



Stadtbetrieb Bornheim AöR

**Prüfung von alternativen
Entsäuerungsverfahren
im Wasserwerk Eichenkamp**

Auftraggeber

Stadtbetrieb Bornheim
Donnerbachweg 15
53332 Bornheim

Wolfgang Hönighausen

Bearbeitet von

H₂U aqua.plan.Ing-GmbH
Siemesdyk 64
47807 Krefeld

Dipl.-Ing. Anke Syttkus
as@h2u.de
02151 70498-27

12. September 2013

1	Übersicht und Aufgabenstellung	3
1.1	Situation und Aufgabenstellung.....	3
1.2	Verwendete Unterlagen.....	3
2	Entsäuerungserfordernis.....	4
3	Entsäuerungsverfahren	6
3.1	Chemische Entsäuerung	6
3.2	Filtrative Entsäuerung	9
3.3	Physikalische Entsäuerung.....	10
3.4	Fazit.....	13
4	Anpassung der Wasserqualität durch den Vorlieferanten	15
5	Zusammenfassung	17
	Anlagenverzeichnis	18

1 Übersicht und Aufgabenstellung

1.1 Situation und Aufgabenstellung

Im WW Eichenkamp wird Trinkwasser der beiden Vorlieferanten WTV (Wahnbach-talsperrenverband, Mischung aus Talsperrenwasser und Grundwasser) und WBV (Wasserbeschaffungsverband Wesseling-Hersel, rheinnahes Grundwasser) gemischt. In der Regel wird ein Mischungsverhältnis von 25 % des weicheren Wassers des WTV mit 75 % des härteren Grundwassers des WBV eingestellt.

Aufgrund der Mischung von weichem und hartem Wasser erhält das Mischwasser kalklösenden Charakter und muss restentsäuert werden, um die Anforderungen der Trinkwasserverordnung an die Calcitlösekapazität zu erfüllen.

Am 11.04.2013 fand im Wasserwerk Eichenkamp der Stadt Bornheim ein Störfall statt. Bei diesem Störfall wurde eine erhebliche Menge an konzentrierter Natronlauge in das Trinkwasser dosiert und in das Versorgungsnetz abgegeben.

Gemäß Beschluss in der Sondersitzung vom 2.5.2013 soll eine Betrachtung zu alternativen Entsäuerungsverfahren durchgeführt werden, bei denen ein Risiko für eine Überdosierung wie beim Störfall vom 11.4.2013 grundsätzlich ausgeschlossen werden kann.

1.2 Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden seitens des Stadtbetriebs übergeben und waren Basis für die Auswertung:

- Anlagen- und Funktionsbeschreibung für das Wasserwerk und die Natronlauge-Dosieranlagen des Planers „Hydroprojekt Ingenieure“ von 2004
- Verfahrensschema des Wasserwerkes
- Rohrnetzplan („Notversorgungsübersicht“)
- 18 Einzelanalysen des vom WTV eingespeisten Wassers (Probenahmestelle Meindorf nach Bonn-Nord) von Januar 2012 – Juni 2013
- 11 Einzelanalysen des vom WBV eingespeisten Wassers von Januar 2009 – Juni 2013
- 1 Einzelanalyse des Trinkwassers im Werksausgang des WW Eichenkamp vom 17.4.2013
- Datenblätter der vorhandenen Förderpumpen

2 Entsäuerungserfordernis

Sämtliche wasserchemische Berechnungen wurden mit der aktuellsten Version 5.0 des Berechnungsprogramms Winwasi durchgeführt. Dabei wird die Calcitlösekapazität gemäß der Berechnung Nr. 3 der neuen DIN 38404-10 von Dezember 2012 ermittelt.

2 Entsäuerungserfordernis

Gemäß Anhang 3 der Trinkwasserverordnung gilt für Trinkwasser ein allgemeiner Grenzwert für die Calcitlösekapazität von maximal 5 mg/l.

Allerdings gilt für die „Stelle der Mischung von Wässern aus zwei oder mehr Wasserwerken im Verteilungsnetz“ ein erweiterter Grenzwert von 10 mg/l. Je nach Auslegung dieser Regelung könnte man für das Wasserwerk Eichenkamp somit durchaus auch den erweiterten Grenzwert der Trinkwasserverordnung heranziehen. Dieser Aspekt sollte allerdings in Abstimmung mit dem Gesundheitsamt sowie unter Berücksichtigung eines möglichen erhöhten Korrosionsrisikos im Versorgungsnetz diskutiert werden.

Auf Basis der zur Verfügung gestellten Analysen der Wasserqualität der Vorlieferanten Wahnbachtalsperrenverband (WTV) und Wasserbeschaffungsverband Wesseling-Hersel (WBV) wurden Mischungsberechnungen durchgeführt. Dabei wurde die gesamte Bandbreite an Wasserqualitäten in beiden Teilströmen berücksichtigt, indem für jeden Vorlieferanten jeweils das härteste und das weichste Einzelwasser betrachtet wurde. Zusätzlich wurde pro Vorlieferant ein fiktives Wasser „mittlerer Qualität“ gebildet, bei dem für jeden Parameter der Median-Wert aus den Einzelanalysen angesetzt wurde („Median“).

Für alle Kombinationen wurde die resultierende Calcitlösekapazität berechnet. Die Ergebnisse für den angestrebten Mischungsbereich zwischen 60 und 80% WBV-Wasser sind in nachfolgender Übersichtstabelle dargestellt (ausführliche Ergebnisse s. Anhang 1).

