

Stadt Bornheim

**Studie zur Enthärtung des WBV-Wassers im
Wasserwerkes Eichenkamp**

Auftraggeber

Stadtbetrieb Bornheim AöR
Donnerbachweg 15
53332 Bornheim

Bearbeitet von

H₂U aqua · plan · Ing-GmbH
Siemesdyk 64
47807 Krefeld
Telefon: +49 21 51 7 04 98 – 0
Telefax: +49 21 51 7 04 98 – 79

Dipl.-Ing. Didier Garraud

29. Juli 2014

1	Übersicht	4
1.1	Situation	4
1.2	Aufgabenstellung	4
1.3	Bewertungsbasis	6
2	Bestehende Trinkwasserversorgung der Stadt Bornheim	7
2.1	Versorgungssituation	7
2.2	Wasserbedarf	9
3	Auswahl der Enthärtungstechnologie	10
3.1	Fällungsverfahren (Schnellentkarbonisierung)	10
3.2	Ionenaustausch mit dem Carix-Verfahren	12
3.2.1	Verfahrensprinzip	12
3.2.2	Eingesetzte Technik	13
3.2.3	Bewertung	14
3.3	Nanofiltration/ Niederdruckumkehrosmose	15
4	Aufbereitungskonzept	18
4.1	Kurze Beschreibung des Konzeptes	18
4.2	Verfahrensalgorithmus	20
4.3	Wasserqualität	21
4.4	Pumpwerk Eichenkamp	22
4.5	WBV-Bezug	22
4.6	Korrosionsschutzbetrachtung	23
4.7	Auswirkung der neuen Aufbereitung auf die Stromversorgung	23
4.8	Technische und bauliche Umsetzung	24
4.9	Ableitung des Konzentrats in den Rhein	25
4.10	Notversorgung	26

INHALTSVERZEICHNIS

5	Investitions- und Betriebskosten	27
5.1	Investitionen	27
5.2	Betriebs- und Kapitaldienstkosten	29
5.3	Vergleich mit der Vollversorgung durch WTV	30
6	Zusammenfassung und Empfehlung	31
	Abbildungsverzeichnis	34
	Tabellenverzeichnis	35
	Verzeichnis der Anlagen	36
	Verzeichnis der Zeichnungen	37

1 Übersicht

1.1 Situation

Im Rahmen der Begutachtung und Bewertung einer Vollversorgung mit WTV-Wasser wurde der Aspekt diskutiert, dass die Errichtung einer Enthärtungsanlage im Wasserwerk Eichenkamp die günstigere Variante für die Lieferung von „weichem“ Wasser an die Bornheimer Bürger wäre.

Nach der Vorstellung dieses Gutachtens am 03.04.2014 hat der Betriebsausschuss beschlossen, die Machbarkeit der Errichtung einer zentralen Enthärtungsanlage im Wasserwerk Eichenkamp genauer zu untersuchen. Dabei sollen insbesondere die Mehrkosten und die Wirtschaftlichkeit einer Enthärtung detaillierter erfasst werden.

Zur Ermittlung der Kosten einer zentralen Enthärtungsanlage und der Auswirkungen auf den Wasserpreis beauftragte der Stadtbetrieb Bornheim AöR (SBB) am 05.05.2014 die Ingenieurgesellschaft **H₂U aqua.plan.Ing**-GmbH (**H₂U**) als Fachbüro für Trinkwasser-Aufbereitungstechnik mit der Erstellung einer Studie zur Enthärtung des WBV-Wassers im Wasserwerk Eichenkamp.

1.2 Aufgabenstellung

Die Ergebnisse des Gutachtens vom März 2014 haben gezeigt, dass eine Vollversorgung mit WTV-Wasser mit einer deutlichen Erhöhung des Wasserpreises verbunden wäre. Gemäß den durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen würden die spezifischen Kosten um etwa 23 Ct/m³ im Jahr 2015 und um bis zu 34 Ct/m³ ab dem Jahr 2021 ansteigen.

Eine günstigere Alternative für die Einspeisung von weichem Wasser in das Versorgungsnetz der Stadt Bornheim könnte die Errichtung einer zentralen Enthärtungsanlage im Wasserwerk Eichenkamp darstellen. Die genannten spezifischen Kosten in Höhe von 0,15 bis 0,20 €/m³ basieren auf Erfahrungswerten; belastbare Zahlen können nur im Rahmen einer Machbarkeitsstudie bzw. Vorplanung ermittelt werden, in der die Anlage dimensioniert, die Größe des Bauwerkes und die Länge der Abwasserleitung zum Rhein oder einem anderen geeigneten Vorfluter festgestellt und die Betriebskosten berücksichtigt werden.

Untersucht wurde die Errichtung einer Enthärtung von „75%“ WBV-Wasser unter Beibehaltung der derzeitigen Wasserversorgung (75% WBV/25 % WTV) mit Neubau einer Enthärtungsanlage im Wasserwerk Eichenkamp.

Vorgehensweise

Bei einem Treffen am 16.04.2014 wurde diskutiert, welche Fragestellungen die Begutachtung berücksichtigen soll und in welcher Detailtiefe die verschiedenen Aspekte bearbeitet werden sollten bzw. können. Auf Basis dieser Diskussion ergeben sich die nachfolgend dargestellten Leistungen und Arbeitsinhalte:

- Durcharbeiten der Bestandsunterlagen (Bau- und Installationspläne / Fließbilder / Wasseranalysen)
- Erläuterung der verschiedenen Möglichkeiten zur Enthärtung (Ionenaustausch / Fällungsverfahren / Umkehrosmose bzw. Nanofiltration) und Begründung, warum aus Sicht von H₂U das Verfahren der Nanofiltration bzw. der Umkehrosmose das am besten geeignete Verfahren für Bornheim ist und nur dieses weiter untersucht wird.
- Da nur ein Teilstrom über die Umkehrosmose behandelt wird, müssen für die Konzeptstudie zunächst wasserchemische Berechnungen durchgeführt werden, um die Anlagen dimensionieren zu können. Anschließend ist eine Auslegung der Umkehrosmose und der nachfolgenden physikalischen Entsäuerung vorzunehmen.
- Die Überprüfung der Korrosionswahrscheinlichkeit des Wassers nach der Enthärtung erfolgt nach DIN 50 930-6 und nach DIN EN 12 502.
- Überprüfung der Förderpumpen im Wasserwerk Eichenkamp und Darstellung einer Lösung zur Integration dieser Pumpen im Konzept „zentrale Enthärtung“.
- Um belastbare Kosten ermitteln zu können, ist eine grobe konstruktive Planung erforderlich. In jedem Fall wird auch ein neuer Speicherbehälter benötigt, der als Mengenpuffer zwischen der Aufbereitung und der Förderung fungieren muss.
- Für die Machbarkeit sind weiterhin folgende Punkte zu überprüfen und zu bewerten:
 - Kapazität der Stromversorgung am Wasserwerk.
 - Voraussetzungen für die Ableitung der Abwässer zum Rhein oder zu einem anderen geeigneten Vorfluter (Leitungslänge, Kosten).
 - Versorgungssicherheit / Notversorgung.
 - Ermittlung der Investitionskosten und der Betriebskosten für beide Varianten und Vergleich mit den Ergebnissen des Gutachtens „Vollversorgung mit WTV-Wasser“.

1.3 Bewertungsbasis

Für die Bearbeitung werden folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt bzw. zugrunde gelegt:

- Anlagen- und Funktionsbeschreibung zur maschinellen und verfahrenstechnischen Ausrüstung – Ausführungsplanung – REG (*Regionalgas Euskirchen*) vom November 2003.
- Versorgungsdaten:
 - Aufzeichnung der Förderwerte für den maximalen Wasserbedarf im Juli 2013
 - Angaben über Tagesverbrauch pro Stadtteil aus dem Maßnahmenplan
 - Wasserbedarf getrennt nach Versorgungszonen (Mittlere Werte aus 3 Jahren)
 - Strukturdaten der Stadt Bornheim – Stand 2012
 - Prognose der Regionalgas Euskirchen von 2009
 - Planunterlagen:
 - Netzplan aus dem Maßnahmenplan
 - Fließbild Wasserwerk Eichenkamp
 - Fließschema der Trinkwasserversorgung für das Stadtgebiet Bornheim
 - Lageplan Kanalisation / Wasserleitung im Bereich Wasserwerk Eichenkamp – Rheinorte
 - Lageplan Wasserwerk Eichenkamp
 - Bauwerkspläne Wasserwerk Eichenkamp
 - Bauwerkspläne „altes“ Pumpwerk
 - Kanalisationspläne im Bereich der Autobahnrastplatzes
 - Wasseranalysen:
 - Wasseranalysen von WBV und WTV (Medianwerte)
 - Prüfung von alternativen Entsäuerungsverfahren im Wasserwerk Eichenkamp vom 12.09.2013 – Bericht H₂U
 - Begutachtung und Bewertung einer Vollversorgung der Bornheimer Wasserversorgung mit WTV-Wassers vom 07.03.2014 - Bericht H₂U

2 Bestehende Trinkwasserversorgung der Stadt Bornheim

2.1 Versorgungssituation

Im WW Eichenkamp wird Trinkwasser der beiden Vorlieferanten WTV (Wahnbach-Talsperrenverband, Mischung aus Talsperrenwasser und Grundwasser) und WBV (Wasserversorgungsverband Wesseling, 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 dieser zwei Wässer unterschiedlicher Härte erhält das Mischwasser kalklösenden Charakter; so wurde es bis zum Störfall im April 2013 durch die Dosierung von Natronlauge entsäuert. Seit dem Störfall hat der Stadtbetrieb Bornheim AöR entschieden, keine Dosierung von Natronlauge mehr durchzuführen. Zusätzlich wurde von H₂U das Erfordernis der Entsäuerung überprüft und festgestellt, dass der erweiterte Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 10 mg/l Calcitlösekapazität auch ohne Dosierung von Natronlauge eingehalten wird.

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 in der Mitte in 2 Stränge unterteilt ist.

