

---

# **Zentrale Enthärtung von Trinkwasser**

Eine ökologische und ökonomische Bewertung

## ***Zusammenfassung***

Thomas Hillenbrand

Eberhard Böhm

Christiane Kotz

Volker Schikorra

**Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und  
Innovationsforschung, Karlsruhe  
(Fraunhofer ISI)**

Sebastian Hesse

Günter Baldauf

**Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe  
(TZW)**

*unter Mitarbeit von:*

Joachim Schleich

**(Fraunhofer ISI)**

*Januar 2004*

---

## Zusammenfassung

Die Versorgung mit hartem Wasser, d. h. Wasser im Härtebereich 3 oder 4, kann für den Verbraucher deutliche Nachteile mit sich bringen: Kalkablagerungen verursachen einen erhöhten Reinigungsaufwand und einen höheren Energieaufwand für die Warmwasserbereitstellung. Hartes Wasser führt außerdem zu einem erhöhten Waschmittelverbrauch und kann bspw. zu einer verkürzten Lebensdauer von Sicherungsarmaturen in der Trinkwasserinstallation führen. Ökologisch relevant sind auch die bei hohen Wasserhärten teilweise erhöhten Schwermetall-Emissionen aus den Trinkwasserinstallationen (Kupfer, Zink). Eine Enthärtung des Trinkwassers ist allerdings aufwändig, unabhängig davon, ob diese Enthärtung zentral im Wasserwerk oder dezentral in den einzelnen Haushalten vorgenommen wird.

In der Vergangenheit wurden in Deutschland insbesondere dort zentrale Enthärtungsanlagen in Betrieb genommen, wo extrem hohe Wasserhärten vorlagen oder wo dies aus Sicht des Wasserversorgers aufgrund spezifischer Randbedingungen besonders notwendig war (z. B. bei der Mischung von Wässern mit unterschiedlichen Zusammensetzungen). In vielen anderen Gebieten ist jedoch weiterhin in der Bevölkerung ein starker Wunsch nach weicherem Wasser vorhanden, wie beispielhaft auch durch die Ergebnisse der im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Befragung bestätigt wurde. Zur Vermeidung der genannten Nachteile von hartem Wasser sind viele private Verbraucher bereit, die mit einer dezentralen Enthärtung verbundenen Kosten zu tragen. Der Markt für diese Enthärtungsanlagen ist entsprechend in den letzten Jahren deutlich gewachsen. **Ziel dieser Untersuchung** war es nun, die mit einer Enthärtung verbundenen ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile umfassend und systematisch zu untersuchen und zu bewerten. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, ob für private Haushalte eine zentrale Enthärtung von Trinkwasser mit vergleichsweise hoher Härte sinnvoll ist oder nicht.

Zur zentralen Enthärtung stehen verschiedene, großtechnisch erprobte Verfahren zur Verfügung. In die Untersuchung einbezogen wurde folgende Techniken:

- das Verfahren der Langsamentkarbonisierung (LEK),
- die Schnellentkarbonisierung (SEK), teilweise mit Kalziumhydroxid, teilweise mit Natronlauge als Fällmittel,
- das CARIX-Verfahren (CARIX) und
- das Nanofiltrationsverfahren (NF).

Die Beschreibung dieser Verfahren und ihrer spezifischen Vor- und Nachteile zeigen, dass bei einem konkreten Anwendungsfall die vorgegebenen Randbedingungen einen

erheblichen Einfluss auf die Verfahrenswahl besitzen. Untersucht wurde deshalb zum einen die Enthärtung von drei verschiedenen Rohwässern mit unterschiedlicher Härte unter ansonsten gleichen Randbedingungen, um dabei den Einfluss der Wasserzusammensetzung auf das Ergebnis mitbestimmen zu können. Zum anderen wurde exemplarisch ein konkreter Anwendungsfall mit seinen spezifischen Randbedingungen analysiert. Da in Regionen mit hartem Wasser in den Haushalten teilweise bereits dezentrale Anlagen zur Enthärtung vorhanden sind, wurde in die Untersuchungen zusätzlich ein Ionenaustauscher als Gerät zur dezentralen Enthärtung mit einbezogen.

