

Grundlagen

Wasser ist die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff, welche bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht. Es ist ein hervorragendes Lösungsmittel. Natürliches Wasser liegt deshalb in aller Regel nicht als chemisch reine Substanz vor, sondern enthält gelöste Mineralien und Salze sowie organische Verbindungen, aber auch disperse und kolloiddisperse Stoffe sowie Gase – in unterschiedlicher Konzentration und Zusammensetzung.

Ionen Salze dissoziieren im Wasser und bilden Ionen: Positiv geladene Ionen werden als Kationen, negativ geladene Ionen als Anionen bezeichnet.

Hauptsächlich enthält Wasser folgende Ionen, deren Anteile - je nach Wasserherkunft - unterschiedlich sind:

Kationen

- Calcium [Ca^{2+}]
- Magnesium [Mg^{2+}]
- Natrium [Na^+]
- Kalium [K^+]
- Ammonium [NH_4^+]
- Eisen [$\text{Fe}^{2+/3+}$]
- Mangan [Mn^{2+}]

Ca^{2+}	HCO_3^-
Mg^{2+}	Cl^-
Na^+	NO_3^-
K^+	SO_4^{2-}
NH_4^+	
CO_2	
SiO_2	
Organik	
Feststoffe	

Anionen

- Hydrogenkarbonat [HCO_3^-]
- Chlorid [Cl^-]
- Nitrat [NO_3^-]
- Sulfat [SO_4^{2-}]

Gase / Feststoffe

- Kohlendioxid [CO_2]
- Sauerstoff [O_2]
- Silikat [SiO_2]

Weitere Ionen liegen in Spuren vor:

- Kationen: Strontium [Sr^{2+}], Barium [Ba^{2+}], Lithium [Li^+]
- Anionen: Fluorid [F^-], Nitrit [NO_2^-], Phosphat [PO_4^{3-}], Bromid [Br^-], Iodid [I^-]

Organik Zusätzlich sind in jedem Wasser **organische Bestandteile** mit nichtionischem und ionischem, hauptsächlich anionischem Charakter vorhanden. Gemessen werden diese Verbindungen als Summenparameter

- gesamter organischer Kohlenstoff TOC (**T**otal **O**rganic **C**arbon)
- gelöster organischer Kohlenstoff DOC (**D**issolved **O**rganic **C**arbon)
- Oxidierbarkeit
- CSB (**C**hemischer **S**auerstoff**b**edarf) oder COD (**C**hemical **O**xygen **D**emand)

Daneben enthält Wasser ungelöste Wasserinhaltsstoffe, sogenannte disperse und kolloiddisperse Stoffe.

Anwendungen Die Wahl eines Ionenaustauschverfahrens und der Grad der Entsalzung orientieren sich an der vorgesehenen Verwendung sowie an den betrieblichen und ökonomischen Randbedingungen.

Mögliche Einsatzbereiche sind:

- **Dampferzeugung:** Nutzdampf für Dampfturbinen und Prozessdampf für industrielle Anwendungen, etc.
- **Lebensmittelbereich:** Herstellung von Fruchtsäften und Bier, etc.
- **Industrie:** Herstellung von technisch hochwertigen und sensiblen Gütern, z.B. im Bereich der Medizin oder der Elektronik oder im Bereich der galvanischen Industrie zur Reduzierung des Spülwasserverbrauchs oder Entgiftung von Abwässern, etc.

Technologien zur Entsalzung Um Ionen aus dem Wasser zu entfernen, kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz:

- Entsalzung nach dem Prinzip des **Ionenaustausches** durch Adsorption an aktivierten Oberflächen.
- Entsalzung über **Membrantechnologien** mittels halbdurchlässiger (semipermeabler) Membranen (Umkehrosmose).
- Entsalzung durch **Destillation**.

Auslegung Für die Auslegung einer Entsalzungsanlage wird eine vollständige Wasseranalyse mit Angabe des pH-Wertes, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur benötigt. Je nach Konstanz der Rohwasserwerte sind mehrere Analysen erforderlich, um mögliche Schwankungsbreiten zu erkennen.

