

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern = Weichwassergeräten gem. DIN 19633

auch nach der Empfehlung ResAP(2004)3 des Europarates zu Ionenaustauschern und Adsorberharzen, die bei der Herstellung von Lebensmitteln verwendet werden.

Im Gegensatz zu physikalischen Wasseraufbereitungsgeräten kann die Weichwasserqualität bei diesen Geräten gemessen und gesteuert werden (von 0 ° deutscher Härte – dH = voll entsalztes Wasser bis ca. 14 ° dH, je nach Notwendigkeit im Wasserbereich)

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern



1. Was ist ein Ionenaustauscher

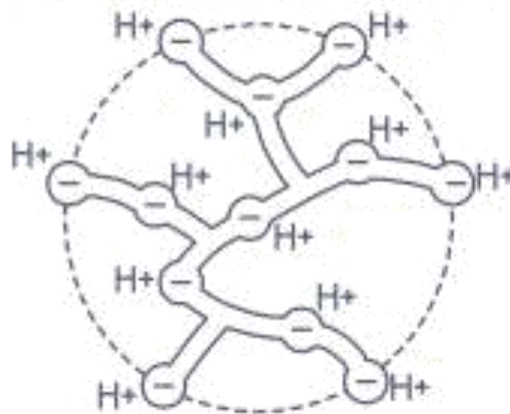
Ionenaustauscher sind wasserunlösliche Stoffe, die meist kornförmig eingesetzt werden. Sie besitzen die Fähigkeit, Ionen aus dem Wasser aufzunehmen, und dabei geben sie das am Austauscher haftende Ionenäquivalent an das Wasser ab. Dieser Vorgang läuft in einem Filter ab und wird als "Ionenaustausch" bezeichnet.

Aufbau von Ionenaustauschern

Aufgrund erster Beobachtungen benutzte man früher (vor 1950) zum Ionenaustausch silikatische Naturprodukte. Die Entwicklung ging über synthetische anorganische Austauscher und führte schließlich zu den organischen Austauschmaterialien. Diese Entwicklung verlief parallel der Kunststoffentwicklung. Der Austauscher selbst besteht aus einem Grundgerüst (Matrix), welches eine bestimmte Kettenlänge und Verzweigung aufweisen kann. Man kann sich diese Grundmatrix mit den vorhandenen aktiven Austauschergruppen wie eine Kugel vorstellen, die Eigenschaften eines Schwammes besitzen.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern

Bild 1: Grundgerüst der Austauscherkugel



H⁺- Abspaltbares Kation
z.B. stark saurer
Kationenaustauscher
(Wasserstoffaustauscher)

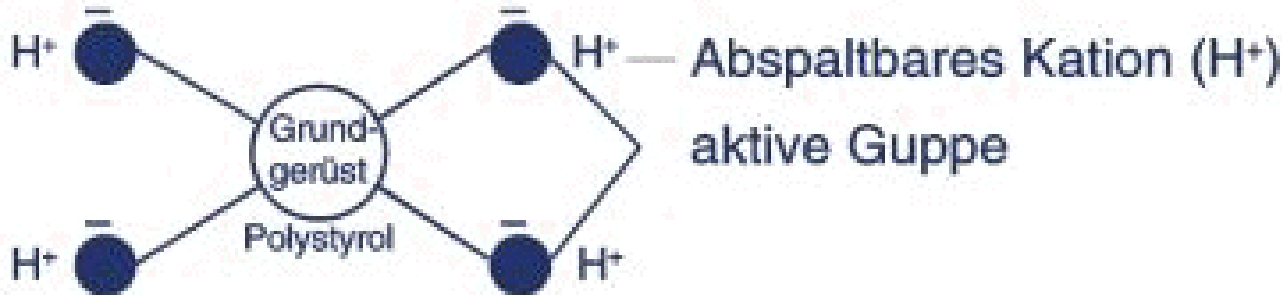


Grundgerüst mit negativer Gruppe

Das besprochene Grundgerüst ist in dieser Kugel (Bild I) vielfach und im gesamten Volumen vorhanden. Die im Austauscher aktiven Gruppen sind nicht nur auf der Kugeloberfläche, sondern befinden sich auch im Kugelvolumen. Eine einzelne Austauscherkugel hat somit viele Austauschergruppen, die befähigt sind, die im Wasser vorhandenen gelösten Salze auszutauschen

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern

Was sind aktive Gruppen?



