

Achern: Zentrale Enthärtung von Trinkwasser

Schnellentkarbonisierung ■ Seit Mai 2008 ist im Wasserwerk Rotherst (Abb. 1) der Stadtwerke Achern eine Enthärtungsanlage in Betrieb. Rund 28.000 Menschen der Stadt Achern und des umliegenden Zweckverbandes werden seitdem mit enthärtetem Trinkwasser versorgt. Neben grundsätzlichen Informationen über die zentrale Enthärtung von Trinkwasser werden die Ergebnisse des zweijährigen Anlagenbetriebes nachfolgend dargestellt.

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 in Erwägung gezogen und diskutiert. Die Versorgung mit Wasser im Härtebereich 3 oder 4 kann für Verbraucher nachteilige Auswirkungen mit sich bringen. Kalkablagerungen verursachen einen erhöhten Reinigungsaufwand bei Oberflächen und führen zu einer deutlichen Erhöhung des Energieaufwan-

des 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. Aus diesen Gründen greifen Verbraucher vielerorts zu dezentralen Wasserenthärtungsgeräten, die meist auf dem Prinzip des Kationenaustausches basieren. Diese Anlagen verursachen hohe Folgekosten im Bereich von 0,8 bis 1,0 €/m³

(Abschreibung über 10 Jahre, Salzverbrauch und Wartung) und belasten das Abwasser mit Regenerationssalz. Einen Ausweg stellt die zentrale Enthärtung im Wasserwerk dar, für die verschiedene erprobte Verfahren zur Verfügung stehen:

- Langsamentkarbonisierung (LEK)
- Schnellentkarbonisierung (SEK)
- CARIX-Verfahren
- Nanofiltrationsverfahren (NF) und Umkehrosmose (RO)



Abb. 1 Wasserwerk Rotherst

Für die Verfahrenswahl sind neben der Wassermatrix (Zusammensetzung und 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. Als Ergebnis dieser langwierigen, aufwändigen und detaillierten Voruntersuchungen wurde in Achern das Prinzip der Schnellentkarbonisierung (SEK) festgelegt.

Ausgangssituation

Die komplette Planung dieses Vorhabens inklusive der Voruntersuchungen, der Prüfungen zur Verfahrensauswahl bis hin zur Endabnahme der einzelnen technischen Gewerke wurde vom Ing.-Büro A. Eppler GmbH & CoKG in Dornstetten durchgeführt. Ein besonderer Schwerpunkt hierbei war, die seit Jahrzehnten bekannte SEK-Enthärtungstechnik den speziellen Bedürfnissen eines Wasserversorgers im Rheintal anzupassen und den bisher geltenden Be-

treuungs- und Wartungsstandard solcher Anlagen deutlich zu verbessern bzw. zu minimieren. Die Schnellentkarbonisierung in Achern erfolgt in lediglich einem Hochreaktor mit einer Leistung von maximal 360 m³/h (Abb 2+3). Jährlich werden etwa 1,4 Mio. m³ Rohwasser aufbereitet. Das aus insgesamt drei Tiefbrunnen geförderte Rohwasser mit einem Härtegrad von ca. 22 °dH wird auf ca. 10 – 12 °dH enthärtet. Die Umsetzung der planerischen Vorgaben sowie die Verwirklichung und Anpassung zahlreicher neuer technischer Verbesserungen in der gesamten E-/MSR-Technik sowie der hydraulischen Anlagentechnik erfolgten durch die Firma Hydro-Elektrik GmbH in Ravensburg (Anlagenbau) und die Fa. Rittmeyer in Stuttgart-Fellbach (Steuer- und Regelungstechnik).

Dimensionierung

Bis zu Beginn des Jahres 2008 lieferten die Stadtwerke Achern ihren Kunden ein Grundwasser von grundsätzlich ausgezeichneter Qualität, das jedoch geprägt war durch die in der Rheinebene

übliche Wasserhärte von ca. 22 °dH (Härtebereich 3-4). Das Rohwasser aus den drei Tiefbrunnen entspricht in allen übrigen Parametern den Anforderungen der Trinkwasserverordnung (Tab. 1). Korrosionschemisch nach DIN EN 12502 ist die Säurekapazität $K_{S4,3}$ mit 6,0 – 6,2 mol/m³ und die Basekapazität $K_{B8,2}$ mit 1,2 mol/m³ als hoch zu bezeichnen (Tab. 2).