Mittels Ionenbilanz kann eine Wasseranalyse verifiziert werden.

Bei einer exakten Analyse steht der Menge der Kationen eine äquivalente Menge Anionen gegenüber. Abweichungen sind nur im kleinen einstelligen Prozentbereich zulässig.

Neben den Angaben zum gewünschten Netto-Volumenstrom sind die Anforderungen, die das entsalzte Wasser erfüllen muss, anzugeben.

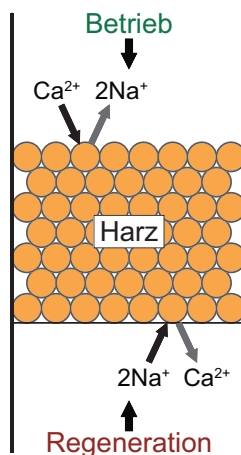
Die Anforderungen können beispielsweise auch durch Verweise auf technische Merkblätter und Richtlinien definiert werden, wie z.B. niedergeschrieben in

- **TRD** (Technische Regeln für Dampfkessel) für den Energieerzeugungsbereich (TRD 611)
- **VGB** (Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V.)

Verfahrensbeschreibung

Ionenaustauscher sind Kunstharze (organische Polymere). In diese sind verschiedene austauschaktive Gruppen eingebaut, an denen sich Ionen anlagern. Beim Austauschvorgang werden die Ionen der zu behandelnden Lösung gegen angelegte Ionen der gleichen elektrischen Ladung auf dem Harz ausgetauscht.

Prinzip Ionenaustausch



Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Kationen- und Anionenaustauschern.

Innerhalb dieser Arten gibt es weitere Differenzierungen in Bezug auf die austauscheraktiven Gruppen:

- schwach sauer / stark sauer
- schwach basisch / mittel basisch / stark basisch

Die Begriffe „Ionenaustauscher“ und „Harz“ werden im Sprachgebrauch der Wasseraufbereitung synonym verwendet.

Verfahrensübersicht

Die verschiedenen Ionenaustauscherqualitäten finden Anwendung in diversen Verfahren zur Entsalzung:

Gleichstrom-Verfahren

Sehr robuste Verfahrenstechnik, jedoch mit relativ hohem Chemikalienverbrauch und mittelmäßigen Entsalzungsraten, wird daher heute nur noch in bestimmten Fällen angewendet.

Gegenstrom-Verfahren

- **Schwebebett-Verfahren** (Beladung im Aufstrom, Regeneration im Abstrom)
Sehr ökonomisch, sehr gute Entsalzungsraten, verwandte Verfahrenstechniken: Liftbett- und Rinsebett-Verfahren.
- **Abstrom-Gegenstrom-Verfahren** (Beladung im Abstrom, Regeneration im Aufstrom)
Höherer Regenerierwasserverbrauch, verfahrenstechnisch etwas aufwendiger als das Schwebebett-Verfahren.

Multistep-Filter mit integriertem Pufferfilter

Spezialität des Schwebebettverfahrens, Kationen- und Anionenaustauscher in einem Filter, durch zusätzlichen Düsenboden getrennt.
Dritte Kammer mit weiterem Kationenaustauscher möglich.

Mischbett-Filter

- **Feinreinigungsmischbett**
Das Wasser aus dem Ablauf einer Entsalzungsanlage wird von verbliebenen ionischen Spuren gereinigt.
- **Arbeitsmischbett**
Rohwasser wird von Ionen befreit.

Schwebebett-Verfahren In Deutschland wird aufgrund der vielen Vorteile meist das Schwebebett-Verfahren eingesetzt.

Vorteile:

- effektivste Regeneriermittelausnutzung bei bester Entsalzungsleistung
- höchste Variabilität bei der Harzauswahl
- geringer Eigenwasserverbrauch
- sehr kompakte Bauweise der Behälter

Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens ist eine gute Vorreinigung des Rohwassers. Das Wasser muss eisen- und manganfrei sowie frei von Schwebstoffen sein.