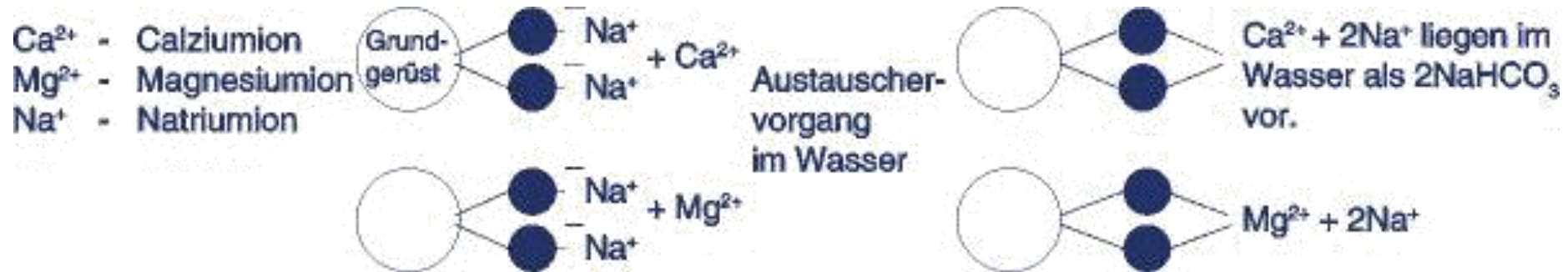
Das im Modell angegebene Grundgerüst besteht heute meist aus Polystyrol. Die kleineren Kugeln, die am Polystyrolkern gebunden sind, stellen die aktiven Gruppen dar. Jede dieser aktiven Gruppen besitzt nun weiter ein abspaltbares (austauschbares) Kation oder Anion (positive oder negative Ladungsträger). Die aktive Gruppe kann z.B. negativ geladen sein und enthält am äußersten Ende eine austauschfähige positive Ladung. Umgekehrt kann die aktive Gruppe positiv geladen sein und am äußersten Ende hängt eine austauschfähige negative Ladung.

Der Kationenaustauscher besitzt am äußersten Ende eine positive Ladung (H^+ oder Na^+). Der Anionenaustauscher besitzt am äußersten Ende eine negative Ladung (OH^- oder Cl^-). Diese nun angesprochenen äußersten Ladungsträger werden gegen die im Wasser vorhandenen Ionen je nach Ladungsvorzeichen ausgetauscht.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern

Austauschvorgang. Wir erklären den Austauschvorgang anhand einer Enthärtungsanlage. Es wird eine Kurzschreibweise eingesetzt:

Bild III



Das angesprochene Calcium und Magnesium liegt im Wasser am häufigsten als Magnesium- und Calciumhydrogencarbonat, Magnesium, Calciumchlorid vor. Bei der bildlichen Schreibweise wird Calcium und Magnesium als Kation geschrieben, da es für den Austauschvorgang auch in dieser Form im Wasser vorliegt. Die Austauschfähigkeit wird durch den relativ hohen Überschuss an Natriumionen gegenüber den vorhandenen Calciumionen im Wasser hervorgerufen und zum anderen durch die unterschiedlichen Ionenradien beider Kationen.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern



Sie fahren zum Beispiel von oben nach unten mit dem Wasser auf dem Enthärtungsfilter. Der Austauschvorgang zwischen Natrium- und Calciumionen ist auch von der Geschwindigkeit des durchfließenden Wassers pro Stunde und Liter Austauscherharz abhängig. Das Ablösen des Natrium (Na⁺)-Kations und das Ankoppeln des Calcium (Ca²⁺)-Kations ist auch eine zeitabhängige Reaktion, d.h., die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers darf nicht größer sein, als die eigentliche Austauschreaktion von Calcium und Natrium (Zeitreaktion). Man kann sich das wie folgt vorstellen:

Das Calciumion wird nicht nur an den aktiven Gruppen, die an der Kugeloberfläche liegen, ausgetauscht, sondern wandert ebenfalls in die Austauschkugel und nähert sich dem Natriumion an der aktiven Gruppe. Es kommt zum Austausch Calcium gegen Natrium. Das Natrium löst sich von der aktiven Gruppe.

