar sein.

ANHANG

(1) Ergebnisse einer Studie des Battelle-Instituts vom Frühjahr 2010 hinsichtlich der Vorteile einer Enthärtung von Trinkwasser.

(2) Auswahltabelle für Trinkwasser-Enthärter der BWT Wassertechnik GmbH, Schriesheim.

FINAL REPORT STUDY ON BENEFITS OF REMOVAL OF WATER HARDNESS (CALCIUM AND MAGNESIUM IONS) FROM A WATER SUPPLY

By
D. D. Paul, V.V. Gadkari, D.P. Evers, M.E. Goshe, and
D.A. Thornton

Battelle Memorial Institute
505 King Avenue
Columbus, OH 43201

Prepared for
Water Quality Association
4151 Naperville Road
Lisle, Illinois 60532-1088

Agreement No.OP53257R1



Executive Summary

This study tested devices fed with softened and unsoftened water under controlled laboratory conditions designed to accelerate the water side scaling in the device and quantify the performance efficiency. The project specifically focused on efficiency improvements in household water heaters from use of softened water, and the subsequent effect on performance of fixtures, such as low flow showerheads and faucets, and appliances, such as laundry washers and dishwashers. For this study, Battelle tested 30 water heaters supplied by WQA over a 90-day period using a Battelle-developed and WQA approved test protocol. Battelle simultaneously studied the effect of water hardness on performance of faucets, low-flow showerheads, dishwashers, and laundry washers. Using the empirical data generated from the water heater testing and the effect on performance of fixtures and appliances, Battelle developed a differential carbon footprint assessment for homes using unsoftened water vs. softened water.

Water Heater Results

Battelle set up and tested ten storage type gas water heaters, ten storage type electric water heaters, and ten instantaneous gas water heaters with the following specifications using an accelerated scaling methodology developed at Battelle.

- Gas Water Heaters (10), 40 gal, 38,000 Btu/h burners
- Electric Water Heaters (10), 40 gal, 4500 W heating elements
- Tankless Gas Water Heaters (10), 199,000 Btu/h burners

Five of each type of device were tested without any preconditioning of the water supply, and the other five were tested using a water softener to remove hardness constituents from the water supply. Five units were chosen for each of the groupings in order to be able to calculate 95 percent confidence intervals for the results.

At the start of the test and at approximately one week intervals, the thermal efficiency of each water heater was measured to determine the change in efficiency as water side scale built up in each water heater. Each water heater was instrumented to measure the inlet and outlet water temperature at 15-second intervals, the amount of hot water generated, and the amount of energy (gas or electric) used to produce the hot water. These data were used to calculate the average thermal efficiency of the water heater.

In summary, the electric and gas storage water heaters and the instantaneous gas water heaters on soft water performed well throughout the entire testing period. Although the pressure regulators and needle valves were tweaked throughout the testing to maintain constant testing conditions, all of the water heaters on soft water required minimal attention because the conditions were very stable. This is reflected in the efficiency data for these units that show the efficiency remained essentially constant over the duration of the testing with the variations being within the experimental error of the instrumentation and testing protocol. Overall, the softened water did a good job of minimizing scale buildup in the water heaters.

In contrast, none of the electric or gas storage water heaters or the instantaneous gas water heaters on unsoftened water made it through the entire testing period because the outlet piping system consisting of one-half inch copper pipe, a needle valve, and a solenoid valve became clogged with scale buildup. Although the pressure regulators and needle valves were tweaked throughout the testing to try to maintain constant testing conditions, all of the water heaters on unsoftened water were removed from the testing at some point due to the inability to maintain sufficient flow.

Table ES-1. Summary of Results for Water Heaters

Water Heater Type	Water Supply	Average Thermal Efficiency, (%)		Equivalent Field Service (Years)	Average Annual Scale Accumulation ¹ (grams/year)	Carbon Footprint ² (kg CO ₂ /gal hot water)
		Test Start	Test End			
Instantaneous Gas	Unsoftened	80	72 ³	1.6	NA	0.052
	Softened	80	80	1.6	NA	0.050
Gas Storage	Unsoftened	70.4	67.4	2.0	528	0.066
	Softened	70.4	70.4	2.25	7	0.056
Electric Storage	Unsoftened	99.5	99.5	1.25	907	Not Determined
	Softened	99.3	99.3	1.25	14	Not Determined

Notes: ¹ The submerged heating element in an electric water heater operates at very high temperatures which results in a high rate of scale buildup in electric water heater when compared to a gas water heater.
² Average over 15 years Equivalent Life.
³ Deliming or Cleaning was performed at this point.

