

### 3.1 Wassernachbehandlung

3.1.1	Der pH-Wert	3
3.1.2	Elektrische Leitfähigkeit	4
3.1.3	Wasserhärte und Kohlensäure	5
3.1.4	Sauerstoff	8
3.1.5	Säurekapazität	9
3.1.6	Einsatzgebiete verschiedener Wasseraufbereitungsverfahren	9
3.1.7	Enthärtung / Kationenaustausch	10
3.1.8	Regeneriersalzbedarf von Ionenaustauschern	10
3.1.9	Teilentsalzung / Entfernung von Hydrogencarbonat	12
3.1.10	Vollentsalzung	12
3.1.11	Übersicht über die verschiedenen Filtrationsmethoden	13
3.1.12	Osmotische Verfahren	13
3.1.13	Ultrafiltration	14
3.1.14	Nanofiltration	15
3.1.15	Elektrodeionisation EDI	15
3.1.16	Desinfektion von Trinkwasser (10)	16
3.1.17	Korrosionsschutz von Rohrleitungen	17
3.1.18	Beurteilungswerte für das Trinkwasser	18
3.1.19	Bakteriologische Anforderungen an das Trinkwasser	28

Dieses Kapitel wurde erstellt unter Mitwirkung von:



**Burkhalter**  
Worblaufenstrasse 155  
Postfach  
3063 Ittigen  
www.burkhalter-h2o.ch



**Georg Fischer JRG AG**  
Hauptstrasse 130  
CH-4450 Sissach  
Tel. +40 52 631 23 77 (Technischer Kundendienst)  
info.jrg.ps@georgfischer.com

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Umrechnungstabelle zur Wasserhärte .....	7
Tab. 2: Einteilung von Wasser nach Härtegraden .....	7
Tab. 3: Zugelassene Menge an Keimen im Bezug auf Fassungsstelle und Art der Keime (8) .....	28

## Literaturverzeichnis

1. BAG. Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV). 10 2015. 817.021.23.
2. DIN-EN-ISO-10523. Wasserbeschaffenheit- Bestimmung des pH-Werts (ISO 10523:2008); Deutsche Fassung EN ISO 10523:2012. 2012. ICS13.030.50.
3. DIN-EN-27888. Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit. 1993.
4. DIN-38406-3. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser und Schlammuntersuchung Kationen (Gruppe E) Teil 3: Bestimmung von Calcium und Magnesium, komplexometrisches Verfahren (E3). 2002.
5. DIN-38409-7. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser und Schlammuntersuchung- Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H)- Teil 7: Bestimmung der Säure- und Basenkapazität (H7). 2005.
6. Heinz Burkhalter AG.
7. BAG, BAFU. Umgang mit nicht geregelten Fremdstoffen im Trinkwasser. Leitfaden des BAG erstellt in Zusammenarbeit mit dem BAFU. 2012.
8. EDI. Hygieneverordnung des EDI (HyV). 2005.
9. SLMB, Schweizerisches Lebensmittelbuch. Kapitel 27.
10. BAG, Bundesamt für Gesundheit. Anerkannte Aufbereitungsverfahren für Trinkwasser. 2010.

## 3.1 Wassernachbehandlung

### Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers

Wasser besitzt aufgrund seiner molekularen Struktur eine Vielzahl von Eigenschaften, die es von ähnlich gebauten Molekülen unterscheiden. In seiner Gesamtheit machen diese Eigenschaften erst organisches Leben möglich.

Als wichtigste Eigenschaft ist die Fähigkeit zur Ausbildung sog. Wasserstoffbrücken zu nennen, wobei es sich um elektrostatische Anziehungskräfte zwischen einzelnen Wassermolekülen handelt.

Diese Anziehungskräfte sind der physikalische Grund für z. B. die ausserordentlich hohe Wärmekapazität und Oberflächenspannung des Wassers. Anschaulich machen kann man den Effekt der Wasserstoffbrücken bei Betrachtung des Siedepunktes des Wassers: Der Siedepunkt einer Substanz hängt u.a. massgeblich von der Molekularmasse ab. Nahezu alle Moleküle, die im Bereich der Masse eines Wassermoleküls liegen, sind bei normalen Bedingungen Gase, sieden also bei sehr niedrigen Temperaturen. Wasser ist eine Flüssigkeit, die im Vergleich sehr hoch siedet. Dies hat seinen Grund ausschliesslich in den Anziehungskräften zwischen Wassermolekülen über Wasserstoffbrücken, die durch Energiezufuhr vor dem Sieden erst überwunden werden müssen.

Einzigartig ist auch seine Eigenschaft, Salze lösen zu können und sie auf diese Weise menschlichen und tierischen Organismen zugänglich zu machen.

Im Gegensatz zu normalen Flüssigkeiten sinkt die Dichte von Wasser nicht linear mit der Temperatur, sondern hat ein Maximalwert bei 4°C. Dies hat in der Natur u.a. den Effekt, dass in Gewässern Eisschichten immer oben schwimmen und das Wasser am Grund erst zuletzt friert, was Fischen ein Überleben am Boden ermöglicht.

Diesen Effekt des Dichtemaximums bei 4°C bezeichnet man als ‚Anomalie des Wassers‘.

Die im Folgenden besprochenen Aspekte der Wassernachbehandlung begründen sich alle direkt oder indirekt auf die oben genannten Eigenschaften des Wassers und den daraus resultierenden Auswirkungen auf technische Anwendungen.

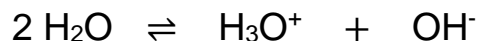
### 3.1.1 Der pH-Wert

Der pH-Wert gibt die Konzentration der Wasserstoffionen / Protonen in einer wässrigen Lösung an über die Beziehung:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Da es keine freien Protonen  $\text{H}^+$  in Wasser gibt, sondern diese sofort auf ein Wassermolekül überspringen und ein  $\text{H}_3\text{O}^+$  bilden, können  $\text{H}^+$  und  $\text{H}_3\text{O}^+$  hier synonym gebraucht werden.

In Wasser ist immer folgendes Dissoziationsgleichgewicht zu beobachten:



Es wird als Eigendissoziation des Wassers bezeichnet. In reinem Wasser liegt das Gleichgewicht sehr weit auf der linken Seite. Trotzdem ist auch in sehr reinem Wasser immer ein minimaler Leitwert zu beobachten, der auf der Anwesenheit von Hydroniumionen (auch: Hydroxoniumionen)  $\text{H}_3\text{O}^+$  und Hydroxylionen  $\text{OH}^-$  beruht. Nur Ionen bewirken eine Leitfähigkeit.

Auch in konzentrierter Base, bei einer sehr hohen Konzentration an  $\text{OH}^-$ -Ionen, gibt es eine wenn auch sehr geringe Menge Protonen, deren Konzentration über den pH-Wert erfasst wird.

Folgende Konzentrationen an Hydroniumionen entsprechen den pH-Werten:

<b>[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]:</b>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-14</sup>
<b>pH:</b>	0	2	7	11	14

Der pH lässt sich auch über folgende Beziehungen berechnen:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad \text{und} \quad \text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

So hat z.B. eine 0.26-molare Salzsäure (die vollkommen dissoziiert vorliegt), eine Konzentration von 0.26 mol/l und der pH errechnet sich aus  $\text{pH} = -\log(0.26) = 0.58$ .

Demgegenüber hat eine 0.38-molare Natronlauge eine Konzentration von 0.38 mol/l und einen pH von  $14 - (-\log(0.38))$ , also 13,58.

Es ist wichtig, sich im Klaren zu sein, dass die Skalierung logarithmisch ist. Eine Veränderung von pH 7 auf pH 6 entspricht einer Verzehnfachung der H<sup>+</sup>-Ionenkonzentration!

### Merkpunkte für die Praxis

- In sauerstoffreichen Systemen ist in der Regel der pH-Wert dominierend für das Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen.
- Die Wahrscheinlichkeit von Korrosionsschäden steigt mit fallendem pH-Wert. Deshalb möglichst hoher pH-Wert, jedoch nicht über 8.5.
- Für die Messung des pH-Werts existiert eine entsprechende DIN-Norm (2)

## 3.1.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist eine physikalische Grösse, welche die Fähigkeit eines Stoffes angibt, elektrischen Strom zu leiten. In der Wasserkonditionierung wird der Wert zur Abschätzung der Menge an gelösten Ionen herangezogen.

Die verwendete Einheit ist  $\mu\text{S} / \text{cm}$  (Mikro-Siemens pro cm)

Selbst vollentsalztes Wasser weist eine minimale Leitfähigkeit auf, welche auf die Eigendissoziation des Wassers zurückzuführen ist. Ein nicht aufbereitetes Trinkwasser kann einen Leitwert um 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aufweisen. Wird ein Wasser eingedickt, steigt der Leitwert proportional und kann so als Mass für die Eindickung verwendet werden.

Die Gesamtleitfähigkeit einer wässrigen Lösung setzt sich aus den Einzelleitfähigkeiten der in der Lösung enthaltenen Ionen zusammen. Dies sind alle Anionen und Kationen, sowohl aus gelösten Salzen und Säuren bzw. Basen.

Typische in Rohwässern vorkommende Ionen sind:

Anionen: Chlorid Cl<sup>-</sup>, Sulfat SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Nitrat NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Carbonat CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Phosphat PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Silikat SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

Kationen: Natrium Na<sup>+</sup>, Kalium K<sup>+</sup>, Calcium Ca<sup>2+</sup>, Magnesium Mg<sup>2+</sup>, Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

## Merkpunkte für die Praxis

- Je niedriger der Wert der Leitfähigkeit ist, desto geringer ist der Ionengehalt des Wassers.
- Absolut reines Wasser weist bei 18 °C eine Leitfähigkeit von 0.044 µS/cm auf.
- 1 mS/cm (1 Milli-Siemens) entspricht 10<sup>3</sup> µS/cm also 1000 µS/cm
- 1 mS/cm entspricht 0.5 mg NaCl (Natriumchlorid) oder 0.1 mg HCl (Salzsäure) oder 0.2 mg NaOH (Natronlauge) pro Liter Wasser.
- Für die Messung der Leitfähigkeit existiert eine entsprechende DIN-Norm (3)

### 3.1.3 Wasserhärte und Kohlensäure

In Roh- und Trinkwasser können verschiedene Kationen gelöst sein: Hauptsächlich sind dies einwertige Alkali-metallionen wie Na<sup>+</sup> und K<sup>+</sup> als auch zweiwertige Erdalkalimetallionen wie Ca<sup>2+</sup> und Mg<sup>2+</sup>. Dazu kommen die verschiedensten Anionen.

Die Wasserhärte beschreibt die Gesamtheit der in Wasser gelösten Ca- und Mg-Ionen und die dazugehörigen Anionen. Hierbei unterscheidet man die permanente und die temporäre Härte.

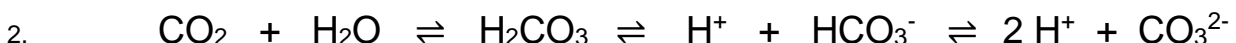
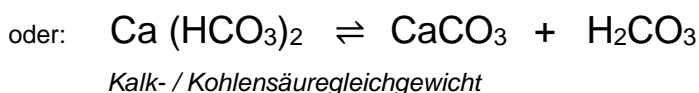
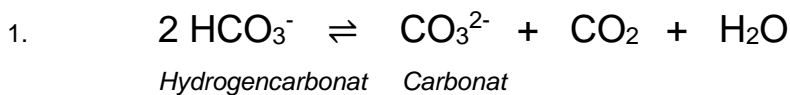
Die temporäre Härte ist der Gehalt an Hydrogencarbonationen und der equivalenten Menge an Ca- und Mg-Ionen. Diese Härte kann durch Erhitzen als Kohlendioxid bzw. ausfallendes Mg- oder Ca-Carbonat beseitigt werden.