Aus jedem Strang fördern jeweils bis zu 3 drehzahlregelbare Pumpen (insgesamt 6) in eine gemeinsame Druckleitung. Der Druck in der Druckleitung beträgt im Regelbetrieb zwischen 10 und 13 bar. Derzeit fördern die Pumpen im Betriebsfall einen Mengensollwert in Höhe von 430 m³/h. Zusätzlich kann der Bediener das Mischungsverhältnis von WBV- zu WTV-Wasser einstellen (aktuell 75% - 25%). Daraus ergeben sich beim Betrieb des Pumpwerks folgende Mengen:

- WTV: 106 m³/h
- WBV: 324 m³/h
- Insgesamt: 430 m³/h

Wenn der Nachdruck der Pumpen einen Wert von 130 m erreicht, wird eine Alarmmeldung abgesetzt und es erfolgt eine Druckregelung. Zukünftig soll die Regelung der Pumpen nur über eine alleinige Druckregelung erfolgen.

Die Druckleitung wird in ein zweites Gebäude geführt, in dem die Natronlauge-Dosierung, die pH-Messung sowie die Aufteilung auf die Werksausgänge lokalisiert sind. Dort gibt es 2 Werksausgänge (siehe **Anlage 1**):

2.2 Wasserbedarf

In der Begutachtung „Vollversorgung WTV“ wurde der Wasserbedarf ermittelt. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Stadtteile	Mittl. Tagesbedarf	Max. Tagesbedarf	Zugehörigkeit	Anteil TZ	Anteil HZ	Rheinorte max. Tagesbedarf	Max. Entnahme	Tiefzone max. Tagesbedarf	Max. Entnahme	Hochzone max. Tagesbedarf	Max. Entnahme
1 Hersel	596 m³/d	805 m³/d	Rheinorte			805 m³/d	81 m³/h				
2 Uedorf	116 m³/d	157 m³/d	Rheinorte			157 m³/d	16 m³/h				
3 Widdig	245 m³/d	331 m³/d	Rheinorte			331 m³/d	33 m³/h				
4 Bornheim	1.053 m³/d	1.422 m³/d	Tief- und Hochzon	90%	10%			1280 m³/d	116 m³/h	142 m³/d	14 m³/h
5 Roisdorf	768 m³/d	1.037 m³/d	Tief- und Hochzon	75%	25%			778 m³/d	71 m³/h	259 m³/d	26 m³/h
6 Brenig	295 m³/d	398 m³/d	Hochzone							398 m³/d	40 m³/h
7 Dersdorf	151 m³/d	204 m³/d	Tiefzone					204 m³/d	19 m³/h		
8 Waldorf	434 m³/d	586 m³/d	Tief- und Hochzon	80%	20%			469 m³/d	43 m³/h	117 m³/d	12 m³/h
9 Kardorf	233 m³/d	315 m³/d	Tiefzone					315 m³/d	29 m³/h		
10 Hemmerich	191 m³/d	258 m³/d	Hochzone							258 m³/d	26 m³/h
11 Rösberg	188 m³/d	254 m³/d	Hochzone							254 m³/d	25 m³/h
12 Merten	703 m³/d	949 m³/d	Tief- und Hochzon	70%	30%			664 m³/d	60 m³/h	285 m³/d	29 m³/h
13 Walberberg	619 m³/d	836 m³/d	Tief- und Hochzon	80%	20%			669 m³/d	61 m³/h	167 m³/d	17 m³/h
14 Sechtem	670 m³/d	905 m³/d	Tiefzone					905 m³/d	82 m³/h		
Summe	6.262 m³/d (x)	8.457 m³/d (xx)				1.293 m³/d	130 m³/h	5.284 m³/d	481 m³/h	1.880 m³/d	189 m³/h
						957 m³/d	96 m³/h	3.912 m³/d	391 m³/h	1.393 m³/d	139 m³/h
						15 %		63 %		22 %	

(x): Quelle: Maßnahmenplan vom 06.03.2013

(xx): Spitzenfaktor = 1,35 Vergleich mit Bedarfswerten vom 09.07.2013

Tabelle 1: Wasserbedarf des Versorgungsgebiets Bornheim

Für die Dimensionierung der Enthärtungsanlage im Wasserwerk Eichenkamp wird davon ausgegangen, dass KEINE Steigerung des Wasserbedarfes zu erwarten ist. Bereits im Jahr 2009 prognostizierte die Regionalgas Euskirchen eine Steigerung der Einwohnerzahl in Bornheim auf über 50.000 Einwohner in 2014. Ende 2012 wurden hier 48.670 Einwohner registriert. Zwar ist ein weiterer Einwohnerzuwachs für die nächsten Jahre avisiert; die Steigerung wird jedoch wahrscheinlich langsam verlaufen. Wegen des Einsatzes wassersparsamerer Haushaltgeräte und wegen der verbreiteteren Nutzung von Regenwasser ist eine Steigerung des Wasserbedarfes nicht zu erwarten.

Folgende versorgungstechnischen Kennwerte werden für die Dimensionierung der Enthärtung zugrunde gelegt:

- Stündliche Leistung = 430 m³/h
- Maximale Tagesleistung = 430 m³/h x 20 h = ca. 8.600 m³/d
- Mittlere Tagesleistung = 430 m³/h x 14,5 h = ca. 6.250 m³/d
- Jahreswasserbedarf = 2.300.000 m³/a.

Durch die gewählte Leistung von 430 m³/h steht für die Wasserversorgung von Bornheim eine Reserve in Höhe von ca. 430 m³/h x 4 h = ca. 1.700 m³/d an verbrauchsreichen Tagen zur Verfügung.

3 Auswahl der Enthärtungstechnologie

Zur Enthärtung von Wasser stehen verschiedene Enthärtungstechnologien zur Verfügung. Für die zentrale Enthärtung werden üblicherweise folgende Verfahren angewendet

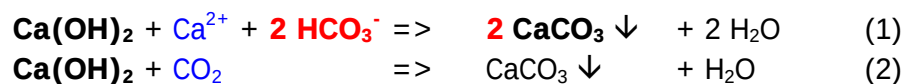
- Fällungsverfahren (Schnell- oder Langsamentkarbonisierung, in der Regel Schnellentkarbonisierung)
- Ionenaustausch (Carix)
- Membranfiltration (Nanofiltration / Umkehrosmose).

Das Ziel einer Enthärtung in Bornheim bestünde im Erreichen einer Wasserqualität, die jener des WTV-Wassers (Härte um 7 °dH i. M.) gleichkommt.

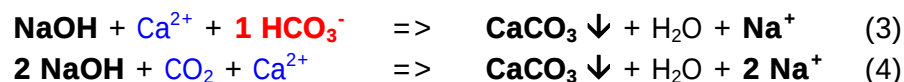
3.1 Fällungsverfahren (Schnellentkarbonisierung)

Das gängige Fällungsverfahren zur Enthärtung ist die Schnellentkarbonisierung (SEC). Die Schnellentkarbonisierung kann mit Hilfe von Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) und/oder Natronlauge (NaOH) durchgeführt werden. Der Unterschied des Einflusses der beiden Chemikalien auf die Entkarbonisierung lässt sich durch folgende Feststellungen charakterisieren:

- Mit Calciumhydroxid werden zur Entfernung von einem Mol Calcium **2 Mol Hydrogenkarbonat** benötigt:



- Mit Natronlauge wird zur Entfernung von einem Mol Calcium hingegen nur **1 Mol Hydrogenkarbonat** benötigt:



Beim Einsatz von Natronlauge wird also bei gleicher Verringerung der Härte im Vergleich zu Calciumhydroxid nur die Hälfte der Hydrogenkarbonationen entfernt.

Setzt man beide Chemikalien gemeinsam ein, kann bei einer angestrebten Säurekapazität die verbleibende Härte in Grenzen variiert werden. Die Menge der einzusetzenden Natronlauge wird durch das Gebot der Einhaltung des Natrium-Grenzwertes (Trinkwasserverordnung) begrenzt.

Durch die Dosierung von Calciumhydroxid bzw. Natronlauge wird der pH-Wert auf ca. 9,5 erhoben. Dadurch findet eine Fällung von Calciumcarbonat (Kalkstein) statt.

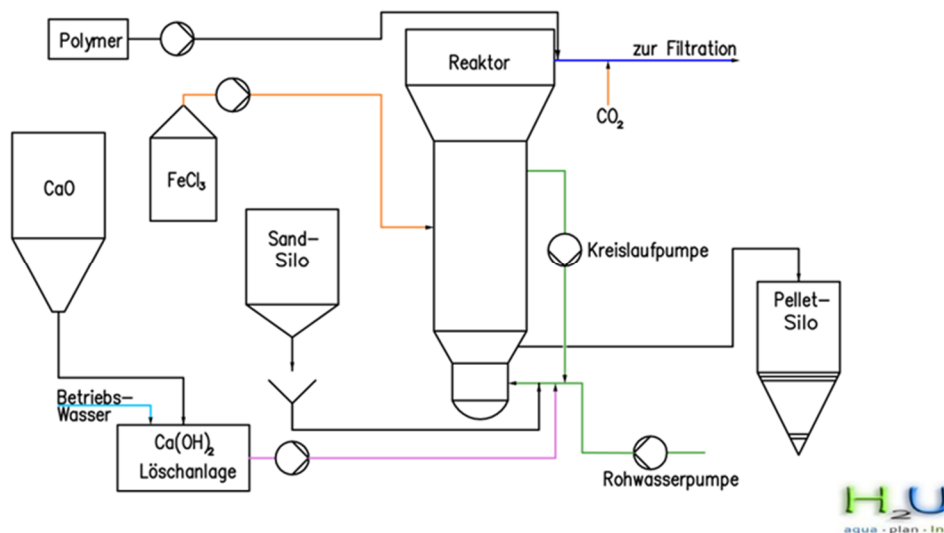


Abbildung 3-1: Prinzip einer Schnellentkalkung durch Zudosierung von Calciumhydroxid

Der Fällungsprozess findet in einem Reaktor statt, in dem sich ein Schwebelager aus „Impfsand“ befindet. Ein Teil des ausfallenden Kalksteins wird an den Sandkörnern abgelagert, ein Teil wird aber als feine Trübung aus dem Reaktor ausgespült. Daher muss das Wasser nach dem Reaktor noch filtriert werden, um die restlichen Fällungsprodukte zu entfernen. Oft wird nach dem Reaktor noch Kohlensäure zudosiert, um den pH-Wert auf den Gleichgewichts-pH-Wert einzustellen (manchmal gelingt dies auch durch den Verschnitt mit einem Rohwasser-Bypassstrom, wenn dieser ausreichend hohe Kohlensäuregehalte aufweist).