Tabelle 2-1: Berechnete Calcitlösekapazitäten für verschiedene Mischungsverhältnisse (60-80% WBV, reale Wässer)

Anteil WTV	40%	30%	20%
Anteil WBV	60%	70%	80%

Qualität WBV	Qualität WTV			
hart (Dc = 4,9 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	8,71 mg/l	8,33 mg/l	7,55 mg/l
hart (Dc = 4,9 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	7,98 mg/l	7,73 mg/l	7,12 mg/l
hart (Dc = 4,9 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	10,23 mg/l	9,66 mg/l	8,55 mg/l
weich (Dc = 8,4 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	8,24 mg/l	8,61 mg/l	8,76 mg/l
weich (Dc = 8,4 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	7,66 mg/l	8,13 mg/l	8,41 mg/l
weich (Dc = 8,4 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	9,29 mg/l	9,54 mg/l	9,47 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	4,55 mg/l	3,91 mg/l	2,95 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	3,89 mg/l	3,37 mg/l	2,56 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	5,84 mg/l	5,05 mg/l	3,82 mg/l

Im Ergebnis ist festzustellen, dass je nach Rohwasserqualität der Vorlieferanten eine Überschreitung der nach TrinkWV zulässigen Calcitlösekapazität von 5 mg/Liter stattfinden kann (die dies betreffenden Felder sind in der Tabelle gelb hinterlegt). Zum gleichen Ergebnis kam die Nachrechnung der am 17.4.2013 gemessenen Wasseranalyse im Ausgang des Wasserwerkes Eichenkamp (ohne NaOH-Dosierung), bei der eine Calcitlösekapazität von 5,36 mg/Liter berechnet wurde.

Bei insgesamt zwei Mischungsverhältnissen, davon eines im relevanten Mischungsbereich, wird auch der erweiterte Grenzwert der Trinkwasserverordnung für die Calcitlösekapazität in Höhe von 10 mg/Liter überschritten (rot markiert).

Für die Calcitlösekapazität des Mischwassers ist insbesondere die Qualität des WBV-Wassers entscheidend, da hier die größten Schwankungen sowohl bzgl. der Härte, als auch bzgl. der Calcitlösekapazität auftreten. Teilweise wird die zulässige Calcitlösekapazität nach TrinkWV im von WBV gelieferten Trinkwasser überschritten.

Unabhängig davon, ob ggf. der erweiterte Grenzwert anwendbar ist, entspricht unter den gegebenen Umständen das Wasser aus dem WW Eichenkamp ohne eine Entsäuerung nicht den Anforderungen der Trinkwasserverordnung.

3 Entsäuerungsverfahren

Unter Entsäuerung werden Verfahren verstanden, die eine Verminderung der Kohlenstoffdioxidkonzentration und eine Erhöhung des pH-Wertes des Wassers bewirken. Es werden die physikalische Entsäuerung (Gasaustausch) und die chemische Entsäuerung (Neutralisation) unterschieden. Bei der physikalischen Entsäuerung wird die aggressive Kohlensäure ausgetrieben, bei der chemischen Entsäuerung wird sie gebunden. Die Wahl zwischen den Verfahren erfolgt in erster Linie in Abhängigkeit von der Rohwasserbeschaffenheit. Im DVGW-Arbeitsblatt W 214-1 werden dazu die in Tabelle 4 angegebenen Vorzugsbereiche genannt.

Tabelle 3-1: Vorzugsbereiche für den Einsatz der Entsäuerungsverfahren in Abhängigkeit von der Wasserbeschaffenheit gemäß DVGW-W 214-1

Verfahren	Wasserbeschaffenheit im Zulauf zur Entsäuerung
Ausgasung von Kohlenstoffdioxid	$c(\text{Ca}^{2+}) \times K_{S\,4,3} > 2 \text{ mmol}^2/\text{l}^2$
Filtration über Calciumcarbonat	$K_{S\,4,3} + 2 K_{B\,8,2} < 1,5 \text{ mmol/l}$
Filtration über halbgebrannten Dolomit	$K_{S\,4,3} + 2 K_{B\,8,2} < 2,5 \text{ mmol/l}$
Dosierung basischer Stoffe	-----

3.1 Chemische Entsäuerung

Die zur Entsäuerung gewünschten Neutralisationsreaktionen können durch die direkte Zudosierung von alkalischen Stoffen erreicht werden. Hierfür kommen Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (als Kalkpulver, Kalkmilch oder Kalkwasser), Natriumhydroxid NaOH und Natriumcarbonat Na_2CO_3 zum Einsatz.

Generell besteht bei allen chemischen Entsäuerungsverfahren die Gefahr einer Überdosierung.

Von den chemischen Verfahren ist für die Anwendung im WW Eichenkamp die Dosierung von NaOH aus folgenden Gründen am besten geeignet:

- Bei einer Entsäuerung mit Kalk oder Soda muss die Dosierlösung (Kalkwasser bzw. Soda-Lösung) unter erheblichem apparativem und betrieblichem Aufwand vor Ort hergestellt werden.
- Bei beiden Varianten entsteht ein alkalisches Schlammwasser, welches behandelt und entsorgt werden muss.
- Mit Kalk würde außerdem eine zusätzliche, unerwünschte Aufhärtung des Wassers stattfinden.
- Der pH-Wert der Soda-Dosierlösungen ist mit pH 11,5 geringer als der von Natronlauge (somit höherer Verbrauch).