Generell sind Magnesium- und Calciumcarbonate schlecht löslich und fallen als Kalk aus, während die Hydrogencarbonate gut löslich sind.

Die permanente Härte ist gegeben durch die Anzahl der Anionen, die nicht Carbonat oder Hydrogencarbonat sind, z.B. Phosphat oder Sulfat. Diese können nicht durch pH oder Temperatur beeinflusst werden und fallen u.U. bei zu hohen Konzentrationen an Ca und Mg als Salze aus.

Durch Aufnahme bei Regen oder allgemein aus der Luft enthalten fast alle Wässer Kohlendioxid, welches frei oder in irgendeiner Form gebunden vorliegt.

In Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur liegen in Wasser verschiedene Gleichgewichte zwischen Carbonat, Hydrogencarbonat, gelöstem Kohlendioxid und Kohlensäure vor:



Gl. 2 beschreibt die Bildung von Kohlensäure in einer Lösung von Kohlendioxid und Wasser. Das Gleichgewicht liegt hier sehr stark auf der linken Seite: Nur ein sehr kleiner Teil (ca. 0.7 %) liegt bei normalen Bedingungen als Kohlensäure vor. Dies kann sich mit pH und Temperatur ändern.

Die rechte Hälfte der Gleichung beschreibt die beiden Deprotonierungsstufen von der Kohlensäure über das Hydrogencarbonat zum Carbonat.

Ebenso steht in einem Wasser immer gelöstes Hydrogencarbonat mit Kohlendioxid und Carbonat im Gleichgewicht (Gl. 1). Bei normalen Bedingungen liegt es stark auf der Seite des Hydrogencarbonates. Es zeigt, dass eine Änderung des Gehaltes an Kohlendioxid den Gehalt an Hydrogencarbonat und Carbonat beeinflusst.

Optisch sichtbar wird der Einfluss auf das Carbonat, da es unlöslich ist: Bei Erwärmung entweicht Kohlendioxid und das Gleichgewicht wird nach rechts verschoben, hin zu mehr Carbonat, welches mit Ca- oder Mg-Ionen als unlösliches Carbonat ausfällt. Die Härte ist aus dem Wasser verschwunden, daher die Bezeichnung «temporär».

Ein im Gleichgewicht befindliches Wasser enthält immer eine der Hydrogencarbonatmenge entsprechende Kohlendioxid- oder Kohlensäuremenge. Sollte sich die Kohlendioxidmenge aus irgendeinem Grund erhöhen, versucht das System, Hydrogencarbonat zu bilden. Dies kann z.B. durch Auflösung von Carbonatschichten in Rohrleitungen geschehen. Diese Rohrleitungen sind dann Korrosionsangriffen ausgesetzt. Aus diesem Grund bezeichnet man ein derartiges, sich nicht im Gleichgewicht befindliches Wasser als «aggressiv» bzw. die überschüssige Kohlensäure als freie oder aggressive Kohlensäure.

Das Kalk- / Kohlensäuregleichgewicht ist vor Allem in technischer Hinsicht wichtig, weil durch Ausfällung von Carbonaten an Wärmetauscherflächen und andererseits durch erhöhte Korrosion Probleme entstehen. Ferner werden viele Waschmittel durch die Bildung von unlöslichen «Kalkseifen» wirkungslos.

## Begriffsdefinitionen

### Temporäre Härte / Carbonathärte

Hierunter versteht man die Gesamtmenge der Calcium- und Magnesiumionen, die dem Gehalt an Hydrogencarbonat entspricht.

Hydrogencarbonat kann entweder als ausfallendes Carbonat oder als entweichendes Kohlendioxid aus dem Wasser entfernt werden.

### Permanente Härte:

Liegen die Verbindungen als Sulfate, Chloride oder Nitrate vor, so spricht man von Nichtcarbonathärte oder Permenenthärte

### Gesamthärte

Als Gesamthärte wird die Summe aller Erdalkalielemente verstanden, also Carbonathärte + Nichtcarbonathärte.

### Gebundene Kohlensäure:

Als unlösliches Calciumcarbonat gebundenes Kohlendioxid.

### Halbgebundene Kohlensäure:

Als lösliches Calciumhydrogencarbonat gebundenes Kohlendioxid.

### Freie zugehörige Kohlensäure:

Das Equivalent Kohlendioxid, welches dem Hydrogencarbonatgehalt entspricht und ihn stabilisiert.

### Überschüssige (aggressive) Kohlensäure:

Der Gehalt an Kohlendioxid, der den Gleichgewichtsgesamtgehalt übersteigt und für eine Auflösung von Carbonat sorgt.

### Merkmale für die Praxis

- Freie und überschüssige Kohlensäure wirken korrosiv.
- Kalkschichten wirken als Korrosionsschutz.
- Die gelöste Menge an CO<sub>2</sub> steht immer im Gleichgewicht mit der gelösten Menge an Kalk. Deshalb sucht man beim Enthärten und anschließenden Aufhärten ein Optimum zwischen Kalkentfernung und Leitungsschutz.
- Der pH-Wert beeinflusst massgeblich die Umwandlung von Hydrogencarbonat in Kohlendioxid (freie Kohlensäure) und Hydroxylionen. Bei pH > 8.2 liegt keine freie Kohlensäure mehr vor.

### Tabellen zum Thema «Wasserhärte»:

Tab. 1: Umrechnungstabelle zur Wasserhärte

		°dH	°fH	mmol/l	mval/l	°e (°Clark)	ppm (°aH)
Deutsche Grad	1 °dH	1	1.78	0.179	0.356	1.25	17.9
Französische Grad	1 °fH	0.56	1	0.1	0.2	0.7	10
mmol/l Erdalkali-Ionen	1 mmol/l	5.6	10	1	2	7	100
mval/l Erdalkali-Ionen	1 mval/l	2.8	5	0.5	1	3.5	50
Englische Grad (Grad Clark)	1 °e	0.8	1.43	0.143	0.286	1	14.3
ppm CaCO <sub>3</sub> (Amerikanische Grad)	1 ppm	0.056	0.1	0.01	0.02	0.07	1

Tab. 2: Einteilung von Wasser nach Härtegraden

Gesamthärte		Bezeichnung
mmol / l	°fH	
0 – 0.7	0 – 7	sehr weich
0.7 – 1.5	7 – 15	weich
1.5 – 2.2	15 – 22	mittelhart
2.2 – 3.2	22 – 32	ziemlich hart
3.2 – 4.2	32 – 42	hart
> 4.2	> 42	sehr hart

### 3.1.4 Sauerstoff

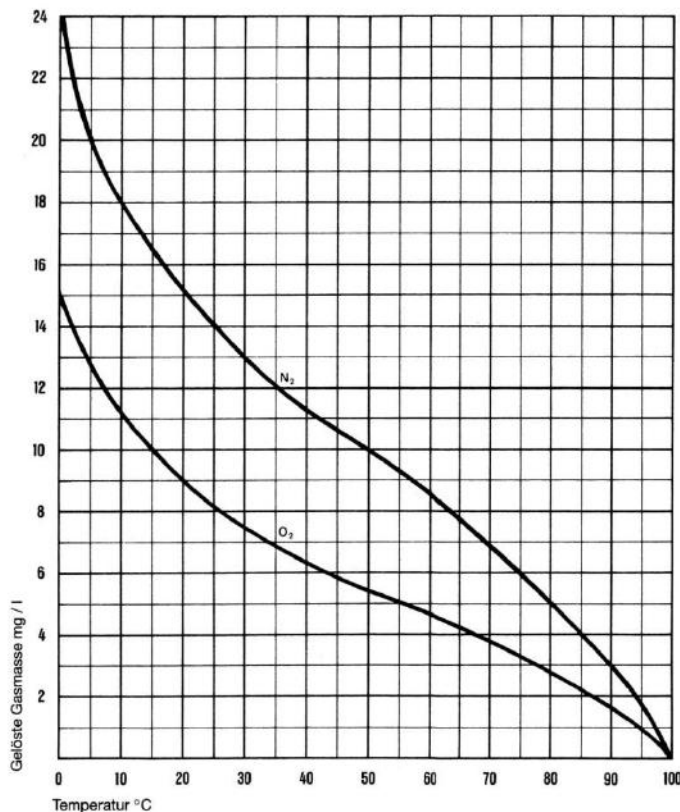
Sauerstoff  $O_2$  ist ein in Wasser nicht gut lösliches Gas. Die Sättigungskonzentration beträgt bei  $0^\circ\text{C}$  ca. 15 ppm und bei  $20^\circ\text{C}$  ca. 9 ppm. Sauerstoff ist in Grund- und Oberflächenwasser vorhanden. Grundwasser aus grösseren Tiefen, also solches das durch Oberflächenwasser nicht beeinflusst wird, ist praktisch sauerstofffrei.

Für das Leben der tierischen und pflanzlichen Organismen ist Sauerstoff im Oberflächenwasser unentbehrlich.

In eisernen Trinkwasserleitungen spielt der Sauerstoffgehalt ebenfalls eine grosse Rolle, da Sauerstoff mit den Metalloberflächen eine vor weiteren Angriffen schützende Oxidschicht bildet. Bei Sauerstoffmangel ( $<2 - 3 \text{ mg/l}$ ) können starke korrosionschemische Probleme auftreten. Auch bei Enteisungs- und Entmanganungsprozessen ist ein entsprechender Sauerstoffgehalt im Wasser unbedingt erforderlich, um gelöstes Eisen und Mangan als Oxide auszufällen.

Die Konzentrationsangabe wird als  $O_2$  in  $\text{g/m}^3$  oder  $\text{mg/l}$  gemacht.  $1 \text{ mg/l}$  entspricht  $1 \text{ ppm}$ .

$O_2$  = Sauerstoff  
 $N_2$  = Stickstoff



**Abb. 1:**  
Löslichkeit von  $O_2$  und  $N_2$  der Luft bei  $1013.25 \text{ mbar}$  in reinem Wasser (Maximalwerte)

#### Merkpunkte für die Praxis

- Der Sauerstoffgehalt kann nur online genau bestimmt werden. Bei jedem Kontakt mit der Atmosphäre nimmt das Wasser Sauerstoff auf. Daher ist eine  $O_2$ -Messung nur direkt vor Ort, bei der Probenahme möglich.
- Je wärmer das Wasser ist desto weniger Gase und somit auch Sauerstoff kann gelöst werden. Beim Abkühlen nimmt das Wasser diese Gase wieder auf.
- Zur Schutzschichtbildung muss genügend  $O_2$  im Wasser vorhanden sein (30 – 100 % Sauerstoffsättigung)
- Phosphat-Impfung ist zwecklos, wenn sauerstoffarmes Wasser vorliegt ( $O_2$ -Gehalt  $< 6 \text{ mg/l}$ )



### 3.1.5 Säurekapazität

Die Säurekapazität ist ein Mass für die Pufferkapazität eines Wassers. Je höher die Pufferkapazität, desto weniger empfindlich ist der pH-Wert bei Schwankung der Ionenzusammensetzung des Wassers. Ein sehr reines Wasser reagiert bei Zugabe geringster Mengen einer starken Säure oder Base mit starken pH-Schwankungen. Ein gepuffertes Wasser braucht wesentlich höhere Säure- oder Basenmengen zur pH-Änderung.

Die Pufferkapazität natürlicher Wässer wird im Wesentlichen bestimmt durch den Gehalt an Hydrogencarbonat. Andere Pufferionen sind z.B. Acetate. Pufferionen sind immer Salze schwacher Säuren.

Die Säurekapazität wird bestimmt durch Zugabe einer Säure definierter Konzentration zu einer bestimmten Menge Wasser, bis ein bestimmter pH-Wert erreicht ist.

Früher wurde die Säurekapazität auch als p-Wert bezeichnet (abgeleitet von Phenolphthalein, welches bei einem pH-Wert von 8.2 seinen Umschlagspunkt hat). Daraus ergab sich die Bezeichnung Säurekapazität  $K_{S\ 8.2}$ .

