



Zentrale Enthärtung von Trinkwasser

Eine Information des Arbeitskreises „Zentrale Enthärtung“ im DVGW-Fachausschuß „Physikalisch-chemische Wasseraufbereitung“

Im Jahr 1983 haben DVGW und LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) zur Frage der zentralen Enthärtung von Trinkwasser Stellung genommen (Wasser-Information Nr. 4). Die Grundaussagen dieser „Erklärung“ sind auch heute noch gültig. Es sind jedoch seitdem Erkenntnisse und Erfahrungen mit Planung und Betrieb von Enthärtungsanlagen im Bereich der öffentlichen Versorgung gewonnen worden, die den DVGW-Arbeitskreis „Zentrale Enthärtung“ veranlaßt haben, auf der Basis der DVGW/LAWA-Erklärung eine neue Information zu erarbeiten. Es kommt hinzu, daß bei der heutigen Diskussion um das Für und Wider einer zentralen Enthärtung einige Gesichtspunkte berücksichtigt werden müssen, die beim Erscheinen der DVGW/LAWA-Erklärung kaum eine Rolle spielten. Außerdem wurde vielfach der Wunsch nach technischen Hinweisen zur Auswahl von Enthärtungsverfahren geäußert.

Die vorliegende Wasser-Information Nr. 29 soll den Versorgungsunternehmen Entscheidungshilfen geben, wann, in welchem Ausmaß und mit welchen Verfahren eine zentrale Enthärtung von Trinkwasser infrage kommen kann. Sie ersetzt allerdings nicht die Prüfung des Einzelfalles.

1. Herkunft und Bedeutung der Härte im Trinkwasser

Als Härte eines Trinkwassers wird sein Gehalt an Calcium- und Magnesiumionen bezeichnet. Deren (teilweise) Entfernung bezeichnet man als (Teil-)Enthärtung, wobei in der Regel nur die Entfernung von Calcium angestrebt wird.

Die Härtebildner gelangen durch die Auflösung von Calcium- und Magnesiummineralien (vor allem Calcit und Dolomit) in das Wasser. Das recht geringe Lösungsvermögen von chemisch reinem Wasser wird durch Säuren erhöht. Die im natürlichen System wichtigste Säure ist die Kohlensäure, die aus der freien Atmosphäre und vor allem aus der Bodenluft stammt. Mineralsäuren gelangen dagegen vorwiegend aus menschlichen Aktivitäten in das Regenwasser. Sie stammen zum Großteil aus Verbrennungsprozessen. Auch Emissionen aus der Massentierhaltung spielen eine wesentliche Rolle. Die Nitratbelastung durch die Landwirtschaft kann unter bestimmten Umständen ebenfalls einen Säureeintrag in das Grundwasser bewirken.

Der Säuregehalt eines Wassers und der Gehalt an calcium- und magnesiumhaltigen Mineralien im Boden bestimmen

zusammen mit der Verweilzeit des Wassers im Untergrund die Wasserhärte. Da der anthropogene Säureeintrag in den letzten Jahrzehnten drastisch zugenommen hat und eine Trendwende nicht in Sicht ist, muß auch mit tendenziell steigenden Härten in vielen Grundwässern gerechnet werden.

Die Qualität des Lebensmittels Trinkwasser muß den gesetzlichen Bestimmungen entsprechen (Trinkwasserverordnung) und soll den Anforderungen der anerkannten Regeln der Technik genügen (DIN-Normen, insbesondere DIN 2000, und DVGW-Regelwerk). Die Trinkwasserverordnung begrenzt den Gehalt an Calcium auf 400 mg/l (56 °d) und den Gehalt an Magnesium auf 50 mg/l (11,5 °d). In seiner Eigenschaft als Lebensmittel bedarf Trinkwasser somit keiner Enthärtung. Zum unmittelbaren Genuß ist härteres Trinkwasser erwünscht, da es zur Versorgung des Organismus mit Mineralstoffen beiträgt.

Aufgrund der fortgeschrittenen Technisierung der Haushalte wird ein beträchtlicher Teil des Trinkwassers für Zwecke genutzt, bei denen sich seine Härte als Nachteil erweist. Ein Teil der Härte, nämlich das enthaltene Calcium, führt zusammen mit Hydrogencarbonat beim Erwärmen des Wassers zu unerwünschten Abscheidungen, insbesondere in Warmwasserbereitern („Kalkstein“, „Kesselstein“). Jedoch können diese Schwierigkeiten meist schon beherrscht werden, wenn die Temperatur des Warmwassers begrenzt wird. Aus seuchenhygienischen Gründen sollten 60 °C aber nicht unterschritten werden.