### **Verbraucherbefragung**

Für den konkreten Anwendungsfall, die Gemeinde Eichstetten in der Nähe von Freiburg, wurde eine repräsentative Befragung der Verbraucher durchgeführt, die bei einer hohen Rücklaufquote von knapp 50 % den starken Wunsch nach weicherem Wasser (80 % der Befragten wünschten sich ein weicheres Wasser) in der Bevölkerung aufzeigte. Bereits 36 % der Haushalte besitzen hier festinstallierte Wasseraufbereitungsgeräte, die ganz überwiegend der Enthärtung des Trinkwassers dienen. Fast zwei Drittel der Befragten waren bereit, für die Bereitstellung eines weicheren Trinkwassers auch mehr zu bezahlen. Die Zahlungsbereitschaftsanalyse zeigt die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Zahlungsbereitschaft: die Bereitschaft wächst, je weniger die Befragten mit der Qualität des Trinkwassers zufrieden sind, je stärker sie das Leitungswasser zum Trinken verwenden, je größer der Wohlstand ist (gemessen am spezifischen Wohnraum) und je größer die grundsätzliche ökologische Orientierung des Haushalts ist.

### **Methodik**

Die ökologische Bewertung erfolgte in Anlehnung an die Ökobilanz-Methodik mit den Arbeitsschritten Zieldefinition und Systemgrenzen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Dazu wurde ein detailliertes Stoffflussmodell erarbeitet, das die Wasseraufbereitung und -verteilung, die relevanten Prozesse in den Haushalten, die Abwasserableitung und -reinigung sowie die entsprechenden vor- und nachgelagerten Prozesse umfasst<sup>1</sup>. Als funktionelle Einheit wurde die Trinkwassernutzung einer Person in einem Jahr betrachtet. Bilanziert wurden dabei die sich aus den unterschiedlichen Härtegehalten ergebenden Unterschiede zwischen dem Referenzfall „Keine Enthärtung“ und den verschiedenen technischen Varianten zur Enthärtung. Die für die Bilanzierung notwendigen Daten stammen aus der Literatur, aus Expertengesprächen sowie Abstimmungen mit verschiedenen Anlagenherstellern, aus eigenen Erhebungen

---

<sup>1</sup> Eingesetzt wurde dazu die Stofffluss- und Ökobilanzsoftware UMBERTO, Version 4.1.

und Berechnungen sowie zusätzlich aus Standardmodulen von UMBERTO. Als ökologische Wirkungskategorien wurde der Treibhauseffekt, das Versauerungspotenzial, das Eutrophierungspotenzial und die Photooxidantienbildung einbezogen. Für die Kategorie Ökotoxizität bzw. Emissionen Wasser wurden die relevanten Einzelindikatoren Kupfer- und LAS-Emissionen in die Gewässer (LAS: lineare Alkylsulfonate, beispielhaft für ökotoxikologisch relevante Waschmittelinhaltsstoffe), für die Kategorie Lärm die Transportleistung ausgewählt. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung wurden zur Auswertung auf die Durchschnittsbelastung eines Bundesbürgers normiert. Außerdem wurden bei der Auswertung die Bewertungen des Umweltbundesamtes aus der UBA-Bewertungsmethode für Ökobilanzen für die Wirkungskategorien mit berücksichtigt.

Für die ökonomische Bewertung wurden zum einen verfügbare Daten zu den Kosten der verschiedenen Enthärtungsverfahren ausgewertet. Diesen Kosten wurden die Einsparungen in den Haushalten, die sich durch eine Enthärtung ergeben, gegenübergestellt. Grundlage dafür waren die Ergebnisse der Stoffflussanalysen (z. B. Wasch-, Reinigungsmittel- und Energieverbrauch). Mögliche Einsparungen in Gewerbe und Kleinindustrie konnten im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden, da dazu eine detaillierte Analyse der Verwendungen in diesem Bereich notwendig wäre.

### **Verfahrenstechnische Bewertung**

Die Ergebnisse der Untersuchungen für die unterschiedlichen Wässer zeigen, dass unter technischen Gesichtspunkten mit den betrachteten Enthärtungsverfahren auch bei karbonatärmeren Wässern mit Ausnahme des Fällungsverfahrens mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Dosierung die Härteverminderung auf 10 °dH anzustreben ist. Die Abwassermenge und entsprechend der zusätzliche Rohwasserbedarf liegen bezogen auf die abgegebene Trinkwassermenge bei ca. 3 bis 15 %. Die Verfahren arbeiten im betrachteten Fall bezogen auf die zu enthärtende Teilstrommenge mit einer Ausbeute zwischen 55 % (Nanofiltration) und 100 % (CARIX-Verfahren). Bei den Entsalzungsverfahren fällt als Abwasser jeweils ein Konzentrat an, in dem die aus dem Wasser entzogenen Salze enthalten sind. Beim Einsatz der Nanofiltration können darüber hinaus auch Antiscalantmittel enthalten sein. Die Möglichkeit einer direkten Ableitung des Konzentrats in ein Gewässer ist jeweils für den Einzelfall zu prüfen. Vor einer großtechnischen Realisierung sind sinnvollerweise halbtechnische Versuche durchzuführen, um die optimalen Betriebsbedingungen festlegen und das korrosionschemische Verhalten des enthärteten Trinkwassers im Hinblick auf die Minimierung von Korrosionsproblemen bewerten zu können.

