

03KDN15113
 Gemeinde Karlsdorf-Neuthard
 Zentrale Enthärtung des Trinkwassers
 Wasserversorgung

Studie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abbildungsverzeichnis.....	3
1 Allgemeines.....	4
2 Grundlagen.....	4
2.1 Wassergewinnung / Rohwasserqualität.....	4
2.2 Wasserförderung, -speicherung und -verteilung.....	5
3 Planungsgrundlagen.....	5
3.1 Definition der Ziele, Kriterien und Mindestanforderungen.....	6
3.2 Calcium und Härte.....	6
3.3 pH-Wert.....	7
3.4 Basekapazität KB8,2.....	7
3.5 Säurekapazität KS4,3.....	7
3.6 Natrium.....	7
3.7 Korrosionsindex.....	8
3.8 Calcitabscheidefähigkeit.....	8
3.9 Eisen und Mangan.....	8
3.10 Übersicht Zielparameter.....	8
3.11 Wasserbedarfsmengen.....	10
3.12 Nitrat und sonstige Inhaltsstoffe.....	10
4 Aufbereitungsverfahren.....	11
4.1 Grundlage für alle Verfahren.....	11
4.2 Variante 1: Ionenaustauschverfahren.....	12
4.2.1 Mögliche Verfahrensweise.....	13
4.3 Variante 2: Fällungsverfahren.....	18
4.4 Variante 3: Membranverfahren.....	19

5	Korrosionsverhalten bei Umstellung	26
6	Entsorgung „Abwasser aus Enthärtung“	26
7	Wirtschaftlichkeitsvergleich.....	28
7.1	Investitionskosten.....	28
7.1.1	CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Vorfluter	28
7.1.2	CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Kläranlage.....	28
7.1.3	Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Vorfluter.....	29
7.1.4	Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Kläranlage	29
7.2	Nebenkosten.....	29
7.3	Reinvestitionskosten.....	29
7.4	Betriebskosten	30
7.5	Jahreskosten	31
7.5.1	CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Vorfluter	31
7.5.2	CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Kläranlage.....	31
7.5.3	Mehrkosten CARIX-Anlage bei Ableitung Abwasser in Kläranlage mit Gebühren .	31
7.5.4	Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Vorfluter.....	32
7.5.5	Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Kläranlage	32
7.5.6	Mehrkosten Membran-Anlage bei Ableitung Abwasser in Kläranlage mit Gebühren	32
7.6	Kosteneinsparpotenziale für den Haushalt	32
8	Zusammenfassung / Bewertung nach verschiedenen Gesichtspunkten.....	34
9	Betrachtung verschiedener Varianten der Enthärtung.....	37
9.1	Variante 1: Wasserbezug durch die Bodenseewasserversorgung (BWV).	37
9.2	Variante 2: Fremdwasserbezug von den Stadtwerken Bruchsal EWB.....	38
9.3	Variante 3: Fremdwasserbezug durch Synergien mit Nachbarkommunen.....	40
10	Fremdwasserbezug von den Stadtwerken Bruchsal EWB – Weitere Betrachtungen.....	41
10.1	Auswertung und Schlussfolgerung der Variantenbetrachtung	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schema des Ionenaustausches mit schwach sauren Kationenaustauschern und stark basischen Anionenaustauschern..... 13

Abbildung 2 Funktionsschema CARIX Verfahren 14

Abbildung 3 Schematische Darstellung des Grundprinzips eines Membranverfahrens..... 19

Abbildung 4 Trenngrenze verschiedener Membranverfahren 21

Abbildung 5 Wickelmodul 21

Abbildung 6 Beispiel Membran-Anlage..... 23

Abbildung 7 CIP-Station und Dosierung Antiscalant 23

Abbildung 8 Beispiel eines Flachbettbelüfters mit Zuluftgebläse im Hintergrund 25

1 Allgemeines

Die Gemeinde Karlsdorf-Neuthard bezieht ihr Trinkwasser vom eigenen Wasserwerk. Das Trinkwasser, aus Grundwasser gewonnen, ist in den Härtebereich „hart“ einzuordnen. Die Gemeindeverwaltung Karlsdorf-Neuthard erwägt aufgrund von Anregungen aus der Bevölkerung eine zentrale Trinkwasserenthärtung auf dem Gelände des Wasserwerkes in Karlsdorf-Neuthard für das durch die Gemeinde bezogene Trinkwasser einzurichten.

Als Entscheidungsgrundlage für den Gemeinderat und die Bevölkerung sollen in einer Studie mehrere Verfahren der Enthärtung erläutert, untersucht und in Bezug auf die Herstellungskosten und Betriebskosten - bezogen auf den Wasserverbrauch und die Standortbedingungen - dargestellt werden.

2 Grundlagen

2.1 Wassergewinnung / Rohwasserqualität

Die derzeitige Wassergewinnung erfolgt über 4 Brunnen. Dabei handelt es sich um 2 Flachbrunnen sowie 2 Tiefbrunnen, die jeweils in einer Sammelleitung in das Wasserwerk geführt werden.

Im Vorfeld der Studie wurde eine Rohwasseranalyse an den jeweiligen Brunnen durchgeführt. Folgende Besonderheiten sind dabei hervorzuheben:

- Die Rohwässer liegen bei pH = 6,87 bis pH = 7,3 im pH-neutralen Bereich.
- Das Rohwasser aus Brunnen 1 weist eine schwach kalkabscheidende Eigenschaft auf.
- Die Wässer aus Brunnen 2, 3, 4 weisen eine kalklösende Eigenschaft auf.
- Nach den Gehalten an Calcium und Magnesium sind die Rohwässer gemäß Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz, WRMG §9) und den Härtebereich „hart“ einzustufen. Die Carbonhärte besitzt in den Wässern der Flachbrunnen einen Anteil von ca. 68 % zur Gesamthärte. In den Wässern der Tiefbrunnen werden Anteile von ca. 97 % erreicht.
- Es handelt sich um sauerstoffarme Grundwässer.
- Im Rohwasser der Flachbrunnen ist der erhöhte Gehalt an Nitrat von 44 mg/l auffällig. Im Rohwasser der Tiefbrunnen wurden dagegen geringe Mengen an Nitrat von weniger als 1 mg/l gemessen.
- Das Rohwasser der Tiefbrunnen weist einen erhöhten Gehalt an Eisen (1,4 - 1,7 mg/l) sowie an Mangan (0,15 - 0,29 mg/l) auf. Die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TwV) werden hier überschritten.
- Das Rohwasser der Flachbrunnen weist geringe Mengen an Eisen auf. Die Mangankonzentration liegt jedoch über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung (2,4 mg/l).
- Ammonium ist in den Wässern der Tiefbrunnen nachzuweisen. Die niedrigen Sauerstoff- und Nitratgehalte weisen in Verbindung mit den erhöhten Konzentrationen an Ammonium, Eisen und Mangan auf reduzierte Bedingungen in den Grundwasserleitern der Tiefbrunnen hin. In den Wässern der Flachbrunnen ist nahezu kein Ammonium vorhanden.

- Die Wässer der Tiefbrunnen weisen erhöhte Trübungen auf, die den Grenzwert der TwV überschreiten.
- Die Wässer der Flach- und Tiefbrunnen weisen sehr geringe Kolloid-Indizes (SDI) auf.

Das Roh- und Reinwasser weist folgende Härtegrade auf:

	Härte als Calciumcarbonat [mmol/l]	Gesamthärte [°dH]	Carbonathärte [°dH]	Nichtcarbonathärte [°dH]
Brunnen 1 (Flachbrunnen)	3,22	18,0	12,2	5,8
Brunnen 2 (Flachbrunnen)	3,15	17,6	11,8	5,8
Brunnen 3 (Tiefbrunnen)	3,47	19,4	18,2	1,2
Brunnen 4 (Tiefbrunnen)	3,19	17,9	17,8	0,1
Reinwasser (Abgang Wasserwerk)	3,20	17,9	16,5	1,4

Nach § 9 der Neufassung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz - WRMG) sind die Härtebereiche des Trinkwassers wie folgt abgestuft:

Härtebereich weich: weniger als 1,5 Millimol Calciumcarbonat je Liter (entspricht 8,4 °dH)

Härtebereich mittel: 1,5 bis 2,5 Millimol Calciumcarbonat je Liter (entspricht 8,4 bis 14 °dH)

Härtebereich hart: mehr als 2,5 Millimol Calciumcarbonat je Liter (entspricht mehr als 14 °dH)

Es wird darauf hingewiesen, dass der DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs) eine Enthärtung erst ab 3,5 mmol/l empfiehlt.

2.2 Wasserförderung, -speicherung und -verteilung

Die Brunnen 1, 2 fördern jeweils 7,5 l/s, der Brunnen 3 hingegen 10 l/s und Brunnen 4 20 l/s in das Wasserwerk. Brunnen 1 und 2 fördern in einer Sammelleitung somit 15 l/s. Brunnen 3 und 4 fördern dagegen 30 l/s in einer Sammelleitung zum Wasserwerk. Die Aufbereitung (Entfernung von Mangan und Eisen) des gesamten Rohwasserstroms von 45 l/s erfolgt über einen Oxidator und 4 Filter. Den Filtern ist eine Entsäuerungseinheit nachgeschaltet. Die Entsäuerungseinheit wird nach momentanem Stand nicht benötigt und wird umfahren. Das Reinwasser gelangt danach in die beiden Wasserkammern des Hochbehälters mit einem Gesamtspeichervolumen von 2 x 900 m³. Aus den beiden Wasserkammern wird das aufbereitete Wasser mittels Netzpumpen an die Gemeinden Karlsdorf und Neuthard verteilt. Die Förderleistung der 5 frequenzgeregelten Netzpumpen beträgt jeweils 144 m³/h. Eine Pumpe mit einer Förderleistung von 21,8 m³/h kann optional zugeschaltet werden.

Die Fördermenge verteilt sich auf ca. 40 m³/h für Karlsdorf und 23 m³/h für Neuthard (bezogen auf Jahresverbrauch 2015).

3 Planungsgrundlagen

3.1 Definition der Ziele, Kriterien und Mindestanforderungen

Für die Beurteilung des optimalen Enthärtungsverfahrens werden Kriterien zu den Bereichen Trinkwasserqualität, betriebliche Integration, Kosten sowie Umweltschutz untersucht.

Aspekte, die bei der Wahl und Auslegung des Enthärtungsverfahrens zum Tragen kommen sind:

- Inhaltsstoffe im Rohwasser und Reinwasserwasserbedarf
- Aufbereitungsziel
- Aufbereitungsmenge- und volumenstrom
- Einsatz von Aufbereitungsstoffen
- Vermeidung, Verwertung bzw. Entsorgung von Rückständen
- Erforderliche Nachbehandlung des Wassers
- Prozessstabilität und Automatisierbarkeit

Das erste Ziel der Enthärtung von Trinkwasser ist die Verminderung von Calcium und Magnesium. Als Nebeneffekt der Enthärtung tritt häufig auch eine Verbesserung der korrosionschemischen Eigenschaften auf.

Kriterien für die Enthärtung sind:

- Calcium und Härte
- pH-Wert
- Basekapazität
- Säurekapazität
- Natriumkonzentration (*nur bei Einsatz von Natronlauge*)
- Korrosionsindex S1, S3
- Calcitabscheidefähigkeit bei 60°C
- Konzentration von Eisen und Mangan

Im weiteren Verlauf werden die Kriterien erläutert und Zielwerte bzw. Zielbereiche der Enthärtung definiert.

3.2 Calcium und Härte

Bei der Enthärtung steht die Reduzierung von Calcium im Vordergrund, da Magnesium selten zu Verkrustungsproblemen führt. Für Magnesium wird daher kein Zielbereich angegeben. Der Zielwert für die Calciumkonzentration wird unter Berücksichtigung gesundheitlicher, korrosionschemischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte festgelegt.

Aus gesundheitlichen Gründen wird im Sinne eines prophylaktischen Umweltschutzes empfohlen, dass Trinkwasser eine gewisse Mindestmenge an Calcium- und Magnesiumionen enthalten soll.

Es wird ein Mindestgehalt an Erdalkalien von 1,5 mmol/l angenommen. Für Calcium wird aus korrosionschemischer Sicht ein Mindestgehalt von 0,5 mmol/l empfohlen. (DIN EN 12502, 2001; DIN 50930 (6), 2011).

Aus betriebswirtschaftlichen Aspekten wird häufig ein Zielwert von 2,4 mmol/l Härte im Trinkwasser gewählt. Dieser Wert liegt sicher unterhalb der oberen Grenze des mittleren Härtebereichs. Eine weitergehende Enthärtung kann durchaus sinnvoll sein. Es erhöht sich der Komfortgewinn des Endkunden und eine mögliche Erhöhung des pH-Wertes aus korrosionschemischer Sicht kann oftmals nur durch eine Härte von kleiner 2,4 mmol/l erreicht werden.

Somit ergibt sich für die Calciumkonzentration ein Zielbereich von 0,5 - 2,4 mmol/l. Für die Härte wird ein Zielbereich von 1,5 - 2,4 mmol/l angestrebt.

3.3 pH-Wert

Nach Trinkwasserverordnung darf der pH-Wert von 6,5 - 9,5 Einheiten betragen. Höhere pH-Werte verringern grundsätzlich die Flächenkorrosion von Trinkwasserleitungen. Untersuchungen im Rahmen der Überwachung des Kupfergrenzwertes nach TWV sind nicht erforderlich, wenn der pH-Wert größer 7,4 ist. Bei pH-Werten größer 8,5 besteht laut Literatur (Brink van den Hoven, 1998) die Gefahr der Entzinkung von Messingwerkstoffen. Der pH-Wert ist auch für die Calcitlösekapazität von Bedeutung. Nach den Bestimmungen der TwV darf die Calcitlösekapazität am Ausgang des Wasserwerks nicht mehr als 5 mg/l CaCO₃ betragen. Dies gilt als erfüllt, wenn der pH-Wert größer oder gleich 7,7 ist.

Durch die Enthärtung sollte der pH-Wert auf über 7,4 angehoben werden. Optimalerweise erfolgt die Erhöhung des pH-Wertes darüber hinaus zur Minimierung der Flächenkorrosion und aus Gründen eines reduzierten Überwachungsaufwandes in den Bereich zwischen 7,7 und 8,3. Ein höherer pH-Wert ist hier als besser zu bewerten, solange er kleiner als 8,3 Einheiten ist.

3.4 Basekapazität KB_{8,2}

Nach DIN 50930 (6) (2001) wird eine Veränderung der Trinkwassereigenschaft durch Korrosionsprozesse an Trinkwasserleitungen aus feuerverzinktem Stahl als unproblematisch angesehen, wenn die Basekapazität bis pH 8,2 kleiner oder gleich 0,5 mmol/l ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wert unterschritten wird, wenn der pH-Wert größer oder gleich 7,4 ist. Für die Bewertung des Korrosionspotentials wird deshalb der pH-Wert als Kriterium für Flächenkorrosion herangezogen.

3.5 Säurekapazität KS_{4,3}

Aus korrosionschemischen Gründen sollte nach der Enthärtung eine Säurekapazität von größer oder gleich 2 mmol/l im Trinkwasser verbleiben. (DIN EN 12502, 2001).

3.6 Natrium

Der Grenzwert nach TwV liegt bei 200 mg/l. Bei einer chemischen Enthärtung unter Einsatz von Natronlauge ist darauf zu achten, dass der Grenzwert nicht überschritten wird.

Hier muss zwischen einer Erhöhung der Natriumkonzentration und korrosionschemischen Vorteilen abgewogen werden. Für die Natriumkonzentration wird ein Zielwert von 30 % unterhalb des Grenzwertes nach TwV von 140 mg/l festgelegt.