Eine hohe Wasserhärte führt zu einem erhöhten Verbrauch an Waschmitteln und Seife sowie Salz bei der Regenerierung von Ionenaustauschern, z. B. in Spülmaschinen. Dies hat eine mit steigender Wasserhärte zunehmende Belastung des Abwassers mit diesen Stoffen zur Folge.

Um den Übergang von unerwünschten Stoffen aus Rohrleitungen in das Trinkwasser weitgehend zu verhindern, sind innerhalb bestimmter Grenzen möglichst hohe pH-Werte erwünscht. Die Möglichkeiten zur pH-Wert-Anhebung sind in der Regel bei harten Wässern wesentlich eingeschränkter als bei weichen Wässern.

Aus diesen Gründen wird von den Verbrauchern vermehrt weiches Wasser gefordert. Durch überzogene Werbung wird diese Forderung häufig noch forciert. Dieser Verbrau-



cherwunsch wird dringender, wenn im gleichen Versorgungsgebiet neben einem härteren Wasser auch ein weiches verteilt wird.

Oft werden Enthärtungsanlagen oder Einrichtungen zur Härtestabilisierung in privaten Haushalten oder öffentlichen Einrichtungen installiert. Solche Anlagen sind in Kosten und Betrieb aufwendig. Häufig unterbleibt auch eine einwandfreie Wartung. Haushaltsanlagen führen zu schwer kontrollierbaren Abwasserbelastungen und können zu Korrosionsproblemen und – bei ungenügender Wartung – auch zu hygienischen Problemen führen.

Aus den vorgenannten und auch aus ökonomischen Gründen ist eine zentrale, im Wasserwerk vorgenommene Enthärtung erwägenswert. Außerdem kann eine zentrale Enthärtung auch bei der Verteilung unterschiedlich harter Wässer im gleichen Versorgungsnetz als eine der Möglichkeiten zur Angleichung der Wässer im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes W 216 zweckmäßig sein.

2. Kriterien für eine zentrale Enthärtung

Generell sollte man die Frage einer zentralen Enthärtung dann prüfen, wenn das Wasser dem Härtebereich 4 nach Waschmittelgesetz zuzuordnen ist, das heißt, wenn die Gesamthärte $3,8 \text{ mol/m}^3$ (entsprechend etwa 21°d) übersteigt.

Dies schließt jedoch nicht aus, daß größere Wasserversorgungsunternehmen die Frage der zentralen Enthärtung auch schon bei etwas geringeren Härten, etwa von 3 mol/m^3 (entsprechend 17°d), prüfen. Dies gilt insbesondere dann, wenn kein größerer zusätzlicher Aufwand erforderlich ist, das Wasser also ohnehin aufbereitet wird und entsprechende Anlagen sowie qualifiziertes Betriebspersonal vorhanden sind.

Von diesen Kriterien muß u. U. dort abgewichen werden, wo durch das Zusammentreffen sehr unterschiedlicher Wässer Probleme in einem Versorgungsgebiet auftreten, die auf andere Weise als durch Härteangleichung (z. B. durch Zonentrennung) nicht oder nur schwer zu beherrschen sind.

Eine untere Schwelle für den Einsatz einer Trinkwasserenthärtungsanlage ist durch den in der Trinkwasserverordnung festgelegten Mindestgehalt an Erdalkalien (Gesamthärte) im aufbereiteten Wasser von $1,5 \text{ mol/m}^3$ (entsprechend $8,4^\circ\text{d}$) gegeben. Ferner darf eine Säurekapazität ($K_s 4,3$) von $1,5 \text{ mol/m}^3$ nicht unterschritten werden.

Der technische Aufwand für eine zentrale Enthärtung ist im allgemeinen nur gerechtfertigt, wenn der Calciumgehalt dadurch deutlich, das heißt mindestens um etwa 1 mol/m^3 ($5,6^\circ\text{d}$), verringert wird.

