

## Zentrale Enthärtung von Trinkwasser

Die zentrale Enthärtung von Trinkwasser wird in den letzten Jahren – insbesondere in Gegenden mit hoher Härte (größer 3,5 mmol/L = 19,6 °dH) – zunehmend diskutiert. Denn die Versorgung mit Wasser im Härtebereich 3 oder 4 führt zu nachteiligen Auswirkungen bei den Verbrauchern. Doch es gibt auch Erfahrungen aus bereits realisierten Projekten. So werden seit Mai 2008 rund 28 000 Menschen in der badischen Stadt Achern, zwischen Baden-Baden und Offenburg gelegen, und im Gebiet des umliegenden Zweckverbandes mit enthärtetem Trinkwasser aus dem Wasserwerk Rotherst versorgt.



**Bild 1.** Das Wasserwerk Rotherst der Stadt Achern.  
© Hydro-Elektrik GmbH

**K**alkablagerungen verursachen einen erhöhten Reinigungsaufwand bei Oberflächen und führen zu einer deutlichen Erhöhung des Energieaufwandes bei Wärmetauschern. Außerdem wird der Waschmittelverbrauch deutlich erhöht und die Lebensdauer von Rohrleitungen und Armaturen verkürzt. Ökologisch relevant sind zudem teilweise erhöhte Schwermetall-Emissionen aus den Trinkwasserinstallationen [1]. Aus diesem Grunde greifen Verbraucher vielerorts zu dezentralen Wasserenthärtungsgeräten, die meist nach dem Prinzip des Kationenaustausches arbeiten. Diese Anlagen verursachen aber hohe Folgekosten im Bereich von 0,8 bis 1,0 €/m<sup>3</sup> entkalktem Wasser, wenn eine Abschreibung über 10 Jahre, Salzverbrauch und Wartung angesetzt werden. Ferner wird das Abwasser mit Regenerationssalz belastet.

Einen Ausweg stellt die zentrale Enthärtung im Wasserwerk dar, für die verschiedene erprobte Verfahren zur Verfügung stehen:

- Langsam-Entkarbonisierung (LEK)
- Schnell-Entkarbonisierung (SEK)
- CARIX-Verfahren
- Nanofiltrationsverfahren (NF) und Umkehrosmose (RO)

Für die Verfahrenswahl sind neben der Zusammensetzung und den Mengen der Inhaltsstoffe insbesondere auch die Voraufbereitung, die Aufbereitungskapazität, die Verwertung der Reststoffe, die Bedingungen für die Einleitung der unvermeidbaren Abwässer sowie eine eventuell erforderliche Nachaufbereitung entscheidungsrelevant. Im Wasserwerk Rotherst (**Bild 1**) der Stadt Achern wurde nach aufwändigen und detaillierten Voruntersuchungen das Prinzip der Schnell-Entkarbonisierung (SEK) festgelegt.

### Ausgangssituation und Dimensionierung

Ein besonderer Schwerpunkt bei der Planung war, die seit Jahrzehnten bekannte SEK-Enthärtungstechnik den speziellen Bedürfnissen eines Wasserversorgers im Rheintal anzupassen und den bisher geltenden Betreuungs- und Wartungsstandard solcher Anlagen deutlich zu verbessern beziehungsweise zu minimieren. In Achern erfolgt die Schnell-Entkarbonisierung in lediglich einem Hochreaktor mit einer Leistung von maximal 360 m<sup>3</sup>/h (Jahresdurchsatz 1,4 Mio. m<sup>3</sup> Rohwasser). Das aus insgesamt drei Tiefbrunnen geförderte Rohwasser mit einem Härtegrad von rund 22° dH wird auf 10–12° dH enthärtet.

Bis zu Beginn des Jahres 2008 lieferten die Stadtwerke Achern ihren Kunden ein Grundwasser von grundsätzlich ausgezeichneter Qualität mit einer Wasserhärte von circa 22° dH (Härtebereich 3-4). Das Rohwasser aus den drei Tiefbrunnen entspricht in allen übrigen Parametern den Anforderungen der Trinkwasserverordnung [2]. Korro-

**Tabelle 1.** Rohwasserwerte.

Ca <sup>2+</sup>	125	mg/L
Mg <sup>2+</sup>	19	mg/L
TOC	< 2	NTU
Trübung	< 0,1	mg/L
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	32,2	mg/L
NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	37,2	mg/L
Na <sup>+</sup>	7,8	mg/L
Fe <sub>gesamt</sub>	< 0,01	mg/L
Mn <sup>2+</sup>	< 0,01	mg/L
Cl <sup>-</sup>	21	mg/L
ph-Wert	7,2	

sionschemisch nach DIN EN 12502 [3] ist die Säurekapazität KS4,3 mit 6,0–6,2 mol/m<sup>3</sup> und die Basekapazität KB8,2 mit 1,2 mol/m<sup>3</sup> als hoch zu bezeichnen.