Das Verfahren ist als sehr komplex zu bezeichnen und bedarf einer permanenten und fachgerechten Betriebsbetreuung und Wartung. Auch bei einer Vollautomatisierung sind viele Betreuungs- und Wartungsaufgaben durch Betriebspersonal durchzuführen.

Aus Sicht der Stadt Bornheim kommt der Aspekt hinzu, dass für den Betrieb dauerhaft und in hohen Mengen Laugen (Kalkmilch und ggf. Natronlauge) gelagert und dosiert werden müssen. Aufgrund der negativen Erfahrung mit der Dosierung von Natronlauge ist sicherlich eine Akzeptanz gegenüber diesem Verfahren bei Aufsichtsbehörden und Bevölkerung kaum zu erwarten.

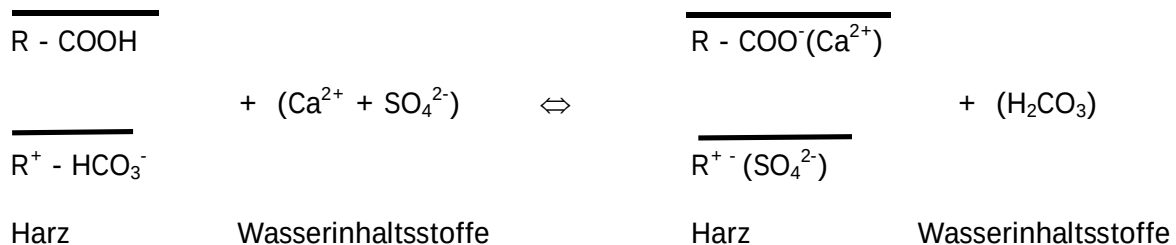
Aus Sicht der Wasserchemie hat die SEK den gravierenden Nachteil, dass nur die Konzentrationen von Calcium und Hydrogencarbonat gesenkt werden, die Konzentration der Neutralsalzanionen Sulfat, Nitrat und Chlorid aber unverändert bleiben. Dies führt zu einer Verschlechterung der korrosionschemischen Koeffizienten, was im Fall der Wasserqualität in Bornheim kaum akzeptabel wäre.

Fazit: Die Schnellentkarbonisierung ist eine sehr komplexe Aufbereitungstechnik und benötigt einen hohen Betreuungsaufwand. Zudem erfordert sie die Dosierung von Laugen, mit der Bornheim bereits negative Erfahrung gemacht hat. Bezüglich der korrosionschemischen Parameter wäre mit einer Verschlechterung zu rechnen. Daher scheidet sie aus den weiteren Betrachtungen aus.

3.2 Ionenaustausch mit dem Carix-Verfahren

3.2.1 Verfahrensprinzip

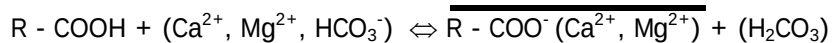
Bei dem Carix (Carbon dioxide Regenerated Ion eXchangers)-Verfahren handelt es sich um eine Teilentsalzung, bei der die Konzentration der Erdalkaliionen Calcium und Magnesium sowie der Anionen Nitrat, Sulfat, Chlorid sowie die Karbonathärte (Hydrogencarbonat) vermindert wird. Für die Senkung der Anionen sowie Kationen verwendet man eine Austauscherkombination aus einem schwach sauren Austauscherharz in der freien Säureform und einem stark basischem Austauscherharz in der HCO_3^- -Form in einem Mischbett. Die aus dem Wasser entfernten Neutralsalze werden durch Kohlensäure ersetzt. Sie zerfällt in Wasser und gasförmiges CO_2 .



Der große Vorteil des CARIX-Verfahrens (siehe **Anlage 10**) ist die Tatsache, die beim Ionenaustausch an das Wasser abgegebene Kohlensäure aufzufangen und für die Regeneration der Ionenaustauscherharze genutzt werden kann, d.h., die Regeneration wird mit dem Produkt der Teilentsalzung (dem CO_2) durchgeführt. Allerdings musste dem Prozess immer eine zusätzliche Menge Kohlendioxid zugesetzt werden.

Im Regenerierabwasser (Eluat) sind nur die Salze zu finden, die dem Entsalzungszyklus entstammen. Zusätzliche Salzbelastungen durch Bestandteile des Regeneriermittels gibt es nicht, da die Regenerierung ausschließlich mit Kohlensäure erfolgt. Obwohl überschüssige Kohlensäure verwendet wird, stellen die nicht verbrauchten Teile keine gelösten Salze dar und sind daher zurückgewinnbar.

Die aus dem Wasser entnommenen Anionen und Kationen finden sich schließlich im Eluat wieder, welches zu einem Teil von etwa 30 % im Regenerierspeicher genutzt wird, der restliche Anteil muss abgeleitet werden. Ein reiner Austausch von Neutralsalzen geschieht nur, wenn die Umsätze beider Austauscherharze äquivalent sind, was nur in Ausnahmefällen zu erwarten ist. Normalerweise überwiegt der Austausch an einem der beiden Harze. Der Überschuss an Kationenaustauscherharz hat zusätzlich zur Neutralsalzentfernung eine Enthärtung durch Entcarbonisierung zur Folge:



Der Überschuss an Anionenaustauscherharz bewirkt eine zusätzliche Eliminierung von Sulfat-, Nitrat- und Chloridionen im Austausch gegen HCO_3^- :



3.2.2 Eingesetzte Technik

Die Mischung beider Ionentauscherharze befindet sich in einem Stahldruckfilter. Im Betrieb werden die Druckfilter ähnlich wie klassische Filter von oben nach unten durchströmt. Das Produktwasser, welches aufgrund des Austauschprinzips gelöstes CO_2 in erheblichem Überschuss enthält, muss anschließend entsäuert und ins Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gebracht werden. Es gibt die Möglichkeit, das überschüssige CO_2 zurückzugewinnen. Üblich ist der Gasaustausch auf physikalischem Wege mit einer Riesleranlage. Lohnt sich eine Rückgewinnung (für die Regenerierung), kommt eine Vakuumentgasung in Frage (siehe nachstehende Abbildung des Anbieters Veolia).

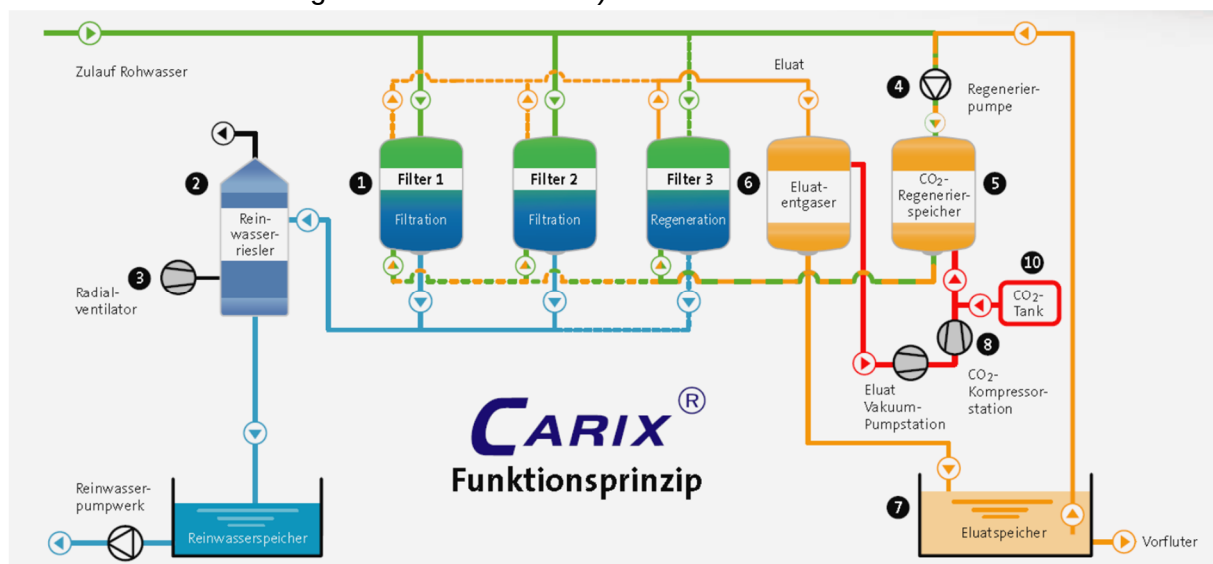


Abbildung 3-2: Prinzipbild des Carix-Verfahrens (Quelle: VWS Deutschland)

Für die Regeneration wird Rohwasser in den Regenerierspeicher gepumpt und mit CO_2 aus der Rückgewinnung und CO_2 aus dem Lagertank angereichert. Die eigentliche Regenerierung

des Austauschermaterials erfolgt im Aufstrom und unter einem CO₂-Druck von ca. 4 - 6 bar. Dabei muss die Aufstromgeschwindigkeit gewährleisten, dass das Austauscherbett etwas aufgelockert wird, sich die beiden Komponenten jedoch nicht entmischen. Die ablaufende Regenerierlösung (Eluat) enthält einen erheblichen Überschuss an unverbrauchter Kohlensäure, die aus Gründen der Wirtschaftlichkeit über eine Vakuumentgasung zurückgewonnen werden sollte. Nach CO₂ – Rückgewinnung wird das Eluat in den Vorfluter abgeleitet. Dabei ist mit Wasserverlusten in Höhe von ca. 6 % zu rechnen.

Das Carix-Verfahren ist bisher in mehreren Großanlagen in Baden-Württemberg und in einer Anlage in NRW implementiert. Die Anlagen dienen hauptsächlich der Enthärtung und Entcarbonisierung bei gleichzeitiger Senkung des Gehaltes der Neutralsalzanionen, um die korrosionschemische Qualität zu verbessern.



Abbildung 3-3: Carix-Anlage in Hassfurt / Leistung 200 m³/h

3.2.3 Bewertung

Bei der Carix-Anlage handelt sich um ein patentiertes Verfahren der Firma VWS Deutschland GmbH (Veolia Water Solution / ehem. Krüger-Wabag GmbH). Die erforderlichen Abmessungen einer Carix-Anlage sind aufgrund der Vielzahl von erforderlichen Kesseln vergleichsweise groß. Da es sich um ein patentiertes Verfahren handelt, findet kein Wettbewerb statt; bei Wahl dieser Lösung würde eine direkte Verhandlung erfolgen. Die Investitionskosten sind dadurch erfahrungsgemäß vergleichsweise hoch.

