

Aufbereitung weicher, stark kohlen-säurehaltiger Grundwässer

Trinkwasser ■ Die Anforderungen der neuen Trinkwasserverordnung erlauben die Entsäuerung nahezu aller natürlichen Wässer mit einfachen, naturnahen Verfahren. Insbesondere für weiche, kohlen-säurehaltige Grundwässer bietet sich die Kombination aus unterdimensionierter Kalksteinfiltration und physikalischer Hochleistungsentsäuerung an.

Die Stadtwerke Bexbach GmbH versorgen derzeit etwa 20.000 Einwohner mit Trinkwasser. Der jährliche Wasserbedarf beträgt etwa 830.000 Kubikmeter, der mittlere Tagesbedarf liegt bei rund 2.300 Kubikmetern. In der alten Wasseraufbereitungsanlage wurde eine Entsäuerung und Aufhärtung des Mischrohwassers mit halbgebranntem Dolomit durchgeführt. Aus verschiedenen Gründen musste die Aufbereitungsanlage erneuert und mit einer Verfahrensstufe zur Entfernung von organischen Mikroverunreinigungen erweitert werden.

Grundlagen

Auf dem Weg des Wassers im Rohrnetz zum Verbraucher kommt es zu unvermeidlichen Wechselwirkungen der Wasserinhaltsstoffe mit den verwendeten Werkstoffen. Neben dem oxidativen Angriff auf ungeschützte metallische Leitungen (Korrosion), kann es auch zum Angriff auf Rohrleitungen mit zementhaltigen Innenbeschichtungen kommen. Diese Wechselwirkungen beeinträchtigen unter Umständen nicht nur die Qualität des Trinkwassers, sondern haben wegen der Beeinträchtigung der Leitungswerkstoffe auch eine große wirtschaftliche Bedeutung. Eine wesentliche Maßnahme zur Verminderung unerwünschter Korrosion und des Angriffs auf zementhaltige Beschichtungen ist die Entsäuerung des Trinkwassers, die mit einer Anhebung des pH-Wertes verbunden ist.

Die obere Grenze für die Anhebung des pH-Wertes ist durch das in natürlichen Wässern vorhandene Puffer-

system („Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht“) festgelegt: Wird der pH-Wert der Calcitsättigung überschritten, kann es zu Abscheidungen von Kalkstein und damit zu Störungen bei der Aufbereitung und der Verteilung des Wassers kommen. Dieser pH-Wert ist bei jedem Wasser unterschiedlich und im Wesentlichen abhängig von den Konzentrationen der Kohlensäurespezies und des Calcits.

Gesetzliche Anforderungen

In der alten Trinkwasserverordnung (TrinkwV) [1] wurde die Kalkaggressivität des Wassers mit dem ΔpH -Wert beschrieben (Sollwert: 0). In der geltenden TrinkwV [2] wird sie mit der Calcitlösekapazität (D_C) beschrieben. Mit dieser neuen Regelung wird eine gewisse Restaggressivität zugelassen: Ein Wasser gilt als ausreichend entsäuert, wenn die Calcitlösekapazität ≤ 5 mg/l beträgt. Dieser Wert gilt bei einem pH-Wert von $\geq 7,7$ als eingehalten [3].

Abbildung 1 zeigt die Anforderungen an den pH-Wert des Trinkwassers der alten und der neuen TrinkwV in Abhängigkeit von der Säurekapazität (m-Wert) als Maß für die Karbonathärte. Aufgetragen ist der notwendige pH-Wert gegen den m-Wert. Bei m-Werten unter etwa 2 mmol/l wird der Unterschied beim notwendigen pH-Wert immer bedeutender: So liegt der Soll-pH-Wert bei einem m-Wert von 1,5 mmol/l nach der alten TrinkwV bei über 8,0, nach der neuen liegt er bei nur 7,7.

Die Einführung des Grenzwertes für die Calcitlösekapazität als Maß für die

Kalkaggressivität bedeutet insbesondere für weiche Wässer eine Lockerung der Anforderungen an die Entsäuerung. Nach der geltenden TrinkwV lassen sich nahezu alle natürlichen Wässer mit einfachen, naturnahen Verfahren entsäuern. Entsäuerungsverfahren mit Laugen, wie z. B. Natronlauge oder Kalkwasser, oder mit gewissen verfahrenstechnischen Nachteilen, wie die Filtration über halbgebrannten Dolomit, sind nach der Neuregelung entbehrlich.