## Ökologische Bewertung

Aus ökologischer Sicht resultieren die wesentlichen Veränderungen durch eine **zentrale Enthärtung** bei den Einzelindikatoren zur Wirkungskategorie „Ökotoxizität“: Die Kupferemissionen in die Gewässer können unter den untersuchten Randbedingungen um 20 bis 25 %, die LAS-Emissionen um ca. 14 %, jeweils bezogen auf die durchschnittlichen Gesamtemissionen unterschiedlichster Quellen pro Einwohner, verringert werden. Für Kupfer bedeutet dies in den Haushalten eine Reduktion der rohrleitungsbedingten Kupfer-Emissionen um etwa 80 %. Dagegen sind die Veränderungen, die sich bei den anderen Wirkungskategorien ergeben, sehr gering: Hier liegen die Änderungen bei maximal 1,2 %-Punkten. Für das im Rahmen der UBA-Bewertungsmethode als wichtigste Kategorie bewertete Treibhauspotenzial ergeben sich durch eine zentrale Enthärtung fast keine Unterschiede, obwohl dieses Potenzial überwiegend durch den Energieverbrauch bestimmt wird und die Enthärtungsverfahren in den meisten Fällen einen geringeren Gesamtenergieverbrauch aufweisen. Entscheidend ist hier die Verschiebung der Energiebedarfsstellen: Im Referenzfall wird die Energie überwiegend für die härtebedingten Verluste bei der Warmwasserbereitstellung sowie den Zusatzbedarf an Wasch- und Reinigungsmittel benötigt, bei den Enthärtungsverfahren liegt der Bedarf im Wasserwerk<sup>2</sup>. Da sich die Energieträgerstruktur der an diesen Stellen verbrauchten Energie deutlich unterscheidet (Warmwasserbereitung: hoher Gasanteil, geringer Kohleanteil; dagegen für die Stromerzeugung deutlich höherer Kohleanteil), sind die Auswirkungen auf das Treibhauspotenzial beim Stromverbrauch im Wasserwerk stärker. D. h. auch, dass durch die Energieträgerstruktur des im Wasserwerk benötigten Stroms die Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt entscheidend beeinflusst werden können.

Da die Unterschiede für diese Kategorie zwischen den einzelnen Varianten so gering sind, hat auch der spezifische Strombedarf der verschiedenen Verfahren, die Höhe der Einsparungen in den Haushalten, die u. a. von der Art der Warmwasserbereitung abhängt, sowie das Verbraucherverhalten bzgl. der Wasch- und Reinigungsmittelverwendung großen Einfluss auf die Ergebnisse für diese Kategorie. Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass sich die Vorteilhaftigkeit des Referenzfalls unter für die Enthärtungsverfahren günstigen Randbedingungen umkehrt.

---

<sup>2</sup> Der spezifische Energieverbrauch für die Wasseraufbereitung und -verteilung kann durch eine Enthärtungsanlage deutlich erhöht werden. Die Einsparungen im Haushalt und bei den Wasch- und Reinigungsmitteln gleichen dies jedoch wieder aus.

Für die anderen Wirkungskategorien (Versauerungspotenzial, Eutrophierungspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial) ergeben sich durch eine Enthärtung ebenfalls nur geringfügige Veränderungen.

Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Ergebnisse der ökologischen Bewertung sind:

- Energieverbrauch und Energieträgerstruktur für die Enthärtungsverfahren,
- die in den Haushalten zu erzielenden Energieeinsparungen (abhängig u. a. von der Art der Warmwasserbereitung),
- das Verbraucherverhalten bzgl. Wasch- und Reinigungsmitteln,
- die Kupferkorrosionsrate und der Anteil der Trinkwasserleitungen aus Kupfer in den Haushalten sowie
- die Entsorgungsmöglichkeiten für die anfallenden Reststoffe im Wasserwerk (LEK, SEK).