Fazit: Das Carix-Verfahren wäre für den Bornheimer Fall technisch geeignet. Ähnliche Vergleichsstudien zur zentralen Enthärtung haben bereits mehrfach zu dem Ergebnis geführt, dass die Kosten des Carix-Verfahrens deutlich über denen der hier vorgestellten Alternativen Verfahren liegen. Zudem handelt es sich um eine relativ komplexe Technologie mit vielen Verfahrensschritten. Aus den vorgenannten Gründen wird empfohlen, das Carix-Verfahren für die Anwendung in Bornheim nicht weiter zu verfolgen.

3.3 Nanofiltration/ Niederdruckumkehrosmose

Bei der Nanofiltration und Umkehrosmose wird der zu behandelnde Rohwasservolumenstrom (Feed) mit Hilfe eines erhöhten Drucks über eine semipermeable Membran in einen salzarmen Teilstrom (Permeat) und einen salzreichen Teilstrom (Konzentrat) aufgetrennt. Im Konzentratstrom sind die Rohwasserinhaltsstoffe in aufkonzentrierter Form enthalten. Das Feed fließt im sog. „Cross-Flow“-Verfahren über die Membran, konzentriert sich durch die Passage eines Teilstromes durch die Membran zunehmend auf und wird nach der vollständigen Membranpassage als Konzentrat abgeleitet.

Bei der Nanofiltration (NF) werden bevorzugt größere Moleküle und mehrwertige Ionen wie Calcium, Magnesium oder Sulfat entfernt, weil die elektrische Ladung bei der Rückhaltung eine Rolle spielt. Bei der Anwendung zur Enthärtung sind die Rückhalteraten in der Regel so hoch, dass nur ein Teilstrom des Wassers durch die Nanofiltrationsmembranen geleitet werden muss.

Bei der Umkehrosmose (UO) bzw. Reverse Osmosis (RO) werden mit Ausnahme der gelösten Gase alle Wasserinhaltsstoffe weitgehend zurückgehalten (Abbildung 3-4).

Trenngrenze:

0,3 bis 1 nm

0,8 bis 10 nm

10 bis 50 nm

50 bis 1.000 nm

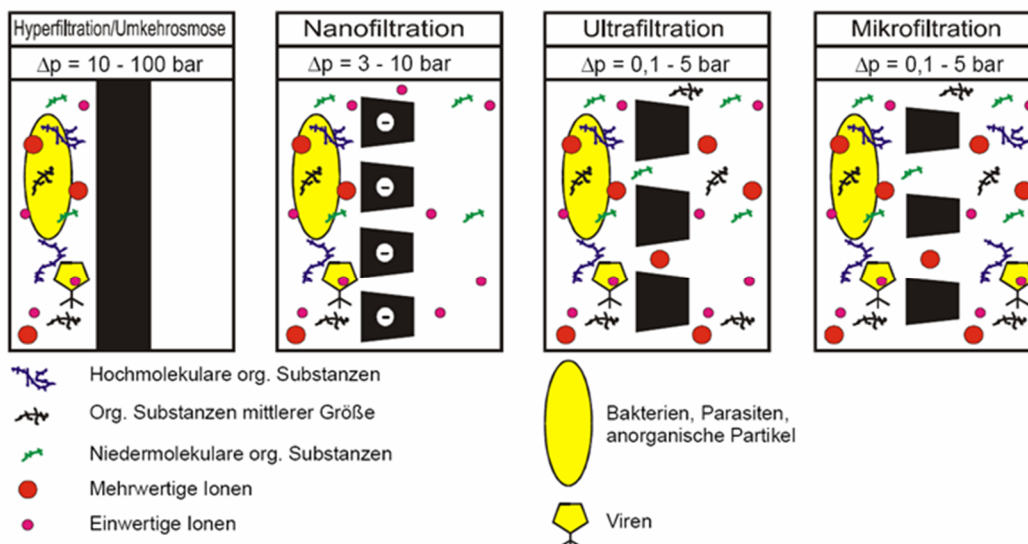


Abbildung 3-4: Unterscheidung der druckbetriebenen Membranprozesse (Quelle: DVGW Wasser-Information Nr. 72 Apr. 09)

Treibende Kraft für beide Prozesse ist der Druck, der auf der Rohwasserseite aufgebaut wird. Zwischen den Definitionsbereichen der Nanofiltration und der Umkehrosmose gibt es einen fließenden Übergang. Anhand Abbildung 3-4 wird deutlich, dass aus der Reihe der Membrantrennverfahren insbesondere die Umkehrosmose geeignet ist, einwertige Ionen wie Nitrat und niedermolekulare organische Substanzen in hohem Maße zurückzuhalten.

Die Entfernungswirksamkeit der Niederdruckumkehrosmose ist deutlich höher als die Leistung einer Nanofiltration. Gemäß Herstellerangaben sind folgende Rückhalte zu erwarten:

- Nanofiltration: CaCl_2 = 40 – 60 % Rückhalt
 MgSO_4 = 97 % Rückhalt
- Umkehrosmose: Salzzückhalt = 99 %

Für Bornheim kommt nur die UO in Frage. Die Anlage ist kleiner und somit wirtschaftlicher als eine „reine“ Nanofiltration. Mit der UO werden Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) nahezu vollständig zurückgehalten. Je nach Konfiguration der Membran werden auch die Neutralsalzanionen gut bis sehr gut zurückgehalten, so dass die Auswirkungen auf die korrosionschemische Qualität des entstehenden Trinkwassers in der Regel nicht zu einer Verschlechterung führen.

Weiterhin werden nahezu alle organischen (Spuren-) Stoffe entfernt.

Das Permeat hat eine Härte von ca. 0,25 – 0,5 °dH und ist als sehr weich zu bezeichnen. Dagegen passieren Gase wie z.B. gelöstes Kohlenstoffdioxid CO_2 die Membran ungehindert, daher befindet sich das Permeat nicht im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Die notwendige pH-Wert-Einstellung kann durch Rohwasserverschnitt erfolgen, zudem ist immer eine Entsäuerung erforderlich.

Ein wesentliches Merkmal des Verfahrens ist, dass ein relativ hoher Abwasseranteil entsteht. In der Regel fallen zwischen 15 und 25 % der aufbereiteten Rohwassermenge als Konzentrat an, welches in einen Vorfluter abgeleitet werden muss. Es sollten grundsätzlich hohe Permeatausbeuten angestrebt werden, um den Konzentratanfall und entsprechend den zusätzlichen Rohwasserbedarf möglichst gering zu halten.

Mit steigender Ausbeute wächst allerdings auch die Gefahr von Ausfällungen auf der Membranoberfläche durch schwer lösliche Salze (z.B. Calciumcarbonat, Calciumsulfat, Silikate etc.), wenn deren Löslichkeitsgleichgewicht im Konzentrat überschritten wird. Man spricht hier von „Scaling“. Um Scaling zu verhindern, werden dem Feed i.d.R. zugelassene Antiscalants (z.B. Phosphonate, Polyacrylate) in Konzentrationen zwischen 1 und 5 mg/l zugegeben.



Abbildung 3-5: Beispiel Umkehrosmose im Wasserwerk Bruchsal

Eine Umkehrosmose ist vom Prinzip sehr einfach zu betreuen und gut automatisierbar. Die Leistungsfähigkeit der Anlage wird durch Online-Messungen wie Differenzdruck und Leitfähigkeitsmessung überwacht. Umkehrosmoseanlagen werden modular (in mehreren Blöcken) aufgebaut, wobei der Durchfluss je Block nur in engen Grenzen variiert werden kann. Für den Betrieb bedeutet dies, dass die Aufbereitungsmenge nur stufenweise entsprechend der Anzahl der betriebenen Membranblöcke verändert werden kann.

Erforderlich sind zusätzlich in der Regel chemische Reinigungen in einer Frequenz von 1 bis 2 Reinigungen pro Jahr, die von einer Fachfirma durchgeführt werden können. Dabei werden Natronlauge und Säure verwendet. Es findet aber keine Lagerung dieser Stoffen im Wasserwerk.

Nachteile des Verfahrens sind der vergleichsweise hohe Energiebedarf für die Druckerhöhung (in der Regel 6 – 10 bar) sowie der recht hohe Abwasseranfall (Konzentrat). Für die Umsetzung muss eine Möglichkeit für die (möglichst kostenfreie) Konzentratableitung gegeben sein, dies ist in der Regel die Direkteinleitung in einen größeren Vorfluter. In Bornheim werden hierfür durch die Nähe zum Rhein sehr gute Chancen gesehen.

Fazit: Die Umkehrosmose (UO) ist eine bewährte Technologie. Sie findet Anwendung zur Meerwasserentsalzung (Hochdruckmembranen) und in der Industrie. In der kommunalen Wasserversorgung werden immer häufiger UO-Anlagen mit Niederdruckmembranen eingesetzt. Aufgrund des geringen Platzbedarfs, der guten Automatisierbarkeit, des vergleichsweise geringen Personalbedarfs sowie der im Vergleich zu den anderen Verfahren geringeren Kosten wird für die Anwendung in Bornheim empfohlen, im Fall einer Enthärtung das Verfahren der Umkehrosmose für das WBV-Wasser einzusetzen.

4 Aufbereitungskonzept

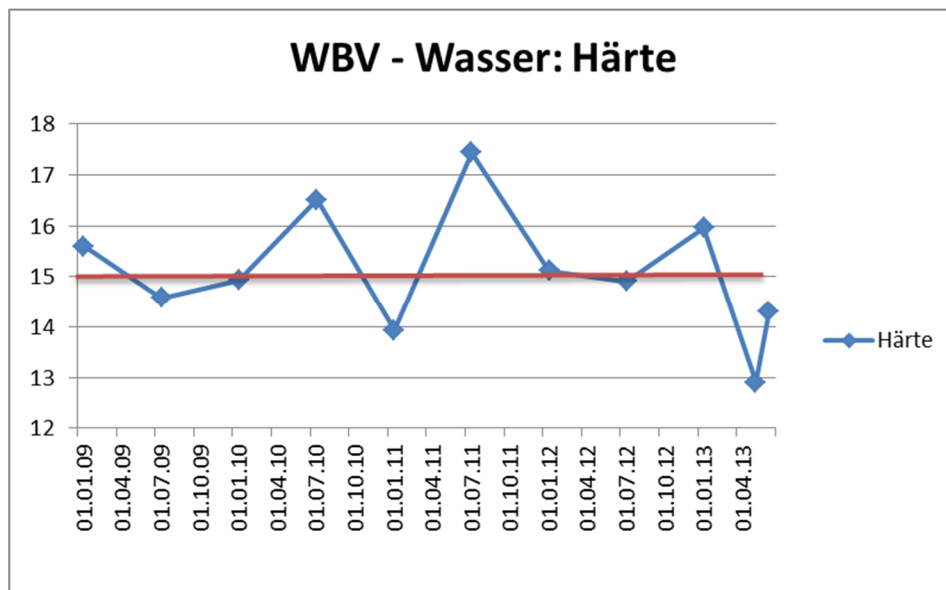
Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich, dass sich für Bornheim die Technik der Umkehrosmose zur Enthärtung anbietet.