Kalkstein

Im Folgenden soll gezeigt werden, wie durch die Kombination der Verfahren Kalksteinfiltration und Physikalische Entsäuerung auch weiche, stark kohlen-säurehaltige Wässer einwandfrei entsäuert und die Anforderungen der neuen TrinkwV eingehalten werden können. Die Lieferanten von Filtermaterial zur Entsäuerung geben üblicherweise nicht die Geschwindigkeiten der Reaktion zwischen Kalkstein und Kohlensäure an, sondern machen in den Auslegungskurven Angaben zu Einsatzmengen bzw. Leerbettkontakzeiten als Funktion der Rohwasserdaten und des Aufbereitungsziels (z. B. pH-Wert). Liegt ein Wasser außerhalb der angegebenen Anwendungsgrenzen (z. B. zu hoher Kohlensäuregehalt), muss nach diesen Kurven der Filterstufe eine mechanische Entsäuerung vorgeschaltet werden.

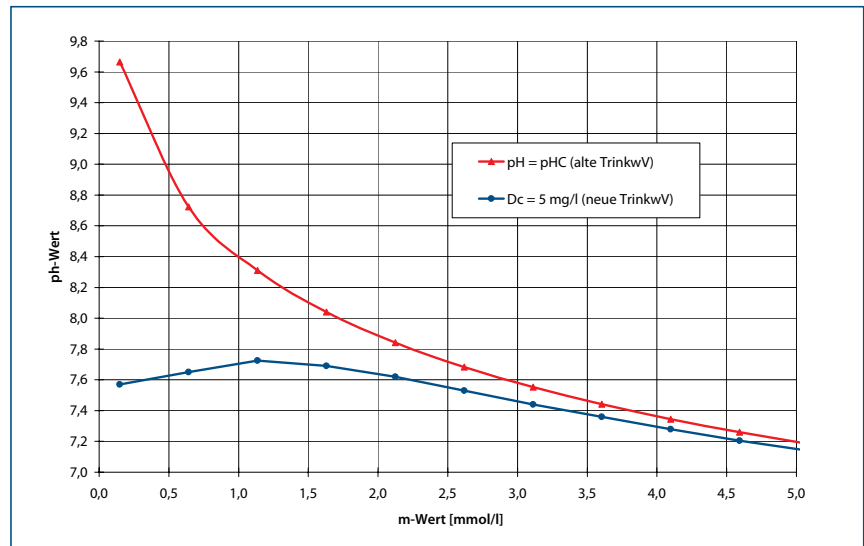
Die Grundlagen zur Kinetik der Entsäuerung über Kalkstein wurden von Baldauf und Henkel veröffentlicht [4]. Dort werden empirisch ermittelte Formeln zur Auslegung von Entsäuer-

ungsfiltern angegeben. Ausgehend von Rohwasserdaten (m-Wert, p-Wert, Calcitlösekapazität und Temperatur) lässt sich für die Filtration über kristallines Calciumcarbonat die Leerbettkontaktzeit (EBCT) zur Verringerung der Calcitlösekapazität berechnen. Die angegebenen Konstanten beschreiben nach Auskunft der Hersteller die Verhältnisse für die Handelsprodukte „Juraperle JW Nr. 000“ (DTU, Ulm) bzw. „Hydro-Karbonat Körnung 1,0-2,0“ (Akdolit, Pelm). Die Gleichungen haben sich nach den Erfahrungen in der Praxis bei zahlreichen Anlagen zur Vorentsäuerung weicher, kohlenensäurehaltiger Wasser bewährt.

Abbildung 2 zeigt die nach diesen Gleichungen berechnete Abnahme der Calcitlösekapazität als Funktion der Leerbettkontaktzeit (EBCT) für das weiche, stark kohlenensäurehaltige Mischwasser des WW Bexbach. Die Geschwindigkeit der Entsäuerungsreaktion ist bei hohen Kohlenensäuregehalten erstaunlich hoch und nimmt mit zunehmender Wasserhärte ab. Mit Hilfe der Calcitlösekapazitäten gemäß **Abbildung 2** können die weiteren Daten zur Lage des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes berechnet werden [5]. In **Abbildung 3** sind die berechneten Größen pH-Wert, m-Wert und Kohlenensäuregehalt gegen die Calcitlösekapazität bei Abbildung der Kohlensäure mit Kalkstein aufgetragen. Mit Hilfe dieser Berechnungen lassen sich die Eckdaten zur Auslegung der Aufbereitungsstufen Kalksteinfiltration und Physikalische Entsäuerung festlegen.