Dementsprechend gibt die Säurekapazität  $K_{S\ 4.3}$  den Säureverbrauch bis zu einem pH von 4.3 an. Die Titration erfolgt hier gegen Methylorange, daher auch die Bezeichnung m-Wert.

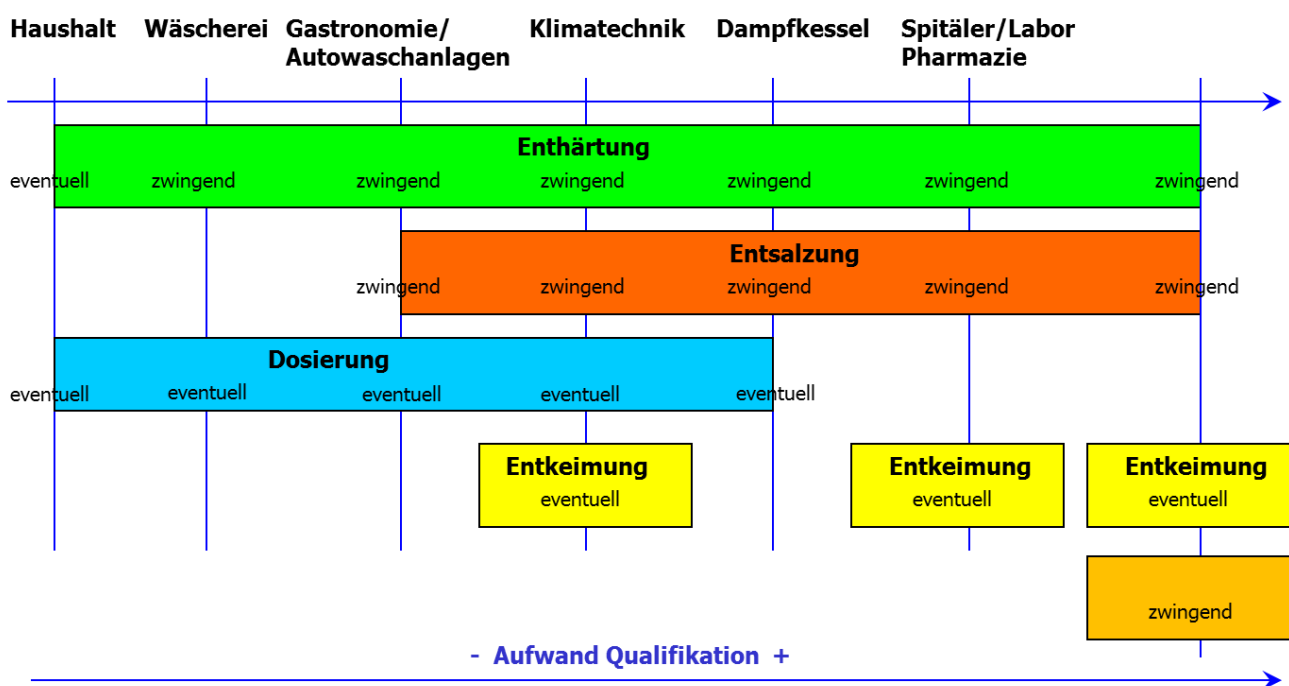
Diese Säurekapazität entspricht den gelösten Carbonaten. Durch Multiplikation mit 5 ergibt sich die Carbonathärte in °fH.

Zur Ermittlung werden 100 ml Wasserprobe mit 0.1 molarer Salzsäure gegen einen Indikator bis zum Farbumschlag titriert. Dieser Wert ergibt den Gehalt an Lauge, welche im Wasser frei vorhanden ist. Mit zunehmender Verschmutzung weicht der Umschlagspunkt ab.

Die exakte Bestimmung erfolgt nach der DIN Norm 38409-7 (5)

### 3.1.6 Einsatzgebiete verschiedener Wasseraufbereitungsverfahren

Abb. 2: Darstellung der Einsatzgebiete verschiedener Wasseraufbereitungsverfahren (6)



### 3.1.7 Enthärtung / Kationenaustausch

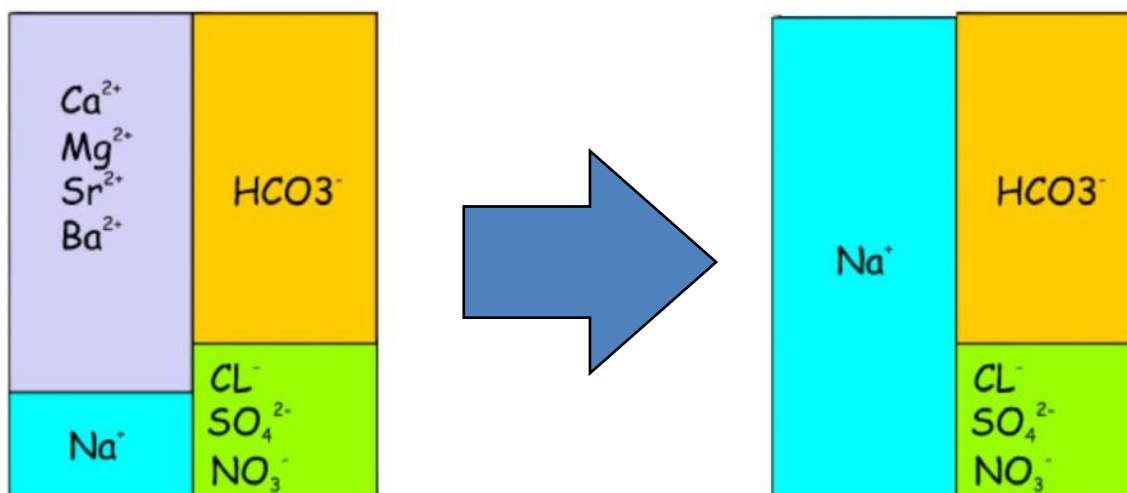
Unter Enthärtung versteht man den Austausch aller Härtebildner gegen Natriumionen. Damit kann in der weiteren Verwendung ein Ausfallen von unlöslichen Carbonaten (Kalk) vermieden werden.

In einem Enthärter befindet sich ein stark saures Kationenaustauscherharz welches die Härtebildner Calcium und Magnesium aus dem Wasser aufnimmt und im Austausch Natrium ins Wasser abgibt. Der Salzgehalt des Wassers wird durch einen solchen Ionenaustauscher nicht sehr stark verändert: Da für jedes zweiwertige Ion zwei einwertige Ionen kommen, steigt die Anzahl der Kationen. Die Zahl der Anionen verändert sich kaum bis nicht.

Die Regenerierung des erschöpften Austauscherharzes geschieht mit Kochsalz (NaCl) und wird durch Messung der behandelten Wassermenge oder nach dem Ablauf einer bestimmten Zeitdauer eingeleitet. Dabei wird so viel Natrium über den Austauscher geleitet, dass dieser die Magnesium und Calcium Ionen wieder frei gibt. Diese werden danach zusammen mit dem überschüssigen Natrium weggespült.

Es kann mit einer Flasche diskontinuierlich oder mit zwei Flaschen im Pendel-Betrieb gearbeitet werden. Beim Pendelbetrieb alternieren die Regenerationen der beiden Flaschen, wodurch ein kontinuierlicher Betrieb zur Produktion von enthärtetem Wasser möglich ist.

**Abb. 3: Einfluss der Enthärtung auf Salzgehalt und -zusammensetzung**



### 3.1.8 Regeneriersalzbedarf von Ionenaustauschern

#### Ionenaustauscherharze

Synthetische Harze werden in Form von kugelförmigen Granulaten mit einem Durchmesser von 0,3 bis 1,2 mm hergestellt. Das Granulat besteht aus hochmolekularen, vernetzten Kohlenwasserstoffen. Diese vernetzten Kohlenwasserstoffketten bilden Poren, welche mit Wasser gefüllt sind. In diesem Wasser findet die Ionenaustauschreaktion statt.

Je nach Korngrösse verändert sich die Eigenschaft des Harzes. Grosse Kugeln führen zu einer schlechten Austauschgeschwindigkeit und durch kleine Kugeln entsteht ein höherer Druckverlust über das Harzbett.

Sind alle Körner gleich gross spricht man von einem monodispersen Harz. Durch die einheitliche Grösse kann die Kontaktfläche zum Wasser maximiert werden, was zu einer Erhöhung der Austauschgeschwindigkeit und zu einem geringeren Regeneriermittelverbrauch führt.

### Nutzbare Volumenkapazität NVK

Die NVK entspricht dem Aufnahmevermögen an Ca-Ionen in mol/l AUSTAUSCHERMASSE (IA).  
 In der Praxis wird die NVK zwischen 0.4 und 0.7 mol/IA gewählt. (Industrieanlagen 0.4; Wohnungsbau 0.7)

#### Berechnungsbeispiel:

Gegeben: NVK = 0.5 mol/IA  
 Rohwasserhärte = 3 mol/m<sup>3</sup> Ca-Ionen; 30 °fH

Wasserverbrauch zwischen 2 Regenerationen mit 0 mol/m<sup>3</sup> (Ca-Ionen) = 30 m<sup>3</sup>

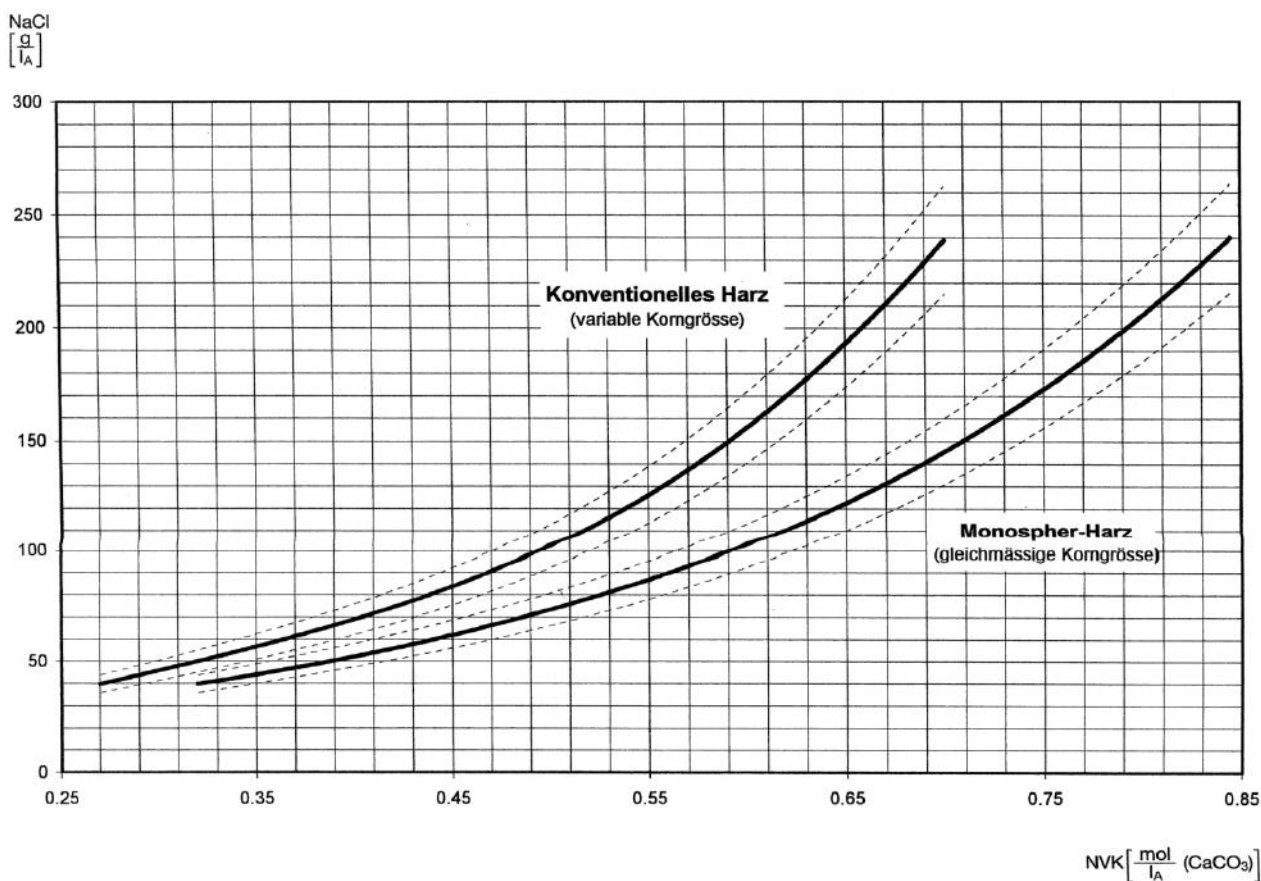
Gesucht: Salzverbrauch pro Regeneration

$$\text{Lösung: Harzmenge} = \frac{\text{Wasserverbrauch} \cdot \text{Härte}}{\text{NVK}} = \frac{30 \text{ m}^3 \cdot 3 \text{ mol} \cdot \text{IA}}{\text{m}^3 \cdot 0.5 \text{ mol}} = 180 \text{ IA}$$