Untersucht wurde die Errichtung einer Enthärtung von „75%“ WBV-Wasser unter Beibehaltung der derzeitigen Wasserversorgung (75% WBV/25 % WTV) mit Neubau einer Enthärtungsanlage im Wasserwerk Eichenkamp.

4.1 Kurze Beschreibung des Konzeptes

Das Konzept sieht vor, dass auch bei der Errichtung einer zentralen Enthärtungsanlage das Mischungsverhältnis der beiden Trinkwässer wie bisher mit einem Anteil von 75 % WBV-Wasser und 25 % WTV-Wasser beibehalten wird.

Die Härte des WBV-Wassers ist stark schwankend. Folgende Messungen liegen vor:



Für diese Studie wurde eine mittlere Härte des WBV-Wassers von ca. 15 °dH zugrunde gelegt. Nach der Umkehrosmose verringert sich die Härte auf ca. 0,25 – 0,50 °dH. Deshalb wird nicht der Vollstrom, sondern nur ein Teilstrom aufbereitet. Um eine Härte von ca. 7 °dH erreichen zu können, müssen ca. 54 % Permeat mit 46 % unbehandeltem WBV-Wasser gemischt werden. Die Härte des WTV-Wassers beträgt bereits ca. 7 °dH; dieses Wasser wird daher ohne Behandlung weitergenutzt.

Nachfolgendes Schema zeigt die verschiedenen Mengen und Mischungsverhältnisse für die Alternative 1, um 430 m³/h Trinkwasser mit etwa 7 °dH zu erzeugen.

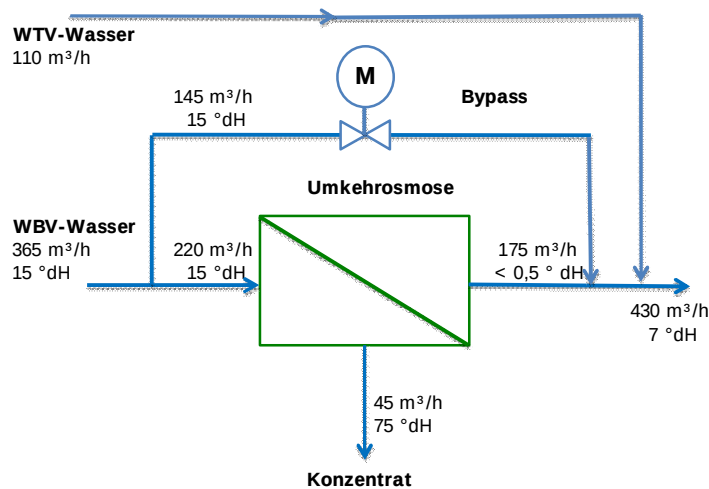


Abbildung 4-1: Hydraulisches Schema Umkehrosmose Bornheim

Für die Enthärtungsanlage sind folgende Komponenten vorgesehen:

- WBV – Einspeisung (365 m³/h)
- Feedpumpen (neue Pumpen für 220 m³/h Feed)
- Filter zur Entchlorung (Sicherheitsfilter zur Reduktion von Chlor bzw. Chlordioxid, falls im Wasser der Vorlieferanten Chlor enthalten sein sollte).
- Vorfiltration (5 µm)
- Umkehrosmose (für Teilstrom 220 m³/h Feed bzw 175 m³/h Permeat)
- Mischung Permeat mit Bypass WBV-Wasser
- Entsäuerung WBV-Wasser nach Mischung über Flachbettbelüfter (Q = 320 m³/h)
- Reinwasserspeicherung in einem Speicherbehälter (für das aufbereitete WBV-Wasser nach Mischung)
- Netzförderung von enthärtetem WBV-Wasser (mit vorhandenen Pumpen aus neuem Behälter)
- Netzförderung von WTV-Wasser (mit vorhandenen Pumpen unter Nutzung des Vordruckes).

Die Umkehrosmose wird 2-straßig für eine Leistung von 220 m³/h (Feed) dimensioniert. Davon fallen ca. 45 m³/h als Konzentrat an. Nach Mischung mit WBV-Wasser produziert die neue Aufbereitungsanlage ca. 320 m³/h. Zusammen mit den 110 m³/h „WTV-Wasser“ wird eine Nennleistung von 430 m³/h erreicht, so dass Wasserversorgung von Bornheim auch in Hochbelastungsfällen gesichert ist.

Die Förderung des WTV-Wassers erfolgt wie bisher. Da beide Wässer chemisch nahezu identisch sind, benötigt man im Wasserwerk keine kontrollierte Mischung. Es wird trotzdem empfohlen, die derzeitige Förderungsweise beizubehalten.

Im Pumpwerk Eichenkamp sind keine Änderungen erforderlich. Die WBV-Förderpumpen würden das enthärtete WBV-Wasser mit dem Vordruck des Vorlagenbehälters ins Netz fördern. Anhand der übergebenen Kennlinien der Bestandspumpen wurde geprüft, dass dies grundsätzlich möglich ist.

Zu berücksichtigen ist, dass die Bezugsmenge des WBV-Wassers sich um die Menge des Konzentrats erhöht, also um etwa 240.000 m³/a.

4.2 Verfahrensalgorithmus

Nachfolgendes Schema zeigt den Verfahrensalgorithmus und die erforderlichen Komponenten.

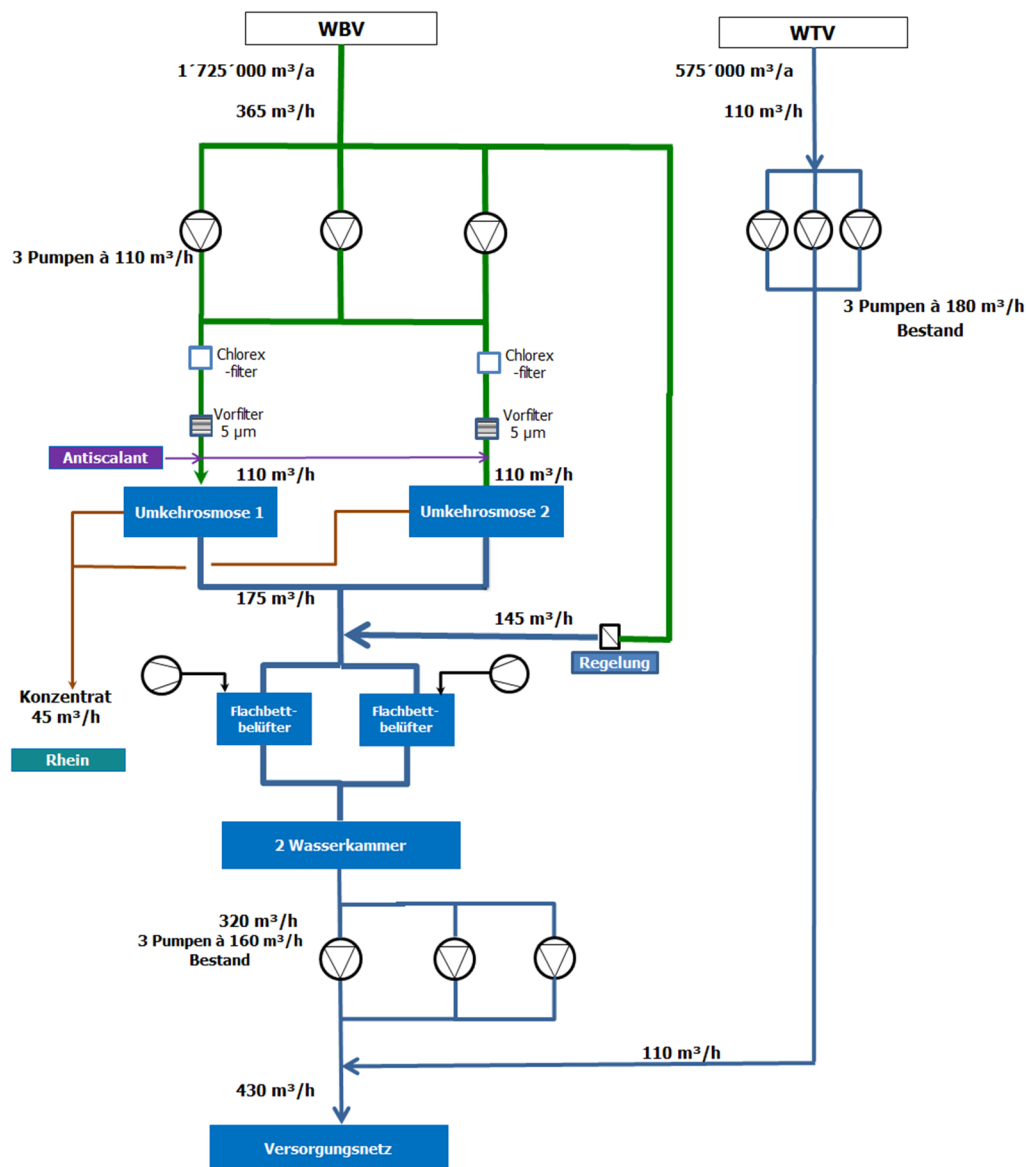


Abbildung 4-2: Schematischer Aufbau der Umkehrosmose

4.3 Wasserqualität

Die Wasserqualität der WBV- bzw. WTV-Wässer variiert leicht. In dieser Studie wurden die Wasserqualitäten „Median“ (siehe **Anlage 11** und **Anlage 12**) zugrunde gelegt.