Anders verhält es sich, wenn ohnehin eine Aufbereitungsanlage betrieben wird, bei der auch eine geringere Verminderung des Calciumgehaltes keinen unverhältnismäßig hohen technischen Aufwand erfordert. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn eine Flockung vorgenommen wird. Hier könnte allein durch eine zusätzliche Zugabe von Calciumhydroxid oder Natronlauge eine Teilenthärtung bewirkt werden. Dann entstehen nur weitere Kosten für Chemikalien und die Entsorgung der erhöhten Schlamm-Mengen. In diesem Fall kann auch schon eine geringe Verminderung des Calciumgehaltes, beispielsweise um $0,5 \text{ mol/m}^3$, sinnvoll sein.

3. Vor- und Nachteile der zentralen Enthärtung

Bei einer Diskussion um die zentrale Enthärtung sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen und zu bewerten:

- Kalkablagerungen in Warmwassergeräten und -leitungen werden bei enthärtetem Wasser vermieden oder verringert, soweit dies nicht bereits durch andere Maßnahmen, wie durch energiesparende Begrenzung der Warmwassertemperatur, erreicht wird.
- Der pH-Wert des Wassers kann bei oder nach einer Enthärtung weiter angehoben werden, wodurch sich der Übergang unerwünschter Stoffe aus Rohrleitungsmaterialien in das Trinkwasser verringert.
- Die Härten verschiedener Wässer im Versorgungsgebiet können bei zentraler Enthärtung einander angeglichen werden.
- Eine zentrale Enthärtung ist umweltfreundlicher als die dezentrale Enthärtung oder Härtestabilisierung. Außerdem werden die hygienischen Risiken von ungenügend gewarteten dezentralen Einrichtungen vermieden.
- Die zentrale Enthärtung ist kostengünstiger als die dezentrale Enthärtung. Dies gilt sowohl für den einzelnen Haushalt als auch aus volkswirtschaftlicher Sicht.
- Der Aufwand für die technischen Einrichtungen und für den Betrieb der Anlagen zur zentralen Enthärtung ist im Vergleich zu gängigen Prozessen der Grundwasseraufbereitung höher.
- Qualifiziertes Bedienungspersonal muß vorhanden sein; die Anlagen zur zentralen Enthärtung müssen regelmäßig inspiziert und gewartet werden.
- Das gesamte Trinkwasser, nicht nur der für spezielle Zwecke benötigte Anteil, wird enthärtet.
- Das Trinkwasser wird teurer. Allerdings stehen dieser Verteuerung Ersparnisse an Energie im Haushalt und – wenn die Wasserhärte von höheren in niedrigere Härtebereiche nach dem Waschmittelgesetz vermindert wird – an Waschmitteln gegenüber, so daß sich in der Bilanz eine finanzielle Entlastung des Verbrauchers ergeben kann.
- Die Lebensdauer von Geräten und Armaturen im Warmwasserbereich kann sich erhöhen; die Warmwasserbereiter müssen nicht so oft entkalkt werden.
- Durch eine Enthärtung verringert sich der Eintrag von Salzen, Phosphaten, Detergentien und anderen Inhaltsstoffen von Wasch- und Reinigungsmitteln sowie von Schwermetallen aus Rohrleitungsmaterialien in das Abwasser. Auch kann Energie bei der Warmwasserbereitung eingespart werden. Andererseits fallen bei der zentralen Enthärtung feste Rückstände und Abwässer an, die entsorgt werden müssen. Insgesamt gesehen, wird jedoch durch eine zentrale Enthärtung die Umwelt entlastet.

4. Auswahlkriterien für Enthärtungsverfahren

Für die zentrale Enthärtung gibt es mehrere Verfahren:

- Fällungsverfahren
- Ionenaustauschverfahren
- Membranverfahren.

Bei der Fällungsenthärtung wird durch Zugabe von alkalischen Stoffen (Langsam- und Schnellentcarbonisierung) oder durch Ausgasen von Kohlenstoffdioxid (Physikalische Enthärtung) das Calcium in Form von festem Calciumcarbonat aus dem Wasser entfernt. Wegen fehlender Erfahrungen wird auf die physikalische Enthärtung im folgenden nicht näher eingegangen.

Bei der Enthärtung mit Hilfe von stark sauren Kationenaustauschern erfolgt ein Austausch der Calciumionen gegen Wasserstoffionen. Ein prinzipiell möglicher Austausch der Calciumionen gegen Natriumionen ist laut Trinkwasserverordnung im Bereich der öffentlichen Versorgung nicht zulässig. Beim Einsatz von Mischbetaustauschern werden neben dem Austausch von Calcium- gegen Wasserstoffionen Anionen aus dem Wasser entfernt und gegen Hydrogencarbonat ausgetauscht.

