

GRUNDFOS **MEERWASSER- ENTSALZUNG** PUMPENHANDBUCH

Inhalt

Einleitung	5
1. Entsalzungsverfahren.....	7
a. Mehrstufige Entspannungsverdampfung (MSF, Multi-Stage Flash)	7
b. Vielfachverdampfung (MED, Multiple Effect Desalination)	9
c. Umkehrosmose	10
d. Vergleich der Kosten.....	11
2. Funktionsweise der Umkehrosmose (Reverse Osmosis, RO).....	13
a. Spiralwickelmodul	14
b. Energierückgewinnung.....	18
c. Beispiel für mögliche Energieeinsparungen	20
3. Wasserentnahme	25
a. Brunnen am Strand	25
4. Aufbereitung des entnommenen Wassers	27
a. Nanofiltration	28
b. Chlor.....	29
5. Ableiten der Sole	31
6. Aufbereitung und Verteilung des Permeats	33
a. Verteilung.....	33
7. Steuerungssysteme und Überwachung der Wasserqualität	35
8. Produktübersicht.....	38





EINLEITUNG

Einleitung

Wozu dienen Entsalzung und Wasseraufbereitung?

Reines Wasser (H_2O) ist eine farblose, geruchslose und geschmackslose Flüssigkeit. Sie spielt in unserem alltäglichen Leben eine sehr wichtige Rolle: 70 % der Erdoberfläche sind mit Meerwasser bedeckt. Das restliche Wasser ist in Form von Seen, Flüssen, Wasserläufen, Eis, Schnee und Luftfeuchtigkeit zu finden. Aber auch alle Lebewesen bestehen zu einem großen Teil aus Wasser: Tiere zu mindestens 50 % und Pflanzen zu etwa 80 %.

Wenn wir von Wasser im Allgemeinen sprechen, meinen wir für gewöhnlich Wasser, das einem bestimmten Zweck dient, z. B. der Verwendung als Trinkwasser oder als Prozesswasser in der Industrie. An dieser Stelle kommt die Wasseraufbereitung ins Spiel. Denn die in der Natur vorhandenen Wasserressourcen weisen nicht immer eine angemessene Qualität auf, um sie sofort für einen bestimmten Zweck nutzen zu können.

Etwa ein Fünftel der Weltbevölkerung lebt in Gebieten, in denen Süßwasser eine knappe Ressource ist. Aber für alle, die in Küstenregionen leben, bietet das Meer eine nachhaltige Alternative.

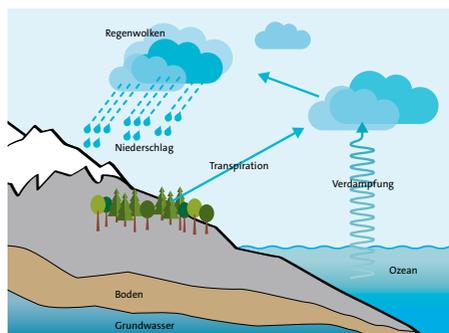
Trinkwasser muss rein sein und sollte im besten Fall auch noch gut schmecken. Es darf keine Stoffe enthalten, die zu Problemen führen könnten, wenn das Wasser tagtäglich getrunken wird. Bei Prozesswasser handelt es sich um Wasser, das einen direkten und wichtigen Bestandteil eines industriellen Prozesses oder Produkts darstellt. Seine chemische Zusammensetzung und Temperatur müssen präzise an die spezifischen Anforderungen angepasst werden.

Wasserverfügbarkeit

Die zunehmende Wasserknappheit bringt weitere Probleme mit sich. So stehen wir auch vermehrt den Folgen eines unausgeglichene

globalen Wasserverbrauchs und rasant abnehmender Wasserressourcen gegenüber. Steigende Bevölkerungszahlen, eine wachsende Mittelschicht und eine florierende Industrialisierung werden vermutlich auch in Zukunft den weltweiten Wasserverbrauch erheblich steigen lassen. Nur 3 % des Wassers auf der Erde ist Süßwasser. Auf diese Reserven zurückzugreifen, ist manchmal weder umsetzbar noch erstrebenswert. Hier bietet die Entsalzung eine potenzielle Lösung. Während des Entsalzungsprozesses wird Salzwasser (Meer-, Brack- oder salzhaltiges Grundwasser) in Süßwasser umgewandelt, das für die menschlichen Ernährung oder die Weiterverarbeitung geeignet ist. Heutzutage liegt der Fokus beim Thema Entsalzung auf der Entwicklung kostengünstiger Lösungen, um Menschen in den Regionen mit Süßwasser zu versorgen, in denen Wassermangel droht oder bereits herrscht. Entsalztes Wasser findet auch auf vielen Schiffen und U-Booten Anwendung.