Da das grundsätzliche Problem einer potentiellen Überdosierung auch bei Kalkwasser und Soda besteht und beide Varianten die o.g. Nachteile gegenüber Natronlauge aufweisen, wird die Dosierung von Kalkprodukten und von Soda nicht näher betrachtet.

Natronlauge-Dosierung

Die Natronlagedosierung erfolgt über eine Anlage, die 1995 errichtet und 2004 umgebaut wurde. Aufgrund des Störfalles vom 11.04.2013 muss die Dosieranlage so ertüchtigt werden, dass eine Wiederholung des Vorfalles sicher vermieden wird. Dafür sind Ergänzungen an der verfahrenstechnischen Ausstattung sowie im Bereich der Steuerungstechnik erforderlich.

Die Natronlauge wird als 33%ige Lösung angeliefert und dosiert. Zur Vermeidung von Auskristallisationen wird der Tankinhalt auf eine Mindesttemperatur von 20°C beheizt. Die Dosierung der Natronlauge erfolgt mit zwei Motormembrandosierpumpen vom Typ Sigma, die wechselweise betrieben werden. Für das aktuelle Mischungsverhältnis von 70% WBV zu 30% WTV ist laut der Berechnung von Herrn Dr. Musaik (Rhenag) eine spezifische Dosiermenge von 2,94 g/m³ erforderlich.

Vor der Dosierung wird die Natronlauge mit enthärtetem Weichwasser verdünnt. Zu diesem Zweck wird eine Weichwasser-Anlage mittels Ionentauscher betrieben, welche einen Vorlagebehälter für Weichwasser speist. Das Weichwasser wird mit zwei Weichwasserpumpen zur Dosierstelle gefördert. Deren Fördermenge liegt bei etwa 0,8-1,5 m³/h.

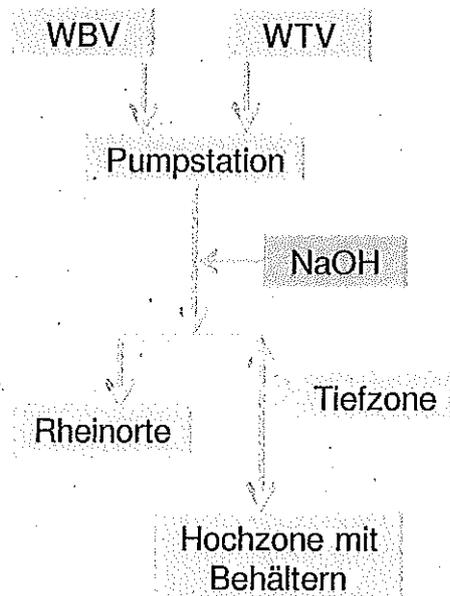


Abbildung 3-1: hydraulische Einbindung der NaOH-Dosierung

Die vorhandene NaOH-Dosierung ist auf der Druckseite der Pumpstation eingebunden, wie die obenstehende Abbildung verdeutlicht.

Das Wasser der Vorlieferanten steht mit einem Vordruck von jeweils etwa 4,5 bis 5 bar an. Die Einspeisung erfolgt von beiden Seiten in eine gemeinsame Saugleitung der Pumpstation, die allerdings in der Mitte in 2 Stränge abgesperrt ist. Aus jedem Strang fördern jeweils bis zu 3 drehzahlregelbare Pumpen (insgesamt 6) in eine gemeinsame Druckleitung. In der Regel werden zwei WBV-Pumpen mit einer Fördermenge von je rd. 160 m³/h und eine WTV-Pumpe mit einer Fördermenge von rd. 100 m³/h betrieben. Die Förderhöhe beträgt ca. 70 mWS, die Pumpen werden in ihrem optimalen Wirkungsgradbereich betrieben.

Die Druckleitung wird in ein zweites Gebäude geführt, in dem die Natronlauge-Dosierung, die pH-Messung sowie die Aufteilung auf die Werksausgänge lokalisiert sind. Es existieren dort 2 Werksausgänge:

- ein Werksausgang führt in die Rheinorte,
- der zweite Werksausgang führt in die Tiefzone sowie über nachgelagerte Behälteranlagen und Druckerhöhungsstationen zur Hochzone.

Der Druck im Werksausgang zu den Rheinorten wird mit Druckminderern auf den Versorgungsdruck von rd. 4,9 bar reduziert.

Die jährlichen Kosten setzen sich aus folgenden Faktoren zusammen:

3 Entsäuerungsverfahren

- Kapitaldienst vorhandene Natronlaugetanks, Dosieranlage, Weichwasseranlage (Abschreibung 2015 abgeschlossen)
- Kapitaldienst für geplante Ertüchtigung der NaOH-Dosieranlage (Angebot der Firma WBH vom 12.6. bzw. 14.6.2013 sowie der Firma Horlemann vom 14.8.2013)
- Energiekosten Pumpwerk
- Energiekosten Tankbeheizung
- Energiekosten Weichwasserpumpe
- Betriebsmittelkosten Natronlauge
- Betriebsmittelkosten Regenerierungssalz
- Wartungs- und Instandhaltungskosten

Die Kostenermittlung ist in Anlage 2 beigelegt. Es ergeben sich in der Summe jährliche Kosten i.H. von rd. 111.000 €/a. Davon machen die Energiekosten rd. 88% aus.