Zusammenfassend gilt, dass die zentrale Enthärtung bei Trinkwasser im Härtebereich 3 und 4 bzgl. der Kupfer-Emissionen und des Einsatzes von Wasch- und Reinigungsmitteln und der damit verbundenen Emissionen eindeutige ökologische Vorteile bietet, während in den anderen ökologischen Wirkkategorien die Unterschiede sehr gering sind. Zwischen den verschiedenen zentralen Enthärtungsverfahren sind die Unterschiede geringfügig, nur die Schnellentkarbonisierung mit Natronlauge und die Nanofiltration schneiden bei einigen Kategorien etwas ungünstiger ab. Für die endgültige Verfahrensauswahl sind jedoch letztlich die lokalen Randbedingungen entscheidend.

Die Ergebnisse für das einbezogene **dezentrale Enthärtungsverfahren** (Ionenaustauscher) zeigen, dass bzgl. der LAS-Emissionen die gleichen Verbesserungen erreicht werden wie bei den zentralen Verfahren. Bei den Kupfer-Emissionen hängt es dagegen davon ab, ob zusätzlich eine pH-Wert-Anhebung bzw. Chemikaliendosierung mit vorgesehen ist, um die Korrosionseigenschaften des Wassers zu verbessern. Bei den anderen Wirkungskategorien schneidet das dezentrale Enthärtungsverfahren jeweils etwas ungünstiger ab als die zentralen Techniken, selbst dann, wenn der für den Bau der Anlage erforderliche Aufwand nicht eingerechnet wird. Ursache ist der für das Verfahren notwendige Energiebedarf als auch die für die Regeneration benötigte Salzmenge. Diese Ergebnisse gelten allerdings nur für das hier betrachtete Verfahren. Außerdem wurde davon ausgegangen, dass der komplette Wasserbedarf enthärtet

wird. Mögliche Vorteile eines dezentralen Konzeptes<sup>3</sup> oder die Anwendung dezentraler Verfahren im Rahmen neuer, übergreifender Organisationskonzepte wurden nicht näher untersucht.

### Ökonomische Bewertung

Die Kosten für die einzelnen Verfahren wurden in Abhängigkeit von der Anlagengröße ermittelt. Die Kosten für den verfahrenstechnischen Teil liegen in einer Größenordnung von 0,1 bis 0,5 €/m<sup>3</sup> Trinkwasser, sofern die Konzentrate in den Vorfluter entsorgt werden können (Tabelle 1).

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Kosten und des Einsparpotenzials für einen Durchschnittshaushalt durch Verminderung der Härte im Trinkwasser von Härtegrad 3 bzw. 4 auf Härtegrad 2

Angaben in €/m <sup>3</sup>	zentrale Enthärtung
Kosten Verfahrenstechnik	0,10 – 0,5 <sup>4</sup>
Kostensparnis im Haushalt	0,5 – 0,6
Kostensparnis bei Stilllegung einer dezentralen Enthärtung (Ionenaustauscher)	0,6 – 0,9

Die Investitions- und Betriebskosten führen naturgemäß zu einer Erhöhung des Wasserpreises. Dieser Kostenerhöhung stehen für den Verbraucher Einsparpotenziale im Haushalt gegenüber, die in dieser Studie soweit kostenmäßig erfassbar ebenfalls ermittelt und bilanziert wurden. Für einen Durchschnittshaushalt mit angepasstem Verbraucherverhalten resultieren bei einem zugrunde gelegten Trinkwasserbedarf von 50 m<sup>3</sup>/a pro Person Einsparungen in der Höhe von etwa 0,5 bis 0,6 €/m<sup>3</sup> (Tabelle 10-1). Sofern von Seiten des Verbrauchers eine dezentrale Enthärtung durchgeführt wird, ergibt sich bei Stilllegung einer dezentralen Enthärtungsanlage durch den Wegfall der Betriebskosten ein Einsparpotential von 0,6 und 0,9 €/m<sup>3</sup>.

Der Vergleich des Kostenaufwands für eine zentrale Enthärtung mit den Kosteneinsparungen im Haushalt macht deutlich, dass eine zentrale Enthärtung für den Verbraucher

<sup>3</sup> Zu nennen sind hier z. B. höhere Flexibilität und gezielter Einsatz nur für die Verbrauchsstellen, an denen durch weiches Wasser Vorteile entstehen.

<sup>4</sup> ohne Kosten für Gebäude, Abwasserentsorgung, Pilotierung und Planung



abhängig vom Verbrauchsverhalten nicht mit Mehrkosten, sondern eher mit Einsparungen verbunden ist.