Bei der Meerwasserentsalzung wird in der Regel viel Energie verbraucht. Außerdem ist eine spezielle Infrastruktur erforderlich, die das Wasser im Vergleich zu Süßwasser aus Flüssen oder Grundwasserbrunnen teuer macht.



Die thermische Entsalzung findet auch im natürlichen Wasserkreislauf statt.



ENTSALZUNGS- VERFAHREN

1. Entsalzungsverfahren

Es gibt verschieden Möglichkeiten, um Meerwasser zu entsalzen. Je nach Zweck der Entsalzung variieren dabei Kosten und Effizienz. Die Entsalzung hängt stark von der verfügbaren Technik ab, die ständig weiterentwickelt wird, um die Kosten niedrig zu halten, die Effizienz zu steigern und die Nachhaltigkeit der Lösung sicherzustellen, wozu auch eine geringere Umweltbelastung zählt.

Das am häufigsten verwendete und naheliegendste Verfahren zur Entsalzung ist die thermische Entsalzung. Hierbei wird Meerwasser (Salzwasser) verdampft. Wenn sich der dabei entstandene Dampf wieder verflüssigt, bleibt sauberes Wasser zurück. Für die Trinkwassergewinnung nutzt die thermische Entsalzung überschüssige Wärme.

Sie wird daher häufig dort eingesetzt, wo überschüssige Wärme verfügbar ist, z. B. in Öl- oder Kohlekraftwerken. Im Nahen Osten befindet sich ein Großteil der heute genutzten thermischen Entsalzungsanlagen.

a. Mehrstufige Entspannungsverdampfung (MSF, Multi-Stage Flash)

Die MSF-Entsalzung ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren, um aus Meerwasser Trinkwasser zu gewinnen. Bei diesem Verfahren wird überschüssige Hitze aus großen Wärmekraftwerken eingesetzt. Im Nahen Osten ist dieses Verfahren weit verbreitet.

Mithilfe der MSF-Entsalzung können 200.000 bis 800.000 m³ Wasser pro Tag aufbereitet werden.



Funktionsweise der MSF-Entsalzung

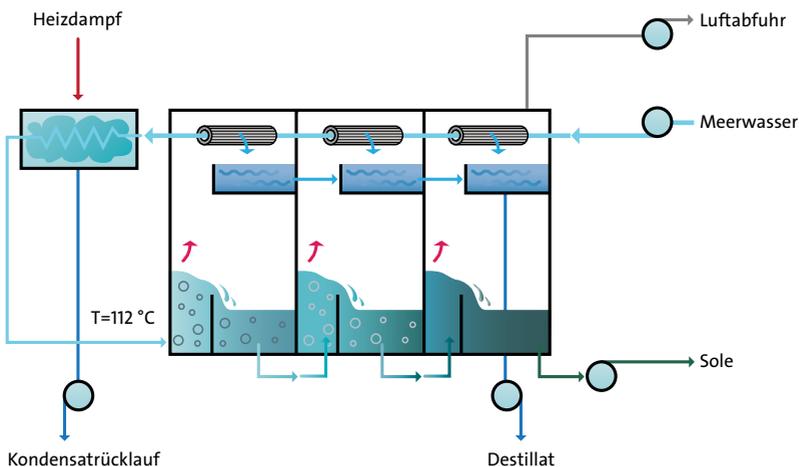
Bei der MSF-Entsalzung wird die Verflüssigung von Niederdruckdampf als Wärmequelle für die Verdampfung von Meerwasser genutzt. Nach wie vor gilt sie als einfachstes und am häufigsten verwendetes Entsalzungsverfahren. Es läuft wie folgt ab: Das Meerwasser passiert in langen, geschlossenen Rohren eine Reihe von Verdampfungskammern, in denen das heiße Meerwasser am Boden verdampft. Der Dampf aus den Verdampfungskammern erhitzt das Speisewasser in den Rohren. Dem Speisewassers wird so lange Hitze zugeführt, bis zunächst eine Temperatur von ungefähr 110 °C erreicht ist. Dafür wird üblicherweise Niederdruckdampf aus einer Gegendruckturbine in einem Elektrizitätskraftwerk verwendet. Der Dampf kondensiert an den Heizrohren und wird als Reinwasser weitergeleitet. Im Normalfall wird die konzentrierte Sole zusammen mit dem Speisewasser wiederverwendet. Ein Teil wird zurück ins Meer gepumpt.