3.7 Korrosionsindex

Zur Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit von feuerverzinktem Stahl wird der Korrosionsindex S1 herangezogen. Das Auftreten von Lochkorrosion ist unwahrscheinlich, wenn der Korrosionsindex S1 kleiner als 0,5 ist. Die Trinkwasserqualität wird hier akzeptiert, wenn der Korrosionsindex S1 nach der DIN 12502 weniger als 1,8 beträgt. Je geringer Der Korrosionsindex S1 desto besser.

Zur Beurteilung der Lochkorrosion bei Kupferwerkstoffen im Warmwasserbereich wird der Korrosionsindex S3 herangezogen. Die Trinkwasserqualität wird akzeptiert, wenn der Korrosionsindex S3 größer 2 ist (DIN 12502).

Ebenfalls ist auf die selektive Korrosion von Messingwerkstoffen (Entzinkung) zu achten (Turner Diagramm). Die enthärteten Trinkwässer werden akzeptiert, wenn die Wasserbeschaffenheit außerhalb des ungünstigen Bereichs für selektive Korrosion von Messingwerkstoffen liegt.

Es ist als günstig anzusehen, wenn aus dem Enthärtungsprozess niedrige Kohlenstoffdioxidkonzentrationen resultieren, um den Übergang von Stoffen aus Rohrwerkstoffen (Kupfer) in das Trinkwasser zu minimieren.

3.8 Calcitabscheidefähigkeit

Die Calcitabscheidefähigkeit bei 60°C Wassertemperatur (CAK 60) eignet sich als Bemessungsgröße um den Komfortgewinn des Abnehmers zu beurteilen. Je geringer der CAK 60 Wert, desto geringer ist die Bildung von Kalkablagerungen im Warmwasserbereich. Die Größe und die Berechnungsgrundlagen sind in der DIN 38404-10 (1995) definiert. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass das Wasser kalkabscheidend ist. Ein positives Vorzeichen weist auf ein Kalk lösendes Wasser hin. Je weniger negativ die Calcitabscheidefähigkeit bei 60°, desto höher der Komfortgewinn, der durch die Enthärtung erreicht wird.

3.9 Eisen und Mangan

Nach TwV wird ein Grenzwert von Eisen von 0,2 mg/l gefordert. Für Mangan hingegen ein Grenzwert von 0,05 mg/l. In unserem Fall wird eine Konzentration von Eisen und Mangan kleiner 0,05 mg/l angestrebt. Das bereits aufbereitete Trinkwasser erfüllt diese Werte. Die Rohwasserwerte von Eisen und Mangan liegen dagegen darüber.

3.10 Übersicht Zielparameter

In der folgenden Tabelle sind die angesetzten Zielbereiche nochmals übersichtlich dargestellt.

	Einheit	Zielbereich der Enthär- tung	IST - Wert Reinwasser nach Enteisung /Ent- manganung	IST - Wert Rohwasser	Anpassung	Bemer
Härte	mmol/l	1,5 – 2,4	3,2	3,2	↓	Für alle
Calcium	mmol/l	0,5 – 2,4	2,52	2,6	↓	Verring
pH-Wert	-	>7,4 -8,3	7,14	6,9-7,3	↑	Bei gle lungsve nenaus
Säurekapazität	mmol/l	>2 - 4	5,9	4,2-6,5	↓	Fällung reka
Natriumkonzentration	mg/l	140	25	7	O.K.	Kann s Einsatz
Korrosionsindex S1	-	<1,8	0,31	k.A.	O.K.	Wert b
Korrosionsindex S3	-	>=2	21,4	k.A.	O.K.	Wert b
CAK 60		minimieren	0 mg/l*	3,2- 3,5mmol/l*	↓	Calcita i.d.R. g *Calcita rend Me
c (Fe+Mn)	mg/l	<0,05	O.K.	zu hoch	!	Achtun

3.11 Wasserbedarfsmengen

Für die Auslegung der Enthärtungsanlage sind der mittlere und maximale Tagesbedarf notwendig. Für die Dimensionierung der Anlage wurden folgende Werte zugrunde gelegt:

Mittlerer Tagesbedarf (Stand 07/2016)	m ³ /d	1.354
Maximaler Tagesbedarf (Stand 07/2016)	m ³ /d	2.506
Jahresbedarf (Stand 12/2015)	m ³	557.263
Spitzenleistung Netzpumpen	l/s	206

3.12 Nitrat und sonstige Inhaltsstoffe

Erhöhte Nitratwerte (ca. 44 mg/l) treten im Rohwasser der Flachbrunnen 1 und 2 auf. Die Nitratwerte in den Tiefbrunnen sind dagegen gering (0,5 mg/l). Durch die unten aufgeführten Verfahren CARIX und Umkehrosiose ist es möglich zukünftig Nitrat aus dem Grundwasser zu entfernen. Dabei ist die Aufkonzentrierung des Nitrats im Eluat- bzw. Konzentrat zu beachten.

Die Rohwässer sind Sauerstoffarm mit Sauerstoffgehalten von 0,2 bis 0,6 mg/l O₂.

Ammonium ist in den Wässern der Tiefbrunnen mit Gehalten von 0,083 mg/l und 0,325 mg/l nachzuweisen. In den Wässern der Flachbrunnen ist nahezu kein Ammonium vorhanden.

Die niedrigen Sauerstoff- und Nitratgehalte der Tiefbrunnen weisen in Verbindung mit den erhöhten Konzentrationen an Ammonium, Eisen und Mangan auf reduzierte Bedingungen in den Grundwasserleitern hin.

Der Kolloid-Indize SDI ist mit maximal 0,81 min⁻¹ sehr gering. Bei einem Einsatz von Membranverfahren zur Trinkwasserenthärtung dürfte aufgrund der ermittelten SDI Werte von kleiner 3 min⁻¹ keine Vorfiltration notwendig sein.

Durch eine Aufbereitung durch Umkehrosiose (UO) oder CARIX ist eine Vollentsalzung der Wässer möglich. Dabei werden gelöste, organische Substanzen entfernt. Durch die UO ist es möglich Partikel von 1 bis 100 µm, Coliforme Keime, E coli, Parasiten, Pestizide, Huminstoffe, Nitrat sowie diverse Salze (Natrium, Kalium, Sulfat, Chlorid) zu entfernen.

4 Aufbereitungsverfahren

Im Rahmen dieser Studie werden drei mögliche und gängige Verfahren für die zentrale Enthärtung des Trinkwassers untersucht:

Variante 1: Aufbereitung des Wassers mit Ionenaustauschverfahren (CARIX).

Variante 2: Aufbereitung des Wassers mit Fällungsverfahren (SEK)

Variante 3: Aufbereitung des Wassers mit Membranfiltration (LPRO) im Teilstromverfahren.

Gegenstand der Variantenstudie ist die Darstellung der Machbarkeit und der technische und wirtschaftliche Vergleich der Enthärtungsverfahren. Wirtschaftliche Bewertungsgrundlage ist eine Kostenvergleichsrechnung in Anlehnung an die Leitlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).

4.1 Grundlage für alle Verfahren

Um eine aus betrieblicher und wirtschaftlicher Sicht optimierte Enthärtungsanlage zu konzipieren, erfolgt die Auslegung der Leistung auf eine Reinwassermenge von 38 l/s. Bei einem mittleren Tagesbedarf von 1.354 m³ ergibt sich eine Laufzeit der Enthärtungsanlage von rund 10 Stunden, bei maximalem Tagesbedarf von 2.506 m³ ist ein rund 18-stündiger Betrieb notwendig. Die Enthärtungsanlage kann bei allen Verfahren auch im 24-Stunden-Betrieb gefahren werden.

Auf Grundlage der Wasserbeschaffenheit des Rohwassers, der Wasserverbrauchswerte sowie der Aufbereitungsziele, kann dann die Einsetzbarkeit der verschiedenen Enthärtungsverfahren beurteilt werden. Fällungsreaktionen kommen beispielsweise nur in Frage, wenn die Konzentration von Phosphaten, Eisen, oder Huminstoffen (organische Substanzen) nicht zu hoch ist, da diese die Kristallisation des Calciumcarbonates hemmen.

Für Ionenaustausch- und Membranverfahren muss das zu enthärtende Wasser trübstofffrei sein und es darf keine Inhaltsstoffe enthalten, die zu Belägen auf den Austauschern oder Membranen führen. Dies sind unter anderem Eisen, Mangan, Aluminium, Strontium, Barium, Silikate und Huminstoffe.

Die bereits durchgeführte Aufbereitung des Wassers im Wasserwerk Karlsdorf-Neuthard ermöglicht den Einsatz der Fällungs-, Ionenaustausch- sowie der Membranverfahren ohne jegliche vorgeschaltete Aufbereitungsverfahren bei einer Enthärtung des Reinwassers. Die Enthärtungsanlage muss dementsprechend der Enteisung und Entmanganung nachgeschaltet werden. Für eine vorgeschaltete Enthärtung (Behandlung des Rohwassers) wäre eine Vorbehandlung zwingend erforderlich.

Bei allen Verfahren ist jedoch eine Nachbehandlung des enthärteten Wassers erforderlich. Bei Fällungsverfahren ist eine nachfolgende Filtration erforderlich und ggf. eine pH-Wert Korrektur mittels CO₂ Dosierung. Bei Ionenaustausch- und Membranverfahren ist eine nachfolgende Entfernung von überschüssiger Kohlensäure notwendig.

4.2 Variante 1: Ionenaustauschverfahren

Für eine Enthärtung mittels Ionenaustauschverfahren wurde das CARIX-Verfahren ausgewählt. Das CARIX-Verfahren wurde in den Jahren 1978-1982 im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelt und danach von der Firma WABAG zur Anwendungsreife weiterentwickelt. Vertrieben wird das CARIX Verfahren durch die Firma Veolia Water Treatments.

Gegenüber herkömmlichen Ionenaustauschverfahren, bei denen die Calcium- und Magnesium-Ionen gegen Natrium-Ionen ausgetauscht werden und die Regenerierung mit Kochsalzlösung oder Salzsäure erfolgt, hat das CARIX-Verfahren folgende Vorteile:

- Keine Erhöhung des Natriumgehalts im aufbereiteten Trinkwasser.
- Das bei der Regenerierung anfallende Abwasser enthält nur die aus dem Rohwasser entnommenen Salze und führt in der Kanalisation oder im Vorfluter zu keiner Belastung durch Erhöhung der Salzfracht.

Bei dem CARIX Verfahren wird eine Teilentsalzung in einem Mischbett durch Ionenaustauscherfilter (Harz) durchgeführt. Neben einer Absenkung des Nitratgehalts kann problemlos eine Absenkung der Gesamthärte von derzeit 3,2 mmol/l auf 2,4 mmol/l erfolgen. Die Enthärtung wird der bestehenden Aufbereitung aufgrund der Anforderungen an die Eisen- und Mangankonzentration nachgeschaltet.

Das Prinzip des CARIX-Verfahrens beruht auf der gleichzeitigen Verwendung eines schwach sauren Kationenaustauscherharzes und eines stark basischen Anionenaustauscherharzes. Die Austauscherharze werden im Gemisch in Form von Kunststoff-Kügelchen eingesetzt, die einen Durchmesser von etwa 1 mm haben. In trockenem Zustand sind Austauscherharze unwirksam. Lässt man sie aber in Wasser quellen, werden sie aktiv. Beim CARIX-Verfahren verwendet man zur Aktivierung Wasser, das unter Druck mit Kohlenstoffdioxid angereichert ist. Kommen die Austauscherharze mit dieser Kohlenstoffdioxid-Lösung in Kontakt, entstehen durch chemische Umsetzung Ionen, deren elektrische Ladung der des Austauscherharzes entgegengesetzt ist, sodass sie an der Oberfläche der Kügelchen festgehalten werden. Beim Kationenaustauscher belädt sich die Oberfläche der Kügelchen mit Oxonium-Ionen (H_3O^+), beim Anionenaustauscher mit Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^-).

Beim CARIX-Verfahren werden mit Hilfe eines Anionentauschers die Neutralsalze Sulfat-, Nitrat- und Chlorid-Ionen gegen Hydrogencarbonat-Ionen ausgetauscht. Der Kationentauscher tauscht die Härtebildner Calcium und Magnesium gegen Wasserstoff-Ionen aus. Das Ergebnis ist eine Teilentsalzung, bei der die ins Wasser abgegebenen Wasserstoff-Ionen mit dem ins Wasser abgegebenem Hydrogencarbonat reagieren und Kohlensäure bilden. Die Kohlensäure zerfällt nach dem Kohlensäuregleichgewicht dabei in CO_2 und Wasser. Der pH-Wert wird herabgesenkt.

Nach einem bestimmten Durchsatz ist die Kapazität des Mischbettes erschöpft und es muss regeneriert werden. In der Regenerationsphase wird das Harz von einer stark kohlenensäurehaltigen Regenerierlösung durchströmt. Dadurch wird die Reaktionsrichtung am Harz umgekehrt und die im vorhergegangenen Zyklus entfernten Ionen als sogenanntes Eluat abgegeben. Da die CO_2 Konzentration im Ionenaustauscherablauf dazu führt, dass das resultierende Reinwasser über das zulässige Maß der Trinkwasserverordnung hinaus Calcit zu lösen vermag, muss stets eine Entsäuerung des Gesamtwasserstroms zur Stabilisierung des Wassers erfolgen.

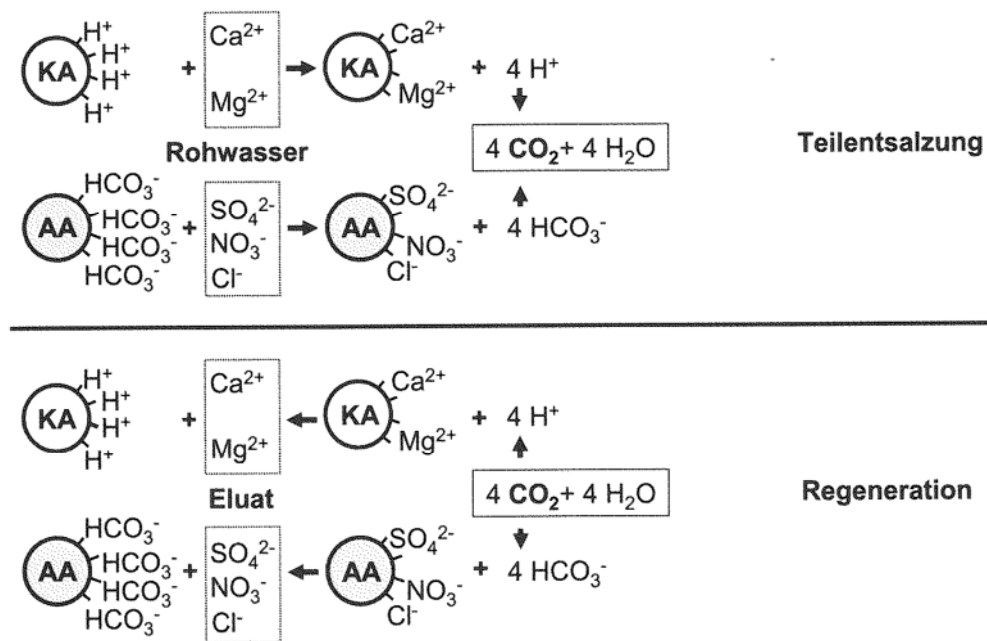


Abbildung 1 Schema des Ionenaustausches mit schwach sauren Kationenaustauschern und stark basischen Anionenaustauschern

4.2.1 Mögliche Verfahrensweise

Das Rohwasser durchfließt drei Ionenaustauscherfilter (1 - 2 Filter in Betrieb, ein Filter in Regeneration), in deren Filterbett die Teilentsalzung stattfindet (Nitrat-, Sulfat-, Calcium-, Magnesium- und Karbonathärterreduzierung). Das Reaktionsprodukt Kohlensäure, welches in Wasser und Kohlendioxid (CO_2) zerfällt, wird im nachgeschalteten Reinwasserriesler aus dem Wasser entfernt und an die Atmosphäre abgegeben. Der überwiegende Teil (circa 95 %) der verwendeten Kohlensäure wird im Prozess zurückgewonnen und wiederverwendet. Für die Entgasung wird Luft aus einem Radialventilator im Gegenstrom zum Reinwasser durch den Riesler geführt. Aus dem Reinwasserriesler gelangt der aufbereitete Teilwasserstrom mit dem Verschnitt in den vorhandenen Reinwasserspeicher, welcher als Puffer für die nachgeschalteten Förderpumpen dient.