Die Wasserqualität des enthärteten WBV-Wassers nach der Umkehrosmose (siehe **Anlage 14**) und der Entsäuerung entspricht ziemlich genau der Wasserqualität des WTV-Wassers. Die Härte liegt bei ca. 7,3 °dH. Der Calcium- und Magnesiumgehalt beträgt 39 mg/l bzw. 6,4 mg/l.

Das enthärtete WBV-Wasser (Mischwasser zwischen dem WBV-Wasser und dem Permeat der UO) befindet sich nach der Aufbereitungsanlage im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und entspricht der Trinkwasserverordnung. Eine Dosierung von Natronlauge ist nicht mehr erforderlich. Dieses Wasser ist mit dem WTV-Wasser unkontrolliert mischbar. Zusätzliche Aufbereitungsschritte sind nicht mehr erforderlich. Das Mischwasser befindet sich ebenfalls im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Die Ergebnisse der verschiedenen Parameter sind der Anlagen zu diesem Bericht zu entnehmen.

Die korrosionschemische Qualität wird in Kap. 4.6 diskutiert.

In der folgenden Tabelle sind einige Parameter der zwei Wässer „Enthärtetes WBV-Wasser“ und WTV zusammengefasst, um die Ähnlichkeit darzustellen:

Zusammenfassung	Enthärtetes WBV-Wasser	WTV-Wasser „median“
Härte	7,0 °dH	7,1 °dH
Säurekapazität	1,7 mmol/l	1,55 mol/l
Calcium	39,3 mg/l	37,9 mg/l
Magnesium	6,4 mg/l	7,7 mg/l
Sulfat	34,8 mg/l	32,0 mg/l
Nitrat	10,6 mg/l	20,0 mg/l
Chlorid	32,6 mg/l	30,0 mg/l
Gelöste Feststoffe	250 mg/l	240 mg/l

Tabelle 2: Vergleich des enthärteten WBV-Wassers mit WTV-Wasser (Median)

4.4 Pumpwerk Eichenkamp

Die Förderung des WTV-Wassers erfolgt wie bisher, um den Vordruck zu nutzen. Da beide Wässer chemisch identisch sind, wird im Wasserwerk theoretisch keine geregelte Mischung benötigt. Es wird trotzdem empfohlen, weiterhin die derzeitige Mischung von 75 % WBV / 25 % WTV beizubehalten, d. h. ca. 320 m³/h WBV + ca. 110 m³/h WTV.

Im Pumpwerk Eichenkamp sind keine Änderungen erforderlich. Künftig werden die Förderpumpen das enthärtete WBV- Wasser mit dem Vordruck des neuen Vorlagenbehälters ins Netz fördern. Die Förderung des WTV-Wassers erfolgt wie bisher.

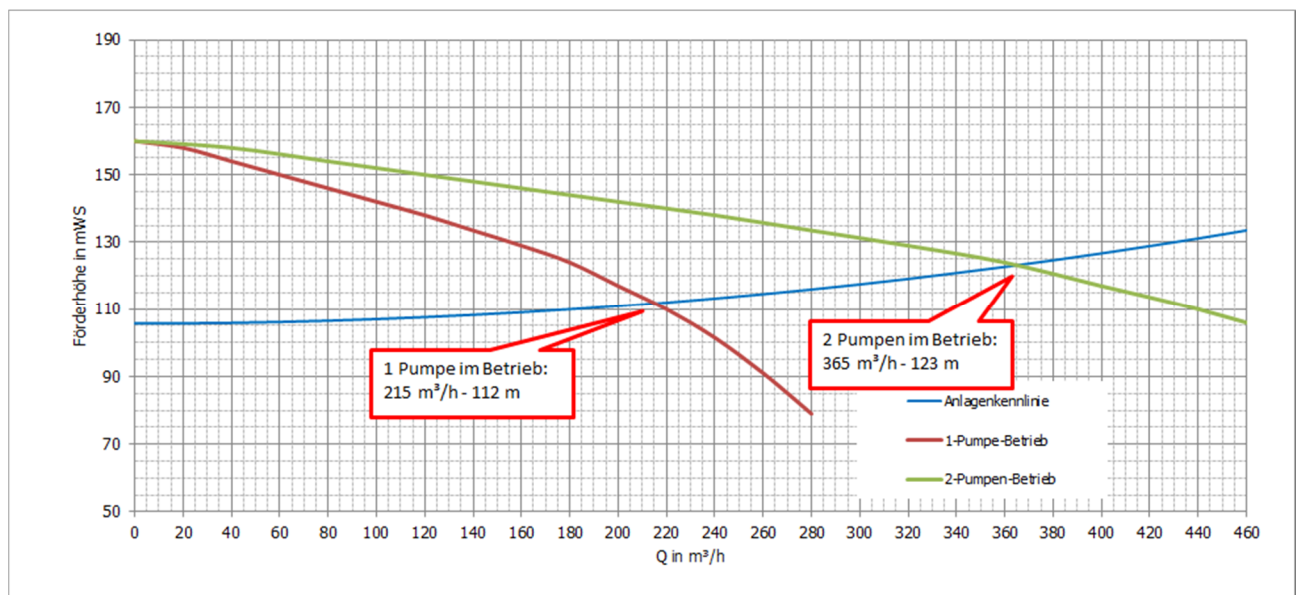


Abbildung 4-3: Diagramm Förderung des enthärteten WBV-Wassers (bei Förderung je mit 50 Hz)

4.5 WBV-Bezug

Derzeit hat der WBV ein Wasserrecht in Höhe von 4,8 Mio. m³/a. In den letzten Jahren wurden ca. 4,3 Mio. m³/a ausgenutzt.

Die Einspeisung von Bornheim beträgt derzeit ca. 1,70 Mio. m³/a. Mit der Enthärtung wird sich der Wasserbezug um ca. 0,24 Mio m³/a auf 1,94 Mio m³/a erhöhen müssen.

Der WBV muss also statt 4,3 Mo. m³/a 4,54Mio. m³/a Wasser und somit weiterhin innerhalb des bestehenden Wasserrechtes entnehmen.

4.6 Korrosionsschutzbetrachtung

Da die Wasserqualität des enthärteten WBV-Wassers mit dem des WTV-Wassers nahezu identisch ist, verweisen wir auf die Berechnungen der Korrosionswahrscheinlichkeit der Begutachtung „Vollversorgung WTV“. In diesem Gutachten wurde die Korrosionswahrscheinlichkeit des WTV-Wassers untersucht. Für beide Alternativen führt die Korrosionsbetrachtung gemäß DIN 50 930-6 und DIN EN 12 502 zu den gleichen Ergebnissen:

- Kupfer: Korrosion als unwahrscheinlich einzustufen
- Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe: Korrosionswahrscheinlichkeit leicht erhöht
- Nichtrostende Stähle: Korrosion als unwahrscheinlich einzustufen
- Gusseisen, unlegierte und niedriglegierte Stähle: Leicht ungünstig.

Obwohl einige Parameter die Grenzwerte leicht verfehlen, sind keine hohen Korrosionswahrscheinlichkeiten zu erwarten.

*Hinweis: Gemäß Empfehlung des DVGW (W235) sollte „aus korrosionschemischen Gründen als untere Grenze bei Festlegung des Aufbereitungsziels gleichzeitig eine Säurekapazität bis pH 4,3 von wenigstens 1,5 mmol/l und eine Calciumkonzentration von 0,5 mmol/l (20 mg/l) nicht unterschritten werden.“ Diese Anforderung würde hinsichtlich der Säurekapazität bis pH 4,3 (m-Wert) im enthärteten WBV-Wasser erfüllt (Siehe **Anlage 14**).*

Ein Unterschied zur heutigen Situation aus Korrosionssicht wäre, dass sich das eingespeiste Wasser beider Alternativen im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht befinden wird.

4.7 Auswirkung der neuen Aufbereitung auf die Stromversorgung

Für den Betrieb der Umkehrosmose werden zusätzliche Pumpen und Gebläse benötigt. Zusätzlich müssen die bestehenden Pumpen das Wasser vom neuen Reinwasserbehälter ins Netz anstelle mit Vordruck von WBV fördern.

Folgende gesamte Leistung wird am Standort Wasserwerk Eichenkamp benötigt:

Verbraucher	Enthärtungsanlage	
➤ Feedpumpe UO 1 =	37 kW	
➤ Feedpumpe UO 2 =	37 kW	
➤ Feedpumpe UO 3 =	n. erf.	
➤ Gebläse 1 =		8 kW
➤ Gebläse 2 =		8 kW
➤ Netzpumpe 1 WBV=	110 kW	
➤ Netzpumpe 2 WBV=	110 kW	

➤ Netzpumpe 3 WBV=	n. erf.
➤ Netzpumpe WTV =	75 kW
➤ Allgemeine Stromversorgung / Reserve=	30 kW
➤ SUMME	ca. 415 kW

Insgesamt wird eine Leistung zwischen 415 kW benötigt. Die bestehende Trafostation hat eine Leistung von $2 \times 400 \text{ kVA} = 800 \text{ kVA}$. Oberwellenfilter sind derzeit installiert, so dass die Transformatoren bis zu ihrer maximalen Leistung genutzt werden können. Die Stromversorgung der neuen Aufbereitungsanlage und des Pumpwerkes Eichenkamp ist bei einem parallelen Betrieb beider Transformatoren möglich. Allerdings ist bei einem Trafoausfall nicht mehr die volle Kapazität erreichbar. Bei einem Trafoausfall müsste somit ggf. der Umfang der Enthärtung eingeschränkt werden (Bypassmenge erhöhen), um die volle Netz-Förderkapazität zu erhalten.

Fazit: Nach der ersten Überprüfung der Stromversorgung wird davon ausgegangen, dass keine Maßnahmen an der Trafostation notwendig sein werden.

4.8 Technische und bauliche Umsetzung

Das Wasser des WBV steht am Wasserwerkeingang künftig bei einer Einspeisung von $365 \text{ m}^3/\text{h}$ mit einem Vordruck von ca. 3,0 bar zur Verfügung. Vorgesehen ist die Errichtung eines neuen Feed-Pumpwerkes für die Druckverluste der Vorfiltration (Entchlorungsfilter und Kartuschenfilter mit $5 \mu\text{m}$ Trenngrenze) und der Umkehrosmose (etwa 6 – 10 bar) mit dem Ziel, den Vordruck zu nutzen.