Verfahrensbeschreibung

Bei der Schnellentkarbonisierung (SEK) wird durch Laugenzugabe in einem Wirbelschichtreaktor das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht so gestört, dass es zu einem spontanen Ausfällen des Kalks kommt. Der ausgefällte Kalk wächst an Sandkörnern (Kristallisationskeimen) bis zu Pellets auf. Als gängige Laugen kommen 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



Abb. 2 Montage des Reaktors und der Stahlhalle

Magnesium erhalten bleibt. Für den Prozess spielen die Trübung oder im Rohwasser befindliches Eisen und Mangan keine Rolle.

Aus Erfahrungen mit anderen Anlagen wurde vom Ingenieurbüro 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 (Abb. 5).

Das zu enthärtende Wasser wird im Vollstrom 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 Spezialdüsen (Kombi-Düsen für Rohwasser und Natronlagedosierung) wird dem Rohwasser 25-prozentige Natronlauge zudosiert. Dadurch kommt es zu einer lokalen starken Erhöhung des pH-Wertes auf 9,5 – 10,0. Der Enthärtungsprozess selbst dauert nur ca. 5-10 Sekunden bei einer Wassertemperatur von 10 °C. Das Wirbelbett über dem Düsenboden wird durch die hohe Aufwärtsgeschwindigkeit (zwischen 50 und 100 m/h) angehoben bis zur Fluidisierung. 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 über ein Zackenwehr mit einer Trübung < 0,5 NTU (Abb. 4). Eine weitere Aufbereitung bzw. nachfolgende Filtration ist bei der Verwendung von Natronlauge in der Regel nicht erforderlich. Calcium und Hydrogencarbonat werden bei dem lokal hohem pH-Wert in Calciumkarbonat nach folgender Formel übergeführt: $Ca^{2+} + HCO_3^- + NaOH = CaCO_3 + H_2O + Na^+$

Die Kalkpellets aus Calciumkarbonat werden über eine Differenzdruckschaltung automatisch aus dem Reaktor abgelassen und mit einer Pumpe in einen Container gefördert. Von dort können diese z. B. an die Landwirtschaft zur Kalkung abgegeben werden. 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 Microcalciumkarbonatpartikel mehr aus dem Reaktor aus. Die Gesamthöhe des Reaktors beträgt ca. neun Meter, sodass das Reinwasser vom Reaktorüberlauf im Eigengefälle direkt in den Reinwasserbehälter fließen kann.



Abb. 3 SEK-Reaktor

| | m ³ /a | Q _m | | m ³ /d | Q _{max,24h} | | Q _{max,20,6h} | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | | m ³ /d | m ³ /h | | l/s | m ³ /h | l/s | m ³ /h |
| WW Rotherst Versorgung Achern & Achertal | 1.450.000 | 3.973 | 166 | 7.000 | 81 | 292 | 90 | 324 |

Tabelle 1 Auslegungsgrundlagen

Optimierung

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

Anstelle der vermeintlich günstigeren Dosierchemikalie Kalkhydrat bzw. Kalkmilch wurde Natronlauge gewählt. Ein wirtschaftliches Handling mit der Natronlauge konnte 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 erreicht werden.