3.2 Filtrative Entsäuerung

Eine Filtration über Kalkstein oder halbgebrannten Dolomit bewirkt die gewünschte Erhöhung des pH-Wertes und verringert die Calcitlösekapazität. Gleichzeitig findet jedoch eine unerwünschte Aufhärtung statt. Da das Wasser im WW Eichenkamp relativ hart ist, resultieren lange Kontaktzeiten und somit ein hoher Platzbedarf. Zudem eignen sich filtrative Verfahren weniger, wenn die Aufbereitungsmenge stark schwankt.

Bei einer mittleren Wasserqualität weist das Mischwasser im WW Eichenkamp folgende Charakteristika auf:

$$K_{S, 4,3} = 3,1 \text{ mmol/l}$$

$$K_{B, 8,2} = 0,25 \text{ mmol/l}$$

$$K_{S, 4,3} + 2 \times K_{B, 8,2} = 3,6 \text{ mmol/l}$$

Somit liegt das Wasser nicht im Vorzugsbereich für eine filtrative Entsäuerung mittels Calciumcarbonat oder halbgebrannten Dolomit gemäß DVGW-W 214-1.

Daher werden filtrative Verfahren als nicht geeignet für eine Entsäuerung im WW Eichenkamp betrachtet.

3.3 Physikalische Entsäuerung

Bei der physikalischen Entsäuerung wird Luft in Wasser ein- und andere Gase, wie Kohlenstoffdioxid, ausgetragen. Dabei kann die Luft durch natürlichen Luftzutritt oder mit einer Zwangsbelüftung (im Gleich- oder Gegenstrom) zugeführt werden. Durch Verdüsung und Verrieselung oder durch die Zufuhr von Luftblasen wird eine besonders große Kontaktfläche zwischen Wasser und Luft ermöglicht. In der Praxis werden verschiedenste Verfahren wie Verdüsung, Inka-Belüftung, Wellbahnbelüftung oder Füllkörperkolonnen verwendet, die sich in Bezug auf ihre Wirksamkeit und ihren Energiebedarf (d.h. den CO₂-Austrag) unterscheiden. Allen o.g. physikalischen Entsäuerungsverfahren ist gemeinsam, dass eine Entspannung des Wassers herbeigeführt wird.

Bei einer mittleren Wasserqualität weist das Mischwasser im WW Eichenkamp folgende Charakteristika auf:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = 1,8 \text{ mmol/l}$$

$$K_{S,4,3} = 3,1 \text{ mmol/l}$$

$$c(\text{Ca}^{2+}) \times K_{S,4,3} = 5,6 \text{ mmol/l}$$

Somit liegt das Wasser im Vorzugsbereich für eine physikalische Entsäuerung gemäß DVGW-W 214-1.

Aufgrund ihrer flachen Bauform können Flachbodenbelüfter auf der Decke von Behältern angeordnet werden und ermöglichen es so, auf eine Stufe zur Druckerhöhung nach der Entsäuerung zu verzichten. Aus diesem Grund sind sie von den verschiedenen physikalischen Entsäuerungsverfahren am besten für einen Einsatz im WW Eichenkamp geeignet.

Physikalische Entsäuerung mittels Flachbodenbelüfter

Wie im Verfahrensschema in Abbildung 3-2 dargestellt, verfügen Flachbodenbelüfter über folgende Ausstattung:

- Mengemessung mittels MID im Zulauf
- Ablaufkasten mit Wasserschloss
- Ablaufleitung mit pH-Messung
- Füllstandssonde MAX
- Notüberlaufleitung (mit spülbarem Siphon, damit die Abluft nicht darüber entweicht).

Für die Zu- und Abluft werden folgende Komponenten vorgesehen:

- Außenluftansaugung über Jalousie und Filtereinheit

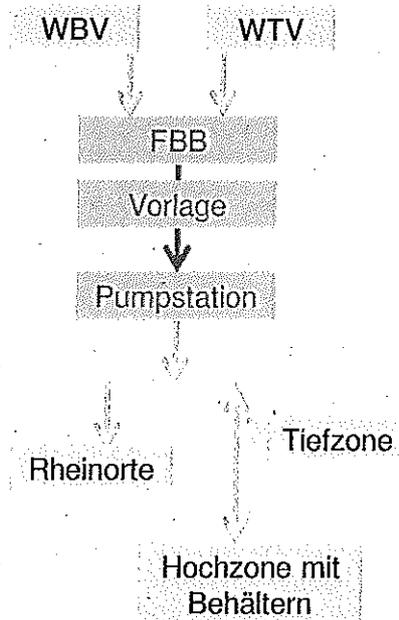


Abbildung 3-3: hydraulische Einbindung der physikalischen Entsäuerung mittels Flachbodenbelüfter

Der Flachbodenbelüfter wird in einem neuen Gebäude untergebracht. Um eine Druck-erhöhungsstufe einzusparen, wird er auf der Decke des Vorlagebehälters untergebracht; das entsäuerte Wasser kann so im freien Gefälle in den Behälter laufen. Der Speicher wird so dimensioniert, dass er das Volumen, das innerhalb von ca. 15 Minuten gefördert wird, abpuffern kann. Es wird daher ein Gesamtvolumen von 100 m³ vorgesehen, dass auf 2 Kammern aufgeteilt wird. Es ergibt sich ein Gebäude von z.B. 10 x 11 m Grundfläche mit einer Höhe von 5 m. Die Kosten hierfür wurden auf rund 165.000 € geschätzt.