Nach der Umkehrosmose erfolgt die Mischung des Permeats und des WBV-Wassers. Da das Wasser nach Mischung kalkaggressiv ist (pH-Wert = ca. 7,1 / Calcitlösekapazität = ca. 23 mg/l), wird das Mischwasser in einem Flachbettbelüfter physikalisch entsäuert.

Die 2-straßige Umkehrosmose (siehe **Zeichnung 1**) kann im Gebäude des alten Pumpwerks untergebracht werden (siehe nachfolgendes Foto).



Ausreichender Platz für
die Umkehrosmose

Abbildung 4-4: Erdgeschoss „alten“ Pumpwerk Eichenkamp

Im Keller des Gebäudes können die Feedpumpen installiert werden und die Anbindungen an die bestehenden Leitungen erfolgen. Das bestehende Bauwerk muss zwar saniert werden (neue Fenster / Tür / Anstrich...); dennoch lassen sich durch die Nutzung des bestehenden Bauwerkes Investitionskosten einsparen.

Nach dem Flachbettbelüfter wird das weiche Wasser in einem neu zu errichtenden Reinwasserbehälter (2 Wasserkammern à 500 m³) zwischengespeichert (siehe **Zeichnung 2**). Die Förderung in die Tiefzone erfolgt mittels des bestehenden Pumpwerks Eichenkamp, wobei bei der Umsetzung der Alternative 2 ein Umbau des Pumpwerkes erforderlich wäre.

Das neue Bauwerk kann unmittelbar neben dem bestehenden Pumpwerk Eichenkamp errichtet werden (Siehe **Zeichnung 3**).

Fazit: Das „alte“ Pumpwerk kann für die Installation der Umkehrosmose inkl. Pumpstation genutzt werden. Zusätzlich wird ein neuer Behälter mit der Entsäuerungsanlage errichtet.

4.9 Ableitung des Konzentrats in den Rhein

Abgeleitet müssen ca. 45 m³/h an Konzentrat in den Vorfluter abgeleitet werden. Dieses Konzentrat ist charakterisiert durch:

- Hoher Härtegrad = ca. 75 °dH
- Zusatz von zugelassenen Antiscalant.

Eine Ableitung in den Bornheimer Bach ist keine Alternative. Aufgrund der hohen Härte wird sich die Wasserqualität des Bornheimer Baches verändern, so dass eine Einleitgenehmigung kaum zu erwarten ist.

Als einzige Alternative bietet sich die Ableitung des Konzentrats in den Rhein an. Es wurde geprüft, ob die Ableitung in die Kanalisation der Autobahn (siehe **Anlage 6**) durchgeführt werden kann. Nach Bewertung der Pläne des Straßenbauamtes Köln wurde festgestellt, dass der Rastplatz an die Mischwasserkanalisation angeschlossen ist. Deshalb steht diese Kanalisation für die Ableitung des Konzentrats nicht zur Verfügung.

Vorgesehen ist die Verlegung einer Kanalisation teilweise als Druckleitung bis zum Regenüberlaufbecken in die Altmühlstraße (siehe **Zeichnung 4**). In dieser Straße befindet sich bereits eine Regenwasserleitung. Ob diese Leitung genutzt werden kann, wurde in dieser Studie nicht geprüft. Falls das Projekt umgesetzt werden soll, werden die Leistungsfähigkeit und der Bauzustand der Kanalisation zu prüfen sein, damit über ihre Nutzung entschieden werden kann. Ggf. sind Schutzmaßnahmen an die Kanalisation erforderlich, um Korrosionserscheinungen zu vermeiden.

An dem Regenüberlaufbecken erfolgt die Ableitung des Konzentrats über die bestehende Leitung in den Rhein.

Es wurde davon ausgegangen, dass die Leitungsverlegung des Kanals im Weg erfolgt. Wenn sich aus Verhandlungen mit den Eigentümern die Möglichkeit einer Verlegung außerhalb befestigter Flächen ergibt, werden sich die Kosten reduzieren.

4.10 Notversorgung

Derzeit ist die Notversorgung der Stadt Bornheim wie folgt gesichert:

- Zwei Einspeisungen von WTV und WBV, die aus Sicht der Notversorgung eine komfortable Situation darstellen
- Einspeisestellen im Netz (2 x aus Alfter und 1 x aus Widdig – WBV): Etwa 100 – 150 m³/h.
- Drei bestehende Brunnen mit einer Leistung von insgesamt 60 m³/h.

Fazit: Diese derzeitige, hochwertige Notversorgungssituation bleibt auch nach Errichtung der Enthärtung bestehen.

5 Investitions- und Betriebskosten

Für die Ermittlung des neuen Wasserpreises wurden folgende Werte zugrunde gelegt:

- Umsetzung des Wasserwerkes im Jahr 2017
- Für die Berechnung des Wasserpreis wurden die derzeitigen Einspeisemengen zugrunde gelegt:
- WTV = 575.000 m³/a
- WBV = 1.725.000 m³/a
- Insgesamt = 2.300.000 m³/a
- Leistung des WWs = 430 m³/h
- Betriebsdauer = 5.300 h/a
- Wasserpreis WTV: = 65 Ct/m³
- Wasserpreis WBV: = 28 Ct/m³

Für die Berechnung wurde angenommen, dass der Wasserpreis von WBV und WTV für die nächsten Jahre konstant bleibt.

Die Stromkosten im Wasserwerk Eichenkamp betragen derzeit 135.000 €/a (17,4 Ct/m³). 2016 läuft der Liefervertrag aus: Danach werden Kosten in Höhe von 15 Ct/kWh erwartet.

Es wird davon ausgegangen, dass die Enthärtungsanlage ohne zusätzliches Personal gewartet und kontrolliert wird.

5.1 Investitionen

Nachfolgende Tabelle zeigt die geschätzten Investkosten (netto) der Enthärtungsanlage.

Teil 1: Bauwerk			
Behälter mit Installation	2'500 m³ UR	280 €/m³ UR	700'000 €
Sanierung des bestehenden Bauwerkes			100'000 €
Zwischensumme Bauwerk			800'000 €
Teil 2: Leitungsverlegung / Außenanlage			
Kanalisation	2'000 m	250 €/m	500'000 €
Autobahnkreuzung	20 m	1500 €/m	30'000 €
Bahnkreuzung	20 m	1500 €/m	30'000 €
Wasserleitung (DN 400)	100 m	300 €/m	30'000 €
Zufahrt verbessern			30'000 €
Zwischensumme Leitungsverlegung			620'000 €
Teil 3: Verfahrenstechnik			
Umkehrosmose			280'000 €
Flachbettbelüfter			150'000 €
Chlorex-Filter			60'000 €
Vorfilter			30'000 €
Pumpen / Maschinen			100'000 €
Installation			300'000 €
Uminstallation / Provisorium			30'000 €
Armaturen			150'000 €
Messtechnik			50'000 €
Dosierstation			50'000 €
Allgemeines (Abnahme / Doku. /)			60'000 €
Zwischensumme Verfahrenstechnik			1'260'000 €
Teil 4: Elektrotechnik			
Potenzialausgleich / Blitzschutz			30'000 €
Energieverteilung			40'000 €
Niederspannungunterverteilung			70'000 €
Leistungsabgänge			70'000 €
24 V Versorgung			5'000 €
Messtechnik			20'000 €
Automatisierungstechnik / Leittechnik			15'000 €
Haustechnik			15'000 €
Objektschutz			5'000 €
Verkabelung / Kabelwege / Montage			55'000 €
Sonstiges (Abnahme / Doku. / ...)			75'000 €
Zwischensumme Elektrotechnik			400'000 €
Gesamtkosten ohne NK			3'080'000 €
Nebenkosten (Ingenieurhonorare / Statik / Sigeko / Baugrund...)			462'000 €
Gesamtkosten: Enthärtung von "75 %" WBV-Wasser			3'542'000 €

Tabelle 3: Investitionen: Enthärtung von „75%“ WBV-Wasser

5.2 Betriebs- und Kapitaldienstkosten

Nachfolgende Tabelle zeigt die geschätzten Betriebs- und Kapitaldienstkosten der Enthärtung.

Strom			
<i>Umkehrosmose</i>	Leistung UO	220 m ³ /h	
	Druck Vorfilter	10 m	
	Druck UO (80 m abzgl. Vordruck = 30 m)	50 m	
	erf. Leistung	51 kW	
		275' 000 kWh	
<i>Flachbettbelüfter</i>	Gebläse (2 St.) - 16 kW	86' 000 kWh	
<i>Förderung ins Netz</i>			
<i>WBV</i>	(mittl. Förderung = 112 m)	320 m ³ /h	
	(berechnet mit Förd. Max.)	130 m	
	erf. Leistung	162 kW	
		867' 000 kWh	
<i>WTV</i>	(mittl. Förderung = 62 m)	110 m ³ /h	
	(berechnet mit Förd. Max.)	80 m	
	erf. Leistung	34 kW	
		181' 900 kWh	
<i>Allgemeiner Stromverbrauch - 50 kW/d</i>		18' 250 kWh	
<i>Stromverbrauch Wasserwerk Eichenkamp</i>		1' 428' 150 kWh	
<i>Stromkosten</i>		214' 000 €	
<i>Abzzgl. Bestehende Stromkosten</i>	-	135' 000 €	
Zwischensumme Stromkosten		79' 000 €	0.034 €/m³
Wasser			
<i>Mehreinspeisung WBV</i>	Reinwasser: + 0 m ³ /a	- €	
	Konzentrat: +241.000 m ³ /a	67' 000 €	
Zwischensumme Kosten des "Wassers"		67' 000 €	0.029 €/m³
Chemikalien			
<i>Antiscalant</i>	(3 mg/l - 4 €/kg)	14' 000 €	
<i>Säure (Reinigung)</i>		4' 000 €	
<i>Natronlauge (Reinigung)</i>		4' 000 €	
Zwischensumme Chemikalienkosten		22' 000 €	0.010 €/m³
Instandhaltung			
<i>Bauwerk/Leitungen (1%)</i>	1' 420' 000 €	14' 000 €	
<i>Verfahrenstechnik - ohne Membranen (2%)</i>	1.170.000 €	23' 000 €	
<i>Elektrotechnik (2%)</i>	310' 000 €	6' 000 €	
Zwischensumme Instandhaltung		43' 000 €	0.019 €/m³
Finanzierungskosten			
<i>Kapitalwiedergewinnungsfaktor mit Zinsen:</i>		3%	
<i>Abschreibung 50 a</i>	1' 882' 000 €	73' 000 €/a	
<i>Abschreibung 25 a</i>	1' 240' 000 €	71' 000 €/a	
<i>Abschreibung 15 a</i>	240' 000 €	20' 000 €/a	
<i>Abschreibung 10 a</i>	90' 000 €	11' 000 €/a	
<i>Abschreibung 5 a</i>	90' 000 €	20' 000 €/a	
Zwischensumme Finanzierungskosten		195' 000 €/a	0.085 €/m³
Mehrkosten			
Enthärtung von "75 % " WBV-Wasser		406' 000 €	0.177 €/m³

Tabelle 4: Betriebs- und Kapitaldienstkosten: Enthärtung von „75%“ WBV-Wasser

In der Summe ergeben sich für die Enthärtung zusätzliche spezifische Kosten in Höhe von 0,177 €/m³. Falls sich die Stromkosten, wie angenommen, jährlich um ca. 2% erhöhen, sind mit zusätzlichen Kosten in Höhe von 4.000 €/a bzw. 0,002 €/m³ zu erwarten.