Salzverbrauch gemäss Diagramm (siehe nächste Seite) = 108 g/IA

Salzverbrauch pro Regeneration : 108 g/IA \* 180 IA = 19440 g → 19.44 kg NaCl

**Abb. 4: Auswirkung der angewandten Kochsalzmenge auf die NVK eines stark sauren Kationentauschers**



### 3.1.9 Teilentsalzung (Entfernung von Hydrogencarbonat)

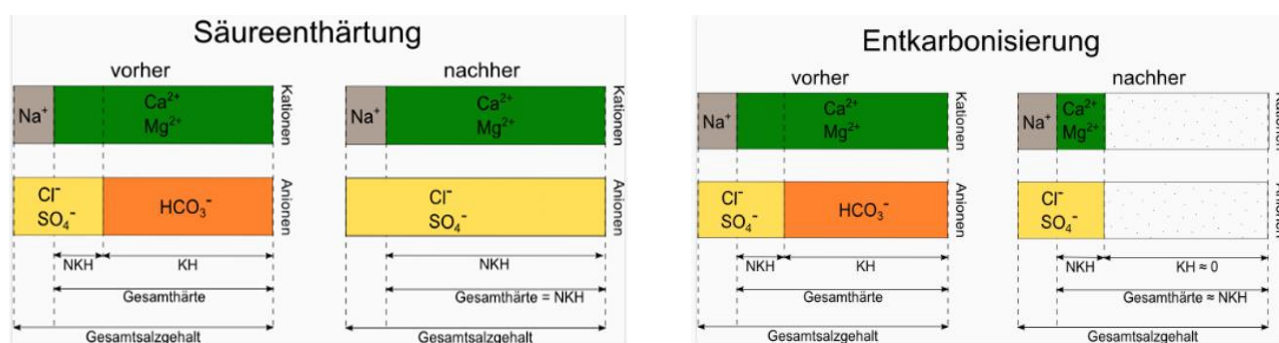
Unter Teilentsalzung versteht man in der Regel die Verfahren, welche die im Wasser gelösten Hydrogencarbonate entfernen. Gängige Verfahren sind die Säureenthärtung und die Entcarbonisierung.

Bei der Säureenthärtung wird das Hydrogencarbonat durch Säurezugabe in Kohlensäure bzw. Kohlendioxid und Wasser umgewandelt, wobei das Kohlendioxid das System als Gas verlässt. Im Gegenzug gelangen die Anionen der Säure ins System und werden ein Teil der permanenten Härte.

Bei der Entcarbonisierung wird das Kohlendioxid des Gleichgewichtes z.B. durch Erhitzen ausgetrieben, wodurch sich Kalk abgelagert. In diesem Fall reduziert sich mit dem Gehalt an Erdalkalitionen ebenso der an Hydrogencarbonat.

Über einen sauren Ionenaustauscher können Erdalkalitionen gegen  $H^+$  getauscht werden. Dadurch wird dann wie oben bei der Ansäuerung Kohlendioxid ausgetrieben.

Abb. 5: Möglichkeiten der Entfernung Hydrogencarbonat



Säureenthärtung mit Salz- oder Schwefelsäure

Vollständige Entcarbonisierung

### 3.1.10 Vollentsalzung

Unter Vollentsalzung versteht man Verfahren zur Entfernung sämtlicher gelöster Salze.

Zum Beispiel können Anionenaustauscher- und Kationenaustauscherharze hintereinander geschaltet werden und so in zwei Schritten Anionen und Kationen entfernen.

#### Mischbettvollentsalzung

Bei der Mischbettvollentsalzung werden alle Salze, also Kationen und Anionen aus dem Wasser entfernt. Im Gegensatz zu einer Enthärtung darf kein neues Salz in das Wasser eingebracht werden, die Salze müssen also durch Wasser ausgetauscht werden.

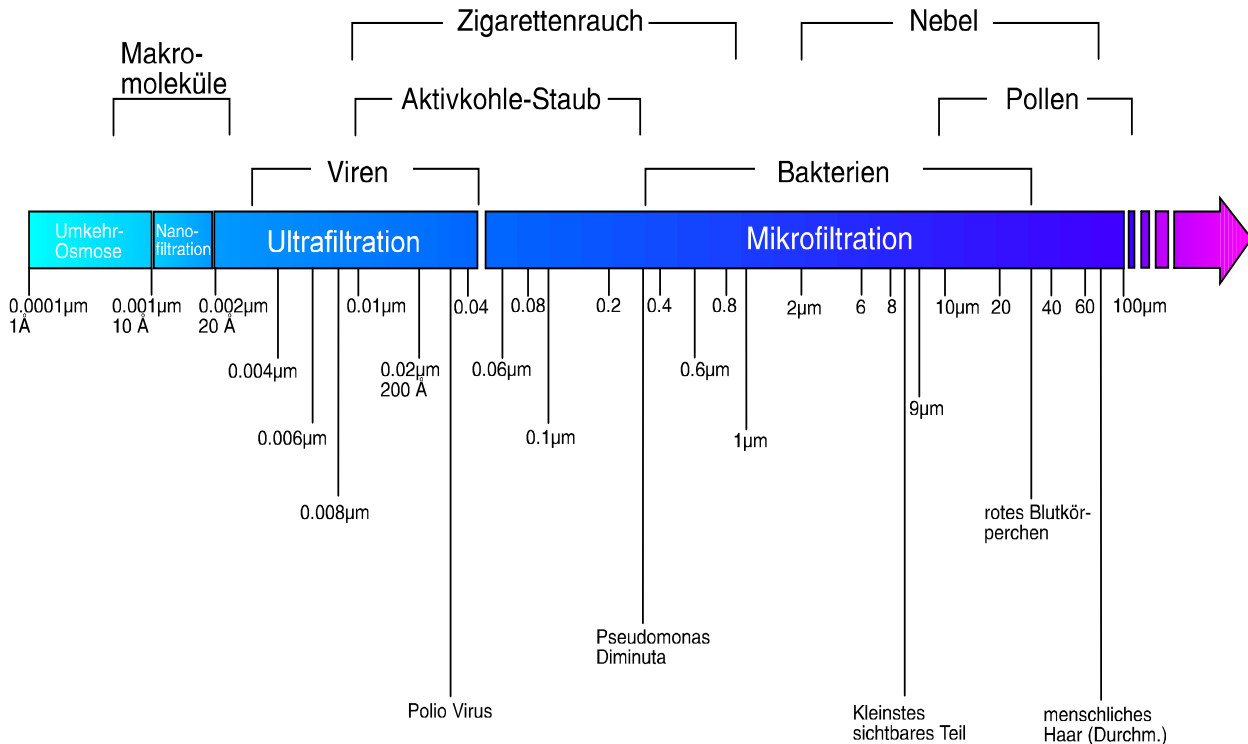
Um dies zu bewerkstelligen sind Kationen- Anionenaustauscherharze miteinander vermischt. Durch das Kationenharz werden alle Kationen gegen Wasserstoffionen ( $H^+$ ) und durch das Anionenharz alle Anionen gegen Hydroxidionen ( $OH^-$ ) ausgetauscht. Aus den beiden Ionen ( $H^+$  und  $OH^-$ ) entsteht Wasser ( $H_2O$ ).

#### Merkmale für die Praxis

- Braucht zur Regeneration NaOH und HCl, weshalb eine Firma über die nötige Infrastruktur verfügen muss.

### 3.1.11 Filtrationsmethoden

Abb. 6: Filtrationsmethode in Relation zur Partikelgrösse (6)



### 3.1.12 Osmotische Verfahren

#### Osmose

Der Osmose liegt ein fundamentales Naturgesetz zugrunde, welches besagt, dass sich zwei unterschiedliche Zustände immer ausgleichen wollen. Im Falle der Osmose sind diese Zustände unterschiedliche Salzkonzentrationen.

Sind nun 2 Salzlösungen mit unterschiedlicher Konzentration durch eine semipermeable Membrane (Membrane, welche nur Wasser durchlässt) getrennt, wird in die Lösung mit dem höheren Salzgehalt solange Wasser aus der Lösung mit dem niedrigeren Salzgehalt eintreten, bis der Salzgehalt auf beiden Seiten ausgeglichen ist. Je höher der Konzentrationsunterschied der beiden Lösungen, desto stärker ist die Triebkraft der Angleichung bzw. der Wasserdurchtritt. Diese Triebkraft wird als osmotischer Druck bezeichnet.

#### Umkehrosmose

Bei der Umkehrosmose geht man von einer Salzlösung bestimmter Konzentration und einer semipermeablem Membran aus. Wenn man auf die Salzlösung Druck ausübt, strömt reines Wasser durch die Membran aus der Salzlösung heraus und die Salzlösung konzentriert sich auf. Ohne den Energieeinsatz in Form des Druckes würde Wasser zurück in die konzentrierte Lösung fließen. Der Wasserstrom erfolgt also gegen den osmotischen Druck.

Typischerweise wird das Wasser zuerst auf 0 mmol/l enthärtet. Danach wird der Wasserdruck je nach Wasserqualität und je nach eingesetztem Permeatortyp erhöht. Dabei gewinnt man das beinahe salzlose Permeat und das Konzentrat, welches abgeschlämmt wird.

Die Ausbeute beträgt dabei typischerweise ca. 75 % und kann mit einer Konzentrat Nachbehandlung bis auf 90 % erhöht werden.

Zur Nachbehandlung wird das Konzentrat der Osmose über eine Nanofiltration geleitet. Das nun entstehende salzfreie Wasser wird wieder der Osmose zugeführt und das nun hochkonzentrierte Konzentrat wird abgeleitet.

### **Merkpunkte für die Praxis**

- Zur Trinkwassernachbehandlung geeignete Membranen (Permeatoren) halten bis zu 99 % der Salze zurück.
- Ungelöste Stoffe, einschliesslich Mikroorganismen werden durch fehlerfreie Membranen vollständig zurückgehalten.
- Gelöste organische Stoffe mit Molekularmassen über einigen 100 werden grösstenteils zurückgehalten.
- Das als Abwasser anfallende Konzentrat kann beispielsweise als Grauwasser weiterverwendet werden.

### **3.1.13 Ultrafiltration**

Das Verfahren der Ultrafiltration wird hauptsächlich zur Erzeugung von keimfreiem Wasser eingesetzt.

Die eingesetzten Membranen besitzen Porengrössen zwischen 2 und 100 nm. Je nach Membrane kann die Anlage direkt mit Rohwasser betrieben werden.

Bakterien, Viren, gelöste Biomoleküle und weitere Partikel können abgetrennt werden.

Die Ultrafiltrationssysteme werden in zwei Varianten ausgeführt:

Bei der Frontalfiltration (auch "Dead end" Filtration genannt) wird das gesamte der Membrane zugeführte Wasser filtriert und genutzt.