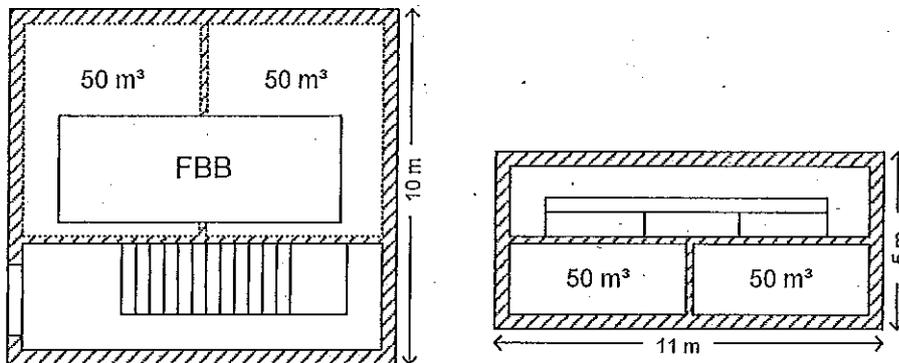


Abbildung 3-4: Gebäudeskizze für Flachbodenbelüfter und Pumpenvorlage

Zusätzlich sind Kosten für

- die Rohrinstallation
 - Zulaufleitungen WBV / WTV → FBB
 - FBB → Vorlagebehälter
 - Vorlagebehälter → 5 Pumpen
 - 5 Pumpen → Ausgangsleitungen
- und die E-MSR-Technik
 - FU's und Netzfilter für 2 Kompressoren à 15 kW (1 Feld)
 - FU's und Netzfilter für 5 Pumpen à 125 (8 Felder à 0,8 m)
 - Anbindung an die vorh. Steuerung (1 SPS, Software, Inbetriebnahme...)
 - Kabelarbeiten und Ortsmontage

zu berücksichtigen. Es wäre ggf. zu prüfen, ob außerdem die Energieversorgung angepasst werden muss.

Die jährlichen Kosten setzen sich aus folgenden Faktoren zusammen:

- Kapitaldienst FBB
- Kapitaldienst Installation
- Kapitaldienst Gebäude
- Kapitaldienst Pumpen
- Kapitaldienst E-MSR-Technik
- Energiekosten Gebläse
- Energiekosten Pumpwerk

Die Kostenermittlung ist in Anlage 3 beigefügt. Der Gesamt-Invest wurde auf 655.000 € geschätzt. Damit ergibt sich ein jährlicher Kapitaldienst von rd. 44.000 €/a. Aufgrund der hydraulischen Entspannung vor den Pumpen steigen die Energiekosten um rd. 35% im Vergleich zur Vergleichsvariante auf rd. 117.000 €/a. Insgesamt ergeben sich jährliche Kosten i.H. von rd. 174.000 €/a (rd. 160% im Vergleich zur Natronlauge-Variante).

3.4 Fazit

Aufgrund der Wasserchemie und der örtlichen bzw. baulichen Gegebenheiten eignen sich die Dosierung von Natronlauge und die physikalische Entsäuerung mittels Flachbettbelüftern am

3. Entsäuerungsverfahren

besten zur Entsäuerung des Mischwassers im WW Eichenkamp. Für diese beiden Verfahren wurde daher ein Variantenvergleich durchgeführt.

Nachfolgende Tabelle zeigt die ermittelten jährlichen Kosten im Vergleich. Es wird deutlich, dass die physikalische Entsäuerung mittels Flachbodenbelüfter mit erheblichen Mehrkosten im Vergleich zur Natronlaugedosierung sowohl in Bezug auf den Invest, als auch in Bezug auf die Betriebskosten verbunden ist.

Daher wird empfohlen, die vorhandene Entsäuerung durch Natronlaugedosierung beizubehalten und die Anlagen entsprechend der Empfehlungen aus dem Gutachten zur Störfalluntersuchung zu ertüchtigen, sofern kein Verzicht auf eine Entsäuerung möglich ist.

Tabelle 3-2: Kostenvergleich Natronlaugedosierung / physikalische Entsäuerung

	NaOH-Dosierung	Physikalische Entsäuerung
Kurzfristiger Invest	82.000 €	655.000 € (+573.000 €)
Kapitaldienst	7.200 €/a (bis 2015) 5.500 €/a (2016-2033)	44.000 €/a
Energie	97.000 €/a	117.000 €/a
Betriebsmittel	4.800 €/a	-
Wartung	3.600 €/a	13.000 €/a
Summe Jahreskosten	111.000 €/a (2016-2033)	174.000 €/a (+63.000 €)

4 Anpassung der Wasserqualität durch den Vorlieferanten

Als zusätzliche Untersuchung wurden die oben beschriebenen wasserchemischen Mischungsberechnungen wiederholt unter der Annahme, **dass das Wasser des Vorlieferanten WBV mit einer Calcitlösekapazität von 0 mg/l geliefert würde**. Technisch ist dies machbar, da im WW Wesseling-Urfeld eine Natronlaugedosierung betrieben wird.

Für alle Kombinationen wurde die resultierende Calcitlösekapazität berechnet. Die Ergebnisse für den angestrebten Mischungsbereich zwischen 60 und 80% WBV-Wasser (i.d.R. 75%) sind in nachfolgender Übersichtstabelle dargestellt (ausführliche Ergebnisse s. Anhang 4).