Wenn die Sole den Erhitzer durchlaufen hat, ist darin die für die Verdampfung benötigte Energie gespeichert. Die Verdampfung findet aus gutem Grund in mehreren Stufen statt und nicht nur in einer Stufe mit dem niedrigsten Druck und der niedrigsten Temperatur: Bei nur einer Stufe würde das Speisewasser sich nur auf eine Temperatur erwärmen, die zwischen

der Zulauftemperatur und der Temperatur des Erhitzers liegt. Ein großer Teil des Dampfes würde dadurch nicht kondensieren und die Stufe könnte den niedrigsten Druck und die niedrigste Temperatur nicht aufrechterhalten. Diese Art von Anlagen kann mit 23 bis 27 kWh pro m³ destilliertem Wasser (ungefähr 90 MJ/m³) betrieben werden.

Da das kältere Salzwasser, das in den Prozess eingespeist wird, dem salzhaltigen Abwasser bzw. dem destillierten Wasser „entgegen strömt“, geht nur ein relativ kleiner Teil der Wärmeenergie über den Auslauf verloren. Ein Großteil der Wärme wird vom kälteren salzhaltigen Wasser aufgenommen, wenn dieses in Richtung Erhitzer strömt, sodass die Energie wiederverwendet wird.

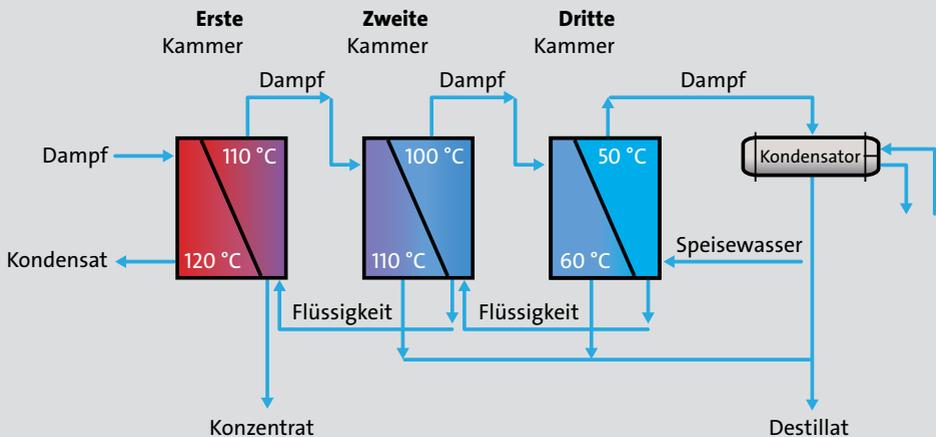
Hinzu kommt, dass insbesondere große MSF-Anlagen häufig mit einem Kraftwerk verbunden sind. Die überschüssige Wärme aus dem Kraftwerk wird dann dazu eingesetzt, das Meerwasser zu erhitzen. Gleichzeitig wird das Kraftwerk abgekühlt. Das reduziert den Energiebedarf um die Hälfte bis zwei Drittel, was einen drastischen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat, da die Energiekosten der bei weitem größte Kostenfaktor von MSF-Anlagen sind.



b. Vielfachverdampfung (MED, Multiple Effect Desalination)

Das MED-Verfahren wird für kleinere Wärmekraftwerke oder andere Anlagen mit Wärmeüberschuss eingesetzt.

Mithilfe der MED-Entsalzung können 2.000 bis 200.000 m³ Wasser pro Tag aufbereitet werden.



Funktionsweise der MED-Entsalzung

Vorstellen kann man sich diese Anlage als Aneinanderreihung abgeschlossener Kammern, die durch Rohrwände voneinander getrennt sind. An einem Ende befindet sich eine Wärmequelle, am anderen Ende eine Wärmesenke.