5.3 Vergleich mit der Vollversorgung durch WTV

In dem Gutachten vom März 2014 „Vollversorgung WTV“ wurde die Erhöhung des Wasserpreises entsprechend ermittelt:

- + 23 Ct/m³ (534.750 €/a) am Anfang des Vollbezuges und
- + 34 Ct/m³ (782.300 €/a) nach 6 Jahren und für die folgenden Jahre.

Die Errichtung einer Enthärtung für Bornheim ist generell wirtschaftlicher als eine Vollversorgung mit WTV-Wasser, und zwar:

zwischen 5,3 und 16,3 Ct/m³ bzw. 121.900 bis 375.000 €/a günstiger.

Eine Erhöhung der Stromkosten um 2 % pro Jahr bedeutet eine jährliche Erhöhung des Wasserpreises um 0,2 Ct/m³.

6 Zusammenfassung und Empfehlung

In dieser Studie wurde untersucht, unter welchen Bedingungen WBV-Wasser enthärtet werden kann, um den Bornheimer Verbrauchern ein Wasser mit einer Härte von ca. 7 °dH zur Verfügung stellen zu können.

Untersucht wurde eine Enthärtung von „75%“ WBV-Wasser unter Beibehaltung der derzeitigen Wasserversorgung (Trinkwasser mit 75% WBV/25 % WTV) mit Neubau einer Enthärtungsanlage im Wasserwerk Eichenkamp.

Für die technische Realisierung der Enthärtungsanlage für Bornheim wurde im Rahmen einer Vorauswahl die Technologie „Umkehrosmose“ vorgesehen.

Die Aufbereitungsanlage kann samt Feedpumpen und Vorfilter im bestehenden Gebäude des Pumpwerks installiert werden. Zusätzlich wird ein neuer Behälter am Standort Wasserwerk Eichenkamp gebaut, in dem auch die erforderliche physikalische Entsäuerungsanlage aufgebaut wird. Zur Entsorgung des Konzentrats wurde eine neue Abwasserleitung bis zum Rhein vorgesehen.

Generell ist die Realisierung einer Enthärtungsanlage wirtschaftlicher als eine Vollversorgung mit WTV-Wasser. Die Kostensituation ist in folgender Tabelle zusammengefasst.

Enthärtung von "75 %" WBV-Wasser

Investitionen inkl. NK

Bauwerk	800´000 €
Leitungen	620´000 €
Verfahrenstechnik	1´260´000 €
Elektrotechnik	400´000 €
Nebenkosten	462´000 €

Gesamtsumme	3´542´000 €
--------------------	--------------------

Betriebskosten

Energiekosten	79´000 €
Wasserkosten	67´000 €
Chemikalien	22´000 €
Instandhaltung	43´000 €
Finanzierung	195´000 €

Gesamtsumme	406´000 €
	0.177 €/m³

Tabelle 5: Zusammenfassung der Kostensituation

Fakt ist, dass eine Errichtung einer Enthärtungsanlage in Bornheim aus technischen Gesichtspunkten nicht empfehlenswert ist.

Die derzeitige Härte des Mischwassers liegt bei 12 bis 14 °dH und ist damit im Härtebereich „mittel“ einzustufen. Diese Härte entspricht bereits der Härte, die in aller Regel angestrebt wird, wenn Versorger eine zentrale Enthärtungsanlage bauen und betreiben. Die Möglichkeit für eine zentrale Enthärtung ist gemäß Empfehlung des DVGW (W 235) erst bei deutlich höherer Härte von 19,6 °dH in Betracht zu ziehen. Aus Sicht der Wasserqualität gibt es somit keine Veranlassung für eine zentrale Enthärtung.

Falls sich die Stadt Bornheim dennoch für die Errichtung einer zentralen Enthärtung entscheiden sollte, sind folgende Vorteile und Nachteile zu berücksichtigen:

Vorteile:

- Die zwei Einspeisungen WTV und WBV bleiben erhalten (Notversorgung ist gesichert)
- Keine „Verletzung“ bestehender Verträge bzw. Vereinbarungen
- WBV-Lieferung innerhalb Wasserrecht
- Keine Umbau Maßnahmen im Pumpwerk Eichenkamp
- Nutzung des alten Pumpwerkes
- Niedrigere Betriebskosten im Vergleich zu der Vollversorgung WTV

Nachteile:

- Hohe Investitionen

Ablauf der Entscheidungen:

Derzeit sind Umbaumaßnahmen an der Steuerung des Pumpwerkes Eichenkamp vorgesehen. Um diese Arbeiten an die künftige Versorgungssituation abzustimmen, ist eine zeitnahe Entscheidung, welche Lösung umgesetzt wird, zwingend erforderlich.

Die Entscheidungskette kann wie folgt zusammengefasst werden:

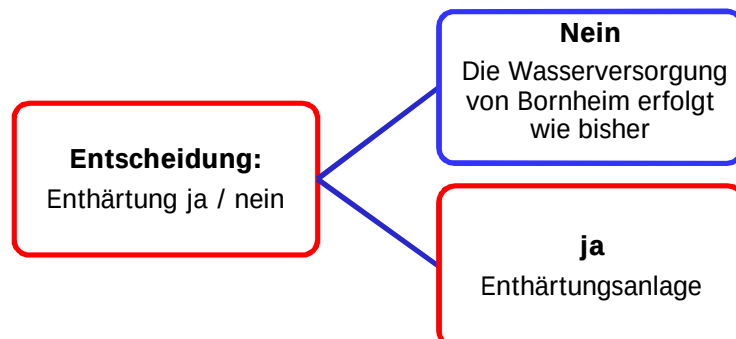


Abbildung 6-1: Entscheidungskette

Entscheidet sich die Stadt Bornheim für die Errichtung einer Enthärtungsanlage, werden Gespräche mit den Behörden durchgeführt, um die Rahmenbedingungen der Genehmigungen (Ableitung des Konzentrats in den Rhein / Gestaltung des neuen Bauwerkes) abzustimmen.

Krefeld, den 29.07.2014

H₂U aqua.plan.Ing-GmbH

Didier Garraud

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Lageplan Ortsnetz der Stadt Bornheim	8
Abbildung 2: Lageplan Ortsnetz der Stadt Bornheim	8
Abbildung 3-1: Prinzip einer Schnellentkarbonisierung durch Zudosierung von Calciumhydroxid	11
Abbildung 3-2: Prinzipbild des Carix-Verfahrens (Quelle: VWS Deutschland)	13
Abbildung 3-3: Carix-Anlage in Hassfurt / Leistung 200 m ³ /h	14
Abbildung 3-4: Unterscheidung der druckbetriebenen Membranprozesse (Quelle: DVGW Wasser-Information Nr. 72 Apr. 09)	15
Abbildung 3-5: Beispiel Umkehrosmose im Wasserwerk Bruchsal	17
Abbildung 4-1: Hydraulisches Schema Umkehrosmose Bornheim	19
Abbildung 4-2: Schematischer Aufbau der Umkehrosmose	20
Abbildung 4-3: Diagramm Förderung des enthärteten WBV-Wassers (bei Förderung je mit 50 Hz)	22
Abbildung 4-4: Erdgeschoss „alten“ Pumpwerk Eichenkamp	25
Abbildung 6-1: Entscheidungskette	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wasserbedarf des Versorgungsgebiets Bornheim	9
Tabelle 2: Vergleich des enthärteten WBV-Wassers mit WTV-Wasser (Median)	21
Tabelle 3: Investitionen: Enthärtung von „75%“ WBV-Wasser	28
Tabelle 4: Betriebs- und Kapitaldienstkosten: Enthärtung von „75%“ WBV-Wasser.....	29
Tabelle 5: Zusammenfassung der Kostensituation.....	31

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1:** Wasserwerk Eichenkamp Rohrleitungsplan – Bestand
- Anlage 2:** Erdgeschoss altes Pumpenhaus - Bestand
- Anlage 3:** Kellergeschoss altes Pumpenhaus - Bestand
- Anlage 4:** Grundriss neues Pumpenhaus - Bestand
- Anlage 5:** Schnitte neues Pumpenhaus - Bestand
- Anlage 6:** Lageplan Abwasserkanalisation vom WW bis Rhein - Bestand
- Anlage 7:** Kanalisation zwischen Autobahn und Rhein – Bestand
- Anlage 8:** Anbindung Autobahnkanalisation in der Isarstraße - Bestand
- Anlage 9:** Anbindung Autobahnkanalisation in die Altmühlstraße - Bestand
- Anlage 10:** Prospekt Carix
- Anlage 11:** Wasseranalyse WBV-Wasser median
- Anlage 12:** Wasseranalyse WTV-Wasser median
- Anlage 13:** Wasseranalyse UO-Permeat
- Anlage 14:** Mischwasser UO – WBV 7°dH

Verzeichnis der Zeichnungen

- Zeichnung 1:** Umbau altes Pumpwerk - Enthärtungsanlage
- Zeichnung 2:** Neubau Behälter mit Entsäuerung
- Zeichnung 3:** Neubau Behälter Lageplan
- Zeichnung 4:** Lageplan Kanalisation Konzentratableitung