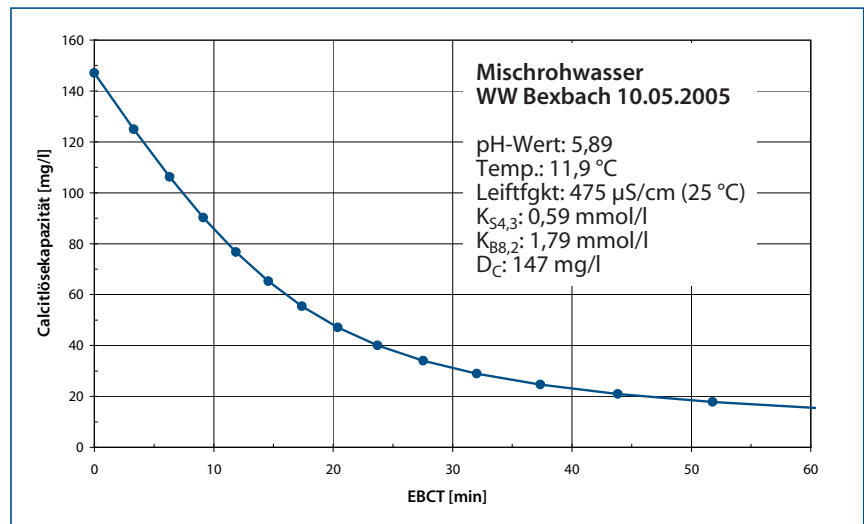
Warum Aufhärten?

Weiche, stark kohlenensäurehaltige Wasser sollten zur Verbesserung ihrer korrosionschemischen Eigenschaften bei der Verteilung aufgehärtet werden. Ein ausreichend hoher Gehalt an Hydrogencarbonat-Ionen ist eine von mehreren Voraussetzungen zur Ausbildung schützender Deckschichten in metallischen Rohrleitungen. Ungeschützte unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe, die in älteren Rohrnetzen häufig zu finden sind, bedingen z. B. nach DIN 50930, Teil 6 [6], eine Säurekapazität von $K_{S4,3} > 2$ mmol/l als eine von mehreren gleichzeitig zu erfüllenden Anforderungen zur Aus-



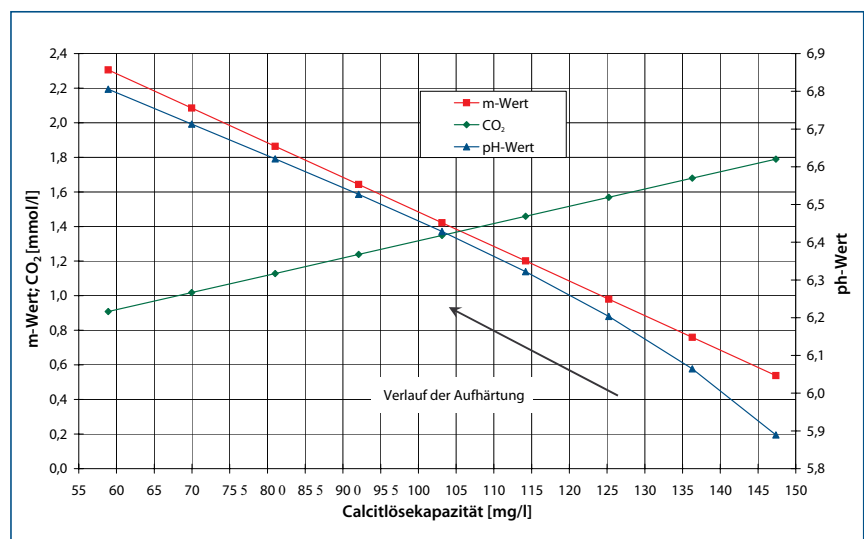
Quelle: Aquadosil

Abb. 1 Anforderungen an die Entsäuerung nach der alten und neuen Trinkwasserverordnung (beispielhafte Darstellung) für ein Wasser mit $m-2Ca = 0$ bzw. für ein Wasser mit einem geringen Neutralsalzgehalt