Tabelle 4-1: Berechnete Calcitlösekapazitäten für verschiedene Mischungsverhältnisse (60-80% WBV, WBV im Gleichgewichtszustand)

Anteil WTV	40%	30%	25%	20%
Anteil WBV	60%	70%	75%	80%

Qualität WBV	Qualität WTV
--------------	--------------

hart (Dc = 0 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	5,55 mg/l	4,72 mg/l	4,16 mg/l	3,50 mg/l
hart (Dc = 0 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	4,84 mg/l	4,13 mg/l	3,64 mg/l	3,07 mg/l
hart (Dc = 0 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	7,04 mg/l	6,01 mg/l	5,30 mg/l	4,47 mg/l

weich (Dc = 0 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	2,88 mg/l	2,45 mg/l	2,15 mg/l	1,81 mg/l
weich (Dc = 0 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	2,32 mg/l	1,99 mg/l	1,76 mg/l	1,48 mg/l
weich (Dc = 0 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	3,87 mg/l	3,32 mg/l	2,94 mg/l	2,48 mg/l

Median (Dc = 0 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	4,55 mg/l	3,91 mg/l	3,47 mg/l	2,95 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	3,89 mg/l	3,37 mg/l	3,00 mg/l	2,56 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	5,84 mg/l	5,05 mg/l	4,49 mg/l	3,82 mg/l

Im Ergebnis stellt sich bei der dieser Berechnung eine geringere Calcitlösekapazität der Mischwässer ein. Bei ungünstigen Bedingungen (insbesondere bei sehr weichem Wasser des WTV) wird zwar noch vereinzelt der Grenzwert der TrinkWV von 5 mg/l knapp überschritten; der erweiterte Grenzwert von 10 mg/l wird jedoch in allen Mischungsverhältnissen sicher eingehalten. Insbesondere beim üblichen Mischungsverhältnis von 75% WBV-Wasser zu 25% WTV-Wasser wird der Wert von 5 mg/l in 8 von 9 berechneten Fällen eingehalten.

Unter den folgenden Voraussetzungen könnte also auf eine Entsäuerung im WW Eichenkamp verzichtet werden:

4 Anpassung der Wasserqualität durch den Vorlieferanten

- Es ist sichergestellt, dass sich das von WBV gelieferte Trinkwasser jederzeit im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befindet (Umstellung der Dosieranlage im WW Wesseling-Urfeld und eine vertragliche Vereinbarung erforderlich).
- und
- Der erweiterte Grenzwert der Trinkwasserverordnung für die Calcitlösekapazität i.H. von 10 mg/l ist anwendbar (Abstimmung mit dem Gesundheitsamt erforderlich, Abklärung Korrosionsgefahr).

Aus wirtschaftlicher und betrieblicher Sicht ist diese Lösung gegenüber einer Entsäuerung im WW Eichenkamp zu bevorzugen.

Hinweis: Es handelt sich bei den von WBV und WTV gelieferten Wässern auch heute schon um „Trinkwässer unterschiedlicher Beschaffenheit“ in Bezug auf die Parameter Säurekapazität bis pH 4,3 ($k_{S\ 4,3}$) und Sulfat. Durch die vermehrte Zugabe von Natronlauge im WW Wesseling-Urfeld nimmt die Unterschiedlichkeit etwas zu (der $k_{S\ 4,3}$ des WBV-Wassers steigt um etwa 0,1 mmol/l auf maximal 4,2 mmol/l, während der $k_{S\ 4,3}$ des WTV-Wassers im Minimalfall nur 1,19 mmol/l beträgt). Die Mischung von Trinkwässern unterschiedlicher Beschaffenheit *kann* besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz erforderlich machen. Da die Calcitlösekapazität des Mischwassers innerhalb der zulässigen Grenzen liegt und sich darüber hinaus die Korrosionsquotienten nach DIN EN 12502 durch die Umstellung nicht verändern, ist hier jedoch nicht von einer nennenswerten Verschlechterung gegenüber dem Ist-Zustand auszugehen.

5 Zusammenfassung

Es wurden Mischungsberechnungen für die gesamte Bandbreite an Wasserqualitäten in beiden Trinkwasser-Teilströmen durchgeführt und für alle Kombinationen die resultierende Calcitlösekapazität berechnet. Im Ergebnis ist die Einhaltung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung bzgl. der Calcitlösekapazität im WW Eichenkamp unter den gegebenen Umständen ohne eine Aufbereitungsstufe zur Entsäuerung nicht gewährleistet.

Gemäß der durchgeführten wasserchemischen Berechnungen wäre es jedoch möglich, durch eine Optimierung der Qualität des gelieferten Trinkwassers des WBV (Wasserbeschaffungsverband Wesseling-Hersel) zumindest den erweiterten Grenzwert der Trinkwasserverordnung für die Calcitlösekapazität sicher einzuhalten. Hierzu wären entsprechende betriebliche Anpassungen seitens des Vorlieferanten, eine vertragliche Fixierung und nicht zuletzt eine Bestätigung der Anwendbarkeit des erweiterten Grenzwertes durch das Gesundheitsamt erforderlich. Vorteil dieses Weges wäre es, dass auf eine Entsäuerung am WW Eichenkamp komplett und ersatzlos verzichtet werden könnte.