### **Übertragung auf einen konkreten Anwendungsfall**

Die Anwendung der Erkenntnisse auf die Gemeinde Eichstetten zeigt, dass die lokalen Randbedingungen die zur Verfügung stehenden zentralen Enthärtungsverfahren begrenzen (Platzbedingungen etc.) und andererseits auch zusätzliche Alternativen ermöglichen können (Nutzung alternativer Rohwässer, ggf. Vermischen mit weicheren Wässern). Die im ersten Teil der Untersuchungen erhaltenen Ergebnisse der ökologischen Bewertung werden durch die Untersuchungen bestätigt. Ausnahme ist der durch die Nitratbelastung im Rohwasser ausgelöste Effekt, dass bei Nutzung dieses Wassers die Nitratbelastung der Gewässer aufgrund der Reinigungsleistung der kommunalen Kläranlage verringert und damit das Eutrophierungspotenzial reduziert wird. Allerdings ist auch dieser Effekt, normiert auf die pro Einwohner verursachten Emissionen, im Vergleich zu den möglichen Verbesserungen bei den ökotoxikologisch relevanten Einzelindikatoren von wesentlich geringerer Bedeutung.

### **Nicht berücksichtigte Faktoren**

Verschiedene **Zusatzeffekte**, die sich durch eine zentrale Enthärtung ergeben, wurden in die Bewertung im Rahmen dieser Untersuchung nicht einbezogen:

- Auswirkungen bei Industrie, Kraftwerken und Gewerbe, die über die öffentliche Wasserversorgung versorgt werden.
- Der Komfortgewinn für die Verbraucher, der aus dem geringeren Reinigungsaufwand bei weicherem Wasser resultiert.
- Geringere Belastungen 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 (z. B. Kaffeemaschinen, Wasserkocher, etc.). Damit sind ebenfalls ökologische (geringerer Ressourcenverbrauch) wie ökonomische Vorteile verbunden.
- Ggf. eine zusätzliche Reinigung des Rohwassers bei der zentralen Enthärtung (z. B. Entfernung geogen bedingter Schwermetalle oder gelöster organischer Substanzen).

Die Grundaussagen zur ökologischen und ökonomischen Bewertung erscheinen sehr stabil. Es ist jedoch zu beachten, dass die Ergebnisse für einen Durchschnittshaushalt bzw. für die im Rahmen der Sensitivitätsanalyse untersuchten Haushaltstypen gelten. Deutlich andere Verhaltensweisen bzw. Ausstattungsmerkmale können die Ergebnisse

beeinflussen. Durch detailliertere Untersuchungen bspw. im Rahmen eines Demonstrationsvorhabens könnten die wichtigsten Ausgangsparameter und Einflussgrößen (Kupferkorrosionsrate bzw. -emission, Energieverbrauch in den Haushalten) abgesichert und zusätzliche Erkenntnisse erarbeitet werden (z. B. Zinkkorrosion, Reparaturbedarf bei Warmwassererzeugern, Nutzungsdauer von Haushaltsgeräten).

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Ergebnisse der Bewertung der zentralen Enthärtungsverfahren nochmals zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenfassende Darstellung der Bewertungsergebnisse für die untersuchten zentralen Enthärtungsverfahren in Bezug zur Ausgangssituation (Versorgung mit Trinkwasser im Härtebereich 3 bzw. 4)