Zu den Membranverfahren zählen Umkehrosmose und Elektrodialyse. Bei diesen Verfahren werden die im Zulaufwasser gelösten Salze mit Hilfe von Membranen weitgehend zurückgehalten und angereichert. Es stehen neuerdings für die Umkehrosmose Membranen zur Verfügung, die eine bevorzugte Entfernung zweiwertiger Ionen wie Calcium zulassen (sogenannte Nanofiltrationsmembranen).

Die Auswahl des geeignetsten Enthärtungsverfahrens ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Vor allem sind zu beachten: Rohwasserqualität, angestrebtes Aufbereitungsziel, Wasserdurchsatz, Personalausstattung, Entsorgungsmöglichkeiten. Es können deshalb keine generellen Regeln für die Auswahl des geeignetsten Enthärtungsverfahrens angegeben werden; eine detaillierte Prüfung des Einzelfalles ist immer erforderlich. Für erste Überlegungen können jedoch die folgenden Hinweise hilfreich sein:

Bei allen Verfahren zur zentralen Enthärtung treten neben dem gewünschten Haupteffekt, dem Entzug von Calcium, noch andere Wirkungen auf, die im Einzelfall erwünscht oder auch unerwünscht sein können. Die wichtigsten Nebeneffekte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie sind bereits bei der Vorauswahl der grundsätzlich infrage kommenden Enthärtungsvarianten zu berücksichtigen.

Alle Verfahren besitzen Grenzen hinsichtlich der Zusammensetzung des zu enthärtenden Wassers. Bereits für Vorüberlegungen muß deshalb eine Wasseranalyse vorliegen, die mindestens die folgenden Parameter umfaßt: Calcium, Magnesium, Säurekapazität bis pH 4,3, Basekapazität bis pH 8,2, Trübung, Phosphat, Sulfat, Chlorid, Nitrat, Natrium, DOC, Eisen, Mangan. Je nach Verfahren kann eine Erweiterung des Analysenumfanges erforderlich werden.

Fällungsverfahren kommen dann in Betracht, wenn die Konzentration an Stoffen, die die Kristallisation von Calciumcarbonat hemmen, nicht zu hoch ist. Solche Kristallisationsinhibitoren sind insbesondere Phosphate, Sulfat und Huminstoffe, aber auch Magnesium. Diese Störstoffe können sich gegenseitig beeinflussen, so daß ihre Auswirkungen nicht voraussagbar sind und daher durch Versuch ermittelt werden müssen. Der Einfluß der Störstoffe ist bei der Schnellentcarbonisierung größer als bei der Langsamentcarbonisierung. Der Einsatz von Fällungsverfahren ist im allgemeinen nur für Wasser sinnvoll, bei denen die Carbonathärte der Gesamthärte nahekommt. Außerdem ist zu beachten, daß sich bei diesen Verfahren

die Pufferung des Wassers verringert. Dagegen wird der Neutralsalzgehalt nicht beeinflusst. Die korrosionschemischen Wassereigenschaften können sich dadurch verschlechtern. Gegebenenfalls sind gesonderte Maßnahmen erforderlich.

Für Ionenaustauschverfahren und für Membranverfahren ist die Trübstofffreiheit des zu enthärtenden Wassers wesentlich. Das Wasser darf keine Stoffe enthalten, die zur Belagbildung auf dem Ionenaustauscherharz oder den Membranen führen. Hier ist insbesondere auf Eisen, Mangan, Aluminium und Huminstoffe zu achten. Bei Membrananlagen spielen noch andere Stoffe, z. B. Barium, eine Rolle.

Wenn das Wasser diesen verfahrenstypischen Anforderungen nicht entspricht, muß ggf. eine Voraufbereitung zur Entfernung störender Stoffe erfolgen.

Bei allen Verfahren ist eine Nachbehandlung des enthärteten Wassers erforderlich. Diese besteht bei den Fällungsverfahren in einer Filtration ggf. gekoppelt mit einer Flockung. Da das Wasser in der Regel überalkalisiert ist, muß es noch durch Säurezusatz oder Zumischen von Rohwasser stabilisiert werden. Sowohl bei den Ionenaustauschverfahren als auch bei den Membranverfahren ist das enthärtete Wasser mit Kohlenstoffdioxid übersättigt. Das überschüssige Kohlenstoffdioxid muß daher durch geeignete Maßnahmen, z. B. physikalische Entsäuerung, entfernt werden.