Wenn eine entsprechende Regelung nicht zustande kommt, wird empfohlen, die vorhandene Entsäuerung durch Natronlaugedosierung beizubehalten und die Anlagen entsprechend der Empfehlungen aus dem Gutachten zur Störfalluntersuchung zu ertüchtigen.

Krefeld, den 12. September 2013

H₂U aqua.plan.Ing-GmbH

i.A. Anke Syttkus

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1** Ergebnisse der wasserchemischen Berechnungen für die realen Wässer
- Anlage 2** Kostenermittlung Variante NaOH-Dosierung
- Anlage 3** Kostenermittlung Variante physikalische Entsäuerung
- Anlage 4** Ergebnisse der wasserchemischen Berechnungen für fiktive Wässer

WW Eichenkamp

Calcitlösekapazität der Mischwässer

Anteil WTV	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Anteil WBV	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%

Qualität WBV **Qualität WTV**

hart (Dc = 4,9 mg/l)	1,08 mg/l	3,63 mg/l	5,66 mg/l	7,16 mg/l	8,15 mg/l	8,66 mg/l	8,71 mg/l	8,33 mg/l	7,55 mg/l	6,40 mg/l	4,90 mg/l
hart (Dc = 4,9 mg/l)	0,49 mg/l	2,91 mg/l	4,84 mg/l	6,29 mg/l	7,29 mg/l	7,84 mg/l	7,98 mg/l	7,73 mg/l	7,12 mg/l	6,17 mg/l	4,90 mg/l
hart (Dc = 4,9 mg/l)	0,87 mg/l	4,01 mg/l	6,54 mg/l	8,41 mg/l	9,64 mg/l	10,23 mg/l	10,23 mg/l	9,66 mg/l	8,55 mg/l	6,95 mg/l	4,90 mg/l
weich (Dc = 8,4 mg/l)	1,08 mg/l	2,89 mg/l	4,45 mg/l	5,76 mg/l	6,83 mg/l	7,65 mg/l	8,24 mg/l	8,61 mg/l	8,76 mg/l	8,70 mg/l	8,44 mg/l
weich (Dc = 8,4 mg/l)	0,49 mg/l	2,22 mg/l	3,74 mg/l	5,04 mg/l	6,12 mg/l	6,99 mg/l	7,66 mg/l	8,13 mg/l	8,41 mg/l	8,51 mg/l	8,44 mg/l
weich (Dc = 8,4 mg/l)	0,87 mg/l	3,09 mg/l	5,00 mg/l	6,58 mg/l	7,82 mg/l	8,72 mg/l	9,29 mg/l	9,54 mg/l	9,47 mg/l	9,09 mg/l	8,44 mg/l
Median (Dc = 1,1 mg/l)	1,08 mg/l	2,89 mg/l	4,45 mg/l	5,76 mg/l	6,83 mg/l	7,65 mg/l	8,24 mg/l	8,61 mg/l	8,76 mg/l	8,70 mg/l	8,44 mg/l
Median (Dc = 0,5 mg/l)	0,49 mg/l	2,22 mg/l	3,74 mg/l	5,04 mg/l	6,12 mg/l	6,99 mg/l	7,66 mg/l	8,13 mg/l	8,41 mg/l	8,51 mg/l	8,44 mg/l
Median (Dc = 0,9 mg/l)	0,87 mg/l	3,09 mg/l	5,00 mg/l	6,58 mg/l	7,82 mg/l	8,72 mg/l	9,29 mg/l	9,54 mg/l	9,47 mg/l	9,09 mg/l	8,44 mg/l
Median (Dc = 1,1 mg/l)	1,08 mg/l	2,56 mg/l	3,67 mg/l	4,43 mg/l	4,82 mg/l	4,86 mg/l	4,55 mg/l	3,91 mg/l	2,95 mg/l	1,69 mg/l	0,12 mg/l
Median (Dc = 0,5 mg/l)	0,49 mg/l	1,86 mg/l	2,91 mg/l	3,64 mg/l	4,04 mg/l	4,12 mg/l	3,89 mg/l	3,37 mg/l	2,56 mg/l	1,47 mg/l	0,12 mg/l
Median (Dc = 0,9 mg/l)	0,87 mg/l	2,83 mg/l	4,37 mg/l	5,44 mg/l	6,05 mg/l	6,18 mg/l	5,84 mg/l	5,05 mg/l	3,82 mg/l	2,17 mg/l	0,12 mg/l

Werksausgang 17.4.2013

5,36 mg/l

Stadtbetrieb Bornheim AöR
WW Eichenkamp

Wirtschaftlichkeit Natronlaugedosierung

Allgemeine Parameter

Jahres-Aufbereitungsmenge	2.250.000 m ³ /a
Energiepreis	0,12 EUR/kWh
Zinsfuß	3%
Nutzungsdauer	20 a
Annuität bei linearer Abschreibung	6,72

Investitionskosten

Vorh. NaOH-Anlage (*Abschreibung 2015 beendet*)

Invest	25.000,00 €
Ertüchtigung NaOH-Anlage	
Invest Verfahrenstechnik (Angebot Blech)	27.000,00 €
Invest E-MSR-Technik (Angebot Horlemann abzügl. Datenpunkttest)	55.000,00 €
Kapitalkosten bis 2015	7.192,08 €/a
Kapitalkosten 2016-2033	5.511,69 €/a