Quelle: Aquadosil, CP-Beratende Ingenieure

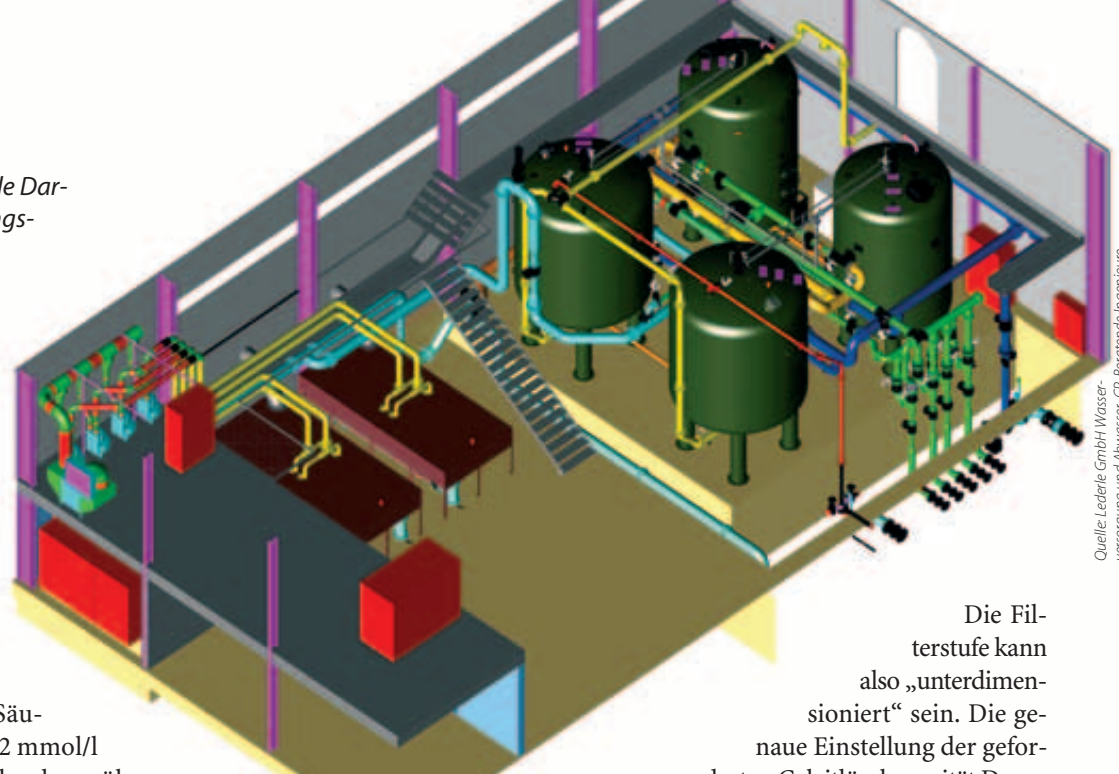
Abb. 2 Abnahme der Calcitlösekapazität DC mit der Kalksteinfiltration als Funktion der Leerbettkontaktzeit (EBCT)



Quelle: Aquadosil, CP-Beratende Ingenieure

Abb. 3 Filtration des Mischrohwassers über Kalkstein; Auswirkungen auf das Kalk-Kohlensäure-System für das Mischrohwasser in Bexbach

Abb. 4 Dreidimensionale Darstellung der Aufbereitungsanlage Bexbach



Quelle: Lederle GmbH Wasser-versorgung und Abwasser, CP-Beratende Ingenieure

bildung schützender Deckschichten. Zudem können in der Einfahrphase von Rohrleitungen kleiner Nennweite mit Zementmörtel-auskleidung (ZM) bei der Verteilung weicher Wässer mit einer Säurekapazität von $K_{S4,3} < 2 \text{ mmol/l}$ und geringer Wasserabnahme über längere Zeit unzulässig hohe pH-Werte erreicht werden. Gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 346 [7] sollte im Falle einer Aufhärtung ein Wert für $K_{S4,3} > 2 \text{ mmol/l}$ angestrebt werden. Die pH-Wert-Erhöhung während der Inbetriebnahme neuer ZM-ausgekleideter Rohre ist dann gering und nimmt schnell ab. Weitere Maßnahmen sind im Allgemeinen nicht mehr erforderlich.

Die gewünschte Aufhärtung kann durch Filtration über kristallinen Kalkstein bei Verwendung recht kleiner Filterkessel erreicht werden, wenn die Filterstufe mit dem kohlenensäurereichen Rohwasser beaufschlagt wird. Das primäre Ziel dieser Stufe ist dann nicht die Einstellung des geforderten pH-Wertes der Calcitsättigung pH_C sondern die Erhöhung der Säurekapazität des Wassers.

Die Filterstufe kann also „unterdimensioniert“ sein. Die genaue Einstellung der geforderten Calcitlösekapazität D_C erfolgt dann mit einem nachgeschalteten leistungsfähigen Verfahren zur Physikalischen Entsäuerung.