Bei allen Enthärtungsverfahren werden in der Regel Zusatzstoffe benötigt. Fällungsverfahren arbeiten entweder mit Calciumhydroxid in Form von Kalkwasser oder Kalkmilch oder es wird Natronlauge zugesetzt. Kalkwasser muß in Sättigern hergestellt werden. Kalkmilch wird ebenfalls im Wasserwerk hergestellt, kann jedoch auch als Suspension im Handel bezogen werden. Die Verwendung von Natronlauge oder stabilisierter Kalkmilch ist verfahrenstechnisch am einfachsten. Bei Enthärtung mit Natronlauge ist die anfallende Feststoffmenge nur halb so groß wie bei Einsatz von Calciumhydroxid.

Die einsetzbaren Chemikalien beeinflussen das Pufferungsvermögen, das die korrosionschemischen Wassereigenschaften mit bestimmt, unterschiedlich. Für Wasser mit einem hohen Anteil der Carbonathärte an der Gesamthärte ist Calciumhydroxid anwendbar, bei Wässern mit niedrigem Carbonathärteanteil bietet Natronlauge Vorteile. Die Dosierung von Natronlauge erhöht den Natriumgehalt des Wassers. Bei einer Herabsetzung des Calciumgehaltes um 1 mol/m^3 ($5,6^\circ\text{d}$) erhöht sich der Natriumgehalt um 23 mg/l . Natronlauge sollte deshalb nur bei natriumarmen Wässern verwendet werden. Der Grenzwert für Natrium in der Trinkwasserverordnung muß in jedem Fall eingehalten werden.

Bei den Ionenaustauschverfahren werden zur Regeneration der erschöpften Austauschermaterialien Säuren benötigt. Das CARIX-Verfahren arbeitet mit einer Kohlensäurelösung, Kationenaustauscher werden mit starken Mineralsäuren regeneriert. Da der Calcium/Natrium-Austausch in Deutschland in der öffentlichen Versorgung nicht gestattet ist, entfällt die mögliche Regeneration von Kationenaustauschern mit Kochsalzlösung. Bei den Membranverfahren werden häufig Konditionierungsmittel, vor allem Polyphosphate, und Säuren benötigt, um einer Verblockung der Membranen („Scaling“) vorzubeugen.

Sowohl Ionenaustauschverfahren als auch Membranverfahren sind im allgemeinen problemlos zu automatisieren,



wenn keine umfangreiche Voraufbereitung erforderlich ist. Die Prozesse sind auch relativ unempfindlich gegenüber Durchsatzschwankungen. Dies gilt im allgemeinen auch für die Langsamentcarbonisierung, während die Schnellentcarbonisierung relativ empfindlich auf größere Durchsatzschwankungen reagiert. Dieser Prozeß muß ständig vom Betriebspersonal überwacht werden, eine vollständige Automatisierung ist sehr problematisch. Eine Schnellentcarbonisierung kommt daher für kleine Wasserwerke kaum infrage.

Von ganz entscheidender Bedeutung für die Wahl des Enthärtungsverfahrens können die zur Verfügung stehenden Entsorgungsmöglichkeiten sein. Bei der Fällungsenthärtung fällt das Calciumcarbonat entweder als Granulat mit Schlammanteil (Schnellentcarbonisierung) oder als Schlamm (Langsamentcarbonisierung) an. Die anfallenden Feststoffmengen sind beträchtlich: Beispielsweise entstehen bei der Enthärtung von 1 Mio. m³ Wasser um nur 1 mol/m³ (5,6 °d) bei Einsatz von Natronlauge 100 t und bei Verwendung von Calciumhydroxid 200 t Calciumcarbonat. Diese Rückstände müssen verwertet oder, wenn dies nicht möglich ist, deponiert werden. Die bei der Schnellentcarbonisierung entstehenden kompakten Körner sind einfach zu behandeln, sie entwässern weitgehend und sehr schnell und können z. B. als Baumaterial Verwendung finden. Im Notfall sind sie auch problemlos deponierbar. Auch für das Calciumcarbonat aus der Langsamentcarbonisierung existieren Verwertungsmöglichkeiten. In der Regel wird man den anfallenden Schlamm aber weitgehend entwässern müssen, bevor er einer Verwertung zugeführt werden kann.