A summary of the results, discussed in the following paragraphs, is provided in Table ES-1. The instantaneous water heaters on unsoftened water had to be delimed at 1.6 years of equivalent field service, and the average efficiency of these units dropped from 80 percent at the start of the test to 72 percent when they were delimed. After deliming, the average efficiency of these units increased to about 77 percent, but was still below the 80 percent starting efficiency. The cost implications of these findings are addressed in this report.

The average efficiency of the gas storage water heaters on unsoftened water dropped from 70.4 percent at the start of the test to 67.4 percent at two years equivalent field service. These data were used to derive equations to predict the efficiency of gas storage water heaters as a function of water hardness and daily household hot water usage. The average rate of scale buildup in the gas storage water heaters on unsoftened water was about 528 gm/yr (1.16 lb/yr). The average rate of scale buildup in the gas storage water heaters on soft water was about 7 gm/yr (0.01 lb/yr), which is almost negligible.

The electric storage water heaters on both softened and unsoftened water were able to maintain a constant efficiency throughout the entire test period because the heating elements were completely submerged in the water. However, the life of the heating element in unsoftened water is expected to be shortened due to scale buildup increasing the operating temperature of the element. The average rate of scale buildup in the electric storage water heaters on unsoftened

water was about 907 g/yr (2.00 lb/yr). The average rate of scale buildup in the electric storage water heaters on soft water was about 14 g/yr (0.03 lb/yr), which is almost negligible.

Fixtures and Appliances

Ten low flow showerheads were installed on the hot water supply coming from the instantaneous gas water heaters; five were tested on unsoftened water and five were tested using softened water. The low flow showerheads on unsoftened water were removed from testing as they clogged up to the point of not allowing adjustment to a 1.25 gpm flow rate at any time during the test. All of the low flow showerheads on softened water made it through the testing without any problems. However, the low flow showerheads on unsoftened water clogged after an average of 3,203 gallons of water flow through them. At the end of testing, the low flow showerheads were disassembled and the amount of scale buildup was documented with photographs of the components.

Ten low flow faucets were also installed on the hot water supply coming from the instantaneous gas water heaters; five were tested on unsoftened water and five were tested using softened water. The low flow faucets on unsoftened water were also removed from testing as they clogged up to the point of not allowing adjustment to a 1.25 gpm flow rate at any time during the test. All of the low flow faucets on softened water made it through the testing without any problems. However, the low flow faucets on unsoftened water clogged after the equivalent of 19 days of water flow through the faucets assuming an average household uses about 50 gallons of hot water per day. The collection of scale on the faucets using unsoftened water appears to be the result of scale breaking loose from upstream portions of the plumbing and being trapped in the strainers.

Six dishwashers (Kitchenaid) and laundry washers (General Electric) were purchased to test the effect of unsoftened water on the performance of the appliances. The electronic controls for this equipment were integrated into the automated data acquisition and control system designed for the testing. The wash and dry cycles of the dishwashers and the wash cycles of the laundry washers were controlled automatically with the units going through eight cycles every 24 hours. The clothes washers were loaded with 7 lbs of restaurant hand towels. The dishwashers were loaded with eight place settings of dishes and flatware. At the end of the 30 days of testing, the dishwashers and clothes washers were examined before a teardown analysis was initiated. The units using softened water were almost completely free of any water scale buildup. In contrast, the units using unsoftened water (26 grains per gallon) had noticeable water scale buildup on all of the interior surfaces after only 30 days of testing. Although both of the dishwashers and clothes washers completed the same number of wash cycles (240), the appearance of the inside of the units using unsoftened water shows that it needs to be delimed and cleaned due to the buildup of scale and deposits. On the other hand, the units using soft water look like they could be cleaned up to look like new with just a quick wipe down.

Carbon Footprint

Battelle assessed that carbon footprint of the water heaters by evaluating the energy consumption within the Home and the resulting greenhouse gas emissions. The results parallel those for the

energy consumption, in that where there are energy efficiency differences there are also carbon footprint differences. For the storage type gas water heaters, there was a reduction in carbon footprint of 14.8% over a fifteen year water heater service life with softened water compared to 26 gpg hard water, when considering both the natural gas used for water heating and the electricity used for water softening. For the instantaneous water heaters, there was a reduction in carbon footprint of 4.4% over a fifteen year water heater service life, when considering both the natural gas used for water heating and the electricity used for water softening.