Das Calcium hängt sich gleichzeitig an die aktive Gruppe und belädt den Austauscher. Das freie Natrium wandert jetzt aus der Austauscherkugel in den von oben nach unten fließenden Wasserstrom, um so aus dem Austauscherfilter abwandern zu können.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern



Beladung

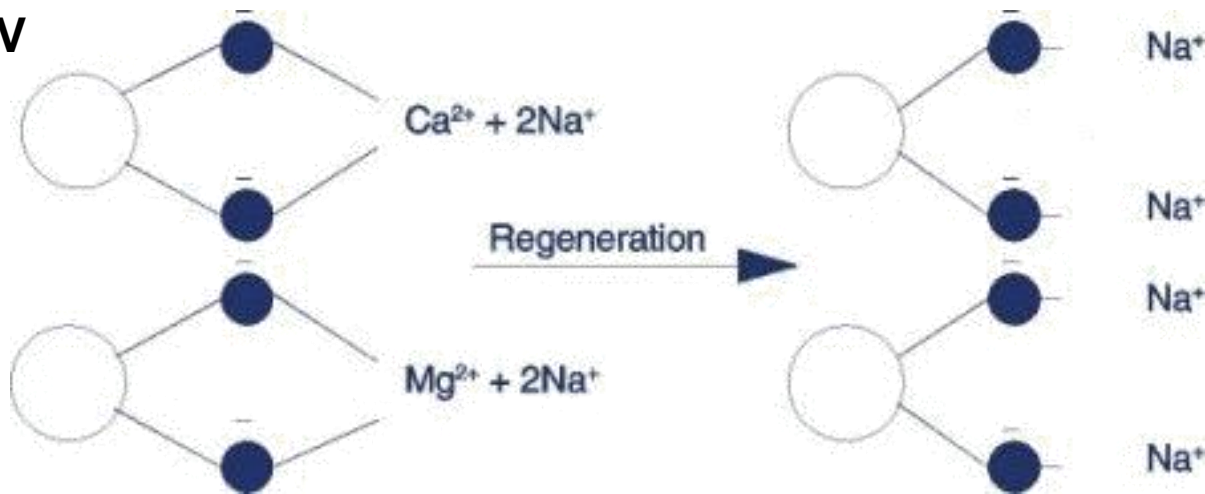
Wenn der eben beschriebene Vorgang soweit fortgeschritten ist, dass kein freies Natriumion mehr vorhanden ist, ist das Austauscherharz total beladen und damit erschöpft. Die Beladung des Austauschers kann hier bei der Enthärtungsanlage über die Messung der Gesamthärte ermittelt werden.

Regenerieren

Um weitere Calcium- und Magnesiumionen aus dem Wasser austauschen zu können, muss der Austauscher regeneriert werden. Die Regeneration erfolgt mit einer Natriumchloridsole (Kochsalzsole).
Erläuterung durch Zeichnung.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern

Bild IV



Nach diesem Regenerationsvorgang ist der Austauscher wieder in die Natriumform überführt worden und kann neu eingesetzt werden, um Calcium- und Magnesiumionen aus dem Wasser zu entfernen. Der Austauschvorgang funktioniert deshalb, weil man mit einem Überschuss an Natriumchloridsole auf den Austauscher geht. Das Natrium bleibt auf der aktiven Gruppe und wird gegen Calcium ausgetauscht. Das vorhandene Chlorid (Cl⁻) (eingebracht durch NaCl-Sole) wird mit dem Wasser abgeführt und verbindet sich mit dem vom Austauscher herunterregenerierten Calcium- und Magnesiumchlorid. Dieses Regenerat (Abwasser) kann in den Kanal abgelassen werden (neutral).