Bei der turnusmäßigen Regeneration des Filterbetts (1 - 2 x täglich je Filter, müssen die an den Kunstharzkügelchen des Filterbetts anhaftenden Ionen entfernt und die Austauscherharze wieder in ihren ursprünglichen Zustand gebracht werden. Hierfür wird Rohwasser über eine Regenerierpumpe in den Regenerierspeicher geführt und mit CO_2 aus der Rückgewinnung und zur Ergänzung aus einem CO_2 -Tank angereichert. Vom Regenerierspeicher wird die Regenerierlösung (CO_2 angereichertes Rohwasser) bei einem Überdruck von circa 5 bar durch den jeweils zur Regenerierung anstehenden Filter geführt. Im Eluatentgaser wird CO_2 aus dem Regenerierstrom zu circa 95 % zurückgewonnen und über eine Kompressorstation wieder in den CO_2 -Regenerierspeicher zurückgeführt. Das Regenerierabwasser (Eluat) gelangt vom Filter über den Eluatentgaser in einen Eluatenspeicher. Etwa 40 % der Eluatmenge wird für die nächste Regeneration wiederverwendet. Etwa 60 % der Eluatmenge wird, gedrosselt über einen Eluatpufferspeicher, in den Vorfluter oder in den Kanal eingeleitet. Die Anlage wird im 3-Takt-Betrieb gefahren, mit gleichzeitigem Betrieb von zwei Filtern, während ein Filter in der Regenerationsphase oder im Stillstand ist.

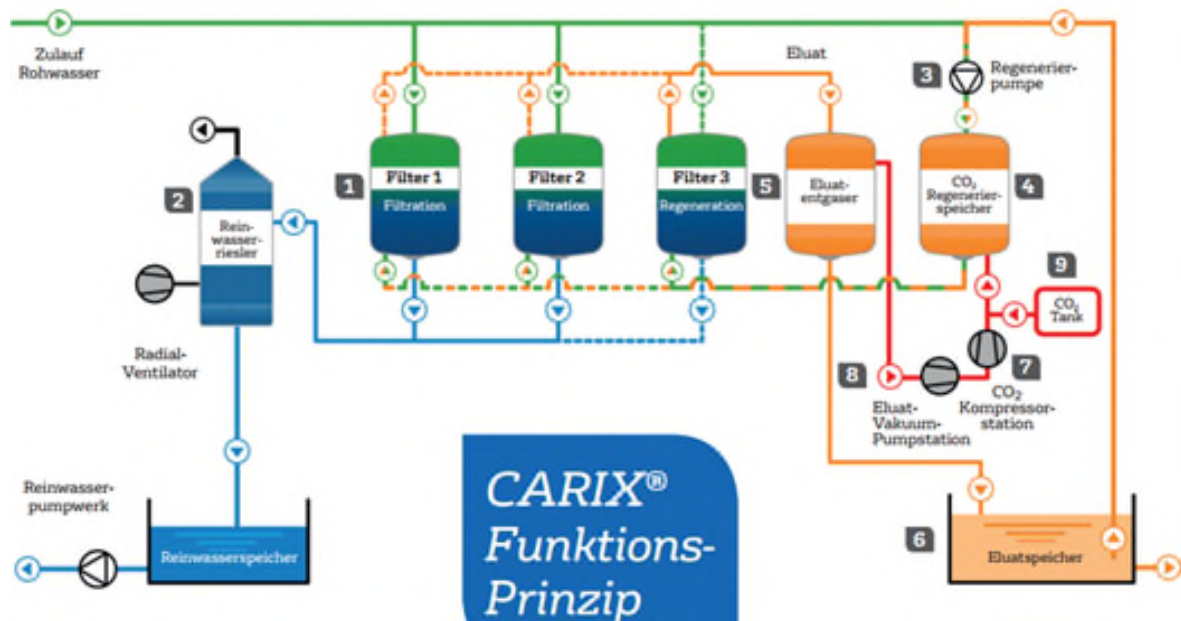


Abbildung 2 Funktionsschema CARIX Verfahren

Für die Regeneration der drei Ionenaustauscherfilter wird ein Anteil von circa 10 % der Rohwasserfördermenge benötigt. Die sich daraus ergebende Abwassermenge beträgt circa 55.726 m³/a beziehungsweise 153 m³/d. In einem größeren Turnus (circa alle 14 Tage) wird CO₂ zur Harzverwirbelung mit einem Umwälzkompressor im Kreislauf geführt, um eine Verfestigung der Harzschicht zu verhindern. Der CO₂ Bedarf ergibt sich aus den Kriterien Rohwasserbeschaffenheit, Aufbereitungsziel und eingesetzter Kationen- bzw. Anionenauschertyp, die im Wesentlichen die Laufzeit der Ionenaustauscher bestimmen. Für den effektiven CO₂-Verbrauch kann ein Wert von 0,1-0,6 kg pro m³ Reinwasser angesetzt werden. Dies ergibt eine benötigte CO₂ Menge von 251 bis 1.500 kg.

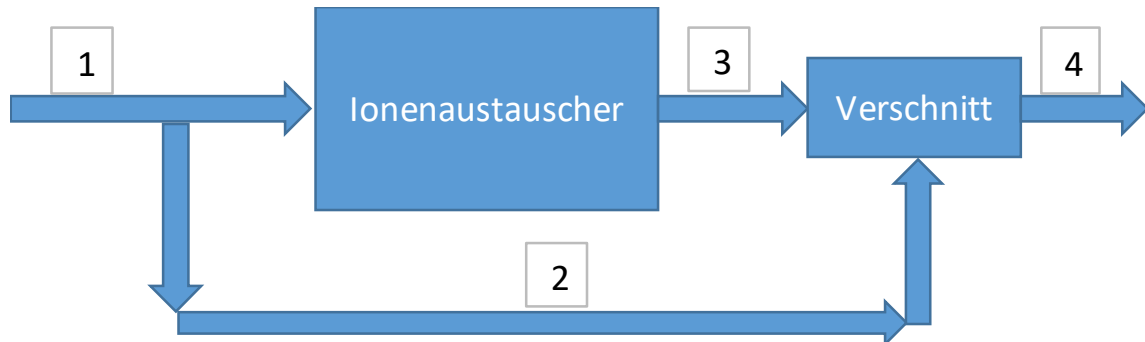
Für das CARIX-Verfahren wird ein möglichst eisen- und manganfreies Wasser im Zulauf des Ionenaustauschers vorausgesetzt. Aus diesem Grund wird die Enthärtung der bestehenden Aufbereitung (Enteisung/Entmanganung) nachgeschaltet.

Die Rohwasserbeschaffenheit und das Aufbereitungsziel plus die Prognose der Beschaffenheit des Ionenaustauscherablaufs bestimmen, ob nur ein Teilstrom teilentsalzt/enthärtet werden muss oder, ob eine Vollstrombehandlung erforderlich ist. Eine Teilstrombehandlung ist grundsätzlich günstiger bezüglich der Flexibilität der Aufbereitung und der geringeren Eluatmengen.

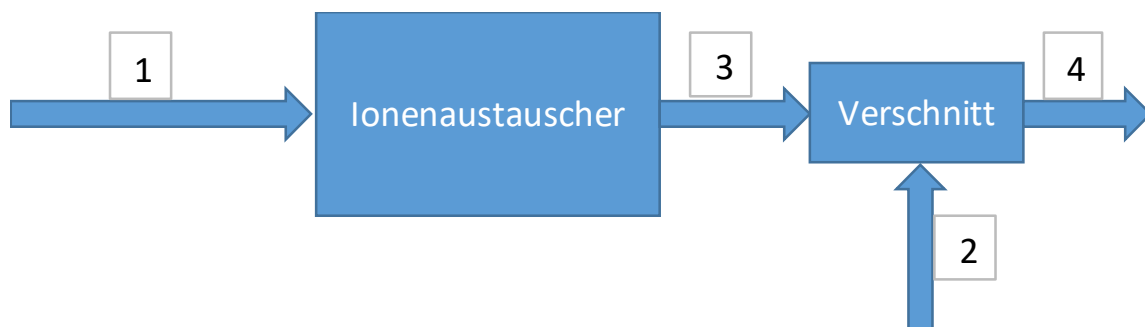
Eine Verschneidung des Ionenaustauscherablaufs bringt den Vorteil auftretenden Konzentrationschwankungen entgegenzuwirken und der Anpassung des pH-Wertes. Zwei mögliche Varianten für den Teilstrombetrieb müssen hier betrachtet werden:

Variante 1: Verschneidung des Ablaufs des Ionenaustauschers (3) mit einem Teilstrom des Ablaufs aus der Enteisung/Entmanganung (2). Durch den geringen pH-Wert im Ablauf der Enteisung/Entmanganung (1) von 7,14 Einheiten ist nur eine geringfügige Erhöhung des pH-Wertes mit einer Verschneidung der Wässer im Ablauf möglich. Es ergibt sich hierfür ein Optimum aus den einzuhaltenen Zielparametern sowie ein möglichst geringer Durchsatz durch den Ionenaustauscher.

Die Ergebnisse sind der folgenden Tabelle zusammengefasst. Als optimal stellt sich die Aufbereitung im Teilstrombetrieb mit einer Verschneidung der Wässer von 10 % bezogen auf den Rohwasseranteil dar.



Variante 2: Verschneidung des Ablaufs des Ionenaustauschers (3) mit dem Rohwasserstrom aus Brunnen 1+2 (2). Durch den etwas höheren pH-Wert von 7,28 im Mischstrom der Rohwässer (Brunnen 1+2) ist eine günstigere Erhöhung des pH-Wertes mit einer Verschneidung der Wässer möglich. Ein Optimum ergibt sich aus den einzuhaltenden Zielparametern sowie einen möglichst geringen Durchsatz im Ionenaustauscher. Die Ergebnisse sind ebenfalls in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Als optimal stellt sich die Aufbereitung im Teilstrombetrieb mit einer Verschneidung der Wässer von 30 % bezogen auf den Rohwasseranteil dar.



Eine ausschließliche stöchiometrische Berechnung der Hauptzusammensetzung des Ionenaustauscherablaufs ist nicht möglich. Lediglich eine Orientierung über die mittlere Beschaffenheit des enthärteten Trinkwassers anhand einer Auslegung auf Basis der DVGW W 235-3 (A) Richtlinie: *Zentrale Enthärtung der Trinkwasserversorgung - Ionenaustauschverfahren* ist möglich.

Folgende Parameter stellen sich für den Ablauf des Ionenaustauschers (IA) unter Vollstrom- und Teilstrombetrieb ein. Als Auslegungsparameter für das optimale Mischungsverhältnis dient primär der Zielhärtegrad von mindestens 2,4 mmol/l (13,5° dH).

	Einheit	Zulauf IA = Ablauf Enteisung /Entmanganung	Ablauf IA Variante 1.1	Ablauf IA Variante 1.2	Ablauf IA Variante 2
Calcium	mmol/l	2,52	1,66	1,75	1,93
Magnesium	mmol/l	0,68	0,45	0,47	0,48
Härte	mmol/l	3,2	2,1	2,22	2,39
	°dH	17,94	11,8	12,47	13,43
Säurekapazität	mmol/l	5,9	3,71	3,95	3,87
pH-Wert	-	7,14	6,47	6,54	6,6
Calcitlösekapazität	mg/l	- 2,4	153	138	115
S1*	-	0,31	0,48	0,46	k.A. Rohwasser-daten fehlen
S3*	-	21,4	13,62	14,47	k.A. Rohwasser-daten fehlen
Verschnitt als Rohwasseranteil in %	-		0	10	30

*S1 - Bewertungsparameter für selektive Korrosion an feuerverzinkten Eisenwerkstoffen

*S3 - Bewertungsparameter für Lochkorrosion im Warmwasser bei Kupfer und Kupferlegierungen

Bei einer Enthärtung, des aus der Enteisung/Entmanganung stammenden Wassers mittels Ionenaustauscher im Vollstrombetrieb (Variante 1), kann der festgelegte Zielparame-ter pH-Wert von 7,4 - 8,3 Einheiten nicht erreicht werden. Die Calcitlöslichkeit und der pH-Wert liegen sogar entsprechend oberhalb bzw. unterhalb des Grenzwertes nach TwV von 5 mg/l bzw. 6,5 Einheiten. Die Absenkung des pH-Wertes ist bei einer Aufbereitung mittels Ionenaustauschverfahren durchaus üblich. Die Konzentration an CO₂ im Ionenaustauscherablauf führt ebenfalls dazu, dass das resultierende Reinwasser über das zulässige Maß der TwV hinaus Calcit zu lösen vermag. Mit einer Verschneidung des Ablaufs mit dem Rohwasser lässt sich der pH-Wert nur geringfügig erhöhen. Der Zielbereich kann jedoch nicht erreicht werden. Aus diesem Grunde ist eine Entsäuerung des Gesamtwasserstroms zur Stabilisierung des Wassers nach der Enthärtung mittels Ionenaustauscher erforderlich. Da CO₂ wiederum zur Regeneration benötigt wird, kann je nach CO₂ Bezugspreis, Energiekosten, Anlagengröße und Rohwasserbeschaffenheit eine zusätzliche Rückgewinnung des überschüssigen CO₂ aus dem Ionenaustauscherablauf sinnvoll sein. In der Regel erfolgt dies über eine Vakuumentgasung bei 40 mbar bis 90 mbar Absolutdruck. Dadurch können bis zu 90 % des im Ionenaustauscherablauf enthaltenem CO₂ zurückgewonnen werden.

Folgende Vor- und Nachteile sind in der Verfahrensauswahl zu berücksichtigen:

Vorteile des CARIX-Verfahrens

- Leichte Anpassung an die jeweilige Aufgabenstellung und an Veränderungen der Rohwasserqualität durch das Mengenverhältnis der beiden Austauscherharze.
- Hinsichtlich der Anlagentechnik ist das CARIX Verfahren problemlos zu automatisieren, d.h. eine „leichte“ Bedienung.
- Zusätzliche Möglichkeit der Entfernung der Neutralsalze Chlorid, Nitrat und Sulfat möglich.
- Prozess ist wenig empfindlich gegenüber Durchsatz- sowie Lastschwankungen.
- Keine korrosionschemisch nachteilige Veränderung des Wassers durch gemeinsame Entfernung von Kationen und Anionen.
- Verhältnismäßig niedrige Betriebskosten durch Regenerierung beider Austauscherharze mit einem Regeneriermittel und dessen Rückgewinnung.
- Keine Aufsalzung des Abwassers (Eluat) durch Regenerierchemikalien, darüber hinaus eventuell Verminderung der Salzfracht durch Fällung von CaCO_3 und CaSO_4 .
- Eluat ist pH-Neutral und feststofffrei und enthält nur die Stoffe, die aus dem Rohwasser herausgezogen wurden. (7-8-fach aufkonzentriert)
- Nur geringe Vor- beziehungsweise Nachaufbereitung notwendig, unempfindlich gegen Trübstoffe und Kolloide.
- CARIX-Anlagen können problemlos an- und abgestellt sowie im Teillastbereich betrieben werden.