Eine Verwertung der Konzentrate, die bei den Membranverfahren anfallen, oder der Regenerierabwässer, die beim Ionenaustausch entstehen, ist kaum möglich. Eine Entsorgung dieser flüssigen Rückstände kann praktisch nur durch Einleitung in öffentliche Abwasseranlagen oder in Gewässer erfolgen, wofür die Erlaubnis des Betreibers der Abwasseranlage bzw. eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich ist. Das Einleiten solcher Abwässer in Kanalisationen oder Vorfluter wird häufig sehr kritisch beurteilt, obwohl bei den Membranverfahren und beim CARIX-Verfahren keine zusätzlichen belastenden Stoffe in die Umwelt gelangen, wenn von Konditionierungsmitteln abgesehen wird. Die Abwässer dieser Prozesse enthalten lediglich die aus dem Rohwasser entfernten Stoffe, die auch in die Gewässer gelangen würden, wenn eine Enthärtungsanlage nicht vorhanden wäre.

Sowohl Investitions- als auch Betriebskosten für Enthärtungsanlagen werden stark von den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst. Für die Herstellungskosten sind vielfach die Bauwerkskosten und die Kosten für die verfahrens- und elektrotechnischen Einrichtungen maßgebend. Membrantechnische Anlagen und Ionenaustauschanlagen sind relativ kompakt und benötigen nur wenig Raum. Aufgrund der langen Verweilzeiten des Wassers in Anlagen zur Langsamentcarbonisierung entsteht hierfür ein relativ großer Flächenbedarf. Allerdings gibt es Entwicklungen, die diesen Flächenbedarf reduzieren („schnelle Langsamentcarbonisierung“). Der Flächenbedarf für Anlagen zur Schnellentcarbonisierung ist gering, jedoch ist die erforderliche Raumhöhe relativ groß.

5. Rechtsvorschriften und Technische Regeln

Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) in der

Fassung der Bekanntmachung vom 5. Dezember 1990. BGBl. I S. 2612

Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz – WRMG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 1987. BGBl. I S. 875

DIN 2000: Zentrale Trinkwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser; Planung, Bau und Betrieb der Anlagen.

Tabelle 1: Verfahren zur Härteverminderung und deren Auswirkungen

(ohne Berücksichtigung von Vor- und Nachaufbereitung)

Verfahren	Auswirkungen
Langsamentcarbonisierung mit Calciumhydroxid (Ca(OH) ₂)	Anhebung des pH-Wertes, Verminderung des HCO ₃ ⁻ -Gehalts, Verminderung des Mg-Gehalts bei hoher Kalkzugabe möglich, Verringerung der Eisen- und Mangankonzentration
Langsamentcarbonisierung mit Natronlauge (NaOH)	Anhebung des pH-Wertes, Verminderung des HCO ₃ ⁻ -Gehalts, Verminderung des Mg-Gehalts bei hoher NaOH-Zugabe möglich, Verminderung der Schlamm-Menge im Vergleich zum Einsatz von Ca(OH) ₂ um etwa die Hälfte, Verringerung der Eisen- und Mangankonzentration, Erhöhung der Natriumkonzentration
Schnellentcarbonisierung mit Calciumhydroxid (Ca(OH) ₂)	Anhebung des pH-Wertes, Verminderung des HCO ₃ ⁻ -Gehalts, Verringerung der Eisen- und Mangankonzentration
Schnellentcarbonisierung mit Natronlauge (NaOH)	Anhebung des pH-Wertes, Verminderung des HCO ₃ ⁻ -Gehalts, Verminderung der Schlamm- sowie der Pelletkorn-Menge im Vergleich zum Einsatz von Ca(OH) ₂ um etwa die Hälfte, Verringerung der Eisen- und Mangankonzentration, Erhöhung der Natriumkonzentration
Kationenaustausch	Senkung des pH-Wertes, Verminderung des Mg-Gehalts
Kationen/Anionenaustausch (Mischbettaus-tauscher)	Senkung des pH-Wertes, Verminderung des Gehalts aller Kationen und Anionen
Membranverfahren	Senkung des pH-Wertes, Verminderung des Gehalts aller Kationen und Anionen, Verminderung des Gehalts an organischen Stoffen