Entsäuerung im WW Bexbach

Die alte Wasseraufbereitung des Wasserwerkes Bexbach basierte auf einer physikalischen Vorentsäuerung (freier Fall ohne Zwangsbelüftung) mit anschließender Filtration über halbgebrannten Dolomit in offenen Filter-

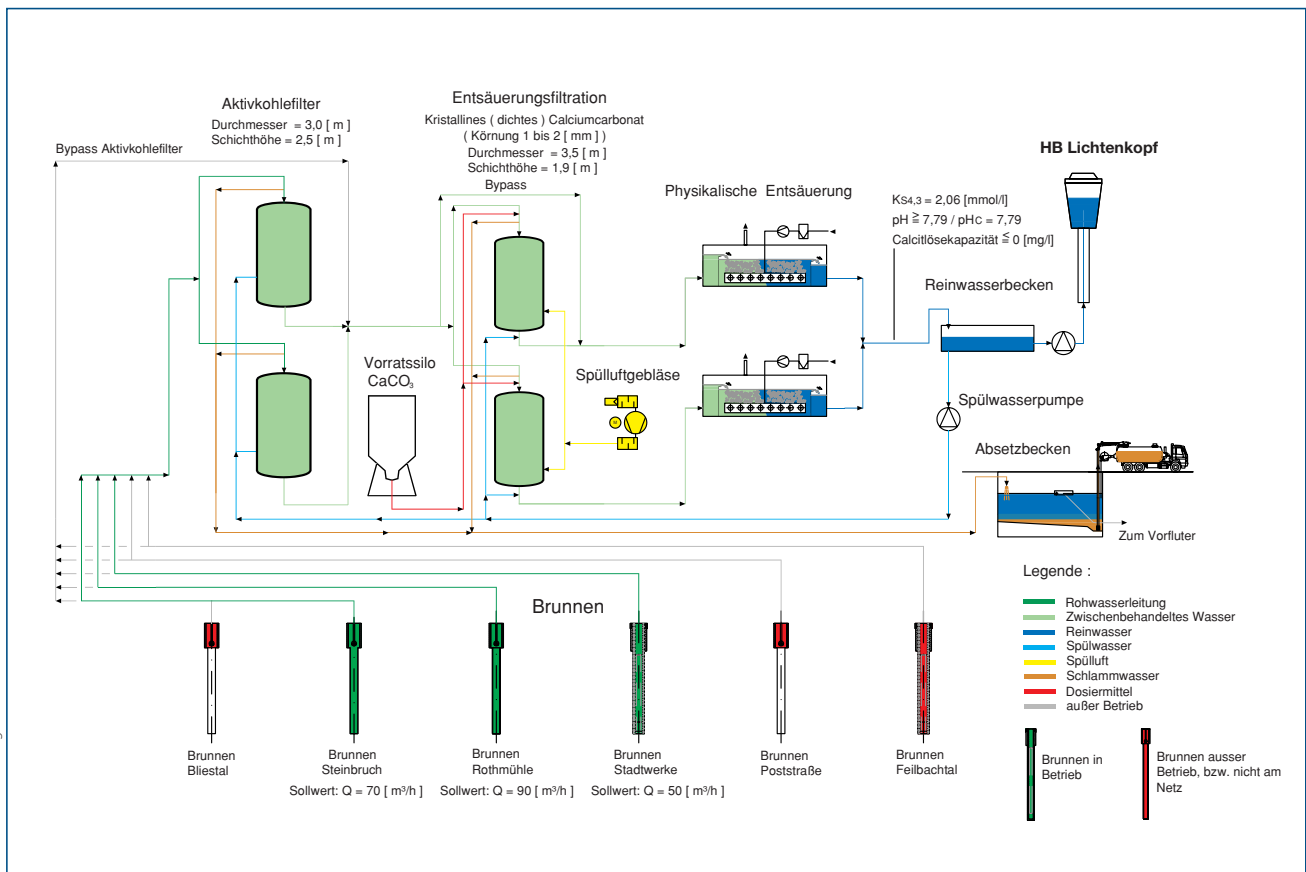


Abb. 5 Verfahrensschema der Aufbereitungsanlage (Vorzugsvariante)

Brunnen	Q m ³ /h	Anteil %	LFK ¹⁾ µS/cm	pH	K _s mmol/l	CO ₂ mg/l	D _c mg/l
Stadtwerke	50	19,2	431	5,83	0,49	79	145
Poststraße	50	19,2	509	6,13	0,70	56	106
Rotmühle	90	34,6	555	6,35	0,73	83	148
Steinbruch	70	26,9	421	5,80	0,50	85	154
Summe bzw. gewichteter Mittelwert	260	100	486	6,30	0,60	76	138

¹⁾ Leitfähigkeit bei 25°C

Tabelle 1 Charakterisierung der Rohwässer

becken. Neben dem klassischen Aufbereitungsziel der Aufhärtung/Entsäuerung ergab sich für die Stadtwerke Bexbach die Notwendigkeit, zusätzlich die Belastung des Grundwassers mit PBSM-Wirkstoffen bzw. deren Abbauprodukte und Chlorkohlenwasserstoffen in die Betrachtung mit einzubeziehen. Deshalb wurde bei der Planung die folgenden Verfahrensvarianten gegenübergestellt:

- Sanierung der alten Aufbereitungsanlage und Aktivkohlefiltration,
- Neubau der Aufbereitungsanlage mit den Verfahren Aufhärtung/Entsäuerung und Aktivkohlefiltration.