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern



2. Austauscherkorn beladen mit Ca^{2+} - Ion

Das Austauscherkorn ist beladen. Es hat für kein weiteres Ca^{2+} - Ion Platz. Es muss nun wieder regeneriert werden, d.h. mit Na^{+} - Ionen besetzt werden. Diese werden im Überschuss zugeführt.

3. Regeneration

Das Calciumion wird durch den Überschuss an Natriumionen aus dem Grundgerüst ausgetrieben und im Spülwasser zum Kanal geführt.

4. Austauscherkorn regeneriert

Der Austauscher ist mit Natriumionen besetzt. Das überschüssige Natriumion hat keinen Platz mehr und muss ebenfalls mit dem Spülwasser in den Kanal.

Der Beladungsvorgang 1. kann erneut beginnen.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern

Warum setzt man eigentlich eine Enthärtungsanlage ein?

Der Grund liegt darin, daß Calcium- und Magnesiumverbindungen (Magnesium-Calciumhydrogenkarbonat) bei Erwärmung des Wassers in unlösliche Magnesium- und Calciumkarbonatverbindungen übergehen. Diese Ausfällungen verursachen Wärmeübergangsprobleme und Rohrverengungen. Man führt deshalb im Ionenaustauschvorgang die unlöslichen Calcium- und Magnesiumverbindungen in die löslichen Natriumverbindungen über.

z.B. Calciumchlorid $\text{CaCl}_2 : 2\text{Cl}^-$ von CaCl_2 in 2NaCl

Calciumhydrogencarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 : 2\text{HCO}_3^-$ von $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ in 2NaHCO_3

Das Wasser ist nach der Enthärtungsanlage nicht salzärmer, sondern die eingangs vorhandenen Anionen liegen als Natriumsalze im enthärteten Wasser vor. Natriumsalze haben die Eigenschaft, bei Temperaturerhöhung im Wasser trotzdem in Lösung zu bleiben.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern



Hinweis über den Natrium - Grenzwert im Trinkwasser :

Nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom November 2011 liegt der Grenzwert für Natrium im Trinkwasser bei 200 mg/l.

In einer Enthärtungsanlage werden die Ionen der Härtebildner Calcium und Magnesium gegen Natriumionen ausgetauscht.

Darum wird eine Enthärtungsanlage auch als Ionenaustauscher bezeichnet.

Frage:

Rohwasser welcher max. Härte darf auf $8 \text{ °dH} = 1,43 \text{ mol/m}^3$ enthärtet werden, um den Natriumgrenzwert von 200 mg/l nicht zu überschreiten ?

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern

Hinweis über den Natrium - Grenzwert im Trinkwasser

Berechnung :

200,0 mg/l abzügl. _____ mg/l	Natrium (Grenzwert lt. TrinkwV) Natrium - Gehalt im zu enthärtenden Trinkwasser (aus Analyse entnehmen oder beim WVU erfragen)
abzügl. 5,2 mg/l	Natrium - Gehalt einer Dosierlösung, die zur Schutzschichtbildung verwendet wird

mg/l =====	Natrium dürfen durch die Enthärtung dem Wasser zugegeben werden. Dieser Wert ist durch 8,2 mg/l zu teilen, um die Härtegrade zu ermitteln, um die das Rohwasser teilenthärtet werden kann.

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten von Ionenaustauschern

Beispiel :

200,0 mg/l abzügl. 8,0 mg/l	Natrium (Grenzwert lt. TrinkwV) Natrium - Gehalt im zu enthärtenden Trinkwasser (aus Analyse entnehmen oder beim WVU erfragen)
abzügl. 5,2 mg/l	Natrium - Gehalt einer Dosierlösung, die zur Schutzschichtbildung verwendet wird
186,8 mg/l =====	: 8,2 mg/l = 22,7 °dH

In diesem Beispiel darf das Rohwasser um 22,7 °dH enthärtet und außerdem dosiert werden.