### Das Verfahren

Bei der Schnell-Entkarbonisierung (SEK) wird durch Zugabe von Lauge in einem Wirbelschichtreaktor das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht so gestört, dass es zu einem spontanen Ausfällen des Kalks kommt (**Bild 2**). Der ausgefällte Kalk lagert sich an Sandkörnern (Kristallisationskeimen) an, die bis zu Pellets aufwachsen. Als gängige Laugen kommen bei der SEK sowohl Natronlauge als auch Kalkhydrat infrage.

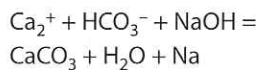
Die SEK ist bis heute das wirtschaftlichste und betriebssicherste Verfahren für eine reine Senkung des Calciumgehaltes. Bei dem Verfahren werden nur das Calcium und der Karbonatgehalt reduziert, während das lebenswichtige Mineral Magnesium erhalten bleibt. Für den Prozess spielen die Trübung oder im Rohwasser befindliches Eisen und Mangan keine Rolle. Aus Erfahrungen mit anderen Anlagen wurde das Enthärtungsverfahren so weiter entwickelt, dass die Fahrweise „Betrieb – Stopp“ – typisch für deutsche Wasserwerke – mit einer diskontinuierlich geprägten Tagesganglinie sichergestellt werden kann. Der Betriebsablauf ist absolut stabil und der Enthärtungsprozess wird steuerungstechnisch automatisch durchgeführt.

Das harte Rohwasser wird direkt aus den Brunnen in den unteren Teil des Reaktors gefördert und strömt von dort über Spezialdüsen zur Verteilung mit hoher Geschwindigkeit in den Reaktionsraum. Über diese speziellen Kombi-Düsen wird dem Rohwasser 25-prozentige Natronlauge zudosiert. Dadurch kommt es zu einer lokal starken Erhöhung des pH-Wertes auf 9,5–10,0. Der Enthärtungsprozess selbst dauert bei einer Wassertemperatur von 10°C nur etwa 5 bis 10 Sekunden.

Das Wirbelbett über dem Düsenboden wird durch die hohe Auf-

wärtsgeschwindigkeit zwischen 50 und 100 m/h bis zur Fluidisierung angehoben. In diesem Wirbelbett lagert sich der ausgefällte Kalk schalenförmig an den Kristallisationskeimen an, was zu kugelförmigen Pellets führt. Das enthärtete Wasser steigt im Wirbelbett weiter aufwärts in die Klarzone und verlässt den Reaktor mit einer Trübung <0,5 NTU (**Bild 3**). Eine weitere Aufbereitung oder nachfolgende Filtration ist bei der Verwendung von Natronlauge in der Regel nicht erforderlich.

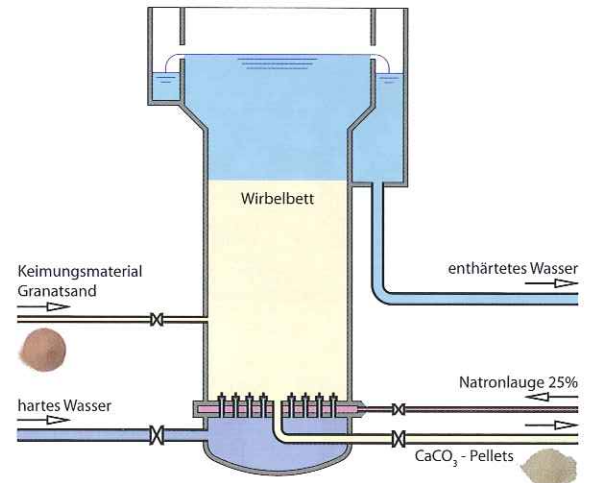
Calcium und Hydrogencarbonat werden bei dem lokal hohen pH-Wert in Calciumkarbonat nach folgender Formel übergeführt.



Die Calciumkarbonat-Pellets werden über eine Differenzdruckschaltung automatisch aus dem Reaktor abgelassen und mit einer Pumpe in einen Container gefördert. Zu beachten ist, dass bei diesem Verfahren der Natriumgehalt im Trinkwasser entsprechend der NaOH-Dosiermenge gering ansteigt. Durch die verbesserte Fahrweise und eine intelligente Prozesssteuerung, verbunden mit einem ausgeklügelten Spülprozess mit demineralisiertem Wasser, treten beim täglichen Wiederanfahren des Reaktors schon nach kurzer Zeit keine Microcalciumkarbonat-Partikel mehr aus dem Reaktor aus. Die Gesamthöhe des Reaktors beträgt etwa 9 Meter, so dass das Reinwasser vom Reaktorüberlauf im Eigengefälle direkt in den Reinwasserbehälter fließen kann.