Sowohl betriebliche als auch technische und wirtschaftliche Aspekte waren ausschlaggebend dafür, dass sich die Stadtwerke Bexbach für eine komplette Erneuerung der Wasseraufbereitungsanlage entschieden (**Abb. 4 + Abb. 7**).

Die Aufgabenstellung für die neue Aufbereitungsanlage bestand neben der Dimensionierung der Aufhärtung/Entsäuerung darin, eine Verfahrensführung zu entwickeln, welche – basierend auf der weitgehend getrennten Zuführung der einzelnen Rohwässer zum Wasserwerk – die Filtration der mit organischen Störstoffen belasteten Grundwässer über Aktivkohle und die Umfahrung der Aktivkohle für die unbelasteten Wässer ermöglicht. Die Rohwasserqualität ließ die Vorschaltung der Aktivkohlefiltration zu. Die folgenden Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf die Aufhärtung und Entsäuerung: Die Aufbereitungsanlage ist zweistraßig konzipiert (**Abb. 5**). Jeder Aktivkohlefilter wird je nach Brunnenkombination mit

einer Wassermenge von 80 bis 105 m³/h beaufschlagt und jede der beiden Entsäuerungsstraßen mit 105 (Normalbetrieb) bis 130 m³/h (Spitzenlast) beschickt. Für den einstraßigen Entsäuerungsbetrieb (Notbetrieb) kann der Durchsatz der Entsäuerung auf 140 m³/h erhöht werden. Jeder Aktivkohlefilter ist für einen Mindestdurchsatz von 50 m³/h ausgelegt. Die Leistung eines Aktivkohlefilters ist auf 105 m³/h begrenzt.

In **Tabelle 1** sind die Parameter des Kalk-Kohlensäure-Systems der beteiligten Wässer aufgelistet. Die Berechnung der Marmorfiltration und der hieraus resultierenden Aufhärtung erfolgte auf der Grundlage der Arbeiten von Baldauf und Henkel [4]. Die Calcitlösekapazität des Rohmischwassers liegt je nach Lastfall (Brunnenkombinationen) etwa im Bereich zwischen 140 und 150 mg/l. Die bei der Marmorfiltration konstant blei- ►

AQUADOSIL®

Entsäuerungsanlage, Basel, 1.500 m³/h
CO₂-Absenkung von 22 mg/l auf unter 2 mg/l

Hochleistungssystem zur physikalischen Entsäuerung

- CO₂-Entfernung bis 1,5 mg/l
Damit werden Anforderungen der neuen TrinkwV an die Entsäuerung (pH > 7,7; Calcitlösekapazität < 5 mg/l) bei nahezu allen natürlichen Wässern eingehalten

Korrosionsinhibitoren

- gebrauchsfertige Dosierlösungen zur Vermeidung von Korrosionsschäden in Trinkwasserleitungen (phosphatfrei oder phosphathaltig)

Saure Entmanganung

- Verwendung eines patentgeschützten kohlenstoffstabilen Filtermaterials (DosiFilt®)
- Einsatz in Rohwässern bei pH-Werten ab 6,5
- bei hohen Eisengehalten als Mehrschichtfilter in Kombination mit Anthrazit

AQ Aquadosil Wasseraufbereitung GmbH
45352 Essen, 0201 / 86148-60
www.aquadosil.de

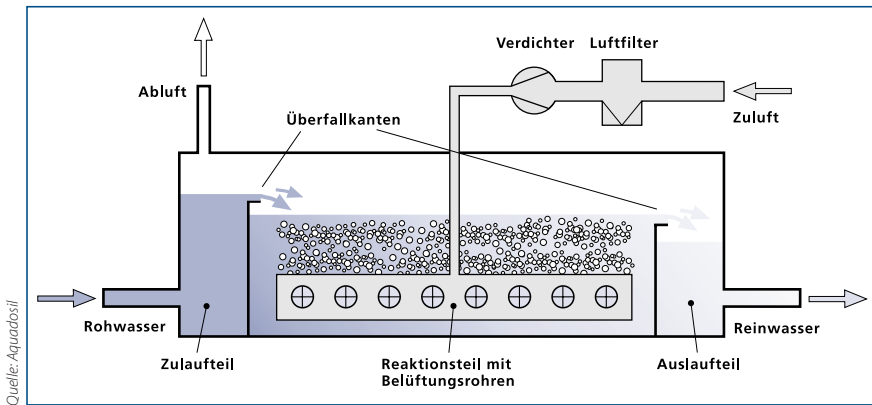


Abb. 6 Schema der Aquadosil® Hochleistungs-Entsäuerungs-Anlage



Abb. 7 Neue Aufbereitungsanlage im Wasserwerk Bexbach

Filtertechnik	
Wasserdurchsatz:	bis 260 m ³ /h
Anzahl der Filter:	2 Stück
Durchmesser:	3.500 mm
Filtermaterial:	kristallines Calciumcarbonat (1-2 mm)
Schichthöhe:	ca. 2.000 mm
Leerbettkontaktzeit:	ca. 9 min
Filtergeschwindigkeit:	ca. 13,5 m/h
spez. Materialverbrauch:	ca. 162 g/m ³