Bei der Crossflow-Filtration, wird ein Teil des Wassers rezirkuliert oder abgeschlämmt. Dieses System hat den Vorteil, dass die Membrane dauernd gereinigt, jedoch ein Teil des Wassers verworfen wird. Dieser Umstand wirkt sich negativ auf die Betriebskosten aus.

Bei der Trinkwasseraufbereitung mittels Ultrafiltration wird die frontale Filtrierung vorgezogen.

Zur Reinigung werden die Membranmodule periodisch rückgespült. Die Rückspülung wird mittels filtriertem Wasser vorgenommen. Das Rückspülwasser kann zusätzlich mit Chemikalien angereichert werden, dadurch wird der Reinigungseffekt erhöht.

### **Merkpunkte für die Praxis**

- Trinkwasseraufbereitung aus Oberflächenwasser
- Abwasserbehandlung
- Reinstwassererzeugung

### 3.1.14 Nanofiltration

Mit der Nanofiltration können Salze mit einem Wirkungsgrad von 20–80% zurückgehalten werden. Dabei werden definitionsgemäss Porengrössen von höchstens 2 nm verwendet.

Die Nanofiltration ist druckgetrieben und die Trennung basiert sowohl auf Siebeffekten wie auch auf elektrostatischen Wechselwirkungen. Wegen der Ladung auf der Membranoberfläche werden zweiwertige Ionen besser zurückgehalten als einwertige. Dadurch ist es möglich, mit spezifischen Membranen Ionen selektiv zu entfernen.

#### **Merkmale für die Praxis**

- Porengrösse zwischen Ultrafiltration und Gegenosmose
- Enthärtung und Entfernung von Schwermetallen in Industrierwässern
- Abtrennung von organischen Verunreinigungen
- Selektive Entfernung von Ionen möglich

### 3.1.15 Elektrodeionisation EDI

Die Elektrodeionisation EDI entspricht dem Stand der Technik zur Erzeugung von vollentsalztem Wasser. Die EDI-Geräte werden einer Gegenosmoseanlage nachgeschaltet.

Das Permeat wird vor dem Eintritt in das EDI-Modul in zwei Grundströme aufgeteilt. Ein Teil des Permeats durchfließt die Produktionskammer, der andere Teil dient als Spülwasser der Konzentratkammer. Die Produktionskammer ist mit Anionen- und Kationenaustauscherharz angereichert. Als Triebkraft für den Austausch der im Wasser enthaltenen Restsalze wirkt ein elektrisches Gleichspannungsfeld. Das Gleichspannungsfeld wird von der Anode und der Kathode erzeugt. Die positiv geladenen Kationen (z.B.  $\text{Na}^+$ ) bewegen sich zur Kathode (–) und die negativ geladenen Anionen (z.B.  $\text{Cl}^-$ ) bewegen sich zur Anode (+).

Aus der Produktionskammer bewegen sich die Kationen durch eine kationendurchlässige (kationenselektive) Membrane und gelangen so in die Konzentratkammer.

In der Konzentratkammer werden die Kationen immer noch von der Kathode angezogen.

Die zweite Membrane, die die Konzentratkammer vor der nächsten Produktionskammer abtrennt, ist jedoch eine anionendurchlässige (anionenselektive) Membrane. Die Kationen können diese Membrane nicht durchdringen und werden zurückgehalten. Das Spülwasser säubert die Konzentratkammer von den zurückgehaltenen Kationen und spült sie als Konzentrat aus.

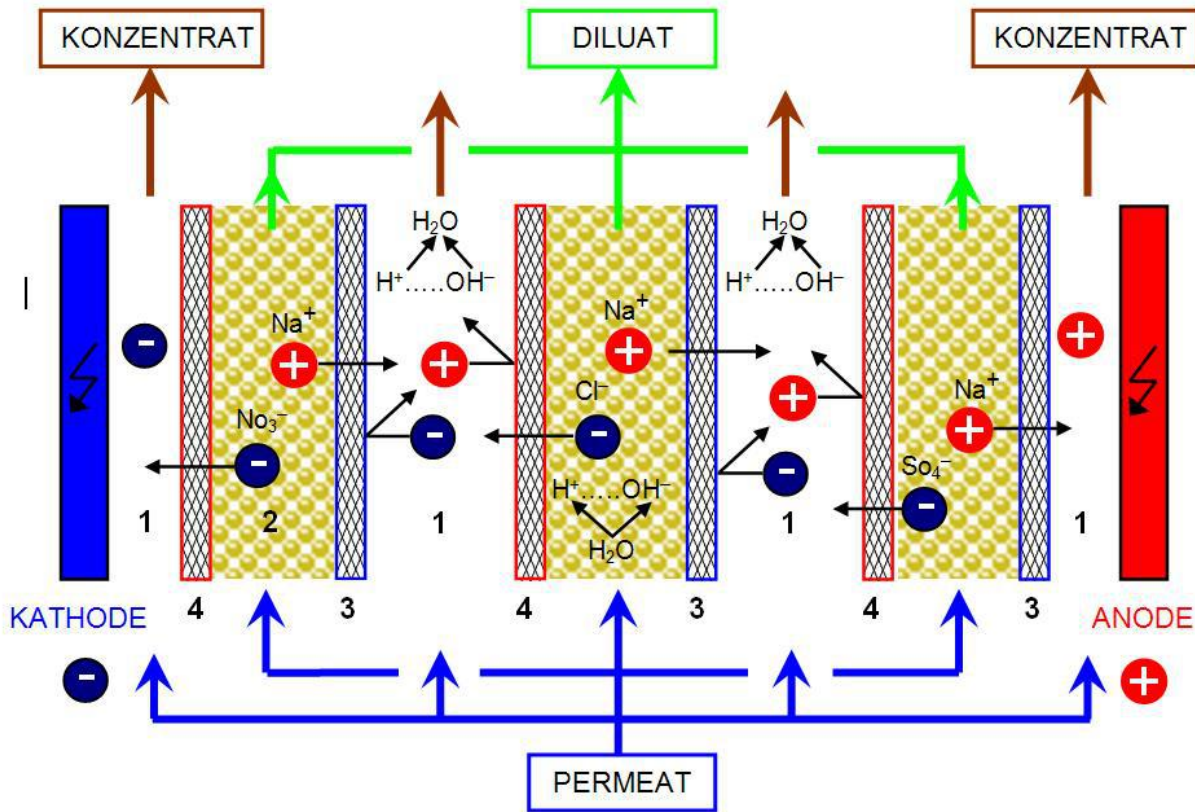
Analog hierzu erfolgt die Abtrennung der Anionen. Das ausgespülte salzhaltige Konzentrat wird in die Kanalisation abgeleitet. Das zurückbleibende vollentsalzte Wasser (Reinstwasser) in der Produktionskammer, nennt man Dialuat. (6)

#### **Merkmale für die Praxis**

- Keine Regeneration da selbst regenerierend
- Braucht nur Strom
- Keine gefährlichen Chemikalien



Abb. 7: Funktionsprinzip der Elektrodeionisation (6)



- |   |                   |   |                                   |
|---|-------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Konzentratskammer | 3 | Halbdurchlässige Kationenmembrane |
| 2 | Produktionskammer | 4 | Halbdurchlässige Anionenmembrane  |

### 3.1.16 Desinfektion von Trinkwasser

Bei der Desinfektion von Trinkwasser handelt es sich um eine Hygienemassnahme, die dazu dient, Krankheitserreger abzutöten bzw. zu inaktivieren und dadurch ihre Anzahl so weit zu reduzieren, dass eine Übertragung, bzw. Infektion nicht mehr möglich ist. Die Sicherung der Hygiene im Trinkwasser ist vor allem zum Schutz des Menschen wichtig. Trinkwasser darf auf keinen Fall Krankheitserreger enthalten, welche die menschliche Gesundheit schädigen können. Auch kann die Desinfektion aus technischen oder ökonomischen Gründen angewendet werden.

Gängigerweise wird der Begriff der Wasserdesinfektion gleichgesetzt mit der Dosierung von Desinfektionsmitteln nach einem individuellen Konzept. Wichtig ist aber darüber hinaus, dass nur ein ganzheitlicher Lösungsansatz zur Sicherung der Trinkwasserhygiene zu einem nachhaltigen Erfolg führt.

Wichtige Punkte sind dabei neben der Desinfektion:

- Vermeidung von stagnierendem Wasser (regelmässiges Spülen nicht oft verwendeter Zapfstellen)
- Vermeidung von Toträumen und Totsträngen im Leitungsnetz & Armaturen
- Hydraulischer Abgleich der Warmwasserverteilung & Isolation von Kaltwasserleitungen

Bei Desinfektionsmassnahmen wird zwischen physikalischer und chemischer Desinfektion unterschieden.



#### Physikalische Desinfektion:

- Temperatur (Desinfektion des ganzen Leitungsnetzes)
- UV-Strahlung (Eintrittsbarriere für Mikroorganismen)
- Filtration (Eintrittsbarriere für Mikroorganismen)

#### Chemische Desinfektion:

- |   |                      |                                  |
|---|----------------------|----------------------------------|
| – Natriumhypochlorit (Meist als Javellauge)   | (Einkauf & Lagerung) | (NaClO)                          |
| – Elektroaktivierte Desinfektionslösung (ECA) | (Erzeugung vor Ort)  | (HOCl + weitere Oxidantien)      |
| – Chlordioxid                                 | (Erzeugung vor Ort)  | (ClO <sub>2</sub> )              |
| – Ozon  | (Erzeugung vor Ort)  | (O <sub>3</sub> )                |
| – Wasserstoffperoxid                          | (Einkauf & Lagerung) | (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) |

#### Merkpunkte für die Praxis

- Zur Desinfektion von Trinkwasser haben sich in der Praxis vor allem die thermische & die chemische Desinfektion empfohlen, da diese die gesamte Trinkwasserinstallation erfassen. Verweilzeiten der Desinfektionsmassnahmen im Leitungsnetz.
- Da die Wirksamkeit der verschiedenen Desinfektionsmittel sehr unterschiedlich ist, richtet sich die Wahl des Desinfektionsverfahrens nach den gegebenen Voraussetzungen (Materialien) und nach der gewünschten Wirkung. Auch wird nur bei der korrekten Anwendung der Desinfektionsmassnahme deren volle Wirkung erreicht. Eine Absprache mit einer Fachperson im Bereich Trinkwasserhygiene wird deshalb dringend empfohlen.
- Bei der Wahl des Desinfektions-Verfahrens ist darauf zu achten, dass die Desinfektionsmethode auf das Rohrleitungsmaterial abgestimmt ist, sicherheitstechnisch unbedenklich ist und möglichst keine Gefahr für die Umwelt darstellt. Eine äusserst schonende Desinfektion wird mit der ECA - Desinfektion erreicht.
- Wird bei Desinfektion von Trinkwasser keinen Einsatz von Chemie gewünscht, stellt die thermische Desinfektion die ideale Lösung dar. Bei dieser ist besonders darauf zu achten, dass bei der thermischen Desinfektion im ganzen Leitungsnetz die geforderte Temperatur erreicht wird.

### 3.1.17 Korrosionsschutz von Rohrleitungen

Am gebräuchlichsten ist der Einsatz von Produkten auf der Basis von Phosphaten und Silikaten.

Ziel ist es, mit Hilfe dieser Substanzen eine Schutzschicht im Innern der Rohre aufzubauen, welche Korrosion inhibieren. Um eine bestmögliche Schutzschicht aufzubauen, sollte das zu behandelnde Rohr so sauber wie möglich sein. Aus diesem Grund müssen stark korrodierte Rohre vorgängig gespült werden, vorzugsweise mit Luftimpulsen.

Um den Aufbau der Schutzschicht zu überprüfen sollte ein neues, sauberes Rohrstück eingebaut werden. Dieses «Teststück» kann dann nach 3 – 6 Monaten ausgebaut werden und der Aufbau der Schutzschicht lässt sich visuell kontrollieren.