Für eine ideale Kolbendurchströmung mit maximal möglicher Turbulenz im Wirbelbett wurde für die Anwendung der Natronlauge ein spezieller Düsenboden entwickelt. Dieser hat zum einen die Aufgabe, das Wirbelbett im Betrieb und auch beim Reaktorstillstand von der darunterliegenden Rohwasserkammer abzutrennen und zum anderen durch die große Anzahl der gleich verteilten Kombidüsen das Rohwasser gleichförmig über den gesamten Querschnitt zu verteilen und gleichzeitig die Natronlauge über seitliche Düsenöffnungen zuzudosieren. Unter Verwendung des Natronlaugezwischenbodens mit den spezifischen Kombidüsen ist

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Ca ²⁺ | 125 mg/l |
| Mg ²⁺ | 19 mg/l |
| TOC | < 2 mg/l |
| Trübung | < 0,1 NTU |
| SO ₄ ²⁻ | 32,2 mg/l |
| NO ₃ ²⁻ | 37,2 mg/l |
| Na ⁺ | 7,8 mg/l |
| Fe _{gesamt} | < 0,01 mg/l |
| Mn ²⁺ | < 0,01 mg/l |
| Cl ⁻ | 21 mg/l |
| pH-Wert | 7,2 |

Tabelle 2 Rohwasserwerte

eine hocheffiziente Ausnutzung der Natronlauge für den Enthärtungsprozess gewährleistet. Im mittleren Reaktordurchsatzbereich errechnet sich im Betrieb lediglich eine ca. 1,1-fache überstöchiometrische Dosierung der Natronlauge. Eine solch hohe Chemikalieneffizienz ist mit den üblichen Impflanzensystemen nicht erreichbar. Eine spezielle Reaktorgeometrie für das einströmende Rohwasser ist nicht erforderlich.

Die lediglich in Stufen schaltbaren Förderpumpen in den Tiefbrunnen wurden nicht ausgetauscht. Über ein spezifisch auf den Wasserdurchsatz ausgelegtes Rohrleitungskollektorsystem und zwei redundant geschalteten energieeffizienten 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 Kreislauffahrweise vollständig überflüssig (energieoptimierter Betrieb).

Unter Verwendung von Natronlauge als Dosierchemikalie kann auf die Dosierung eines Flockungsmittels bzw. Flockungshilfsmittels verzichtet werden. Zahlreiche Erfahrungswerte aus bestehenden Anlagen und auch eigenständig durchgeführten Pilotierungen belegen, dass es möglich ist, die Ablauftrübung einer SEK-Anlage mit Natronlauge dosierung im Betrieb dauerhaft unter 0,5 NTU zu halten. 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 Pelletsabzugspumpe automatisch gesteuert und damit das „Wirbelbett“ im Reaktionsraum konstant gehalten. Zusammen mit den Messungen pH-Wert und Härte im Reaktorablauf ist ein stabiler Prozess problemlos realisierbar.

Der über eine Feststoffpumpe zugeführte Impfsand (Abb. 6) wird täglich chargenweise in einem Autoklaven-



Abb. 4 Klarwasserüberlauf im Reaktorauslauf

schränk bei 180 °C sterilisiert. Durch die Wahl eines speziellen Granatsandes als Impfmateriale (Fraktion 0,2-0,3 mm) wird es möglich, mit einer hohen Korndichte > 4 g/cm³ eine höhere Aufstiegs- und dadurch einen höheren Wasserdurchsatz im Reaktor zu gewährleisten. ▶

WWW.BRUNNENFILTER.DE

Brunnenausbaumaterial nach DIN 4925

Arbeiten an Kunststoffrohren:

- Gewindeschneiden
- Schlitzten
- Lochen

Zubehörteile

individuell & schnell

JOHANN STOCKMANN

BRUNNENFILTERBAU · KUNSTSTOFFTECHNIK

48231 Warendorf · Fon 0 25 84 193 00-0

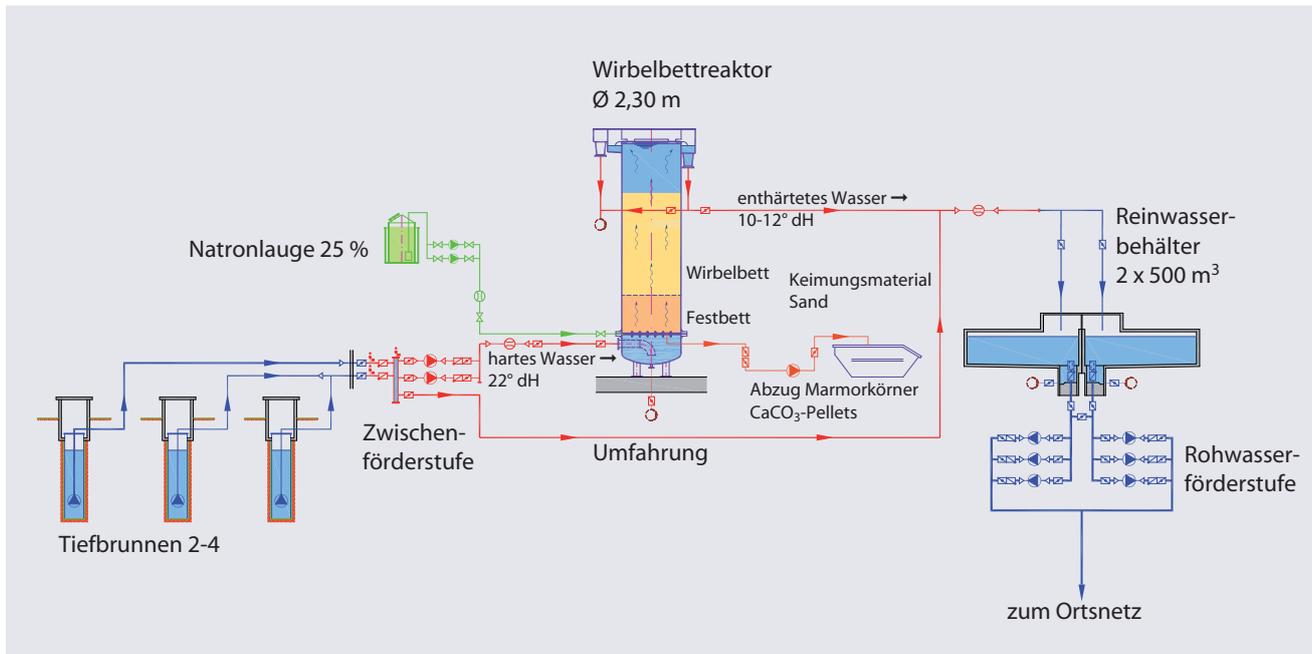


Abb. 5 Funktionsschema

Grundsätzliches zum Einsatz von Natronlauge

Großtechnische Anlagen zur Schnellentkarbonisierung 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 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. Wie bereits erwähnt ist der Klarwasserablauf einer mit Natronlauge betriebenen SEK-Anlage in der Regel technisch frei von Trübstoffen, bei einem Trübungswert von dauerhaft $< 0,5$ NTU. Im hier beschriebenen Objekt WW 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 und 50 Gew.-%) ist auf den relativ hohen Erstarrungspunkt der Lösung von ca. 8 bis 10 °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 °C, sodass hier eine Temperierung nicht mehr notwendig ist. Die Verdünnung der Lauge erfolgt durch demineralisiertes Wasser, das in einer kleinen Ionenaustauscheranlage lokal hergestellt wird. Innerhalb des Betrachtungszeitraums der Jahre 2008, 2009 und 2010 sind Preisschwankungen für die 50%ige Natronlauge zwischen 95 €/t und über 300 €/t aufgetreten. Die recht außergewöhnlichen Vorgänge waren zum einen ausgelöst durch die eng mit der Natronlaugeproduktion verbundene Chlor-Kunststoffindustrie und deren extremen wirtschaftlichen Anfälligkeit während der Wirtschaftskrise. Des Weiteren wurde speziell in Deutschland (und im gesamten europäischen Raum) die Natronlaugeproduktion von amerikanischen Produzenten zurückgefahren und damit der Markt künstlich verknappt. Mittlerweile ist das Preisniveau von vor zwei Jahren zum Teil noch deutlich unterschritten und die Marktentwicklung zeigt, dass neuere und modernere Herstellungsverfahren aus ökologischer und ökonomischer Sicht die Natronlaugeproduktion weniger energieintensiv machen und dadurch auch kostengünstiger.