Energiekosten

Tankbeheizung

Leistungsbedarf Heizung	3 kW
Heiztage	294 d/a
Energiebedarf	21.168 kWh/a
Pumpwerk WTV-/WBV-Pumpen	
Energiebedarf	775.000 kWh/a
Weichwasserpumpe	
Förderhöhe	115,00 mWS
Jahresmenge	26.280 m ³ /a
Wirkungsgrad	75,0%
Energiebedarf	10.974 kWh/a
Energiebedarf Gesamt	807.142 kWh/a
Energiekosten	96.857,02 €/a

Betriebsmittelkosten

NaOH	4.600 €/a
Salztabletten	170 €/a
Jahreskosten	4.770,00 €/a

Wartungskosten

Wartungsvertrag vorh. NaOH-Anlage	351 €/a
Wartungsvertrag vorh. Weichwasseranlage	633 €/a
Instandsetzungskosten vorh. Anlagen	1.000 €/a
Wartung und Instandhaltung für Ertüchtigung pauschal 2%	1.640 €/a
Jahreskosten	3.624,00 €/a

Jahreskosten bis 2015	112.443,10 €/a
Jahreskosten 2015-2033	110.762,71 €/a

Stadtbetrieb Bornheim AöR
WW Eichenkamp

Wirtschaftlichkeit physikalische Entsäuerung

Allgemeine Parameter

Jahres-Aufbereitungsmenge	2.250.000 m ³ /a
Energiepreis	0,12 EUR/kWh
Zinsfuß	3%
Nutzungsdauer	20 a
Annuität bei linearer Abschreibung	6,72

Investitionskosten

Invest physikalische Entsäuerung	125.000,00 €
Invest Installation	125.000,00 €
Invest Gebäude	165.000,00 €
Invest Pumpen	100.000,00 €
Invest E-MSR-Technik	140.000,00 €
Invest Gesamt	655.000,00 €
Kapitalkosten	44.026,29 €/a

Energiekosten

Gebläse FBB

spez. Leistungsbedarf Gebläse	0,03 kWh/m ³
Energiebedarf	56.250 kWh/a

Pumpwerk WBV-Pumpen

Förderhöhe	120,00 mWS
Jahresmenge	2.250.000 m ³ /a
Wirkungsgrad Pumpe	80,0%
Energiebedarf	919.118 kWh/a
Energiebedarf Gesamt	975.368 kWh/a
Energiekosten	117.044,12 €/a

Wartungskosten

Wartung und Instandhaltung pauschal 2%	13.100,00 €/a
--	---------------

Jahreskosten	174.170,41 €/a
---------------------	-----------------------

WW Eichenkamp

Calcitfösekazität der Mischwässer (Annahme: WBV im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht)

Anteil WTV	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	20%	10%	0%
Anteil WBV	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	90%	100%

Qualität WBV	Qualität WTV
--------------	--------------

hart (Dc = 0 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	1,08 mg/l	3,05 mg/l	4,51 mg/l	5,48 mg/l	5,96 mg/l	5,55 mg/l	4,72 mg/l	4,16 mg/l	3,50 mg/l	1,92 mg/l	0,00 mg/l
hart (Dc = 0 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	0,49 mg/l	2,33 mg/l	3,70 mg/l	4,62 mg/l	5,11 mg/l	4,84 mg/l	4,13 mg/l	3,64 mg/l	3,07 mg/l	1,69 mg/l	0,00 mg/l
hart (Dc = 0 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	0,87 mg/l	3,41 mg/l	5,36 mg/l	6,70 mg/l	7,41 mg/l	7,04 mg/l	6,01 mg/l	5,30 mg/l	4,47 mg/l	2,46 mg/l	0,00 mg/l
weich (Dc = 0 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	1,08 mg/l	1,93 mg/l	2,55 mg/l	2,96 mg/l	3,14 mg/l	2,88 mg/l	2,45 mg/l	2,15 mg/l	1,81 mg/l	1,00 mg/l	0,00 mg/l
weich (Dc = 0 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	0,49 mg/l	1,27 mg/l	1,86 mg/l	2,25 mg/l	2,46 mg/l	2,32 mg/l	1,99 mg/l	1,76 mg/l	1,48 mg/l	0,82 mg/l	0,00 mg/l
weich (Dc = 0 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	0,87 mg/l	2,10 mg/l	3,06 mg/l	3,72 mg/l	4,07 mg/l	3,87 mg/l	3,32 mg/l	2,94 mg/l	2,48 mg/l	1,37 mg/l	0,00 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	Median (Dc = 1,1 mg/l)	1,08 mg/l	2,56 mg/l	3,67 mg/l	4,43 mg/l	4,82 mg/l	4,55 mg/l	3,91 mg/l	3,47 mg/l	2,95 mg/l	1,69 mg/l	0,12 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	hart (Dc = 0,5 mg/l)	0,49 mg/l	1,86 mg/l	2,91 mg/l	3,64 mg/l	4,04 mg/l	3,89 mg/l	3,37 mg/l	3,00 mg/l	2,56 mg/l	1,47 mg/l	0,12 mg/l
Median (Dc = 0 mg/l)	weich (Dc = 0,9 mg/l)	0,87 mg/l	2,83 mg/l	4,37 mg/l	5,44 mg/l	6,05 mg/l	5,84 mg/l	5,05 mg/l	4,49 mg/l	3,82 mg/l	2,17 mg/l	0,12 mg/l