Nachteile des CARIX-Verfahrens

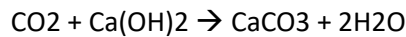
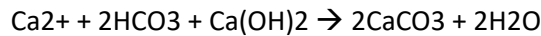
- Hohe Investitionskosten für die komplette Anlagentechnik mit Gebäude.
- Nur teilweise Reduktion der Magnesiumhärte, das heißt an Sanitäreinrichtungen oder Wassergläsern sind unter Umständen trotz Enthärtung sichtbare "Wasserflecken" vorhanden.
- Entsorgung des Abwassers (Eluat) über Vorfluter oder Kanal notwendig. Zusätzliche Belastung der Kläranlage.
- Das Verfahren wird ausschließlich über die Firma Veolia vertrieben, somit kein Wettbewerb.
- Zu beachten ist, dass aufgrund der Anwendung von CO_2 in geschlossenen Räumen eine entsprechende Gaswarnanlage notwendig ist.

Eine Absenkung des Nitratgehaltes wurde in der Bemessung nicht vorgesehen, wäre aber grundsätzlich mithilfe des eingesetzten Mischbettaustauschers zusätzlich möglich. Negative Auswirkungen auf die oben genannten Parameter entstehen nicht. Lediglich die Sulfat- und Chloridkonzentration würde ebenfalls sinken.

Unser Büro hat 2002 in Weigarten/Baden eine solche Anlage gebaut. Diese diente in erster Linie jedoch der Reduzierung des Nitratgehalts.

4.3 Variante 2: Fällungsverfahren

Bei der Fällungsenthärtung wird der pH-Wert des Wassers über den pH-Wert der Calciumcarbonat-sättigung weit hinaus bis in den calcitabscheidenden Bereich angehoben. Dabei fällt Calciumcarbonat aus. Für die pH-Wert-Anhebung werden alkalischer Stoffe - Calciumhydroxid als Kalkmilch - eingesetzt. Dabei werden Hydrogencarbonationen und die freie Kohlensäure neutralisiert und als Calciumcarbonat ausgefällt.



Grundsätzlich kann bei den Fällungsverfahren zwischen einer Langsamentkarbonisierung (LEK) und einer Schnellentkarbonisierung (SEK) unterschieden werden. In dieser Studie wird aus Gründen des effektiveren Verfahrens die SEK als Verfahrensvariante gewählt.

Bei der SEK wird das zu enthärtende Wasser über einen sogenannten „aufwärts durchströmten Reaktor“ gefahren, in welchem ein spezieller, feinkörniger Sand mittels Förderpumpen in der Schwebelage gehalten wird. Die Fällung erfolgt ebenfalls durch die Zugabe basisch reagierender Stoffe. Das ausfallende Calciumcarbonat lagert sich an den Sand an und es bilden sich sogenannte Pellets. Aufgrund der sich mit Hilfe des Imfsands bildende Kontaktkornmasse und deren großer spezifischer Oberfläche findet in den Schwebebettreaktoren eine sehr schnelle Fällungsreaktion (ca. 10 min) statt als bei der gewöhnlichen Fällung (LEC). Dies liegt vor allem an den voneinander getrennten Schritten der Fällung und der Feststoffabtrennung (Sedimentation).

Nebeneffekte des Fällungsverfahrens:

- Dieser Form der Enthärtung muss eine Filtration zur Trübstoffelimination nachgeschaltet werden, da das Wasser aus der Fällung Trübungen enthalten kann, die über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung liegen. Die Enthärtungsanlage vor die Aufbereitungsanlage zu schalten, um diese als nachgeschalteten Filter zu nutzen, wäre grundsätzlich möglich. Die Konzentration an Phosphaten, Eisen und Huminstoffen darf jedoch nicht zu hoch sein, da sie die Kristallisation des Calciumcarbonates hemmen. Aufgrund des relativ hohen Eisen- und Mangangehalts im Eigenwasservorkommen ist daher dieses Verfahren nicht geeignet, wenn es vor die Aufbereitungsanlage zur Enteisenung und Entmanganung geschaltet wird. Somit bleibt eine nachgeschaltete Trübstofffiltration zwingend erforderlich.
- Durch Fällungsverfahren wird gleichzeitig die Hydrogencarbonatkonzentration (Säurekapazität bis pH 4,3) und damit die Pufferkapazität des Wassers vermindert, aber jedoch die Konzentration an Chlorid, Sulfat und Nitrat nicht beeinflusst. Einige korrosionschemische Eigenschaften werden dadurch ungünstiger. Andererseits steigt der pH-Wert, was korrosionschemisch bei bestimmten Werkstoffen von Vorteil ist. Hier muss eine genaue Betrachtung erfolgen (technische Regeln DIN 50930-6; DIN EN 12502-1 bis -5).
- Achtung: Für nachgeschaltete Filteranlagen ist die calcitabscheidende Tendenz des enthärteten Wassers zu beachten (Verpackungen etc.). Die Calcitabscheidefähigkeit kann durch die Absenkung des pH-Wertes geregelt werden.

- Bei ca. 568.000 m³/a an Wasserbedarf und der Verringerung der Härte um 1 mmol/l (5,6° dH) entstehen ca. 110 t Calciumcarbonat, welche entsorgt werden müssen. Müssen dabei 1 mmol/l an CO₂ umgesetzt werden, so fallen bei Einsatz von Ca(OH)₂ nochmals etwa 55,6 t CaCO₃ an. Diese beträchtlichen Mengen anfallender Rückstände von Calciumcarbonat (Pellets) gemäß stöchiometrischer Umsetzung müssen einer Verwertung zugeführt werden.
- Hohe Ansprüche an die fachliche Qualifikation des Betriebspersonals.
- Geringer Flächenbedarf, aber große Bauhöhe.
- Eingeschränkte hydraulische Flexibilität.
- Hoher Chemikalienbedarf (Calciumhydroxid).
- Besonders anfällig gegenüber Kristallisationshemmern.

Aufgrund der oben genannten Nachteile und dem erhöhten verfahrenstechnischen Aufwand ist das Fällungsverfahren als nicht geeignet zu bewerten.

4.4 Variante 3: Membranverfahren

Membranen kommen in der Wasseraufbereitung im Wesentlichen für zwei Aufgabenbereiche zum Einsatz: Die Mikro- und Ultrafiltration wird für die Partikelentfernung verwendet, zur Enthärtung und Entsalzung von Grundwässern werden immer häufiger Nanofiltrations- und Umkehrososverfahren eingesetzt.

Membranverfahren sind rein physikalisch arbeitende Verfahren zur Stofftrennung, bei denen das zu behandelnde Prozesswasser in gereinigtes Wasser (Filtrat- beziehungsweise Permeat) und eine aufkonzentrierte Phase (Konzentrat) getrennt wird. Die Triebkraft für die Trennoperationen ist die transmembrane Druckdifferenz. Diese druckgetriebenen Verfahren unterscheiden sich in der Höhe der Druckdifferenz. Im Gegensatz zu der konventionellen Filtrationstechnik erlauben druckgetriebene Membranverfahren eine Trennung bis in den molekularen Bereich.

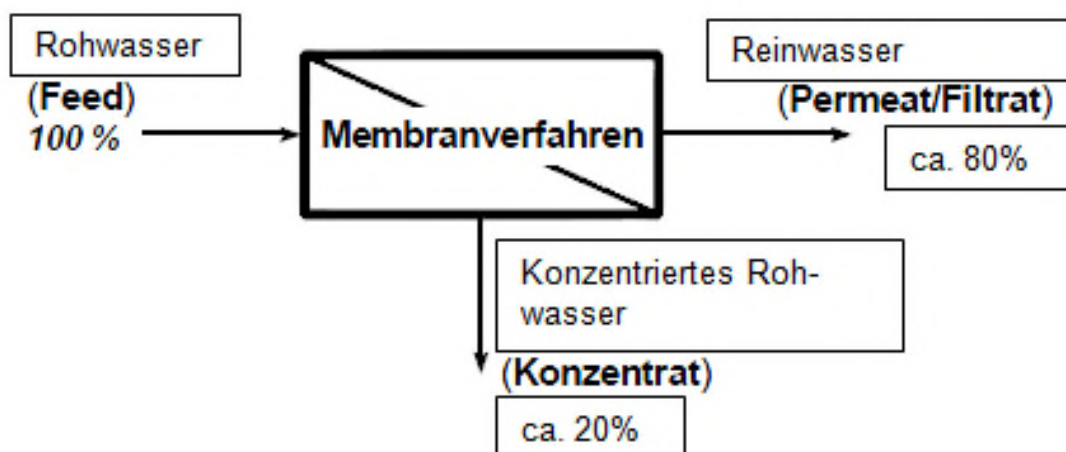


Abbildung 3 Schematische Darstellung des Grundprinzips eines Membranverfahrens

Bei der Abscheidung noch kleinerer Partikel, wie beispielsweise bei der Enthärtung und Entsalzung, kommen Nanofiltration (NF) oder Umkehrososose (UO) zum Einsatz.

Diese Membranen sind keine porösen Materialien mit definierter Porenweite, sondern homogene Polymerschichten, die aufgrund ihrer Struktur bestimmte Inhaltsstoffe zurückhalten.

Für die Enthärtung stehen verschiedene Membrantypen (Nanofiltrations-, Niederdruckumkehrosrose-, Umkehrosroseanlagen) zur Verfügung, die je nach Aufgabenstellung zum Einsatz kommen. Die Art der zurückgehaltenen Stoffe bzw. der Umfang der Konzentrationsverringerung hängt vom Membrantyp ab. Je "feiner" die Membrane wird, desto mehr Salze können aus dem Rohwasser zurückgehalten und somit unter anderem die Härte reduziert werden. Eine strenge Abgrenzung zwischen NF und UO ist nicht möglich. Zwischen vergleichsweise dichteren NF-Membranen und offenen UO-Membranen (Niederdruckumkehrosrose) besteht ein fließender Übergang. Die Wahl der geeigneten Membran für ein bestimmtes Anwendungsgebiet hängt von der jeweiligen Aufgabenstellung ab. Entscheidungskriterium ist das Rückhaltevermögen der Membran für den zu entfernenden Wasserinhaltsstoff. Zur Entfernung von zweiwertigen Ionen (beispielsweise Härtebildner und Sulfat) werden meist NF-Membranen eingesetzt, die für einwertige Ionen ein geringeres Rückhaltevermögen aufweisen. Solche Membranen weisen im Allgemeinen auch ein gutes Rückhaltevermögen für Huminstoffe auf. Zur Entfernung niedermolekularer gelöster organischer Wasserinhaltsstoffe sowie einwertiger Ionen sind eher UO-Membranen einzusetzen. Es kann auch eine Kombination aus beiden Membranen in der entsprechenden Anlage sinnvoll sein. Über die NF-Module ist nur eine Reduzierung der Härtebildner möglich, Nitrat wird über diese Membran nicht entfernt. Über die Niederdruckumkehrosrosemodule wird ein großer Teil der Salze und auch Nitrat entnommen, so dass die Härte noch weiter reduziert werden kann. Bei der reinen Umkehrosrose ist das Ergebnis ein vollentsalztes Wasser. Aus rückliegenden Erfahrungswerten ist für die gegebene Aufgabenstellung die Niederdruckumkehrosroseanlage das geeignete Verfahren.

Die Niederdruckumkehrosroseanlage (LPRO: **L**ow**P**ressure**R**everse**O**smotic) dient zur Enthärtung und Reduktion des Nitratgehaltes eines Teilstroms des Eigenwassers. Weiterhin können Bakterien, Viren, usw. zurückgehalten werden. Mit einem Druck von 3 - 8 bar wird das Wasser durch eine Membran mit einer Filterfeinheit von bis zu circa 0,001 µm gedrückt.

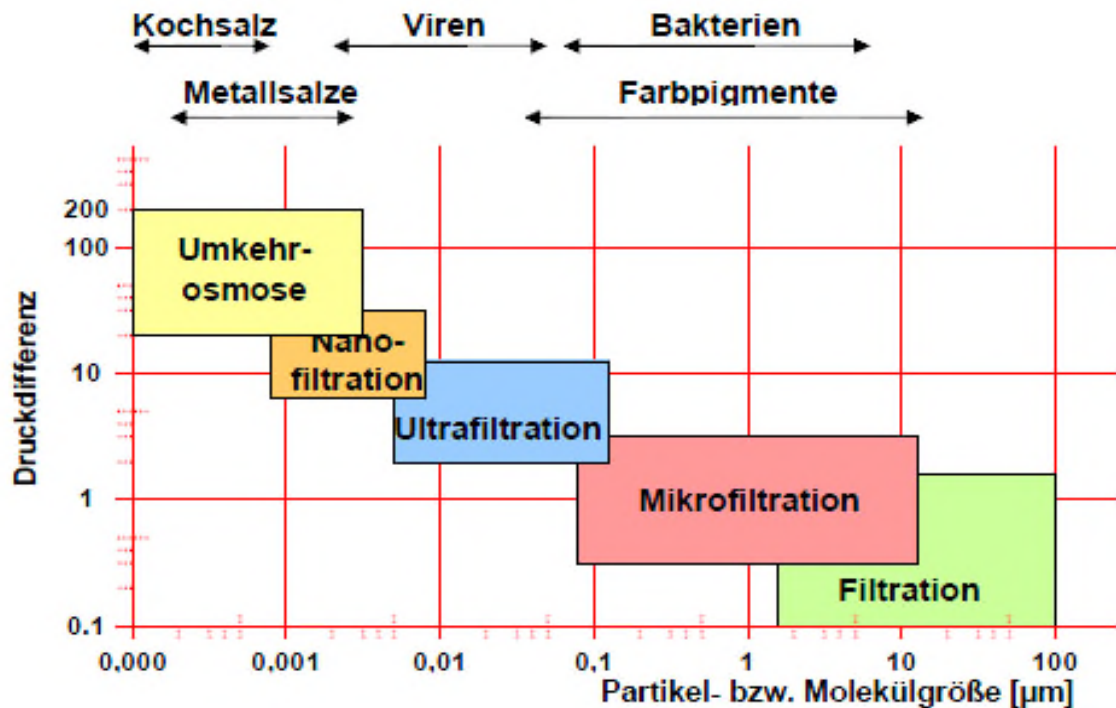


Abbildung 4 Trenngrenze verschiedener Membranverfahren

In der Trinkwasserversorgung haben sich die sogenannten Wickelmodule für die Teilentsalzung durchgesetzt. Diese Anlagen sind auch zwischenzeitlich mehrfach mit sehr guten Erfahrungen und Ergebnissen eingesetzt. Das Wasser durchströmt die Membrane in Fließrichtung. Durch den über Pumpen erzeugten Druck wird das Wasser zu rund 80 % durch die Membrane gepresst. Im verbleibenden sogenannten Konzentrat sind unter anderem die Härtebildner und auch das Nitrat enthalten. Dieser Volumenstrom von circa 20 % wird in die Vorflut oder auf die Kläranlage abgeleitet.