Conclusions

For gas storage and instantaneous water heaters, the use of a water softener to eliminate or minimize the scale forming compounds in water will result in the efficiency of the water heater remaining constant over the life of the unit. In contrast, gas storage and instantaneous water heaters using unsoftened water had a noticeable decrease in efficiency over the testing period resulting in higher natural gas use. This natural gas savings associated with the use of softened water will lead to direct energy and economic savings, as seen in the summary results in Table ES-2. In addition, because of the need to have the instantaneous water heater delimed or cleaned periodically, the economic savings can lead to recovery of the cost of a water softener and operating supplies in a period as short as a year, if the inlet water is sufficiently hard. Further, there are environmental benefits to the use of a water softener: the lower use of natural gas leads to reductions in the carbon footprint which are related to the decrease in total energy consumption. The increase in total energy consumption (as a result of a reduction in heat transfer efficiency) is related to the hardness: higher water hardness will lead to greater energy consumption without the use of water softener, and consequently greater energy costs.

Table ES-2. Estimated Savings for Gas-fired Water Heaters using Softened Water Over 15 years Life

Cost Elements	Water Hardness, grains per gallon						
	0	5	10	15	20	25	30
Instantaneous Gas Water Heaters							
Percent Life Cycle Energy Cost Savings,% ¹	NA	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Percent Total Life Cycle Cost Savings, % ¹	NA	14.0	22.5	31.2	39.6	48.4	57.0
Estimated Usage before Deliming Required, years ²	NA	8.4	4.1	2.7	2.0	1.6	1.4
Gas Storage Water Heaters							
Life Cycle Operating Efficiency Reduction From Baseline, % ³	0.0	4.3	8.5	12.8	17.0	21.3	25.5
Percent Life Cycle Energy Cost Savings, % ⁴	NA	3.1	6.6	10.3	14.5	19.0	24.2

Notes: ¹ Derived from Table 5-2

² Derived from Table 5-1

³ Derived from Table 5-3

⁴ Derived from Table 5-4

Electric storage water heaters did not record any difference in the electricity consumption between units receiving softened or unsoftened water. However, the life of the heating element on the electric water heater receiving unsoftened water would be expected to have a shorter life.

Low flow showerheads and faucets using unsoftened water clogged in less than seven days of accelerated life testing, whereas those units using softened water made it through the test without any problems.

The dishwashers and clothes washers on either soft or unsoftened water made it through 30 days of accelerated scale testing, but the units on unsoftened water had noticeable scale buildup on all surfaces that had contact with unsoftened water.

Klassische Wasseraufbereitung neu definiert

Auswahltabelle Trinkwasser-Ent härter



AQA perla



**AQA life +
F1-1" HWS**



AQA smart



AQA solar

Klassische Wasseraufbereitung neu definiert



**Rondomat
Duo 1**



**Rondomat
Duo 2-10**

Gerätetyp

Beschreibung	Ein Maximum an Hygiene mit der Duplex-Weichwasseranlage in alternierender Fahrweise	Kompakte Weichwasseranlage mit alternierender Fahrweise. Im Design-Paket mit F1 1" HWS Filter	Ökologie und Ökonomie vereint in einem Gerät. Präzisions-Besatzung, intelligente Regeneration	Energieeffizienz in der Solarthermie. Weichwasseranlage mit zwei Wasserhärten, Präzisions-Besatzung und intelligenter Regeneration	Abrundung der zuverlässigen Großenthärterserie mit alternierender Fahrweise Rondomat Duo zum Haustechnik-Bereich. Bei 3-8 Wohneinheiten*.	Zuverlässige und verbrauchsarme Großenthärter-Serie mit alternierender Fahrweise nach neuesten DVGW-Richtlinien. Für große Wohngebäude und Industrieanwendungen.
Ein- / Zweisäulengerät	2	2	1	1	2	2
Wohneinheiten*	1-4	1-2	1-2/3/4	1-2	3-8	bis 55
Nenndurchfluss (m ³ /h) EN 14743/DIN 19636	1,4/1,7	1,0/1,4	1,4/1,7	1,4/1,7	1,5/2,5	bis 17
Nennkapazität/mol	2 x 1,2	2 x 1,1	1,6/2,4/3,2	1,6/2,4/3,2	2 x 5,0	bis 2 x 64,4
Regeneriermittelbedarf/kg (ca. pro Regeneration)	0,25	0,25	0,3/0,5/0,8	0,3/0,5/0,8	1,1	1,44-12,5
Nenndruck (bar)	10	10	10	10	10	10
Betriebsdruck (bar)	2-8	2,5-8	2,5-8	2,5-8	2,5-8	2,5-8
Maße (B/H/T)	500/890/520	410/610/505	390/630/580	ca. 390/650/580	900/1200/470	

*Unverbindlicher Richtwert