### Die Optimierung

Im Zuge der Planung und Realisierung der Trinkwasserenthärtungsanlage im Wasserwerk Rotherst konnten zahlreiche anlagentechnische, verfahrenstechnische und insbesondere mess-, steuer- und regelungstechnische Verbesserungen oder Optimierungen aus den Erfahrungswerten mit früheren Anlagen umgesetzt werden.



**Bild 2.** Das Prinzip des SEK-Reaktors.

© Hydro-Elektrik GmbH



**Bild 3.** Der Klarwasserüberlauf im Reaktorauslauf.

© IB Eppler

Anstelle der vermeintlich günstigeren Dosierchemikalie Kalkhydrat beziehungsweise Kalkmilch wurde Natronlauge gewählt. Durch die Wahl eines ausreichend großen Vorratsbehälters für die angelieferte Konzentration zwischen 45% und 50% und einer ausgeklügelten, vollautomatisch arbeitenden Verdünnungsstation zur Herstellung der 25-prozentigen Dosierlösung konnte ein wirtschaftliches Handling mit der Natronlauge erreicht werden.

Für eine ideale Kolbendurchströmung mit maximal möglicher Turbulenz im Wirbelbett wurde für die Anwendung der Natronlauge ein spezieller Düsenboden entwickelt (**Bild 4**). Dieser hat zum einen die Aufgabe, das Wirbelbett im Betrieb und auch beim Reaktor-





**Bild 4.** Der Reaktorboden mit Spezialdüsen. © IB Eppler

stillstand von der darunterliegenden Rohwasserkammer abzutrennen, und zum anderen, durch die große Anzahl der gleich verteilten Kombi-Düsen das Rohwasser gleichförmig zu verteilen und gleichzeitig die Natronlauge über seitliche Düsenöffnungen zuzudosieren. Im mittleren Reaktordurchsatzbereich errechnet sich im Betrieb lediglich eine etwa 1,1-fache überstöchiometrische Dosierung der Natronlauge. Eine solch hohe Chemikalieneffizienz ist mit den üblichen Impf-Lanzensystemen nicht erreichbar.

Die in Stufen schaltbaren Förderpumpen in den Tiefbrunnen wurden nicht ausgetauscht. Über ein spezifisch auf den Wasserdurchsatz ausgelegtes Rohrleitungskollektorsystem und zwei redundant geschaltete, energieeffiziente Blockpumpen im Reaktorlauf, ausgestattet mit Frequenzumformern, ist es möglich, die Anlage in einem weiten Bereich dem Wasserbedarf hydraulisch anzupassen (nahezu + 50% vom Sollbereich) und das mindestens einmal täglich notwendige Anfahren des Reaktors aus dem Stillstand problemlos zu ermöglichen. Auch wird dadurch die in zahlreichen vergleichbaren SEK-Anlagen praktizierte Kreislaufweise vollständig überflüssig – ein energieoptimierter Betrieb.

Durch die Verwendung von Natronlauge als Dosierchemikalie kann auf Flockungsmittel verzichtet werden. Durch die geringe Ablauftrübung von  $< 0,5$  NTU ist es möglich, die Trenngrenze des Wirbelbetts im Reaktor kontinuierlich optisch zu messen. Mit dieser Messgröße wird die Pellets-Abzugpumpe automatisch gesteuert und damit das Wirbelbett im Reaktionsraum konstant gehalten. Zusammen mit den Messungen von pH-Wert und Härte im Reaktorablauf ist ein stabiler Prozess problemlos realisierbar.

Der über eine Feststoffpumpe zugeführte Impfsand wird täglich chargenweise in einem Autoklavenschrank bei  $180^{\circ}\text{C}$  sterilisiert. Durch die Wahl eines speziellen Granatsandes als Impfmateriale (Fraktion  $0,2\text{--}0,3$  mm) wird es möglich, mit einer hohen Korndichte  $> 4\text{ g/cm}^3$  eine höhere Aufstiegs geschwindigkeit und dadurch einen höheren Wasserdurchsatz im Reaktor zu gewährleisten.