Entsäuerungsanlage	
Wasserdurchsatz:	bis 260 m ³ /h
Anzahl Behälter:	2 Stück
Länge:	5.200 mm
Breite:	2.400 mm
Höhe:	600 mm
spez. Energiebedarf:	ca. 69 W/m ³

Tabelle 2 Kenndaten der Anlagentechnik

bende Größe $m-2p$ liegt je nach Lastfall zwischen etwa 4,1 und 4,3 mmol/l.

Die Entsäuerungsfilter wurden so bemessen, dass die Gesamthärte des Reinwassers 14 °dH nicht übersteigt (entsprechend Härtebereich II lt. Waschmittelgesetz) und die Säurekapazität etwa 2 mmol/l beträgt. Die Basekapazität im Rohmischwasser liegt etwa zwischen 1,7 und 1,9 mmol/l. Damit liegt sie außerhalb der von Baldauf und Henkel [4] untersuchten Wässer. Gemäß den reaktionskinetischen Gesetzmäßigkeiten wird demnach der CO₂-Umsatz in den Marmorfiltern schneller als durch die Gleichungen beschrieben stattfinden und eine entsprechend etwas stärkere Aufhärtung resultieren. Zur genauen Einstellung der Aufhärtung wurde daher die Möglichkeit der Teilumfahrung der Entsäuerungsfilter vorgesehen [8]. Die Marmorfilter werden dann mit einer geringeren Wassermenge beaufschlagt. Hierdurch erhöht sich zwar die Kontaktzeit in den Filtern, jedoch nimmt die Geschwindigkeit des Umsatzes mit zunehmender Kontaktzeit ab. Insgesamt ergibt sich dann nach Vermischung mit dem Bypasswasser ein weiches Wasser. Für die Entsäuerung bestand die Vorgabe $D_C \leq 5$ mg/l mit der Option, im Normallastbetrieb einen pH-Wert möglichst nahe dem pH_C zu erzielen.

Es wurden vier unterschiedliche Verfahrensvarianten genauer untersucht, wobei bei den drei nicht gewählten Varianten die physikalische Entsäuerung der Filtrationsstufe vorgeschaltet wurde. Bei dem gewählten Verfahren wird jedoch das zum Teil mit Aktivkohle vorbehandelte Rohwasser in zwei Straßen zunächst über kristallines Calciumcarbonat mit einer Kontaktzeit von etwa 10 Minuten aufgehärtet und dann mit einer Hochleistungsentsäuerungsanlage physikalisch entsäuert (Abb. 5). Im Hinblick auf die chlorierten Kohlenwasserstoffe bietet die gewählte Verfahrensführung eine zusätzliche Sicherheit dahingehend, dass bestimmte Chlorkohlenwasserstoffe, die nicht durch die Aktivkohle adsorbiert werden, über den nachgeschalteten Hochleistungsentgaser gestrippt werden können. Dies kann z. B. relevant sein für eine nachträglich auf-

trete Belastung mit strippbaren Chlorkohlenwasserstoffen in dem für die Aktivkohleumfahrung vorgesehenen Rohwasser.

Die nach der Filtration im Wasser verbleibende, überschüssige Kohlensäure (bis zu 50 mg/l) wird mit einer Aquadosil®-Anlage entfernt. Bei diesem Hochleistungssystem erfolgt der Kohlensäureausstrag durch extrem feinblasigen Lufteintrag über keramische Belüftungselemente (**Abb. 6**). Hauptvorteil dieses Verfahrens ist – neben dem hohen Wirkungsgrad, der flachen Bauweise und den relativ geringen Betriebskosten – die stufenlose und automatische Anpassung der Entsäuerungsleistung an wechselnde Anforderungen ([9]-[11]).