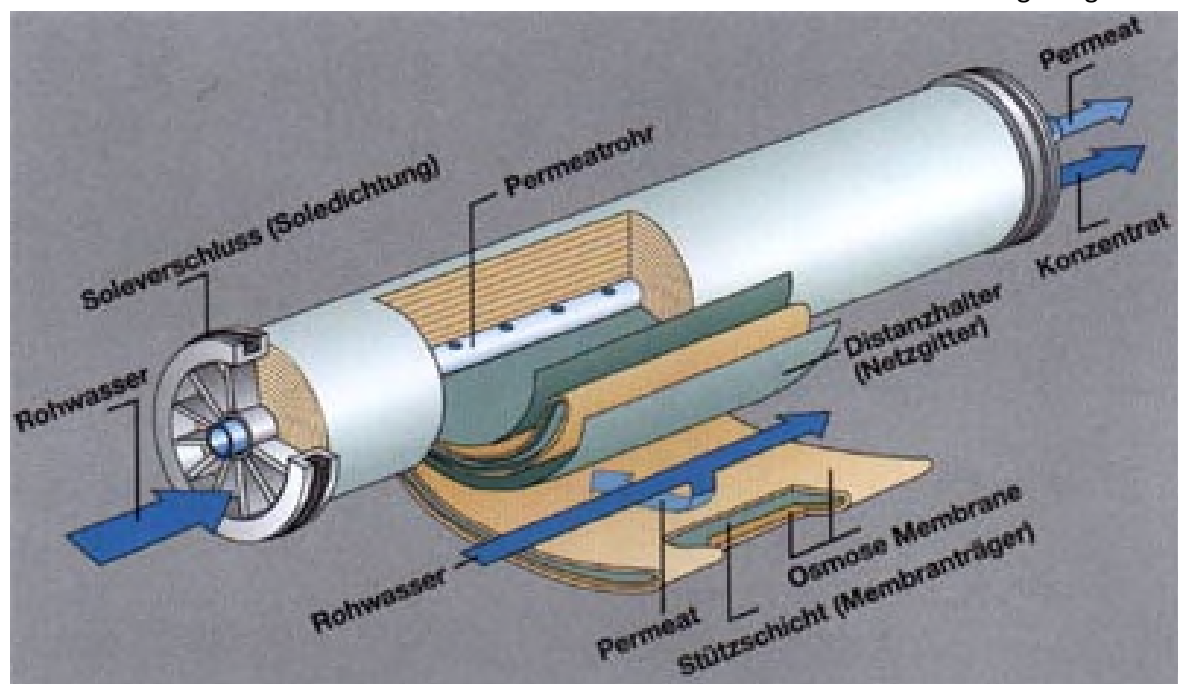


Abbildung 5 Wickelmodul

Man unterscheidet das sogenannte Vollstromverfahren und das Teilstromverfahren. Beim Vollstromverfahren wird der komplette Volumenstrom über die Membrane gefahren. Dieses Verfahren hat jedoch drei wesentliche Nachteile:

- Die Enthärtungsleistung ist rein von der Membrane abhängig und kann nicht mehr beeinflusst werden. Die Anlage und die Membrane werden über ein rechnerisches Verfahren auf den vorgesehenen Endhärtegrad ausgelegt. Toleranzen der Membrane, die eine Abweichung des Zielhärtegrades verursachen, sind nachträglich nicht zu korrigieren.
- Das anfallende Konzentrat entsteht aus der kompletten Wassermenge, die über die Enthärtung gefahren wird, das heißt es ist ein wesentlich größerer Anteil des Rohwassers nicht als Trinkwasser nutzbar.
- Durch den Alterungsprozess der Membrane verliert diese an Wirkungsgrad, so dass der Härtegrad über die Jahre ansteigt. Diesem Vorgang kann nicht entgegengesteuert werden.

Daher empfehlen wir das sogenannte Teilstromverfahren. Hier wird nur ein Teil des Trinkwassers enthärtet und mit einer entsprechenden Membrane auf rund 1 - 2 °dH gebracht. Dieses enthärtete Wasser wird mit einem zweiten Teilstrom (Bypassstrom) von nicht enthärtetem Wasser auf den gewünschten Härtegrad gemischt. Die Vorteile dieser Anlage liegen darin, dass der Konzentratstrom geringer ist und der Härtegrad des Trinkwassers über die Bypassmenge eingestellt werden kann. Somit kann auch der Alterungsprozess der Membran ausgeglichen werden.

Um einer Verblockung der Membran vorzubeugen, wird dem Rohwasser ein Stabilisator, ein so genanntes Antiscalant beigemischt. Hierfür werden im Wesentlichen Natriumtripolyphosphate und/oder Phosphonsäuren vorgesehen, die über entsprechende Zulassungen verfügen.

Antiscalants und/oder säure- bzw. alkalienhaltige Reinigungschemikalien gelangen zwar nicht ins Trinkwasser, sind aber bei der Klärung der Entsorgungsfragen zu beachten. Entsorgungsmöglichkeiten wie Ableitung in den Vorfluter oder in die Kanalisation sind dabei zu bewerten. Die Genehmigungsbehörden sind in diesem Fall rechtzeitig in eine Entsorgungsfrage mit einzubeziehen.



Abbildung 6 Beispiel Membran-Anlage



Abbildung 7 CIP-Station und Dosierung Antiscalant

Die Enthärtungsleistung der gewählten Anlage ergibt im Permeat eine zu erwartende Härte von circa 0,18 - 0,36 mmol/l CaCO₃ (1-2 °dH). Die gewünschte Härte im Trinkwasser soll bestenfalls 1,5 mmol/l CaCO₃ (8,4 °dH) betragen, das heißt es sind etwa 30 % nicht enthärtetes Wasser über den Bypass mit circa 70 % Permeat zu mischen.

Eine Abschätzung für die zentrale Enthärtung der Gemeinde Karlsdorf-Neuthard erfolgt auf eine Rohwassermenge (Feed) von 120 m³/h. Daraus ergeben sich ein Reinwasser (Permeat) von 96 m³/h und ein Konzentrat von 24 m³/h. Die Gesamtkonzentratmenge beträgt circa 240 m³/Tag, bei einem 10-stündigen Tagesbetrieb, beziehungsweise 88.000 m³/Jahr.

Die Membranen der Niederdruckumkehrosmoseanlage werden nicht zurückgespült, sondern in Abhängigkeit von der Rohwasserbeschaffenheit in der Regel 1 - 2 Mal pro Jahr gereinigt. Diese Reinigung der Membrane erfolgt manuell meist in Zusammenhang mit einer Regelwartung der Anlage über einen internen Kreislauf. Die Reinigungen erfolgen mit einem leicht alkalischen (beispielsweise Natronlauge) und einem leicht sauren (beispielsweise Zitronensäure) Reiniger. Eine Reinigung sollte auf jeden Fall durchgeführt werden, wenn sich die Permeatleistung um 10 bis 15 % verringert hat. Das für die Reinigung verwendete Wasser mit den entsprechenden Reinigern wird zunächst neutralisiert und dann abgeleitet. Beim Einsatz von Zitronensäure zur chemischen Reinigung der Membranen ist anschließend auf eine ausreichende Spülung zu achten, um aufgrund der guten Bioverfügbarkeit der Substanz eine Verkeimung der nachgeschalteten Leitungssysteme zu vermeiden.

Zur Überwachung der ordnungsgemäßen Funktion der Filtrationsanlage sowie der Rückspüleinrichtungen werden entsprechende Überwachungseinrichtungen installiert.

Durch die Enthärtung des Wassers über die Niederdruckumkehrosmoseanlage wird dem Wasser keine Kohlensäure entzogen. Daher befindet sich im Permeat ein Kohlensäureüberschuss. Nach der Beimischung des Bypasswassers ist dieser CO₂-Überschuss immer noch vorhanden, so dass hier die Anforderungen an die Trinkwasserverordnung bezüglich des pH-Wertes nicht erfüllt sind. Daher muss die vorhandene aggressive Kohlensäure entfernt werden.

Dies könnte möglicherweise durch die bestehende Entsäuerungskolonie im Wasserwerk Karlsdorf-Neuthard geschehen. Die Entsäuerungsstufe wird momentan nicht genutzt und im normalen Betrieb umfahren. Hierfür wäre die Entsäuerung der Enthärtung zwischenschalten. Die vorhandene Anlagengröße müsste überprüft werden.

Eine weitere Möglichkeit wäre das Ausstrippen über eine Belüftung in einem sogenannten Flachbettbelüfter im Kreuzstromverfahren. Hierbei kann die überschüssige Kohlensäure aus dem Wasser ausgetragen werden. Über feinporige Belüftungselemente wird senkrecht zum horizontalen Wasserfluss Luft eingeblasen und somit die freie und überschüssige Kohlensäure ausgetragen. Zur Anpassung der Entsäuerungsleistung wird das Gebläse über Frequenzumrichter betrieben, so dass hier eine stufenlose Regelung möglich ist. Im Auslauf der Entsäuerungsanlage entspricht das Trinkwasser der gültigen Trinkwasserverordnung mit einem pH-Wert im Bereich größer gleich 7,8 und einem Kohlensäuregehalt unter 4 mg/l (circa 0,1 mmol/l).

Die Zuluft zur Entsäuerung wird über einen Feinfilter vorgereinigt, so dass hier keine Störstoffe in das Trinkwasser eingetragen werden können. Die Abluft mit der ausgetragenen Kohlensäure wird direkt ins Freie abgeleitet.



Abbildung 8 Beispiel eines Flachbettbelüfters mit Zuluftgebläse im Hintergrund

Vorteile der Membranfiltration

- Entnahme sowohl von Calcium- als auch Magnesiumionen, somit weniger "Kalkflecken". Härtereduktion des Teilstroms auf nahezu 0 °dH möglich.
- Reduzierung des Nitratgehaltes des behandelten Teilstroms um circa 50 %. Weitere Entfernung von Chlorid, Sulfat, Phosphat.
- Rückhalt von gegebenenfalls im Grundwasser enthaltenen Bakterien, Viren, usw.; das heißt sehr hohe Filtrationswirkung.
- Leichte Anpassung an die jeweilige Aufgabenstellung und an Veränderungen der Rohwasserqualität durch das Mengenverhältnis zwischen Bypass und Permeat.
- Anlage arbeitet vollautomatisch auch im 24-Stunden-Betrieb.
- Keine Aufsalzung des Abwassers durch Regenerierchemikalien.
- Je nach Rohwasserbeschaffenheit maximal 1 - 2malige Reinigung der Anlage pro Jahr erforderlich.
- Modular erweiterbar, so dass jederzeit eine weitere Straße nachgerüstet werden kann.
- Vergleichsweise günstige Investitionskosten durch relativ geringen Platzbedarf.

Nachteile der Membranfiltration

- Zugabe eines Antiscalantes zum Schutz vor Verblocken der Membran erforderlich; wird über das Konzentrat komplett abgegeben, kein Verbleib im Trinkwasser.
- Entsorgung des Konzentrates notwendig über Einleitung in Vorflut oder Abgabe an Kläranlage. Bei Abgabe in einen Vorfluter ist eine wasserrechtliche Bewilligung erforderlich.
- Membrane unterliegen einem Alterungsprozess und müssen nach derzeitigem Erfahrungsstand nach circa 7 - 10 Jahren ersetzt werden.

5 Korrosionsverhalten bei Umstellung

Eine Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in metallischen Wasserverteilungs- und Speichersystemen erfolgt in der DIN EN 12502 Teile 1-5. Die Einsatzbereiche der Rohrwerkstoffe in Abhängigkeit von der Wasserbeschaffenheit sind dagegen in der DIN 50930 ersichtlich. Bei Einhaltung dieser Einsatzbereiche ist eine Verschlechterung der Trinkwasserbeschaffenheit durch Lösung von Werkstoffbestandteilen weitgehend ausgeschlossen. Die für eine Trinkwasserenthärtung kritischen Parameter und Grenzen für die Eintrittswahrscheinlichkeit von Korrosion sind in Kapitel 3 dargestellt.

Grundsätzlich gilt: Höhere pH-Werte verringern die Gefährdung der Trinkwasserrohrleitungen durch Korrosion. Ebenfalls wird durch höhere pH-Werte die Kupferemission aus Rohrwerkstoffen minimiert. Negative Auswirkungen sind Aufeisung, Entzinkung von Messing. Der pH-Wert kann durch eine Enthärtung und anschließende Entsäuerung entsprechend eingestellt werden und sollte nicht über dem pH-Wert der Calcit-Sättigung liegen. Korrosionschemisch günstig zu bewerten ist das, nach der Entsäuerung, kohlenstoffdioxidarme Wasser.

Es können Beeinträchtigungen durch sich lösende Kalkablagerungen im Netz entstehen, die zu Trübungen oder Verfärbungen des Wassers führen könnten. Im Normalfall sind diese Beeinträchtigungen zeitlich begrenzt und hygienisch unbedenklich. In den Hauswasserversorgungen - vor allem bei alten Systemen - kann es durch den Rückbau von Kalkablagerungen zu Undichtigkeiten in Rohrleitungen kommen. Bei den uns bekannten durchgeführten Projekten gab es keine Probleme bei der Umstellung.

6 Entsorgung „Abwasser aus Enthärtung“

Bei dem CARIX- und dem Membranverfahren entsteht im Prozess neben dem enthärteten Trinkwasser auch ein Teil nicht für die Trinkwasserversorgung nutzbares Wasser (Eluat oder Konzentrat), welches abgeleitet werden muss.

Die Einleitung der Eluat- und Konzentratwässer in den Vorfluter muss mit dem zuständigen Landratsamt abgestimmt werden und bedarf einer Genehmigung bezüglich Einleitparameter des Konzentrats.

Eine Gewässergefährdung oder Beeinträchtigung der Kläranlagenfunktion durch das Antiscalant bei der Membranenthärtung findet nicht statt. Das zugegebene Antiscalant ist ein Phosphat und somit ein Nährstoff im Gewässer, weshalb hier von den Landratsämtern in der Regel eine Begrenzung der Einleitmenge vorgeschrieben wird. Diese richtet sich zumeist an die Grenzwerte für Kleinkläranlagen. Nachteilige Auswirkungen des Antiscalant auf die Kläranlagenfunktion sind ebenfalls auszuschließen. Die Einleitung des Konzentrats in einen Vorfluter muss vor Realisierung beim Landratsamt mittels Einleitungsantrag beantragt und von diesem genehmigt werden.

Unsere bisherigen Erfahrungen zeigten, dass bei einer rechtzeitigen und guten Information des Landratsamtes dieses dann auch der Einleitung zustimmt.

Hierfür bestehen zwei Möglichkeiten:

- Ableitung in einen Vorfluter
- Ableitung in eine Kläranlage

Beide Varianten sind im vorliegenden Fall nicht einfach lösbar, da im Wasserwerk weder ein Anschluss an die Kläranlage besteht noch ein Vorfluter in der Nähe ist. Daher muss eine entsprechende Entwässerungsleitung gebaut werden, die aufgrund der topografischen Verhältnisse nicht im freien Gefälle betrieben werden kann, sondern als Druckleitung mit Förderpumpen.

Die Einleitung der Eluat- und Konzentratwässer in den Vorfluter muss mit dem zuständigen Landratsamt abgestimmt werden und bedarf einer Genehmigung. In Frage kommende Vorfluter für eine Einleitung wären der ca. 1 km entfernte Hartgraben, der ca. 600 m entfernte Heckgraben sowie der 2,2 km entfernte Saalbach sowie die 1,7 km entfernte Pfinz. Nach örtlicher Begutachtung und Rücksprache mit dem Wassermeister ist, aufgrund der bestehenden Verhältnisse, (geringe Wasserführung, bereits fauliger Geruch vorhanden) eine Einleitung in den Hartgraben nicht möglich. Eine Rücksprache mit dem Landratsamt, bezüglich der Einleitung in Gräben (ohne/geringe Wasserführung) wird als nicht realisierbar angesehen. Zum einen werden sich starke Kalkablagerungen zeigen, der Boden kolmatiert und es findet eine punktuelle Konzentrationsanreicherung im Boden statt. Da der Heckgraben in den Hartgraben mündet ist eine Einleitung nach momentanem Stand hier ebenfalls nicht möglich. Eine Ableitung der Konzentratwässer in den Saalbach muss für die weiteren Betrachtungen in Rücksprache mit dem LRA Karlsruhe überprüft werden.

Das entsprechende Abwasserpumpwerk wird mit einem Vorlagebehälter ausgerüstet. Über zwei im Wechsel betriebene Pumpen wird das anfallende Abwasser über eine Druckleitung kontinuierlich abgepumpt.