Ferner ist bei der Anwendung von Natronlauge die Masse der erzeugten Calciumkarbonat-Pellets nur ca. halb so groß wie beim Einsatz von Kalkmilch



Abb. 6 Impfsand-Nachführung

auf der Basis von Kalkhydrat. Durch den Einsatz von Natronlauge steigt die Natriumkonzentration im Trinkwasser, äquivalent zur eingesetzten Menge an Natronlauge an. Ausgehend von einem Natriumgehalt von ca. 20 mg/l bedeutet dies für die Wasserversorgung von Achern einen Anstieg auf ca. 70 bis 90 mg/l im Trinkwasser. Der in der Trinkwasserverordnung genannte Grenzwert für Natrium beträgt allerdings 200 mg/l. Bei einer täglichen Natriumaufnahme durch die Nahrung von 4.000 mg bis 6.000 mg/Kopf entspricht die durch Trinkwasser aufgenommene Menge ca. 0,5 % und kann damit als unerheblich eingestuft werden.

Vorentsäuerung

Durch eine Reduzierung des Kohlen säuregehaltes im Rohwasser (CO_2^- Strippung) könnte eine erhebliche Menge an Natronlauge eingespart werden. In zahlreichen Anwendungen der Trinkwasserenthärtung kann eine physikalische Vorentsäuerung (z. B. durch Gegenstromrieslerkolonnen) eine

sinnvolle Maßnahme sein. Eine solche physikalische Vorstufe wurde auch für das WW Rotherst sowohl verfahrenstechnisch als auch wirtschaftlich geprüft und durchgerechnet. Nach einer ganzheitlichen Betrachtung konnte jedoch festgestellt werden, dass die hierfür notwendige Gesamtinvestition, die zu erwartenden geringeren Dosierkosten für die Natronlauge deutlich überschritten hätten.

Zusammenfassung

Das beschriebene Beispiel zeigt, dass eine Trinkwasserenthärtung mittels einer SEK-Anlage nicht nur sehr kostengünstig aufgebaut und betrieben werden kann, sondern dass auch ein wartungsarmer und stabiler Betrieb langfristig möglich ist. Die Betriebskosten einer natronlaugebasierten SEK-Anlage liegen im Bereich zwischen 10 Cent/m³ (bei Anlagen >1 Mio m³/a verkauften Wassers) und 17 Cent/m³ (bei relativ kleinen Anlagen). Im Vergleich mit dezentral betriebenen Anlagen ist dies ca. um Faktor 5 bis 10 kostengünstiger.

Abbildungen: Abb. 1, 3, 6: Hydro-Elektrik GmbH,
Abb. 2, 4, 5: IB Eppler

Autoren:

Ulrich Kornhaas
Ingenieurbüro Alwin Eppler GmbH & Co. KG
Gartenstr. 9
72280 Dornstetten
Tel.: 07443 944-65
Fax: 07443 944-50

E-Mail: ulrich.kornhaas@eppler.de
Internet: www.eppler.de

Manfred Brugger
Hydro-Elektrik GmbH
Angelestr. 48/50
88214 Ravensburg
Tel.: 0751 6009-47
Fax: 0751 6009-33

E-Mail: mb@hydro-elektrik.de
Internet: www.hydrogroup.de



Hocheffiziente Lösungen in allen Anwendungen.



Member of
German Water
Partnership

Water Management von Wilo.

Wilo Pumpen und Systeme für das Water Management setzen weltweit Maßstäbe hinsichtlich Hocheffizienz und technischer Leistung. Dank unseres langjährigen Know-hows und unserer herausragenden Planungsunterstützung erhalten Sie jederzeit optimale Lösungen für alle Ihre Anwendungen: in der Reinwasserversorgung, Druckerhöhung, Abwasserförderung, Abwasserbehandlung und Abwasserentsorgung. Alles aus einer Hand – und auf Herz und Nieren getestet. Kompetent? Wir nennen das Pumpen Intelligenz.