Die technischen Daten der Aufbereitungsstufen sind in **Tabelle 2** aufgelistet; den Verlauf der Veränderung der Lage des Kalk-Kohlensäure-Systems zeigt **Tabelle 3**. Am Tage der Messung wurde die Aquadosil®-Anlage so betrieben, dass im Reinwasser die Calcitlösekapazität praktisch Null war. Die automatische Anpassung der Entsäuerungsleistung an unterschiedliche Lastfälle bzw. die gewünschte Einstellung des pH-Wertes erfolgt auf bewährte Weise durch die Drehzahlregelung der Luftverdichter.

Fazit

Mit der Kombination der unterdimensionierten Kalksteinfiltration und einer nachgeschalteten Hochleistungsentsäuerung steht ein Verfahren zur Verfügung, um weiche, stark kohlen-säurehaltige Wässer aufzubereiten und die gewünschten Werte für die Härte, Säurekapazität und die geforderten

		Rohwasser	nach Filter	Reinwasser
T	°C	11,9	11,4	11,5
LF25	°C	475	533	533
pH		5,89	6,62	8,00
K _{S4,3}	mmol/l	0,59	1,86	1,86
CO ₂	mg/l	79	50	2
GH	°dH	9,9	13,8	13,8
Ca ²⁺	mg/l	41	68	68
Mg ²⁺	mg/l	18	18	20
D _C	mg/l	147	81	-2

Tabelle 3 Das Kalk-Kohlensäure-System im Verlauf der Aufbereitung (Q: 210 m³/h, Leerbettkontaktzeit: 11 min)

Werte für die Calcitlösekapazität D_C und den pH-Wert im Trinkwasser genau und kostengünstig einzustellen.

Literatur

- [1] Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasser-Verordnung TrinkwV) vom 12. Dez. 1990, BGBl. I, S. 2613 (1990).
- [2] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasser-Verordnung vom 21. Mai 2001, BGBl. I Nr. 24 vom 28.05. 2001, S. 959.
- [3] Nissing, W., Johannsen, K.: pH-Wert und Calcitsättigung, in: Die Trinkwasser-Verordnung: Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsunternehmen, Hrsg.: A. Grohmann 4. Auflage 2003, S. 473-482.
- [4] Baldauf, G., Henkel, M.: Möglichkeiten und Grenzen der Marmorentsäuerung vor dem Hintergrund der neuen Trinkwasser-Verordnung; gwf-Wasser/Abwasser 132 (1991) Nr. 3; S. 132-139.
- [5] DIN 38404–10 Physikalische und physikalisch-chemische Stoffkenngrößen (Gruppe C), Teil 10: Calcitsättigung eines Wassers, April 1995
- [6] DIN 50930 Korrosion metallischer Werkstoffe

im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser, Teil 6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit, August 2001.

- [7] DVGW-Arbeitsblatt W 346 Guss- und Stahlrohrleitungsteile mit ZM-Auskleidung – Handhabung, August 2000.
- [8] Baldauf, G.: Problemlösungen aus der Beratungstätigkeit der DVGW-Forschungsstelle. Wasserchemie für Ingenieure, Hrsg. DVGW e.V., von F. H. Frimmel u. a., München, Wien: Oldenbourg-Verlag (Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Band 5) (1993), S. 227-304.
- [9] Bröder, Theo: Eine neue Entsäuerungsanlage im Wasserwerk Winterberg. Neue Deliwa-Zeitschrift 11 (1991).
- [10] Drews, Monika; Dülberg, Andreas: Erfahrungen der Stadtwerke Wiesbaden AG mit einem neuartigen Hochleistungsverfahren zur Trinkwasserentsäuerung; gwf-Wasser/Abwasser 141, S. 358-362 (2000).
- [11] Bornmann, K.: Die Kombination von chem. und phys. Entsäuerung für die Aufbereitung von Grundwässern am Beispiel der TWA Rottmar. Veröffentl. aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe Band 8: Aktuelle Themen zur Trinkwasseraufbereitung und -verteilung, S. 71-81 (1999).

Autor:

Dr. Andreas Dülberg
 Aquadosil Wasseraufbereitung GmbH
 Grassstr. 11
 45356 Essen
 Tel.: 0201 86148-32
 Fax: 0201 86148-48
 E-Mail: duelberg@aquadosil.de
 Internet: www.aquadosil.de

Dipl.-Ing. Harald Sorg
 Stadtwerke Bexbach GmbH
 Postfach 1303
 66444 Bexbach
 Tel.: 06826 9202-0
 Fax: 06826 9202-398
 E-Mail: stadtwerke@bexbach.de
 Internet: www.bexbach.de

Dipl.-Ing. Jörg Klein
 CP Beratende Ingenieure VBI KBI
 St. Ingberter Str. 49
 66583 Spiesen-Elversberg
 Tel.: 06821 97294-106
 Fax: 06821 97294-222
 E-Mail: klein@cpingenieure.de
 Internet: www.cpingenieure.de