Für die Ableitung in die Kläranlage wäre eine Anschlussleitung von rund 1 km zum nächstmöglichen Anschluss an den Kanal erforderlich. Leitet man das Abwasser direkt in den Vorfluter ein, so ist eine Leitung mit einer Länge von rund 2,2 km erforderlich. Die hydraulische Belastbarkeit des Kanalnetzes muss in einer Planung überprüft werden.

Eine Mitnutzung der vorhandenen Ableitung der Wasseraufbereitung der Stadt Bruchsal kann in einer Detailplanung überprüft werden.

Dass aus der Membranfiltration anfallende Abwasser entsteht kontinuierlich während der Aufbereitung in Abhängigkeit der Größe der Anlage. Die Menge liegt bei circa 7-9 l/s. In dem voraussichtlich farblosen und trübstofffreien Konzentrat sind im Wesentlichen die entfernten Härtebildner sowie Antiscalants und säure- bzw. alkalienhaltige Reinigungschemikalien vorhanden. Sie finden sich (neben den aus dem Rohwasser abgetrennten organischen Wasserinhaltsstoffen wie Härte, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Phosphat) um den Faktor 4 bis 6 angereichert im Konzentratstrom der Membrananlage wieder.

Das aus der Carix-Anlage anfallende Abwasser entsteht beim Rückspülvorgang diskontinuierlich und wird in sogenannten Eluatspeichern zwischengepuffert, welche in Abhängigkeit der Größe der Anlage dimensioniert werden. In dem voraussichtlich farblosen und trübstofffreien Konzentrat sind im Wesentlichen die entfernten Härtebildner sowie weitere organischen Wasserinhaltsstoffen wie Härte, Chlorid, Sulfat, Nitrat enthalten.

Bei Fällungsverfahren entstehen als „Abfallstoff“ beträchtliche Mengen anfallender Rückstände von Calciumcarbonat (Pellets) gemäß stöchiometrischer Umsetzung. Eine Verwertung der Rückstände ist notwendig. SEC-Pellets entwässern schnell, bei einer Schüttdichte von ca. 1600kg/m³.

Bei der vorhandenen Rohwasserzusammensetzung sind Eisen, Mangan und Schwermetalle enthalten. Unter diesen Umständen könnte der „Abfallstoff“ einen Einsatz als Hartkorn in Landwirtschaft, Kalk- und Stahlindustrie oder bei Herstellung von Baumaterial Anwendung finden.

7 Wirtschaftlichkeitsvergleich

7.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten beinhalten die Bauwerkskosten für die Enthärtungsanlage, die Leitungsbau- maßnahme zur Ableitung der Eluat- oder Konzentratwässer in den Vorfluter beziehungsweise Kanal sowie die technischen Einrichtungen. Die dargestellten Nebenkosten beinhalten die Planungskosten für die baulichen und technischen Einrichtungen, die Tragwerksplanungen, Vermessungsarbeiten, Gebühren, Entschädigungen und gegebenenfalls Baugrundgutachten.

Die Kosten sind jeweils in zwei Varianten dargestellt:

- Variante 1: Ableitung des Abwassers in die Kläranlage.
- Variante 2: Ableitung in den Vorfluter.

7.1.1 CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Vorfluter

Der Raumbedarf für die CARIX-Anlage beträgt rund 2.900 m³ umbauter Raum. Dabei wurde vorge- sehen, dass die Ableitung der Eluatwässer nicht in den Kanal erfolgt, sondern in den Vorfluter. Die Leitungslänge zum Vorfluter beträgt circa 2,2 km.

Bauwerkskosten (netto)	870.000 Euro
Leitungsbau und Vorflutanschluss (netto)	484.000 Euro
Technische Ausrüstung (netto)	1.912.000 Euro
Unvorhergesehenes (netto)	150.000 Euro
Nebenkosten (netto)	683.000 Euro
Investitionskosten (netto)	4.099.000 Euro

7.1.2 CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Kläranlage

Der Raumbedarf für die CARIX-Anlage beträgt rund 2.900 m³ umbauter Raum. Dabei wurde vorge- sehen, dass die Ableitung der Eluatwässer in den Kanal erfolgt, ohne dass weitere Anschlusskosten entstehen. Die Leitungslänge zum Kanal beträgt circa 1 km.

Bauwerkskosten (netto) inkl. Anschluss-gebüh- ren	903.000 Euro
Leitungsbau und Kanalanschluss (netto)	220.000 Euro
Technische Ausrüstung (netto)	1.912.000 Euro
Unvorhergesehenes (netto)	150.000 Euro
Nebenkosten (netto)	637.000 Euro
Investitionskosten (netto)	3.822.000 Euro

7.1.3 Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Vorfluter

Der Raumbedarf für die Membran-Anlage beträgt rund 1.450 m³ umbauter Raum. Dabei wurde vorgesehen, dass die Ableitung der Konzentratwässer nicht in den Kanal erfolgt, sondern in den Vorfluter. Die Leitungslänge zum Vorfluter beträgt circa 2,2 km.

Bauwerkskosten (netto)	435.000 Euro
Leitungsbau und Vorflutanschluss (netto)	484.000 Euro
Technische Ausrüstung (netto)	1.012.000 Euro
Unvorhergesehenes (netto)	150.000 Euro
Nebenkosten (netto)	416.000 Euro
Investitionskosten (netto)	2.497.000 Euro

7.1.4 Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Kläranlage

Der Raumbedarf für die Membran-Anlage beträgt rund 1.450 m³ umbauter Raum. Dabei wurde vorgesehen, dass die Ableitung der Konzentratwässer in den Kanal erfolgen kann und hierfür keine Abwasseranschlusskosten entstehen. Die Leitungslänge zum Kanal beträgt circa 1 km.

Bauwerkskosten (netto) inkl. Anschluss-gebühren	451.000 Euro
Leitungsbau und Kanalanschluss (netto)	220.000 Euro
Technische Ausrüstung (netto)	1.012.000 Euro
Unvorhergesehenes (netto)	150.000 Euro
Nebenkosten (netto)	367.000 Euro
Investitionskosten (netto)	2.200.000 Euro

7.2 Nebenkosten

Die jeweiligen Nebenkosten der verschiedenen Verfahren wurden mit 20 % der Investitionskosten angesetzt.

7.3 Reinvestitionskosten

CARIX-Anlage

Bei der CARIX-Anlage ist nicht davon auszugehen, dass in dem Abschreibungszeitraum von 20 Jahren eine Reinvestition vorgenommen werden muss.

Membran-Anlage (LPRO)

Bei der Membran-Anlage (LPRO) sind nach circa 7 - 10 Jahren die Membranen zu erneuern. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung der Membranen ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Haltbarkeit der Membranen in Zukunft erhöht.

Bei der empfohlenen Anlagenauslegung für eine Aufbereitungsleistung von circa 30 l/s enthärtetes Wasser beträgt die Reinvestition für die Membranen nach circa 10 Jahren circa 98.000 Euro (netto).

7.4 Betriebskosten

Für die zusätzliche Entnahme von Rohwasser für die jeweiligen Behandlungsverfahren werden spezifische Kosten von 0,10 €/m³ (Erhöhung des Wasserentnahmeentgeld ab 01/19 von 0,081 €/m³ auf 0,1 €/m³ Grundwasser) entnommenem Grundwasser angesetzt.

CARIX-Anlage

Die wesentlichen Betriebskosten bei der CARIX-Anlage entstehen durch die Energiekosten für die Umwälzung und kontinuierliche Aufbereitung der Eluatwässer. Darüber hinaus wird für die Regeneration der Filter CO₂ benötigt. Die Personalkosten für den Betrieb und für die Wartung der Carix-Anlage sind relativ gering, da die Anlage vollautomatisch betrieben wird.

Bei der empfohlenen Auslegung der CARIX-Anlage betragen die jährlichen Betriebskosten rund 156.000 Euro (Erfahrungswert Betriebskosten 0,17 Euro/m³ zuzüglich 558.000 m³ Wasserentnahmeentgeld zu 0,10 €/m³ zuzüglich ca. 56.000 m³ zusätzliches Rohwasser für die Regeneration der Ionenaustauschfilter zu 0,10 Euro/m³). Umgerechnet auf die Aufbereitungsmenge ergeben sich somit spezifische Betriebskosten von 0,280 Euro/m³.

Membran-Anlage (LPRO)

Die wesentlichen Betriebskosten bei der Membran-Anlage entstehen durch die Energiekosten zur Druckerhöhung der Beschickungspumpen, der Bezugskosten für das zusätzlich benötigte Konzentrat und für die Dosiermittel zur Verhinderung der Verblockung der Membranen.

Bei der empfohlenen Auslegung der Membran-Anlage betragen die jährlichen Betriebskosten rund 118.000 Euro. Umgerechnet auf die Aufbereitungsmenge ergeben sich somit spezifische Betriebskosten von 0,212 Euro/m³. Die Betriebskosten für die Membrananlage setzen sich dabei wie folgt zusammen:

▪ Energiekosten für Beschickungspumpen, Gebläse, Installation:	28.000 €/a
▪ Rohwasserentnahmeentgeld	56.000 €/a
▪ Zusätzliche Wasserbezugskosten für Konzentratausgleich (ca. 88.000 m ³ /a):	9.000 €/a
▪ Betriebskosten für Betriebsstoffe (Antiscalant):	15.000 €/a
▪ Personal- und Wartungskosten:	10.000 €/a

Qualifikation des Personals

Hinsichtlich der Qualifikation des Personals sind keine besonderen Anforderungen notwendig. Wenn das Personal die Filteranlage zur Enthärtung und Enteisung beherrscht, ist die fachliche Qualifikation zum Betrieb- und Unterhalt der Enthärtungsanlage gegeben.

Der Personalaufwand bei der Membranenthärtung besteht im Wesentlichen aus der Überwachung der Anlage (Überprüfung der Drücke, Durchflüsse, etc.), routinemäßigen Sichtkontrollen und auf die Nachfüllung von Betriebsmitteln (Antiscalantmittel; circa 1 x pro Monat). Der Personalaufwand bei der CARIX-Anlage ist in etwa analog anzusetzen.

7.5 Jahreskosten

Die Jahreskosten berechnen sich aus den jährlichen Kapitalkosten der Investitionen sowie aus den jährlichen Betriebskosten.

Die Berechnung der jährlichen Kapitalkosten erfolgte in Anlehnung an die Leitlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) mit einem Zinssatz von 2,0 %. Die Abschreibungszeiträume für die einzelnen Anlagengewerke wurden dabei wie folgt angenommen:

- Bauwerke Abschreibung 50 Jahre.
- Leitungsbau Abschreibung 60 Jahre.
- Technik Abschreibung 20 Jahre.

Für die Berechnung der Kosten für die Abwasserentsorgung in den Kanal (Kläranlage) wurden für die CARIX-Anlage einmalige Anschlussgebühren von 32.600 Euro ($3.000 \text{ m}^2 \times 10,86 \text{ Euro/m}^2$) sowie für die LPRO Anlage 16.300 Euro ($1.500 \text{ m}^2 \times 10,86 \text{ Euro/m}^2$) Anschlussgebühren angesetzt.

Für die Entsorgungskosten des Schmutzwassers (Konzentrat) in den Kanal wurden $2,45 \text{ €/m}^3$ angesetzt. In dieser Studie wird von einer Versickerung des Regenwassers vor Ort ausgegangen. Somit entstehen hier keine weiteren Entsorgungskosten. Diese Kosten der Schmutzwasserentsorgung sind als Mehrkosten dargestellt. Die einmaligen Anschlussgebühren sind in den oben gezeigten Bauwerkskosten der jeweiligen Verfahren mit eingerechnet.

7.5.1 CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Vorfluter

Jährliche Kapitalkosten	194.000 Euro/a
Jährliche Betriebskosten	156.000 Euro/a
Jährliche Gesamtkosten (netto)	350.000 Euro/a

Spezifische Kosten bezogen auf die Aufbereitungsmenge von $558.000 \text{ m}^3/\text{a}$: **0,627 Euro/m³**

7.5.2 CARIX-Anlage mit Ableitung Abwasser in Kläranlage

Jährliche Kapitalkosten	185.000 Euro/a
Jährliche Betriebskosten	156.000 Euro/a
Jährliche Gesamtkosten (netto)	341.000 Euro/a

Spezifische Kosten bezogen auf die Aufbereitungsmenge von $558.000 \text{ m}^3/\text{a}$: **0,611 Euro/m³**

7.5.3 Mehrkosten CARIX-Anlage bei Ableitung Abwasser in Kläranlage mit Gebühren

Jährliche Betriebskosten	137.000 Euro/a
Jährliche Gesamtkosten (netto)	137.000 Euro/a

Spezifische Mehrkosten bezogen auf die Aufbereitungsmenge von $558.000 \text{ m}^3/\text{a}$: **0,246 Euro/m³**

7.5.4 Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Vorfluter

Jährliche Kapitalkosten	113.000 Euro/a
Jährliche Betriebskosten	118.000 Euro/a
Jährliche Gesamtkosten (netto)	231.000 Euro/a

Spezifische Kosten bezogen auf die Aufbereitungsmenge von 558.000 m³/a: **0,414 Euro/m³**

7.5.5 Membran-Anlage (LPRO) mit Ableitung Abwasser in Kläranlage

Jährliche Kapitalkosten	104.000 Euro/a
Jährliche Betriebskosten	118.000 Euro/a
Jährliche Gesamtkosten (netto)	222.000 Euro/a

Spezifische Kosten bezogen auf die Aufbereitungsmenge von 558.000 m³/a: **0,398 Euro/m³**

7.5.6 Mehrkosten Membran-Anlage bei Ableitung Abwasser in Kläranlage mit Gebühren

Jährliche Betriebskosten	216.000 Euro/a
Jährliche Gesamtkosten (netto)	216.000 Euro/a

Spezifische Mehrkosten bezogen auf die Aufbereitungsmenge von 558.000 m³/a: **0,387 Euro/m³**

7.6 Kosteneinsparpotenziale für den Haushalt

Durch eine zentrale Enthärtung ergeben sich diverse Vorteile für die einzelnen Haushalte beziehungsweise Verbraucher. In diversen Gutachten und Untersuchungen wurden die möglichen Einsparungen in den einzelnen Haushalten ermittelt. In der nachfolgenden Tabelle des "Technologie-zentrums Wasser Karlsruhe" (TZW) sind diese wie folgt dargestellt.

Einsparung im Haushalt	Angaben in € pro Person/a*
Wasch- und Reinigungsmittel	6,99
Regeneriersalz (Spülmaschine)	0,49
Energie- und Wasserverbrauch	3,28
Wartung (Warmwasser)	15,49
Gesamteinsparung pro Jahr	26,25
Einsparung pro m ³ (Wasserbedarf = 50 m ³ /Person x a)	0,53 €/m ³
Einsparung bei Außerbetriebnahme einer de- zentralen Enthärtung (Ionentauscher)	43,53 (0,87 €/m ³)

*Quelle: TZW 2003

Bei Haushalten ohne dezentrale Enthärtungsanlage ergibt sich somit ein mögliches Einsparpotenzial von 0,53 Euro/m³. Sofern eine dezentrale Enthärtungsanlage außer Betrieb genommen wird, ergeben sich nochmals Einsparungen von weiteren 0,87 Euro/m³. Neben den monetären Einsparungen ergeben sich auch ein Komfortgewinn und eine Verlängerung der Nutzungsdauer von Armaturen und Geräten. Aus den dargestellten Kosten lässt sich erkennen, dass die Einsparungen in den einzelnen Haushalten deutlich über den Mehrkosten durch eine zentrale Enthärtung liegen.