	Zentrale Enthärtung	Anmerkungen
<b>Ökologische Kriterien</b>		
- Gesamtenergiebedarf	- deutliche Erhöhung des Energiebedarfs im Bereich Wasserversorgung; durch Einsparungen im Haushalt (Warmwassererzeugung, Waschmittelverbrauch) wird Mehrverbrauch weitgehend ausgeglichen bzw. es ergeben sich insgesamt Energieeinsparungen	- Energieverbrauch der Fällungsverfahren liegt unter dem Bedarf des CARIX-Verfahrens und der Nanofiltration, die den höchsten Energiebedarf aufweist
- Rohwasserbedarf	- Wasserbedarf steigt bei den Verfahren CARIX und Nanofiltration je nach Rohwasserzusammensetzung um 10 bis über 15 % an	
<b>Wirkungskategorien<sup>5, 6</sup>:</b> - Treibhauseffekt	- durch zentrale Enthärtung annähernd konstante Werte bzw. bei Wasser mit Härtebereich 3 geringfügige Verschlechterungen um maximal 0,1 %	- starker Einfluss der Randbedingungen: Energieträgerstruktur des Wasserwerks, Verbraucherverhalten, Art der Warmwasserbereitung in den Haushalten
- Versauerungspotenzial	- annähernd konstante Werte	- SEK (NaOH): geringfügige Verschlechterungen von unter 0,1 %-Punkte
- Eutrophierungspotenzial	- leichte Verbesserungen um etwa 0,05 %-Punkte	- SEK (NaOH): geringfügige Verschlechterungen von unter 0,1 %-Punkte
- Photooxidantienbildung	- geringe Verbesserungen um etwa 0,1 %-Punkte	- SEK (NaOH): um etwa 0,5 %-Punkte ungünstigere Werte
- Ökotoxizität (Einzelindikatoren Kupfer-/LAS-Emissionen)	- erhebliche Verringerung der Emissionen in die Gewässer bei Kupfer (um ca. 20-25 %) und LAS (um ca. 14 %)	- wichtige Randbedingungen: Kupferkorrosionsrate, Anteil der Trinkwasserleitungen aus Kupfer in den Haushalten, Verbraucherverhalten bzgl. Wasch-/Reinigungsmitteln
- Lärm (Einzelindikator Transportleistung)	- um maximal 1,2 % ungünstigere Werte (durch Transport der Rest- bzw. Betriebsstoffe)	- keine Verschlechterung bei der Nanofiltration

<sup>5</sup> Nach der UBA-Bewertungsmethode ist die Wirkungskategorie Treibhauseffekt bzgl. der Kriterien: „ökologische Gefährdung“ und „Abstand zum Umweltziel“ am höchsten eingestuft. Es folgen die Versauerung und die Eutrophierung, danach die Photooxidantienbildung. Für die Kategorien Ökotoxizität und Lärm liegt keine Bewertung vor, da hier noch keine anerkannten Methoden zur Wirkungsaggregation zur Verfügung stehen.

<sup>6</sup> Prozentangaben jeweils bezogen auf die durchschnittliche Gesamtbelastung pro Einwohner.

Fortsetzung Tabelle 2:

<b>Ökonomische Kriterien</b>		
- Kosten der zentralen Enthärtung	- zusätzliche Kosten einer zentralen Enthärtung: ca. 0,1 – 0,5 €/m <sup>3</sup> (ohne ggf. notwendige Kosten für Gebäude)	- bei CARIX und NF ggf. zusätzliche Kosten für die Abwasserentsorgung
- Kosteneinsparungen im Haushalt	- Kostenersparnis im Haushalt: ca. 0,5 – 0,6 €/m <sup>3</sup>	- abhängig u. a. vom Verbraucherverhalten (Wasch-, Reinigungsmittelverbrauch), Art der Warmwasserbereitung
<b>Betriebliche/ organisatorische Aspekte</b>		
- Personalbedarf Wasserwerk	- erhöhter Personalbedarf bei den Fällungsverfahren, weitgehende Automatisierung möglich bei CARIX und NF	
- Anfall von Reststoffen/Abwasser	- bei CARIX und NF fällt als Abwasser ein Konzentrat an mit den dem Wasser entzogenen Salzen; Abwasser kann ggf. direkt in ein Gewässer eingeleitet werden - bei LEK und SEK fällt ein zu entsorgender Schlamm an, für den sehr unterschiedliche Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten bestehen	- Entsorgung bzw. Verwertung von Abwasser und Reststoffen ist einzelfallspezifisch zu prüfen - bei NF können ggf. auch Antiscalantmittel im Abwasser enthalten sein
- Platzbedarf Wasserwerk	- zusätzlicher Platzbedarf insbesondere bei LEK, SEK und CARIX	- kompakte Bauweise bei NF möglich
<b>zusätzliche, nicht einbezogene Effekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfluss auf industrielle Wasserverbraucher</li> <li>- ggf. Einfluss auf die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung durch die Reduzierung der Schwermetallbelastung</li> <li>- erhöhte Natrium-Einträge bei dezentralen Ionenaustauschern bzw. bei Fällungsverfahren mit NaOH</li> <li>- Verkeimungsgefahr bei dezentralen Anlagen</li> <li>- Komfortgewinne für die Verbraucher durch weiches Wasser</li> <li>- ggf. Verlängerung der Nutzungsdauer von Haushaltsgeräten (z. B. Kaffeemaschinen, Wasserkocher, etc.)</li> <li>- ggf. zusätzliche Reinigung des Rohwassers bei der zentralen Enthärtung</li> </ul>	

---