Um eine Schutzschicht aufrecht zu erhalten muss dem Frischwasser laufend Produkt zu dosiert werden.

#### Merkpunkte für die Praxis

- Zusätze im Trinkwasser sind in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV (1) geregelt, siehe 2.16 Beurteilungswerte für das Trinkwasser
- Je besser eine Leitung gereinigt werden kann desto besser wird die Schutzschicht aufgebaut.
- Eine Korrosion kann nur gestoppt, nicht rückgängig gemacht werden.

### 3.1.18 Beurteilungswerte für das Trinkwasser

Angaben und Definitionen gemäss Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV (1)

Höchstkonzentration, Toleranz- und Grenzwerte

- Als Höchstkonzentration gilt die Konzentration eines Stoffes und seiner toxikologisch bedeutsamen Folgeprodukte, die in oder auf einem bestimmten Lebensmittel vorhanden sein darf.
- Die Höchstkonzentration eines Stoffes wird als Toleranzwert oder als Grenzwert angegeben.
- Der Toleranzwert ist die Höchstkonzentration, bei dessen Überschreitung das Lebensmittel als verunreinigt oder sonst im Wert vermindert gilt.
- Der Grenzwert ist die Höchstkonzentration, bei dessen Überschreitung das Lebensmittel für die menschliche Ernährung als ungeeignet gilt.

Index	Parameter	Einheit	Toleranzwert	Grenzwert	Bemerkungen	Erfahrungswert
<b>Organoleptische Parameter</b>						
1.1	Geruch	-	-	Schwach nach Desinfektionsmittel		Ohne Befund
1.2	Geschmack	-	-	Schwach nach Desinfektionsmitte		Ohne Befund
1.3	Färbung	-	-	Schwach nach Desinfektionsmittel		Ohne Befund
<b>Physikalische- und Summenparameter</b>						
2.1	Gelöster org. Kohlenstoff	mg/l	-	-		< 1 (als C)
2.2	pH-Wert	-	-	9.2		6.8–8.2
2.3	Leitfähigkeit	µS/cm	-	-		200–800
2.4	Oxidierbarkeit (KMnO <sub>4</sub> -Verbr.)	mg/l	-	-		<3
2.5	Temperatur	°C	-	-		8–15
2.6	Trockenrückstand	mg/l	-	1500		100–500
2.7	Trübung unbehandelt nach Flockung und Filtration	TE/F	-	-		<0.5
		TE/F	-	-		<0.2
		TE/F	-	-		-
<b>Gase (gelöste), Desinfektions- und Reduktionsmittel, Reaktionsprodukte</b>						
3.1	Sauerstoff	%	-	-		>60
3.2	Chlor, freies	mg/l	0.1	-		-
3.3	Chlor, gebunden	mg/l	-	-		<0.2
3.4	Chlordioxid	mg/l	0.05	-		0.05
3.5	Ozon	mg/l	-	-		0.05
3.6	Hydrazin	mg/l	0.005	-		-
<b>Korrosionsrelevante und chemische Summenparameter</b>						
4.1	Gesamthärte	mmol/l	-	-		1.5–2.5
		mmol/l	-	-		>1.0
4.2	Calciumcarbonat-Sättigungsindex, SI	mmol/l	-	-		0 bis +0.3
4.3	Säureverbrauch, pH = 4.3	mmol/l	-	-		2-4

Index	Parameter	Einheit	Toleranzwert	Grenzwert	Bemerkungen	Erfahrungswert
<b>Chemisch-, Physikalische-Werte – Kationen</b>						
5.1	Aluminium	mg/l	0.2			<0.05
5.2	Ammonium	mg/l	0.5		für Trinkwasser vom reduzierenden Typus; berechnet als NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-
	Ammonium	mg/l	0.1		ausgenommen Trinkwasser vom reduzierenden Typus; berechnet als NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<0.05
5.4	Antimon	mg/l	0.005	-		
5.5	Arsen	mg/l		0.01	Übergangsfrist bis 1.1.2018 (bisher 0.05 mg/l)	<0.002
5.6	Bor	mg/l	1			
5.7	Blei	mg/l	0.01		ab Wasserhahn, 5 Minuten laufen lassen	<0.001
5.8	Cadmium	mg/l	0.003			<0.0005
5.9	Calcium	mg/l	-	-		40–125
5.10	Chrom	mg/l	-	0.05		
5.11	Chrom (VI)	mg/l		0.02		<0.001
5.12	Eisen	mg/l	0.3			<0.05
5.13	Kalium	mg/l	-	-		<5
5.14	Kupfer	mg/l	1	-		<0.02
5.15	Magnesium	mg/l				5-30
5.16	Mangan	mg/l	0.05		total, gilt nicht für Mineralwasser	<0.02
5.17	Natrium	mg/l	200			<20
5.18	Quecksilber	mg/l	-	0.001		<0.0001
5.19	Selen	mg/l	-	0.01		<0.001
5.20	Silber	mg/l	0.1	-		-
5.21	Uran	mg/l	-	0.03		-
5.22	Zink	mg/l	5	-		<0.1
<b>Chemisch-, Physikalische-Werte – Anionen</b>						
6.1	Bromat	mg/l	0.01	-	aus Trinkwasseraufbereitung stammend	
6.2	Chlorat	mg/l	0.2	-	aus Trinkwasseraufbereitung stammend	
6.3	Chlorid	mg/l	-	-		<20
6.4	Chlorit	mg/l	0.2	-	aus Trinkwasseraufbereitung stammend	
6.5	Cyanid	mg/l		0.05	als Hydrogencyanid (HCN)	
6.6	Fluorid	mg/l	1.5	-		<0.5
6.7	Nitrat	mg/l	40	-		<25

Index	Parameter	Einheit	Toleranzwert	Grenzwert	Bemerkungen	Erfahrungswert
6.8	Nitrit	mg/l	0.1	-		<0.01
6.9	Phosphate	mg/l	1	-	nur in warmem Wasser, berechnet als Phosphor	0.05
6.10	Silikate Zusatz 1.- 3. Monat Zusatz ab 4. Monat	mg/l	10 5	- -	berechnet als Silizium, während höchstens 3 Monate zur Schutzschichtbildung	
6.11	Sulfat	mg/l	<50	-		
6.12	Sulfid	mg/l	-	-		organoleptisch nicht wahrnehmbar
<b>Organische Verbindungen, Kohlenwasserstoffe, ohne FHKW</b>						
7.1	Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	mg/l	0.003	-	Summe von Benzol, Toluol und Xylol	
7.2	Benzo[a]pyren	mg/l	0.00001	-		
7.3	Benzol	mg/l	0.001	-		
7.4	Chlorethen (Vinylchlorid)	mg/l		0.0005		
7.5	Chlormethyloxiran (Epichlorhydrin)	mg/l		0.0001		
7.6	Chlorphenol	mg/l	-	-		<0.0001
7.7	ETBE + MTBE	mg/l	0.005		Summe von 2-Methoxy-2-methylpropan und 2-Ethoxy-2-methylpropan gilt im Verteilnetz (ausgenommen Hausinstalltionen)	
7.8	Ethylendiaminotetraessigsäure (EDTA)	mg/l	0.2			
7.9	Grenzflächenaktive Stoffe	mg/l	0.1		Insgesamt	
7.10	Kohlenwasserstoffe, polycyclische	mg/l	0.0001		Summe von Fluoranthren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(ghi)perylen, Indenol (1,2,3-cd)pyren	
7.11	Kohlenwasserstoff-Index C10-C40	mg/l	0.02			
7.12	Nitrioltriessigsäure (NTA)	mg/l	0.03	0.2		
7.13	Organische Verbindung mit unbekannter Toxizität, aber	mg/l	0.0001		siehe Ergänzungen und Bemerkungen	

	bekannter Struktur, mit strukturellen Hinweisen auf ein genotoxisches Potential					
7.14	Organische Verbindung mit unbekannter Toxizität, aber bekannter Struktur, ohne strukturelle Hinweise auf ein genotoxisches Potential	mg/l	0.01		siehe Ergänzungen und Bemerkungen	
7.15	Pestizide	mg/l	0.0005		Summe aller organischen Pestizide und deren relevanten Metaboliten, Abbauprodukte	
7.16	Phenole	mg/l	0.005			<0.0005
7.17	Phenole, wasserdampflich	mg/l	0.01		berechnet als Phenol	< 0.005 (als C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)
<b>Halogenkohlenwasserstoffe, flüchtige (FHKW)</b>						
8.1	Bromdichlormethan	mg/l		0.015		
8.2	Dibromchlormethan	mg/l		0.1		
8.3	1,2-Dichlorethan	mg/l		0.003		
8.4	1,1-Dichlorethen	mg/l		0.03		
8.5	1,2-Dichlorethen	mg/l		0.05		
8.6	Dichlormethan	mg/l		0.02		
8.7	Halogenkohlenwasserstoffe, flüchtige	mg/l	0.01		Summe aller halogenierten Substanzen mit einem Gerüst von 1 bis 3 C-Atomen und keinen weiteren funktionellen Gruppen	

Index	Parameter	Einheit	Toleranzwert	Grenzwert	Bemerkungen	Erfahrungswert
8.8	Einzelverbindungen	mg/l	-	-		<0.0001 (als Cl)
8.9	Tetrachlorethen	mg/l		0.04		
8.10	Tetrachlormethan	mg/l		0.002		
8.11	Tribrommethan	mg/l		0.1		
8.12	1,1,1-Trichlorethan	mg/l		2		
8.13	Trichlorethen	mg/l		0.07		
8.14	Trichlormethan	mg/l		0.04		
8.15	Trihalomethane	mg/l		0.05	Desinfektionsnebenprodukt, Summe von Bromdichlormethan, Dibromchlormethan, Tribrommethan und Trichlormethan	< 0.001 (als Cl)

## Ergänzungen und Bemerkungen

### 1.1 Geruch und Geschmack

Bei Behandlung des Wassers mit Desinfektionsmitteln kann ausnahmsweise ein Befund bis „deutlich“ für Chlor ( $\text{Cl}_2$ ), Chlordioxid ( $\text{ClO}_2$ ) und Ozon ( $\text{O}_3$ ) zugelassen werden.

### 1.3 Färbung

Fassung: Bei echtem Grundwasser treten geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen auf. Grosse Schwankungen weisen auf eine geringe Überdeckung der Fassung oder auf eine Beeinflussung durch Oberflächenwasser hin. Verteilnetz: Temperaturen unter 5 °C werden beim Trinken als unangenehm empfunden. An der Zapfstelle des Bezügers gilt für kaltes Trinkwasser, nach Vorlauf bis zur Temperaturkonstanz, eine Höchsttemperatur von 25 °C. Eine Überschreitung der Höchsttemperatur erfordert die Abklärung der Ursache. Aus mikrobiologischen Gründen (z.B. Legionellenproblem) sollte die Warmwassertemperatur im Boiler 60 °C und an der Zapfstelle mindestens 50 °C betragen.

### 2.2 pH-Wert

Der pH-Wert soll dem Gleichgewichts-pH-Wert entsprechen oder maximal 0.3 pH-Einheiten darüber liegen. Bei sehr weichen, wenig gepufferten Wässern kann der pH-Wert stark variieren und bis auf ca. 6 absinken. Nach einer Aufbereitung (Entsäuerung) kann ein pH-Wert bis zu 9.2 toleriert werden. Aus gesundheitlicher Sicht stellen pH-Werte unter 7.0 kein Problem dar, falls der Aggressivität des Wassers durch die Verwendung speziell korrosionsbeständiger Materialien (Kunststoff, nichtrostender Stahl, Spezialbeton) Rechnung getragen wird.

## 2.3 Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit ist ein Mass für den Ionengehalt des Wassers (Mineralisation). Grössere Schwankungen an der Fassungsstelle sind auf ihre Ursache hin zu überprüfen.