Bei der Bewertung der Verfahren ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Zusatzeffekte durch die zentrale Enthärtung mit ausgelöst werden, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht einbezogen werden konnten. U.a. sind dies:

- Der Komfortgewinn für die Verbraucher (geringerer Reinigungsaufwand bei weicherem Wasser).
- Auswirkungen bei Industrie und Gewerbe, die über die öffentliche Wasserversorgung versorgt werden.
- Geringere Belastung des bei der Abwasserbehandlung anfallenden Klärschlammes und dadurch ggf. mögliche verbesserte Verwertungsmöglichkeiten. Damit können sowohl ökologische (geringere Schwermetallausbringung bei einer landwirtschaftlichen Verwertung) als auch ökonomische Vorteile verbunden sein.
- Verlängerung der Nutzungsdauer von Haushaltsgeräten.

8 Zusammenfassung / Bewertung nach verschiedenen Gesichtspunkten

	Ableitung Eluat bzw. Konzentrat in Vorfluter	
	CARIX Anlage	Membran Anlage
Investitionskosten	4.099.000,00 €	2.497.000,00 €
Kapitalkosten	194.000,00 €	113.000,00 €
Betriebskosten	156.000,00 €	118.000,00 €
Jahreskosten	350.000,00 €	231.000,00 €
Spezifische Kosten	0,627 €/m3	0,414 €/m3

	Ableitung Eluat bzw. Konzentrat in Kanal <u>ohne</u> Anschlussgebühr*	
	CARIX Anlage	Membran Anlage
Investitionskosten	3.782.000,00 €	2.180.000,00 €
Kapitalkosten	184.000,00 €	103.000,00 €
Betriebskosten	156.000,00 €	118.000,00 €
Jahreskosten	340.000,00 €	221.000,00 €
Spezifische Kosten	0,609 €/m3	0,396 €/m3

	Ableitung Eluat bzw. Konzentrat in Kanal <u>mit</u> Anschlussgebühr*	
	CARIX Anlage	Membran Anlage
Investitionskosten	3.822.000,00 €	2.200.000,00 €
Kapitalkosten	185.000,00 €	104.000,00 €
Betriebskosten	293.000,00 €	334.000,00 €
Jahreskosten	478.000,00 €	438.000,00 €
Spezifische Kosten	0,857 €/m3	0,785 €/m3

* ohne Betriebskosten der Kläranlage

Ökonomische Bewertung:

Zur ökonomischen Bewertung wurden die Kosten für die einzelnen Verfahren in Abhängigkeit von der Anlagengröße ermittelt. Die spezifischen Kosten für eine zentrale Enthärtung liegen je nach eingesetztem Verfahren zwischen 0,414 bis 0,857 €/m3 Trinkwasser. Das Einsparpotential liegt bei 0,53 €/m3. Die Ergebnisse zeigen, dass eine zentrale Enthärtung für den Verbraucher in Abhängigkeit vom Verbrauchsverhalten nicht mit Mehrkosten, sondern eher mit einer Einsparung verbunden ist.

Ökologische Bewertung:

Für eine ökologische Bewertung können folgende Faktoren zu Bewertung hinzugezogen werden: Energie- und Chemikalieneinsatz für eine Enthärtung, Verbrauch von Wasch- und Reinigungsmitteln und Entkalkern, der Verbrauch von Energie zur Warmwasserbereitstellung im Haushalt, Korrosion von Werkstoffen der Trinkwasserleitungen sowie die Entsorgung der Eluat- bzw. Konzentrate einer zentralen Enthärtung in den Vorfluter. Ebenfalls zur Bewertung können Wirkungsindikatoren wie Treibhausgase (CO₂ Äquivalent), Versauerung (Erhöhung Wasserstoffionenkonzentration in der Umwelt), Eutrophierung (Nährstoffzufuhr im Übermaß), Photooxidantien (Substanzen, die unter Einfluss von UV-Strahlung die Entstehung von Ozon verursachen) und die Ökotoxizität (Betrachtung der Einzelsubstanzen Kupfer und LAS - Tenside z.B. Waschmittel) herangezogen werden. (LAS: lineare Alkylsulfonate, beispielhaft für ökotoxikologisch relevante Waschmittelinhaltsstoffe). Eine Bewertung hängt aber entscheidend vom Verbraucherverhalten der Einwohner und deren Gewohnheiten und auch Wissen ab.

	Einheit	CARIX Verfahren	Membranverfahren
Energiebedarf	kwh/m ³	0,30	0,40
Enthärtung	Rohwassermenge		
Chemikalieneinsatz	-	Ja (CO ₂)	Ja (Antiscalant: Phosphat; Reinigungschemikalien: Zitronensäure)
Abwassermenge	%	10	20

Zum Energiebedarf ist zu sagen, dass die Gesamtenergiebilanz der Enthärtungsverfahren nahezu gleich einer Aufbereitung „ohne“ Enthärtung ist. Lediglich eine Verschiebung der Energiebedarfstellen ist zu erkennen. Während im Fall „ohne“ Enthärtung die Energie überwiegend für die härtebedingten Verluste der Warmwasserbereitstellung sowie für den Zusatzbedarf an Wasch- und Reinigungsmittel benötigt wird, liegt der Bedarf bei einer Enthärtung im Wasserwerk.

Tendenzen der o.g. Wirkungskategorien:

Treibhausgase: Das Treibhausgaspotential ist für Enthärtungsverfahren minimal ungünstiger als ohne Enthärtung. Der Grund liegt im höheren Strombedarf der Enthärtungsverfahren im Vergleich zu den Verhältnissen der Warmwassererzeugung. Öffentliche Einrichtungen beziehen hauptsächlich Strom aus der Primärenergie Steinkohle und Braunkohle. Bei der Warmwasserbereitstellung wird vorzugsweise Gas als Energieträger verwendet.

Versauerung: Das Versauerungspotential der untersuchten Varianten wird überwiegend durch die bei der Energieerzeugung verursachten Emissionen bestimmt. Die Unterschiede zwischen den Enthärtungsverfahren und keiner Enthärtung sind vergleichsweise sehr gering.

Photooxidantienbildung: Es gilt das Gleiche wie bei der Versauerung.

Eutrophierung: Das Eutrophierungspotential wird zum einen durch die wasch- und reinigungsmittelbedingten Emissionen, zum anderen durch die bei der Energieerzeugung verursachten Stickoxidemissionen bestimmt. Beim Eutrophierungspotential liegen die zentralen Enthärtungsverfahren etwas günstiger gegenüber dem heutigen Zustand ohne Enthärtung.

Ökotoxizität: Hier wurden die Einzelindikatoren Kupfer- und LAS-Emissionen herangezogen. Hier zeigt sich ein erheblicher Vorteil der zentralen Enthärtung infolge deutlich verringerter Emissionen in das Gewässer durch Reduktion des rohleitungsbedingten Kupferabtrags und verringerten Wachmittelverbrauch pro Einwohner.

Reststoffentsorgung: Bei den Verfahren entstehen keine Reststoffe (wie z. B. bei der SEK - Kalkpellets).

Ein Sondierungsgespräch beim Landratsamt Karlsruhe, Umweltamt bestätigte die Erfahrung, dass eine Ableitung des Konzentrates in ein Fließgewässer unproblematisch erfolgen kann. Mit Nachweis der Einleitkonzentrationen von einer Reihe von Wasserinhaltsstoffen und der Beantragung einer wasserrechtlichen Erlaubnis steht nach Aussage der Genehmigungsbehörde dem Vorhaben nichts entgegen.

Verfahrenstechnische Bewertung:

Die Möglichkeit einer direkten Ableitung des Konzentrats in ein Gewässer ist jeweils für den Einzelfall zu prüfen. Vor einer großtechnischen Realisierung sind halbtechnische Versuche durchzuführen, um die optimalen Betriebsbedingungen festzulegen und das korrosionschemische Verhalten des enthärteten Trinkwassers im Hinblick auf die Minimierung von Korrosionsproblemen bewerten zu können. Ebenfalls ist eine genauere Betrachtung der Zusammensetzung des Konzentrats durchzuführen, um die vorgegebenen Einleitparameter des LRA Karlsruhe zu erfüllen.

Notwendige Genehmigungsverfahren:

Für den Bau einer Trinkwasserenthärtung sind folgende Genehmigungen erforderlich:

- Bauantrag für Gebäude Enthärtungsanlage
- Genehmigung Konzentratableitung
- Rohrleitungstrasse: Benehmen ist herzustellen, wasserrechtliche Genehmigung Gewässerquerung, naturschutzrechtliche Genehmigungen
- Einleitung in Vorflut: Wasserrechtliche Erlaubnis nach § 8/9 WHG, § 28 WG (ggf. kann ein Monitoring zur Prüfung angeordnet werden)
- Rohwassergewinnung: ggf. Anpassung des Wasserrechts.

Betrachtung Wassergewinnung und Wasseraufbereitung:

Nach Prüfung der bisher vorliegenden Auslegungsdaten des Wasserwerks Karlsdorf-Neuthard ist eine zusätzliche Beaufschlagung durch Rohwasser, für den Konzentrat- bzw. Eluatausgleich einer möglichen Enthärtungsanlage, derzeit knapp möglich.

Zukünftig wird der Wasserverbrauch durch das Bevölkerungswachstum infolge Baugebieterschließungen noch etwas ansteigen. Es ist nicht auszuschließen, dass mit dem zusätzlichen Wasserbedarf und einer Enthärtung, die Kapazitätsgrenze des Wasserwerks erreicht wird.

Betrachtungen möglicher Ausfallszenarien der Rohwassernachspeisung können weiterhin zu einer Verschärfung von einer ausreichenden Wasserbereitstellung führen. Um eine genaue Aussage über die Kapazität des Wasserwerks treffen zu können, muss eine detaillierte Betrachtung der Anlage erfolgen.

Für einen sicheren Wasserwerksbetrieb muss weitergehend auch die Engstelle des, in der Aufbereitung, eingesetzten einzigen Oxidators angesprochen werden. Hier sehen wir es zukünftig als erforderlich an, eine Redundanz zu schaffen, um bei einem Ausfall oder Wartungsarbeiten den Wasserwerksbetrieb aufrecht erhalten zu können.

Um den zukünftig steigenden Wasserbedarfsmengen gerecht zu werden, müsste ggf. in eine Erweiterung des Wasserwerks investiert werden. Neben der Investition in eine Enthärtungsanlage würde eine Investition zur Erweiterung des Wasserwerks erfahrungsgemäß die spezifischen Kosten von 0,414 Euro/m³ (Fall Membrananlage und Entsorgung in Vorflut) um ca. 22% auf 0,502 Euro/m³ ansteigen lassen.

9 Betrachtung verschiedener Varianten der Enthärtung

Um in Karlsdorf-Neuthard enthärtetes Trinkwasser mit einer Zielhärte von 8,4 °dH bereitzustellen wurden, neben der erarbeiteten Variante der Enthärtung mittels Niederdruckumkehrosiose am Standort Karlsdorf-Neuthard, weitere Möglichkeiten für einen Bezug von enthärtetem Wasser betrachtet und verglichen.

Hierzu wurden Investitions- und Betriebskosten ermittelt. Die jährlichen Gesamtbetriebskosten setzen sich aus den jährlichen Kapitalkosten der Investition (Zinssatz 2%; Abschreibungsdauer Leitungsbau 60 Jahre) sowie den laufenden Kosten, in diesem Fall die Wasserbezugskosten der jeweiligen Variante, zusammen.

9.1 Variante 1: Wasserbezug durch die Bodenseewasserversorgung (BWV).

Die Investitionskosten ergeben sich durch:

- Leitungsbau von Unteröwisheim zum Wasserwerk Karlsdorf-Neuthard; Länge ca. 12km
- Straßen sowie Bahnquerungen
- Anschluss am Wasserwerk
- Baunebenkosten

Die laufenden Kosten ergeben sich aus den von der BWV angesetzten Umlagen für die Wasserentnahme.

Es wurde eine Wasserentnahme von 280.000 m³ angenommen, mit einer maximalen Entnahmemenge von 15 l/s. Dies entspricht einem Verschnitt im Mengenverhältnis 1:1. Die BWV liefert ein Trinkwasser mit einer Härte von 8,4 °dH. Somit ergibt sich eine max. Zielhärte von 13,5 °dH und ist somit nicht vergleichbar mit dem Zielwert der Härte (8-9 °dH) bei einer Aufbereitung durch die Niederdruckumkehrosiose im WW.

Um eine Zielhärte im Trinkwasser von 8,4 °dH zu erreichen, wäre ein Wasserbezug von Bodenseewasser zu 100% erforderlich. Bei einem reinen Wasserbezug durch die Bodenseewasserversorgung, wäre die eigene Trinkwasseraufbereitung (Enteisung und Entmanganung) hinfällig. Im Hinblick

auf die kürzlich erweiterte und noch nicht abgeschriebene Anlagentechnik, wäre eine Stilllegung der Aufbereitung (Enteisung und Entmanganung) nicht zu empfehlen. Von der technischen Seite betrachtet, müssten die Filterkessel für die Enteisung/Entmanganung stillgelegt werden. Eine Wiederinbetriebnahme wäre grundsätzlich möglich, aber mit zeitlichem und finanziellem Aufwand verbunden.

	Wasserbezug 50 %	Wasserbezug 100%
Investitionskosten	5.760.000 Euro	5.760.000 Euro
Jährliche Kapitalkosten	166.000 Euro/a	166.000 Euro/a
Laufende Kosten (Wasserbezugs- kosten)	155.000 Euro/a	309.000 Euro/a
Gesamtbetriebskosten	321.000 Euro/a	475.000 Euro/a
Wasserentnahme BWV	280.000 m ³	558.000 m ³
spez. Kosten für Wasserbezug BWV	1,15 €/m ³	0,85 €/m ³

Die spezifischen Kosten für einen Wasserbezug aus der BWV ergeben sich aus dem Verhältnis der jährlich anfallenden Gesamtbetriebskosten und der abgenommenen Menge an Bodenseewasser. Somit ergeben sich für den Verbraucher zusätzliche Kosten von 1,15 €/m³ (50 % Wasserbezug) bzw. 0,85 €/m³ (100 % Wasserbezug) Trinkwasser. Bei einem Wasserbezug von 50 % Bodenseewasser wären zusätzliche 280.000 m³ aus der eigenen Aufbereitung erforderlich. Die hierfür erforderlichen Betriebskosten wären auf die oben genannten Gesamtbetriebskosten von 321.000 Euro/a hinzuzurechnen.

Der aktuelle Wasserpreis könnte wiederum entsprechend gesenkt werden, da eine eigene Aufbereitung ganz bzw. teilweise entfallen würde. Wasserspeicherung, Netzpumpen und Rohrleitungsnetz müssten hingegen bestehen bleiben.

Aufgrund der noch nicht abgeschriebenen sanierten Aufbereitungstechnik und der hohen spezifischen Wasserbezugskosten erscheint aus unserer Sicht eine Versorgung durch Bodenseewasser als nicht wirtschaftlich.

9.2 Variante 2: Fremdwasserbezug von den Stadtwerken Bruchsal EWB

Bei einem Wasserbezug von enthärtetem Wasser (Permeat) durch die Stadtwerke Bruchsal EWB kann die bereits vorhandene Verbundleitung (DN 300 GGG) genutzt werden. Für eine zukünftige Nutzung der Verbundleitung müsste vorab der Zustand der Leitung begutachtet werden. Wir gehen momentan von einer intakten Trinkwasserleitung aus.

Die Investitionskosten ergeben sich durch die Herstellung des Anschlusses an der Enthärtungsanlage im WW Bruchsal, einer Mischkammer und entsprechender Verrohrung im WW Karlsdorf-Neuthard sowie den Baunebenkosten.

Für die Variante einer eigenen Enthärtung am Standort Karlsdorf-Neuthard sind 231.000 Euro/a an Gesamtbetriebskosten erforderlich (s.h. Studie S.31 und Gleichung 1).