Abstrom-Gegenstrom-Verfahren Das Abstrom-Gegenstrom-Verfahren bietet diese Vorteile ebenfalls, jedoch in teilweise abgeschwächtem Umfang.

Beide vorgenannten Verfahren beinhalten je einen Kationenaustauscher und einen Anionenaustauscher. Hiermit lassen sich bereits sehr gute Reinheiten im entsalzten Wasser erzielen, d.h. viele Ionen sind bereits vollständig entfernt, andere mit niedrigerer Affinität zum jeweiligen Ionenaustauscher liegen nur noch in sehr geringer Konzentration vor. Eine technische Verbesserung in Bezug auf verbleibende Ionen ist nur mit einer zweiten Stufe möglich, die wiederum Kationen- und Anionenaustauscherharze enthält. Diese beiden Ionenaustauscher können vermischt in nur einem Behälter untergebracht werden.

Multistep-Filter Multistep-Filter stellen eine Art Zwischenlösung zwischen Kationen- und Anionenaustauscher mit bzw. ohne Feinreinigungsmischbett dar. Kationen- und Anionenaustauscher sind hier in einer Säule, aber in getrennten Kammern untergebracht (= Multistep-Filter). Da der Schlupf eines Kationenaustauschers immer deutlicher ausgeprägt ist als der eines Anionenaustauschers, wird häufig eine weitere Kammer mit Kationenaustauscher hinzugefügt. Auf den zusätzlichen Anionenaustauscher (wie beim Mischbett) wird jedoch verzichtet. Mit diesem Dreikammer-Multistep-Filter werden ähnliche Rest-Leitfähigkeiten erreicht wie in Verbindung mit einem Feinreinigungs-Mischbett-Filter, ohne aber dessen niedrige Restkonzentrationen an Silikat zu erreichen.

Vorstehende Ausführungen vermitteln einen ersten Überblick über die **Vielfältigkeit der verfahrenstechnischen und apparativen Möglichkeiten** zur Entsalzung von wässrigen Lösungen mittels Ionenaustausch.

RWT verfügt über langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Wasseraufbereitung und Entsalzungstechnik. Umfangreiche und beste Referenzen belegen dies.

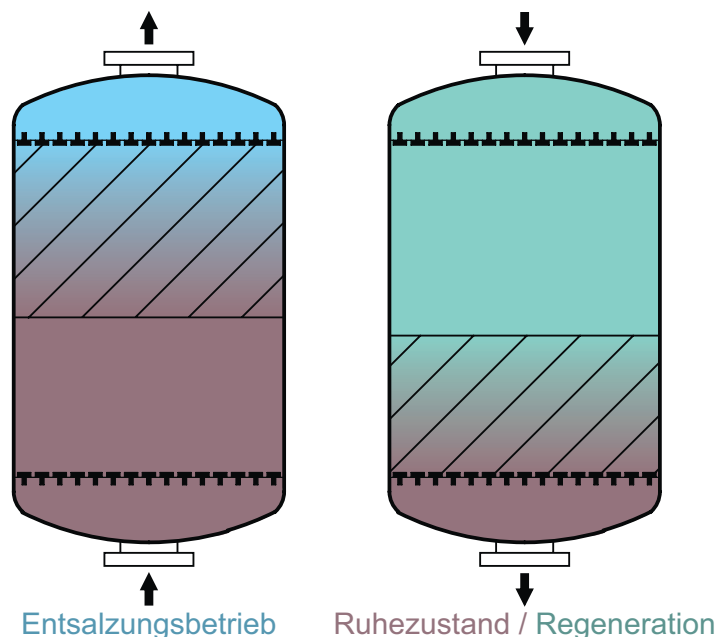
Für Sie als Kunden bedeutet dies eine optimierte Anlagenauslegung unter Beachtung der wichtigsten zu erfüllenden Eigenschaften (niedriges Investitionsniveau, hohe Betriebssicherheit, niedrige Betriebskosten).