## 2.4 Oxidierbarkeit (KMnO<sub>4</sub>-Verbrauch)

Erhöhte KMnO<sub>4</sub>-Werte und DOC-Gehalte weisen auf eine organische Belastung hin. Die Belastung kann jedoch auch natürlichen Ursprungs sein (z.B. Grundwasser aus Moor oder Torfgebiet). Bei Konzentrationen von mehr als 2 mg/l (DOC) oder einem KMnO<sub>4</sub>-Verbrauch von über 6 mg/l soll die Ursache der organischen Belastung abgeklärt werden.

## 2.5 Temperatur

Fassung: Bei echtem Grundwasser treten geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen auf. Grosse Schwankungen weisen auf eine geringe Überdeckung der Fassung oder auf eine Beeinflussung durch Oberflächenwasser hin.

Verteilnetz: Temperaturen unter 5 °C werden beim Trinken als unangenehm empfunden. An der Zapfstelle des Bezügers gilt für kaltes Trinkwasser nach Vorlauf bis zur Temperaturkonstanz eine Höchsttemperatur von 25 °C. Eine Überschreitung der Höchsttemperatur erfordert die Abklärung der Ursache. Aus mikrobiologischen Gründen (z.B. Legionellenproblem) sollte die Warmwassertemperatur im Boiler 60 °C und an der Zapfstelle mindestens 50 °C betragen.

## 2.6 Trockenrückstand

Der Trockenrückstand liefert einen Hinweis auf die Menge der im Wasser gelösten nichtflüchtigen Stoffe. Je nach Einzugsgebiet kann der Gehalt von weniger als 100 mg/l (Wasser aus kristallinem Gebiet) bis über 1000 mg/l variieren.

## 2.7 Trübung unbehandelt und nach Flockung sowie Filtration

Bei alten, defekten Fassungsanlagen, ungenügend tief oder nicht fachgerecht gefassten Quellen, sowie bei Karstquellen können während oder nach starken Niederschlägen oder bei der Schneeschmelze erhöhte Trübungen auftreten. Trübes Wasser ist oft mikrobiologisch verunreinigt. Durch Trübstoffe kann die Wirkung von Desinfektionsanlagen beeinträchtigt werden. Trübungen können auch durch im Leitungsnetz gebildete Korrosionsprodukte und durch eingeschwemmte oder aus dem Wasser ausgefällte Ablagerungen verursacht werden.

Wenn ein filtriertes Wasser eine erhöhte Trübung aufweist, soll die Ursache abgeklärt und behoben werden. Der Grund für ein trübes Filtrat kann bei einer zu dünnen Filterschicht, ungeeignetem Filtermaterial, einer zu hohen Filtergeschwindigkeit oder einer fehlenden Flockungsmittelzugabe liegen. Bei der Aufbereitung von bakteriologisch stark verunreinigtem Rohwasser, gewährleistet ein Trübungswert von weniger als 0.2 TE/F mit hoher Wahrscheinlichkeit die Abwesenheit von Dauerformen parasitärer Protozoen (wie Oocysten von Cryptosporidien oder Cysten von Giardien).

## 3.1 Sauerstoff

Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff ist vom hygienischen Standpunkt aus ohne Bedeutung. Ein geringer Sauerstoffgehalt weist auf Sauerstoffzehrung durch den Abbau von organischen Verunreinigungen hin. Für die Begünstigung einer Schutzschichtbildung in den Leitungen ist eine relative Sauerstoffsättigung von 30 bis max. 100 % anzustreben.

### 3.2 Chlor, freies

Die Dosierung von Chlor, Chlordioxid und Ozon ist gesetzlich geregelt. Desinfektionsmittel können für Fische toxisch wirken. Nötigenfalls sind für Fischbecken oder für Überläufe von Reservoirs Sicherheitsmassnahmen zu treffen (z.B. Aktivkohlefilter). Die Zugabe von Chlordioxid kann in besonderen Fällen zur Bildung von Chlorit und Chlorat führen, deren Höchstkonzentrationen gesetzlich geregelt sind.

### 3.3 Chlor, gebundenes

Gebundenes Chlor (Chloramine) bildet sich bei der Chlorung von ammoniumhaltigem Wasser.

### 3.6 Hydrazin

Hydrazin wird selten noch zur Sauerstoffelimination im Kesselspeisewasser verwendet. Durch Leckstellen kann es z.B. bei zentralen Warmwasserversorgungen ins Trinkwasser gelangen.

## 4.1 Gesamthärte

Bei Enthärtungs- und Entsalzungsanlagen soll die Gesamthärte im Trinkwasser aus korrosionstechnischen und physiologischen Erwägungen mindestens 1 mmol/l betragen. Die Gesamthärte ist ein Mass für den Gehalt an Erdalkalien (Härtebildner).

## 4.2 Calciumcarbonat- Sättigungsindex, SI

Korrosionsschäden in Wasserinstallationen können durch die Wahl geeigneter Werkstoffe, deren vorschriftsgemässe Installation und über optimale Durchflussbedingungen deutlich eingeschränkt werden. Im Leitungsnetz stehendes und sich erwärmendes wie auch zu schnell fliessendes Wasser begünstigt Korrosionsvorgänge. Wasser mit einem pH-Wert unter 7.0 oder mit erhöhtem Neutralsalzgehalt weist eine verstärkte Tendenz zu korrosivem Verhalten auf. Für die Abschätzung eines Korrosionsrisikos kann auch die Kalkaggressivität des Wassers berücksichtigt werden. Die Beurteilung der Kalkaggressivität erfolgt gestützt auf die Berechnung des Sättigungsindex und allenfalls durch die Berechnung der freien und aggressiven Kohlensäure. Der Gleichgewichts-pH-Wert ist als Minimalwert zu betrachten, der nicht unterschritten werden soll. Ein Calciumcarbonat-Sättigungsindex im Bereich von 0 bis + 0.3 in Verbindung mit mindestens 3 mg/l gelöstem Sauerstoff bietet eine gute Voraussetzung für die Ausbildung einer Kalk-Rost- Schutzschicht. Bei negativem Sättigungsindex kann der Aufbau der Schutzschicht behindert oder der Abbau einer bestehenden Schutzschicht gefördert werden. Grund- und Quellwässer aus kalkhaltigem Untergrund befinden sich in der Regel im Gleichgewicht oder reagieren leicht kalkabscheidend. Negative Sättigungsindizes treten hauptsächlich bei sehr weichem Wasser oder bei reduziertem Grundwasser auf. Wenn ein hartes Wasser zur Anreicherung des Sauerstoffgehalts belüftet wird, kann ein namhafter Verlust an Kohlendioxid auftreten, wobei sich infolge Störung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes Calciumcarbonat abscheidet.

## 4.3 Säureverbrauch, pH = 4.3

Seine Bestimmung erlaubt die Berechnung der Hydrogencarbonationen-Konzentration eines Wassers. Säureverbrauch mmol/l  $\times$  5 = Carbonathärte in °fH.

## 5.1 Aluminium

Aluminiumverbindungen werden als Flockungsmittel bei der Filtration von Trinkwasser eingesetzt. Eine weitere Aluminiumquelle ist der kathodische Korrosionsschutz mit Aluminiumanoden.



## 5.2 Ammonium

Erhöhte Ammonium- und Nitritgehalte weisen in der Regel auf eine Verunreinigung durch Abwasser oder Hofdünger hin. Sauberes Grundwasser vom reduzierten Typus kann ebenfalls erhöhte Ammonium- und Nitritgehalte aufweisen. Bei der Chlorung von Wasser führen Ammoniumgehalte über 0,2 mg/l zu einer sensorischen Beeinträchtigung des Wassers (Chloraminbildung).

## 5.7 Blei

Nach längerer Stagnation in verzinkten Leitungen kann der Gehalt an Blei und Cadmium erhöht sein.

## 5.9 Calcium

Calciumkonzentrationen über 200 mg/l vermindern den Gebrauchswert des Wassers (Kalkabscheidungen)

## 5.12 Eisen

Je nach Gehalt an gelöstem zweiwertigem Eisen und Mangan, z.B. bei Grundwasser des reduzierten Typus, treten nach Kontakt mit Luftsauerstoff feinste Trübungen, Gelbverfärbungen und mit der Zeit auch Ausscheidungen von Eisenhydroxid auf, wobei mit einer Entwicklung von Eisenbakterien zu rechnen ist. Dadurch kann der Geschmack des Wassers nachteilig beeinflusst werden und es kann zu Ausschwemmungen von braunen resp. schwarzen Rückständen kommen. Bei leicht reduziertem Grundwasser kann ein erhöhter Mangangehalt ohne gleichzeitig erhöhten Eisengehalt auftreten.

## 5.14 Kupfer / 5.22 Zink

In verzinkten Eisenleitungen und in Kupferleitungen können vorwiegend nach Stagnation erhöhte Zink oder Kupferwerte auftreten. Im Grundwasser liegt der Kupfergehalt normalerweise unter 0.005 mg/l und der Zinkgehalt unterhalb 0.01 mg/l.

## 5.15 Magnesium

Wegen der Beeinflussung des Geschmacks und einer möglichen laxativen (abführenden) Wirkung soll ein Gehalt von 50 mg/l bei einem Sulfatgehalt von 250 mg/l  $\text{SO}_4^{2+}$  nicht überschritten werden. Bei kleineren Sulfatgehalten kann ein entsprechend höherer Wert toleriert werden; bei weniger als 30 mg/l  $\text{SO}_4^{2+}$  beträgt er 125 mg/l  $\text{Mg}^{2+}$ .

## 5.17 Natrium

Höhere Natriumwerte können geologisch bedingt sein oder auf eine Verunreinigung hinweisen. Gehalte über 200 mg/l können sich geschmacklich bemerkbar machen.

## 6.3 Chlorid

Sofern ein erhöhter Chloridgehalt nicht geologisch bedingt ist, deutet er auf eine Beeinflussung durch Dünger, Abwasser aller Art oder Sickerwasser aus Abfalldeponien hin. Gehalte über 80 mg/l  $\text{Cl}^-$  können die Korrosion vornehmlich von feuerverzinkten Installationen fördern, solche über 200 mg/l  $\text{Cl}^-$  machen sich zusätzlich geschmacklich bemerkbar.

## 6.5 Cyanid

Cyanid ist bis heute in schweizerischen Grund- und Quellwässern nur selten aufgetreten. Mögliche Verunreinigungsursachen sind Betriebsunfälle, Sickerwasser aus Gaswerksaltlasten und andere cyanidhaltige Ablagerungen.

## 6.6 Fluorid

Der Fluoridgehalt des Trinkwassers ist bei einer allfälligen zusätzlichen Fluorgabe zur Kariesprophylaxe zu berücksichtigen.

## 6.7 Nitrat

Ein erhöhter Nitratgehalt kann in der Regel auf eine intensive landwirtschaftliche Nutzung des Einzugsgebietes zurückgeführt werden. Quell- und Grundwasser aus anthropogen nicht beeinflussten Gebieten weisen Nitratgehalte unter 10 mg/l auf. Wasser mit hohem Nitratgehalt liefert einen erheblichen Beitrag zum Gesamtnitratgehalt der Nahrung.

## 6.8 Nitrit

Siehe 5.2 Ammonium

## 6.9 Phosphate

Erhöhte Phosphatgehalte weisen auf eine Infiltration von Oberflächenwasser oder eine Verunreinigung durch Abwasser oder Dünger hin. Quell- und Grundwasser aus anthropogen nicht beeinflussten Gebieten weisen meistens Phosphatgehalte unter 0.01 mg P/l auf. Die mengenmässig begrenzte Zudosierung von Phosphaten als Korrosionsschutz ist nur bei Warmwasser gestattet (x).