Gesamtbetriebskosten

= *spezifische Kosten Membrananlage x Jahresbedarf Trinkwasser* (1)

$$\text{Gesamtbetriebskosten} = 0,414 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \times 558.000 \text{ m}^3 = 231.000 \text{ €}$$

Die Gesamtbetriebskosten setzen sich wiederum aus den jährlichen Kapitalkosten sowie den zusätzlichen laufenden Kosten (in diesem Fall die Wasserbezugskosten aus Bruchsal) zusammen (Gleichung 2). Die jährlichen Kapitalkosten der Investition ergeben sich aus einem Zinssatz von 2% sowie einer Abschreibungsdauer von 60 Jahren.

Laufende Kosten (Wasserbezugskosten)

= *Gesamtbetriebskosten – jährliche Kapitalkosten* (2)

$$\text{Laufende Kosten (Wasserbezugskosten)} = 231.000 \text{ €} - 6.000 \text{ €} = 225.000 \text{ €}$$

Die Gesamtbetriebskosten von 231.000 Euro/a werden hier als konstant angenommen, um die maximal möglichen laufenden Kosten (Wasserbezugskosten) zu errechnen, bei dem sich folglich die Gesamtbetriebskosten aus einer eigenen Enthärtung und einer Enthärtung am Standort Bruchsal gerade ausgleichen.

Der Wasserbezugspreis aus Bruchsal dürfte demnach maximal 225.000 Euro pro Jahr betragen. Sollte durch die Stadtwerke Bruchsal mehr als die genannten 225.000 Euro pro Jahr für eine Wasserabgabe an enthärtetem Wasser verlangt werden, würde sich diese Variante im Vergleich zu einer eigenen Aufbereitung nicht rechnen.

Um eine Zielhärte im Mischwasser von 8,4 ° dH zu erreichen, wären ca. 323.000 m³/a an Permeat erforderlich. Aus dem Verhältnis der laufenden Kosten (Wasserbezugskosten) und der erforderlichen Permeatmenge ergeben sich spezifische Wasserbezugskosten von 0,70 €/m³ Permeat (Gleichung 3). Würden die EWB Bruchsal mehr als 0,70 €/m³ Permeat verlangen, würde sich diese Variante nicht rechnen.

$$\text{spezifische Wasserbezugskosten} = \frac{\text{laufende Kosten (Wasserbezugskosten)}}{\text{Wasserbezug aus Enthärtung Bruchsal}} \quad (3)$$

	Kosten
Investitionskosten	225.000 Euro
Jährliche Kapitalkosten	6.000 Euro/a
Laufende Kosten (Wasserbezugskosten)	225.000 Euro/a
Gesamtbetriebskosten	231.000 Euro/a
Wasserbezug aus Enthärtung Bruchsal	323.000 m ³
spez. Wasserentnahmekosten	0,70 €/m ³

Der momentane Abgabepreis der EWB liegt bei 2,30 €/m³ und ist der Endpreis für den Kunden (mit Wassergewinnung, Aufbereitung und Verteilung). Der Anteil Verteilung wäre aus unserer Sicht für Sie nicht maßgebend.

Die Wasserbezugsmengen an erforderlichen Permeat beziehen sich auf den momentanen Wasserverbrauch der Gemeinde Karlsdorf-Neuthard. Steigende Wasserverbräuche und somit höhere Bedarfsmengen an Permeat durch Bevölkerungswachstum sowie mögliche Wohn- und Gewerbegebietserweiterungen wurden in der erforderlichen Permeatmenge von 323.000 m³/a nicht berücksichtigt.

9.3 Variante 3: Fremdwasserbezug durch Synergien mit Nachbarkommunen

Betrachtet wurde die Variante einer Wasserabgabe von enthärtetem Wasser an die Gemeinde Stutensee. Bei einem jährlichen Bedarf von ca. 1.350.000 m³ Trinkwasser und einer vorhandenen Härte von 24° dH wäre eine jährliche Abgabemenge an Permeat von ca. 900.000 m³/a aus der Enthärtung am Standort Karlsdorf-Neuthard erforderlich. Eine solch große Menge an zusätzlichem Wasser bereitzustellen würde eine Erweiterung des Wasserwerks, den Neubau von zusätzlichen Brunnen und eine ausreichend große Enthärtungsanlage erfordern. Das Wasserrecht müsste entsprechend angepasst werden. Diese Variante erscheint uns nicht sinnvoll.

Bei einem Wasserbezug von enthärtetem Wasser aus Stutensee, wäre wiederum eine Menge von ca. 323.000 m³/a erforderlich um eine Zielhärte im Mischwasser in Karlsdorf-Neuthard von 8,4° dH zu erreichen.

Die Investitionskosten für einen Wasserbezug von enthärtetem Wasser aus Stutensee ergeben sich durch:

- Leitungsbau von WW Stutensee zum WW Karlsdorf-Neuthard; Länge ca. 7000 m
- Anschluss WW Stutensee und WW Karlsdorf-Neuthard, Mischkammer
- Baunebenkosten

Für die Entnahme von enthärtetem Wasser (Permeat) aus dem WW Stutensee wurde entsprechend gleicher Berechnung wie bei Variante 2 ein maximal möglicher Wasserbezugspreis von 0,45 Euro/m³ Permeat berechnet. Würde der Zweckverband Wasserversorgung Mittelhardt mehr als 0,45 Euro/m³ Permeat berechnen, wäre diese Variante teurer als die Variante einer eigenen Enthärtung.

Als Bezugswert wurden die Gesamtbetriebskosten (jährliche Kapitalkosten + laufende Kosten) aus der Variante einer eigenen Enthärtung von 231.000 Euro angesetzt.

Aus den Investitionskosten ergeben sich jährliche Kapitalkosten von ca. 86.000 Euro/a und somit laufende Kosten (Wasserbezugskosten aus dem WW Stutensee) von 145.000 Euro.

	Kosten
Investitionskosten	2.988.000 Euro
Jährliche Kapitalkosten	86.000 Euro/a
Laufende Kosten (Wasserbezugskosten)	145.000 Euro/a
Betriebskosten	231.000 Euro/a
Wasserbezug aus Enthärtung Stutensee	323.000 m ³
spez. Wasserentnahmekosten	0,45 €/m ³

Der momentane Abgabepreis des Zweckverbandes Wasserversorgung Mittelhardt liegt bei einer Grundgebühr von 1,90 €/Monat zuzüglich 0,91 €/m³ Verbrauchsgebühr.

Bei einem möglichen zukünftig steigenden Wasserverbrauch und gleicher Qualitätsanforderungen an enthärtetem Trinkwasser, wäre ein zusätzlicher Bezug an Permeat erforderlich. Bei einer eigenen Aufbereitung könnte dies relativ einfach durch eine modulare Erweiterung der Membrananlage geschehen. Bei einem Fremdwasserbezug an Permeat müsste sichergestellt werden, dass der Bedarf an Permeat zukünftig gedeckt wäre.

10 Fremdwasserbezug von den Stadtwerken Bruchsal EWB – Weitere Betrachtungen

Nach Gesprächen der Gemeinde Karlsdorf-Neuthard mit den EWB Bruchsal stellt sich heraus, dass Bruchsal die erforderliche Menge an enthärtetem Wasser für eine vollständige Versorgung in Form von Permeat nicht bereitstellen kann. Die für Karlsdorf-Neuthard erforderlichen Wassermengen von 323.000 m³/a bzw. 1.650 m³/d können nicht durch Bruchsal geliefert werden.

Ein Teilbezug an enthärtetem Trinkwasser aus Bruchsal wäre nach Aussage der EWB Bruchsal dennoch möglich. Die BIT Ingenieure prüfen daraufhin die Wirtschaftlichkeit einer Eigenproduktion an enthärtetem Trinkwasser mithilfe einer Membrananlage (Niederdruckumkehrosmose) und dem zusätzlichen Bezug an enthärtetem Trinkwasser von dem EWB Bruchsal über die bestehende Verbindungsleitung. Dabei wird eine gewisse Grundlast über die Eigenproduktion an enthärtetem Trinkwasser gedeckt. Der Spitzenbedarf wird wiederum durch den Fremdwasserbezug aus Bruchsal bereitgestellt.

Die Abdeckung einer Grundlast durch die Eigenversorgung werden in den Betrachtungen auf 75% bzw. 85% des max. Wasserbedarfs an erforderlichem Trinkwasser für den Betrachtungszeitraum für 2016 festgesetzt. Für die beiden Varianten werden die Investitions- und Jahreskosten sowie die möglichen Einsparungen im Vergleich zu einer vollständigen 100 % Eigenversorgung in der folgenden Tabelle aufgezeigt.

	100% Abdeckung	85% Abdeckung	75% Abdeckung	Einheiten
Spitzenverbrauchs bei x% Eigenabdeckung	38	27	23	l/s
	140	95	84	m3/h
max. mögliche Abgabemenge in 24h Betrieb der eigenen Anlage	3360	2290	2021	m3/d
Anlagenbetriebsdauer	18	18	18	h/d
Reinwasserabgabe	2520	1718	1516	m3/d
Feed Aufbereitung	48	33	29	l/s
Feed in Membrananlage (MV 60/40)	29	20	18	l/s
Konzentrat	7,6	4	4	l/s
Reinwasserabgabemenge Membrananlage	38	27	23	l/s
Bauwerkskosten	435.000 €	326.250 €	326.250 €	
Leitungsbau	484.000 €	484.000 €	484.000 €	
Technische Ausrüstung	1.012.000 €	608.405 €	536.828 €	
Unvorhergesehenes	150.000 €	150.000 €	150.000 €	
Nebenkosten	416.000 €	313.731 €	299.416 €	
Summe Investitionskosten	2.497.000 €	1.882.386 €	1.796.494 €	
Energiekosten für Beschickungspumpen, Gebläse, Installation		31.351 €	27.662 €	
Rohwassermenge (Wasserentnahmeentgelt)		78.377 €	69.156 €	
Zusätzliche Wasserbezugskosten für Konzentrat		9.405 €	8.299 €	
Betriebskosten für Betriebsstoffe (Antiscalant)		18.810 €	16.597 €	
Personal und Wartungskosten		10.000 €	10.000 €	
Summe Betriebskosten/a	118.000 €	137.943 €	121.715 €	
Kapitalkosten/a	113.000 €	77.400 €	72.700 €	
Summe Jahreskosten	231.000 €	215.343 €	194.415 €	
spez. Kosten Eigenversorgung	0,41	0,39	0,35	€/m3 Jahresbedarf
erforderlicher Fremdwasserbezug bei 18h Betrieb	0	782	984	m3/d

erforderlicher Fremdwasserbezug bei 24h Betrieb
 max. mögliche Jahreskosten für Fremdwasserbezug
 erforderliche Menge an Fremdwasser über Jahr 2016
 spez. Kosten bezogen auf tatsächlichem Bedarf an Fremdwasser

	100% Abdeckung	85% Abdeckung	75% Abdeckung	Einheiten
	0	210	479	m3/d
		15.657 €	36.585 €	
		1184	5.543	m3/a
		13,22	6,60	€/m3

Folgende Erklärungen und Annahmen zu obenstehender Tabelle:

- Die 100% Abdeckung ist bezogen auf die in der Studie weiter oben aufgezeigte Auslegung über den mittleren Tagesbedarf. Die Variantenbetrachtung hingegen ist bezogen auf den entsprechenden Anteil des Spitzenbedarfs im Jahr 2016. Dies bringt eine zusätzliche Sicherheit im Vergleich der Varianten.
- Die geringeren Betriebskosten in der Variante 100 % Eigenversorgung an enthärtetem Trinkwasser wurden auf Basis des mittleren Bedarfs an Trinkwasser berechnet -1354 m³/d bzw. 558.000 m³- (S.h hierzu Herleitung Betriebskosten in Studie für eine Aufbereitung mittels Niederdruckumkehrosmose). Die Betriebskosten für die Varianten einer 85 % bzw. 75 % Abdeckung wurden auf Basis des maximalen Bedarfs in 2016 ermittelt. (Siehe hierzu Berechnung Jahresverbrauch 2016).
- Bauwerkskosten: 300 €/m³ umbauter Raum.
- Leitungsbau 220 €/km.
- Technische Ausrüstung Membrananlage 8500 € pro m³/h Feed.
- Die Baunebenkosten bestehen aus 20 % der Investitionskosten.
- Energiekosten für Beschickungspumpen, Gebläse, Installation zu 0,05€/m³ Reinwasserabgabe.
- Rohwassermenge (Wasserentnahmeentgelt) zu 0,1 €/m³ Rohwasser.
- Zusätzliche Wasserbezugskosten für Konzentrat zu 0,1 €/m³ Rohwasser.
- Betriebskosten für Betriebsstoffe (Antiscalant) zu 0,03 €/m³ Reinwasser.
- Die spez. Kosten Eigenversorgung setzen sich aus dem Quotienten der Jahreskosten und dem Jahresbedarf zusammen.

10.1 Auswertung und Schlussfolgerung der Variantenbetrachtung

Die variablen Kosten (Betriebs- und Jahreskosten) sowie die Investitionskosten sinken bei einer reduzierten Lieferung an eigens enthärtetem Trinkwasser. Die erforderlichen Mengen an Fremdwasserbezug (Betrachtungszeitraum 2016) liegen für die Varianten bei 984 m³/d (5500 m³/a) bzw. 782 m³/d (1200 m³/a). Hierfür wurden ebenfalls die maximal möglichen Jahreskosten von 15.657 € bzw. 36.585 € für einen Fremdwasserbezug ermittelt.

Die spezifischen Kosten des tatsächlichen Fremdwasserbezugs haben theoretisch aufgrund der geringen Bezugsmenge lediglich einen sehr geringen Einfluss auf die spezifischen Gestehungskosten für enthärtetes Trinkwasser in Karlsdorf-Neuthard).

Mit angenommenen Kosten eines Fremdwasserbezugs aus Bruchsal von ca. 0,7 – 1,0 €/m³ liegen die Gestehungskosten für enthärtetes Trinkwasser unterhalb der Kosten für eine vollständige gemeindeeigene Trinkwasserenthärtung.

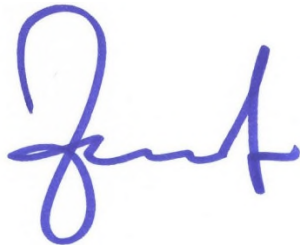
Ein Teilbezug an enthärtetem Trinkwasser bringt Kosteneinsparungen gegenüber einer vollständigen Eigenversorgung mit sich.

Mit der Eigenproduktion an enthärtetem Trinkwasser besteht eine Unabhängigkeit der Gemeinde Karlsdorf-Neuthard, die Abnehmer mit enthärtetem Trinkwasser zu versorgen.

Bei einem möglichen Ausfall des Fremdwasserbezuges aus Bruchsal kann die Versorgung mit enthärtetem Trinkwasser grundsätzlich aufrechterhalten werden. Im Spitzenbedarfsfall muss gegebenenfalls mit Qualitätseinbußen in der Härte des Trinkwassers gerechnet werden.

Das wirtschaftliche und betriebstechnische Optimum liegt demnach bei ca. 70% Eigenwasserversorgung. Die Grundlast wird über die Eigenproduktion gedeckt, der Spitzenbedarf über den Fremdwasserbezug (S.h hierzu angehängtes Diagramm – Jahresverbrauch 2016). Die erforderlichen Mengen an enthärtetem Trinkwasser können durch Bruchsal voraussichtlich bereitgestellt werden.

Aufgestellt: Dipl.-Ing. (FH) Gerold Ebert / Maximilian Nonnenmacher B. Sc.
Karlsruhe, 08.01.2017

i.v. 

BIT Ingenieure AG
Am Storrenacker 1 b
76139 Karlsruhe

Tel.: +49 721 96232-10
Fax: +49 721 96232-55

karlsruhe@bit-ingenieure.de
www.bit-ingenieure.de

Jahresverbrauch 2016