Verfahrensbeschreibung - Schwebebettverfahren

Eine Vollentsalzungsanlage besteht mindestens aus einem Kationenaustauscher und einem Anionenaustauscher.

Die beiden Austauscher werden üblicherweise in unterschiedlichen Behältern in Reihe angeordnet. Die Kombination „Kationenaustauscher + Anionenaustauscher“ wird Straße genannt.

Betrieb Ein Schwebebettfilter hat einen oberen und einen unteren Düsenboden. Beim Entsalzungsvorgang wird das Material von unten nach oben durchströmt. Hierbei schwebt das Harz auf und wird gegen den oberen Düsenboden gedrückt. Um Umschichtungen während des Betriebs zu vermeiden, ist ein Mindestfluss erforderlich. Dies kann durch eine Kreislaufführung des Wassers erzwungen werden, um die hydraulischen Voraussetzungen zur Aufrechterhaltung des Schwebebetts zu gewährleisten.



Regeneration Bei voller Erschöpfung des Austauschermaterials muss dieses regeneriert werden.

In der Regel werden folgende Regenerierchemikalien eingesetzt:

- Salzsäure 30 - 33 % nach DIN EN 939 für den Kationenaustauscher
- Natronlauge 45 oder 50 % nach DIN EN 896 für den Anionenaustauscher

Nach Abschluss der Regeneration bleibt die Straße in Bereitschaft bzw. geht erneut in Betrieb.

Höhere Konzentrationen von Kohlendioxid können wirtschaftlich in einem Riesler entfernt werden. Der Anionenaustauscher kann dadurch deutlich kleiner dimensioniert werden. Der Chemikalien- und Regenerierwasserverbrauch für die Regeneration des Anionenaustauschers wird damit wesentlich geringer als in einer Anlage ohne Kohlendioxid-Riesler.

Anwendungen

Enthärtung

Die im Wasser gelösten Erdalkalien Calcium, Magnesium, Strontium und Barium werden als Wasserhärte bezeichnet. Strontium und Barium spielen nur eine untergeordnete und vernachlässigbare Rolle.

Bei der Enthärtung mittels Ionenaustausch werden die Calcium- und Magnesiumionen gegen Natriumionen ausgetauscht. Hierzu wird das Wasser über einen starksauren - mit Natriumionen beladenen - Kationenaustauscher geführt.

Die Regenerierung erfolgt mit höher konzentrierter Kochsalzlösung. Der Gesamtsalzgehalt bleibt bei diesem Verfahren unverändert.

Na ⁺	HCO ₃ ⁻
K ⁺	Cl ⁻
NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
	SO ₄ ²⁻
SiO ₂	
Organik	

Wasserzusammensetzung nach Enthärtung

Entkarbonisierung

Bei der Enthärtung werden nur die Ionen der Härtebildner ausgetauscht. Bei der Entkarbonisierung werden dagegen die Hydrogenkarbonatsalze des Calciums und des Magnesiums - die sogenannte Karbonathärte - entfernt.

Dieses Verfahren bewirkt eine Teilentsalzung des Wassers. Die Entkarbonisierung erfolgt mittels Filtration über einen schwach-sauren - mit Wasserstoffionen beladenen - Kationenaustauscher. Die Regenerierung erfolgt vorzugsweise mit Salzsäure.

Bei der Entkarbonisierung entsteht Kohlenstoffdioxid, welches in einem nachgeschalteten Riesler entfernt werden kann.

Um ein härtefreies Wasser zu erhalten wird in manchen Fällen eine Enthärtung nachgeschaltet.

CO ₂ /H ₂ O Riesler	
Ca ²⁺	Cl ⁻
Mg ²⁺	
Na ⁺	NO ₃ ⁻
K ⁺	
NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻
SiO ₂	
Organik	

Wasserzusammensetzung nach Entkarbonisierung

Vollentsalzung

Bei der Vollentsalzung werden sämtliche im Wasser gelösten Salze durch die Kombination von starksaurem Kationenaustauscher und starkbasischem Anionenaustauscher entfernt.