## 6.10 Silikate

Die mengenmässig begrenzte Zudosierung von Silikaten als Korrosionsschutz ist gesetzlich geregelt (x). Eine Zugabe von 10 mg/l während 3 Monaten, zur Schutzschichtbildung und anschliessend 5 mg/l zur Aufrechterhaltung sind erlaubt.

## 6.11 Sulfat

Erhöhte Sulfatgehalte können geologisch bedingt sein oder auf eine Verunreinigung z.B. durch Sickerwasser aus Bauschuttdeponien hinweisen. Gesundheitlich sind höhere Sulfatgehalte unbedenklich, sofern die unter 5.15 angegebenen Magnesiumgehalte nicht überschritten werden. Bei Gehalten über 200 mg/l  $\text{SO}_4^{2+}$  besteht ein erhöhtes Risiko für das Entstehen von Korrosionsschäden an Metallinstallationen und Beton.

## 6.12 Sulfid

Bei stark reduzierenden Bedingungen im Grundwasserträger entsteht aus Sulfat Sulfid.

## 7.8 EDTA

EDTA ist wegen seiner schlechten biologischen Abbaubarkeit in vielen durch Uferinfiltration angereicherten Grundwasservorkommen und in aufbereiteten Oberflächenwässern nachweisbar.

## 7.9 Grenzflächenaktive Stoffe

Grenzflächenaktive (waschaktive) Stoffe sind in anthropogen unbeeinflusstem Trinkwasser nicht nachweisbar. Da heute meist sogenannte «abbaubare» grenzflächenaktive Stoffe Verwendung finden, deren Abbauprodukte durch einfache Analysemethoden nicht miterfasst werden, sind je nach Fragestellung spezifische Methoden einzusetzen.

## 7.13 Organische Verbindungen mit unbekannter Toxizität, aber bekannter chemischer Struktur, mit strukturellen Hinweisen auf ein genotoxisches Potential

Gilt für alle organischen Verbindungen, für die keine ausreichende Datenbasis zur Toxizität vorliegt und welche der Kategorie «Substanzen mit genotoxischem Potential» zugeordnet werden. Ausgenommen sind Aflatoxin-ähnliche Verbindungen, Azoxy- Verbindungen, und N-Nitroso- Verbindungen. Weiter sind ausgenommen: nicht-essentielle Metalle und metallhaltige Verbindungen, Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen, Steroide und Proteine. Umsetzung gemäss Leitfaden «Umgang mit nicht geregelten Fremdstoffen im Trinkwasser». (7)

## 7.14 Organische Verbindungen mit unbekannter Toxizität, aber bekannter chemischer Struktur, ohne strukturelle Hinweise auf ein genotoxisches Potential

Gilt für alle organischen Verbindungen, für die keine ausreichende Datenbasis zur Toxizität vorliegt und welche einer der folgenden vier Kategorien zugeordnet werden: Substanzen ohne genotoxisches Potential mit hoher, mittlerer oder geringer Toxizität (Cramer Strukturklassen I, II und III) und Organophosphate. Ausgenommen sind nichtessentielle Metalle und metallhaltige Verbindungen, Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen, Steroide und Proteine. Umsetzung gemäss Leitfaden «Umgang mit nicht geregelten Fremdstoffen im Trinkwasser». (7)

## 7.15 Pestizide

Pestizide und ähnliche Substanzen sind in anthropogen unbeeinflusstem Trinkwasser nicht nachweisbar. Werden solche Substanzen festgestellt, soll die Ursache abgeklärt werden.

## 7.16 Phenole

Phenol und alkylierte Phenole sind als Einzelsubstanzen mit spezifischen Methoden zu bestimmen (GC, HPLC).

Polycyclische Aromaten (PAK):

Unter polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) werden diejenigen Verbindungen verstanden, die drei oder mehr aromatische Ringe in kondensierter Form enthalten. Im Wasser sind sie meistens an Partikel adsorbiert und werden deshalb hauptsächlich in Sedimenten oder Schwebestoffen angereichert. Im partikelfreien Wasser sind die Konzentrationen daher sehr gering. In der Praxis werden für die Erfassung der PAK-Belastung 6 Leitsubstanzen quantitativ bestimmt und deren effektiver Gehalt addiert. Die Leitsubstanzen sind: Benzo-(a)-Pyren, Fluoranthen, Benzo-(b)-Fluoranthen, Benzo-(k)- Fluoranthen, Benzo-(ghi)-Perylen, Inden-(1,2,3- cd)-Pyren.

## 8.7 Flüchtige Halogenkohlenwasserstoff (FHKW), Summenwert

Unter dem Begriff ‚flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe‘ werden im Wesentlichen die industriell und gewerblich verwendeten halogenierten, leichtflüchtigen Lösungsmittel Dichlormethan, Chloroform, Tetrachlormethan, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen und Tetrachlorethen verstanden. Daneben gehören auch ihre Abbauprodukte wie 1,2-cis-Dichlorethen, Vinylchlorid sowie die bei der Wasserchlorung entstehenden Haloforme zu dieser Substanzklasse. Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe, insbesondere Trichlorethan, Trichlorethylen und Tetrachlorethylen sind bereits in vielen Grundwasservorkommen nachweisbar.

### 3.1.19 Bakteriologische Anforderungen an das Trinkwasser

Die bakteriologische Qualität des Trinkwassers stellt für die Gesundheit des Konsumenten das bei weitem wichtigste Kriterium dar. Gewisse Viren und Krankheitserreger aus den Ausscheidungen kranker Menschen und Tiere können im Naturwasser eine gewisse Zeitlang überleben und dieses somit verseuchen. Die meisten durch den Genuss von Wasser hervorgerufenen Krankheiten sind entweder durch Bakterien oder durch Viren übertragbar. Zu den ersten Krankheitserregergruppen zählen die Salmonellen (Typhus, Paratyphus), die Shigellen (Ruhr), die Cholerabakterien; zu der zweiten manche Darmviren und die infektiöse Gelbsucht. Es ist schwierig und zeitintensiv, das Wasser auf pathogene Keime und Viren zu untersuchen. Deshalb ruht die bakteriologische Wasseruntersuchung hauptsächlich auf dem Nachweis von *Escherichia coli* und Enterokokken. Diese Keime werden in grosser Zahl im Darminhalt von Menschen und Tieren angetroffen. Zudem sind sie leicht nachweisbar. Man nimmt an, dass ein Wasser keine Krankheitserreger enthält, wenn keine fäkalen Keime nachgewiesen werden können.

**Tab. 3: Zugelassene Menge an Keimen im Bezug auf Fassungsstelle und Art der Keime (8)**

Index	Wasserfassungsstelle	Parameter	Toleranzwert / KBE
<b>1</b>	<b>Trinkwasser unbehandelt</b>		
1.1	An der Fassung	Aerobe, mesophile Keime <i>Escherichia coli</i> Enterokokken	100 / ml nn / 100 ml nn / 100 ml
1.2	im Verteilnetz	Aerobe, mesophile Keime <i>Escherichia coli</i> Enterokokken	300 / ml nn / 100 ml nn / 100 ml
1.3	abgefüllt in Behältnisse	Aerobe, mesophile Keime <i>Escherichia coli</i> Enterokokken	nn / 100 ml nn / 100 ml nn / 100 ml
<b>2</b>	<b>Trinkwasser behandelt</b>		
2.1	nach der Behandlung	Aerobe, mesophile Keime <i>Escherichia coli</i> Enterokokken	20 / ml nn / 100 ml nn / 100 ml
2.2	im Verteilnetz	Aerobe, mesophile Keime <i>Escherichia coli</i> Enterokokken	300 / ml nn / 100 ml nn / 100 ml
2.3	abgefüllt in Behältnisse	Aerobe, mesophile Keime <i>Escherichia coli</i> Enterokokken	nn / 100 ml nn / 100 ml nn / 100 ml
<b>3</b>	<b>Mineralwasser und Quellwasser</b>		
3.1	an der Quelle	Aerobe, mesophile Keime <i>Escherichia coli</i> Enterokokken <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	100 / ml nn / 100 ml nn / 100 ml nn / 100 ml
3.2	abgefüllt in Behältnisse	<i>Escherichia coli</i> Enterokokken <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	nn / 100 ml nn / 100 ml nn / 100 ml
<b>4</b>	<b>Trinkwasser ab Wasserspendern</b>		
4.1	aus Gallonen oder in einem Verteilnetz	<i>Escherichia coli</i> Enterokokken <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	nn / 100 ml nn / 100 ml nn / 100 ml

## Merkpunkte für die Praxis

### – Toleranzwert

Bei Überschreitung wird das Wasser als verunreinigt beanstandet, was zu Sanierungsmassnahmen verpflichtet. Eine befristete Weiterbenutzung ist in der Regel ohne Gesundheitsgefährdung möglich.

### – Grenzwert

Ein Grenzwert bezeichnet die Anzahl Mikroorganismen, bei deren Überschreitung ein Produkt als gesundheitsgefährdend gilt. Ab ca. 10 E.Coli oder Enterokokken pro 100 ml Wasser werden Sicherheitsvorkehrungen (z.B. Stosschlorung oder Abkochen des Trinkwassers) getroffen.

### – Aerobe mesophile Keime (AMK)

Eine hohe Keimzahl kann auf ungenügende Bodenfiltration an der Querausfassung oder ungünstige Betriebsbedingungen (Stagnation) im Verteilernetz zurückzuführen sein.

### – Escherichia coli

Bakterien, die ausschliesslich aus dem menschlichen oder tierischen Darm stammen. Verschmutzungsindikator für eine kürzlich erfolgte Fäkalverunreinigung. Falls Darmbakterien nachweisbar sind, könnten auch gefährliche Krankheitserreger vorhanden sein.

### – Enterokokken

Der Nachweis von fäkalen Enterokokken (Fäkalstreptokokken) weist ebenfalls auf eine fäkale Verunreinigung hin. Da Enterokokken widerstandsfähiger sind als E.coli, kann die Verunreinigung längere Zeit zurückliegen.

### – Pseudomonaden

Pseudomonaden gelten als Verursacher von Lungenentzündungen sowie Harnwegsinfekten, welche besonders für Menschen mit schwachem Immunsystem eine Gefahr darstellen. Dieser Kaltwasserkeim vermehrt sich vorzugsweise in mangelhaft durchströmten Leitungssegmenten.

### – Legionellen

Legionellen sind Bakterien, welche praktisch überall in der Natur vorkommen. Sie kommen auch im Trinkwasser vor. Die für den Menschen gefährlichste Art ist Legionella pneumophila, sie ist der Erreger der Legionärskrankheit. Für eine Infektion müssen die Legionellen in tiefe Lungenabschnitte kommen, diese Gefahr ist besonders bei Aerosolbildung gegeben.

Optimale Lebensbedingungen finden Legionellen in warmen Gewässern (25-50°C) welche möglichst geringe Strömung aufweisen.

Als Träger dienen den Legionellen Amöben, Sie können sich in den Amöben vermehren und werden durch diese auch gegen Desinfektionsmassnahmen geschützt. Dies da Amöben resistente Zysten ausbilden können. Die Amöben dienen auch als eine Art Trojanisches Pferd, da die Legionellen in den Amöben in den menschlichen Körper gelangen und erst dort austreten.

### – Biofilm

Als Biofilm versteht man eine Schleimschicht, welche aus Mikroorganismen besteht. Er kann Bakterien, Algen, Pilze, Protozoen und organische Bestandteile beinhalten. Von den Mikroorganismen werden extrazelluläre polymere Substanzen ausgeschieden, welche in Verbindung mit Wasser schleimige Hydrogele bilden.

Der Biofilm kann jegliche Desinfektion behindern, da er nur schwer von Desinfektionsmitteln durchdrungen werden kann. Ab einer gewissen Dicke kann in der Untersten Schicht der Sauerstoffverbrauch werden, wodurch Korrosiv wirkende Sulfat-reduzierende Bakterien wachsen können. Biofilm kann mit Chlordioxid zu einem grossen Teil entfernt werden. Ansonsten muss er mechanisch entfernt werden.