### Grundsätzliches zum Einsatz von Natronlauge

Großtechnische Anlagen zur Schnell-Entkarbonisierung in der Trinkwasseraufbereitung verwenden Kalkhydratsuspensionen (Kalkmilch) und/oder Natronlauge als Dosierchemikalien. Aus korrosionschemischer Sicht ist der Einsatz von Natronlauge in den meisten Anwendungsfällen gegenüber der Kalkmilch von großem Vorteil, da die im enthärteten Reinwasser verbleibende Restcarbonathärte (Hydrogencarbonat  $\text{HCO}_3^-$ ) nach Anwendung von Natronlauge etwa doppelt so hoch ist wie unter Anwendung von Kalkmilch. Sämtliche Korrosionserscheinungen in wasserberührten Bauteilen und Rohrleitungen, vom Versorgungsnetz bis zu den Verbrauchern, werden dadurch deutlich abgemindert. Auch die immer wieder auftretenden Lösungserscheinungen von Schwermetallen (Kupfer, Zink) aus den Rohrleitungen treten bei Natronlauge kaum auf. Im hier beschrie-

benen Objekt Wasserwerk Rotherst wird das ablaufende Reaktorwasser im geodätischen Gefälle direkt in den Trinkwasserspeicher zur Verteilung in das Versorgungsnetz gefördert.

Bei der Lagerung der Natronlauge in Lieferkonzentration (zwischen  $45\text{--}50$  Gew.-%) ist auf den relativ hohen Erstarrungspunkt der Lösung von circa  $8\text{--}10^{\circ}\text{C}$  zu achten. Der Lagertank, der aus wirtschaftlichen Gründen mindestens die Füllmenge eines kompletten Tankzuges aufnehmen sollte, ist in einem leicht temperierten Raum unterzubringen. Nach Verdünnung der Lösung auf die Dosierkonzentration befindet sich der Erstarrungspunkt dieser Lösung bei knapp  $-20^{\circ}\text{C}$ , so dass hier eine Temperierung nicht mehr notwendig ist. Die Verdünnung der Lauge erfolgt durch demineralisiertes Wasser, das in einer kleinen Ionenaustauschanlage lokal hergestellt wird.

Bei der Anwendung von Natronlauge ist die Masse der erzeugten Calciumcarbonat-Pellets nur etwa halb so groß wie beim Einsatz von Kalkmilch auf der Basis von Kalkhydrat. Durch den Einsatz von Natronlauge steigt die Natriumkonzentration im Trinkwasser, äquivalent zur eingesetzten Menge an Natronlauge an. Für die Wasserversorgung von Achern bedeutet dies, ausgehend von einem Natriumgehalt von rund  $20\text{ mg/L}$  einen Anstieg auf rund  $70\text{--}90\text{ mg}$  im Trinkwasser. Der in der Trinkwasserverordnung genannte Grenzwert für Natrium beträgt allerdings  $200\text{ mg/L}$ . Bei einer täglichen Natriumaufnahme durch die Nahrung von  $4000\text{ mg--}6000\text{ mg/Kopf}$  entspricht die durch Trinkwasser aufgenommene Menge circa  $0,5\%$  und kann damit als unerheblich eingestuft werden.

### Zusammenfassung

Das Beispiel des Projekts in Achern zeigt, dass eine Trinkwasserenthärtung mittels einer SEK-Anlage nicht nur sehr kostengünstig auf-

gebaut und betrieben werden kann, sondern dass auch ein wartungsarmer und stabiler Betrieb langfristig möglich ist.

Die Betriebskosten einer natronlaugengebasierten SEK-Anlage liegen im Bereich zwischen 10 Cent/m<sup>3</sup> (bei Anlagen >1 Mio. m<sup>3</sup>/a verkauften Wassers) und 17 Cent/m<sup>3</sup> (bei relativ kleinen Anlagen). Im Vergleich mit dezentral betriebenen Anlagen ist dies um etwa Faktor 5-10 kostengünstiger.

#### Literatur

- [1] Zentrale Enthärtung von Trinkwasser – Eine ökologische und ökonomische Bewertung. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI, ISBN 3-8167-6477-0.
- [2] Trinkwasserverordnung.
- [3] DIN EN 12502 | 2005-03 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe.

#### Kontakte:

**Ingenieurbüro Alwin Eppler GmbH & Co. KG,**  
**Ulrich Kornhaas,**  
**Gartenstraße 9,**  
**D-72280 Dornstetten,**  
**Tel. (07443) 94465,**  
**E-Mail: ulrich.kornhaas@eppler.de,**  
**www.eppler.de**

**Hydro-Elektrik GmbH,**  
**Manfred Brugger,**  
**Angelestraße 48/50,**  
**D-88214 Ravensburg,**  
**Tel. (0751) 600947,**  
**E-Mail: mb@hydro-elektrik.de,**  
**www.hydrogroup.de**