In der ersten Entsalzungsstufe erfolgt der Austausch aller Kationen gegen Wasserstoffionen. Die Konzentrationen der Anionen bleibt unverändert, d.h. es entstehen neben CO₂ auch starke Säuren wie Salzsäure HCl, Salpetersäure HNO₃ und Schwefelsäure H₂SO₄. Dieser Vorgang wird deshalb auch als Entbasung bezeichnet.

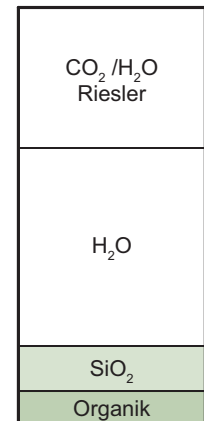
Die Regenerierung der Kationenaustauscher erfolgt vorzugsweise mit Salzsäure.

CO ₂ /H ₂ O Riesler
H ₂ O
SiO ₂
Organik

Wasserzusammensetzung nach Kationenaustauscher

Der saure Ablauf aus dem Kationenaustauscher wird in der zweiten Stufe über einen Anionenaustauscher geleitet.

Wird ein schwachbasischer Austauscher eingesetzt, werden nur die Mineralsäuren entfernt (HCl , H_2SO_4 , HNO_3).

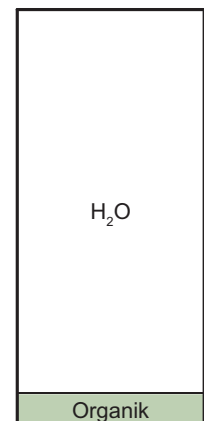


Wasserzusammensetzung nach Anionenaustauscher

Wird dagegen ein starkbasischer Austauscher eingesetzt, kann auch Kieselsäure (SiO_2) und Kohlenstoffdioxid entzogen werden. Sowohl im schwach-basischen als auch im stark-basischen Austauscher können organische Stoffe teilweise bis zu 90% reduziert werden.

Damit entsteht entmineralisiertes Wasser.

Die Regenerierung dieser Austauscher erfolgt mit starken Basen wie z.B. Natronlauge.



Wasserzusammensetzung nach Vollentsalzung

Sonderanwendungen

Organische Stoffe werden hauptsächlich von Anionenaustauschern aufgenommen. Für Sonderanwendungen stehen auch selektiv wirkende Harze zur Verfügung.

RWT - Entsalzungsanlagen

Unsere Anlagen zeichnen sich aus durch:

- Behälter aus Stahl mit 3 mm starker, innerer Hartgummierung und damit hoher Lebensdauer
- Lackierung mit Zweikomponenten-PU-Harz (auf sandgestrahltem Untergrund mit Zinkgrundierung)
- Schauglas zur Harzbesichtigung (optional mehrere Schaugläser möglich)
- Serienmäßige Harztransportstutzen für problemlosen Harztransport
- Düsenböden für beste Hydraulik des Harzbetts (keine Verteilsysteme über Düsensterne!)
- Doppeldüsen für optimale Anströmung des Harzbetts
- Spezielle Chemikaliendüsen für effizienteste Regeneriermittelausnutzung
- Optimale Regenerierung, dadurch (technisch) weitestgehende Eluierung aufgenommener Ionen durch abgestimmte Düsenwahl und Kammergeometrie, gerade auch in der Feinreinigungszone
- Düsenanzahl > 80 Düsen/m²
- Mannlöcher mit Schwenkarm bei Filterbehältern ab 900 mm Durchmesser
- Filterbehälter auch für höhere Betriebsdrücke und Betriebstemperaturen auslegbar
- Höchstqualität durch Fertigung am Unternehmensstandort (in Gütersloh, Deutschland)



Armaturen

Auch hier sind die RWT-Qualitätsmerkmale eindeutig erkennbar:

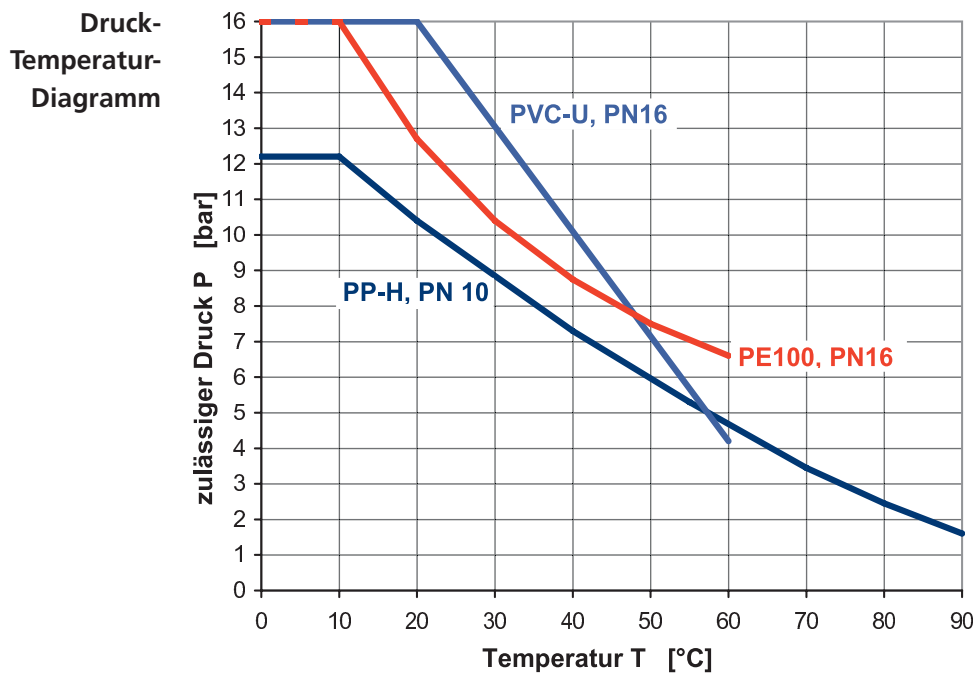
- Übersichtliche Armaturenordnung in einem Armaturenschaltbild vor dem jeweiligen Filterbehälter
- Übersichtliche Rohrleitungsführung und damit gute Prozesskontrolle
- Stehende Armaturenordnung mit stabiler Halterung, damit guter Schutz
- Verwendung pneumatisch angetriebener Membranventile, Sicherheitsstellung federkraftschließend, mit Steuerluft öffnend, inklusive visueller Stellungsanzeige
- Bei größeren Nennweiten (ab DN 65) werden vorzugsweise Absperrklappen in Endarmaturenausführung mit pneumatisch angesteuertem, doppelwirkendem Schwenktrieb und visueller Stellungsanzeige verwendet
- Optional können alle Automatik-Armaturen mit elektrischen Stellungsmeldern ausgerüstet werden

Verrohrungswerkstoffe

Normalerweise werden für die Rohrleitungen PVC und PP verwendet. Bei größeren Nennweiten (ab ca. DN 125/150) kommen metallische Rohrleitungen zum Einsatz. Prinzipiell sind die folgenden Werkstoffe möglich:

- PVC-U, PN 16(S6.3, SDR 13.6)
- PP-H, PN 10 (S5, SDR 11)
- PE 100, PN 16 (S5, SDR 11)
- Stahl innen gummiert
- Edelstahl 1.4301, 1.4541 oder 1.4571 nach DIN EN ISO 1127

Maßgeblich für die Auswahl des Werkstoffs sind die Randbedingungen wie Druck, Temperatur und chemische Zusammensetzung des Mediums.



Ionenaustauscher

Wir verwenden nur Ionenaustauscher führender Hersteller auf dem deutschen Markt. Importe aus anderen Kontinenten ohne kompetenten Hersteller-Service und Hintergrund finden bei uns keine Verwendung.