In jeder dieser Kammern herrscht eine niedrigere Temperatur und ein niedrigerer Druck als in der vorherigen Kammer. Wenn in der ersten Kammer der Druck zu niedrig oder

die Temperatur zu hoch ist, verdampft das Wasser. Wenn in der zweiten Kammer der Druck zu hoch oder die Temperatur zu niedrig ist, verflüssigt sich der Dampf. Auf diese Weise wird Verdampfungsenergie von der wärmeren ersten Kammer in die kältere zweite Kammer übertragen usw.

c. Umkehrosmose

Die Umkehrosmose (Reverse Osmosis, RO) entwickelt sich zunehmend zum bevorzugten Entsalzungsverfahren.

Sie ist in vielerlei Hinsicht das Kernstück des Entsalzungsverfahrens. Bei der Umkehrosmose fördern Hochdruckpumpen das Meerwasser durch semipermeable Membranen, wodurch die Wassermoleküle von den größeren Salzmolekülen getrennt werden. Die Membranen lassen das aufbereitete Rohwasser als Permeat passieren und stoßen das Konzentrat aus.

Einzelheiten zur Funktionsweise der Umkehrosmose finden Sie in Abschnitt 2 auf Seite 13.



Eine typische Umkehrosmoseanlage

d. Vergleich der Kosten

Derzeit erzielen die besten Entsalzungsanlagen mit Membranen einen Energieverbrauch im Bereich von 3,8 bis 4,2 kWh pro m³. Darin ist sowohl der Vorbehandlungsprozess als auch die Umkehrosmose eingeschlossen. Die Affordable Desalination Coalition hat bewiesen, dass ein Energieverbrauch von 1,58 kWh/m³ möglich ist, wenn nur die Meerwasser-Umkehrosmose (Sea Water Reverse Osmosis, SWRO) durchgeführt wird (also ohne Vorbehandlung und andere Pumpvorgänge). Thermische Entsalzungsanlagen können bis zu 18 kWh/m³ verbrauchen. Der Stromverbrauch einer MSF-Anlage liegt schon vor dem Erhitzen des Wassers für den Dampf bei 3,5 kWh/m³. Die Abbildung unten zeigt die relativen Betriebskosten der wichtigsten Entsalzungsverfahren. Es ist offensichtlich, dass die Energiekosten den größten Kostenanteil einer Entsalzungsanlage ausmachen und dass die Kosten von den jeweiligen Energiepreisen abhängig sind.

Die Investitionskosten von Entsalzungsanlagen können je nach standortspezifischen Gegebenheiten und verwendeten Technologien variieren. Ein Beispiel dafür ist das niedrige Gebot, das die Dubai Electricity and Water Authority (staatliches Energie- und Wasserversorgungsunternehmen des Emirates Dubai) 2008 für die Hassyan

P1 Station erhielt, in der MSF-Technologien eingesetzt werden. Der hohe Preis für Entsalzungsanlagen in Australien begründet sich hingegen darin, dass die für die Entsalzung erforderlichen Umweltstandards sehr hoch und die Anlagen mit komplexen Entnahme- und Auslassvorrichtungen ausgestattet sind. In den USA erwartet man, dass die Entsalzung mittels Umkehrosmose aus ähnlichen Gründen teuer wird.

Relative Betriebskosten der wichtigsten Entsalzungsverfahren

Um die Investitionskosten für SWRO-Anlagen zu ermitteln, können die Investitionsausgaben für das Umkehrosmoseverfahren (ohne standortspezifische Besonderheiten) zurate gezogen werden. Diese belaufen sich aktuell auf 1.100 USD pro m³ und Tag. Bei einer MED-Anlage kann man von 1.500 USD pro m³ und Tag ausgehen und bei einer MSF-Anlage belaufen sich die Investitionsausgaben auf 1.800 USD pro m³ und Tag. Die letzten beiden Angaben sind stark von den Rohstoffpreisen abhängig – bisher gibt es jedoch kaum Daten, die die aktuelle Situation am EPC-Markt (Engineering, Procurement and Construction) bestätigen.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Aufteilung der Investitionskosten der drei wichtigsten Entsalzungsverfahren:

Kosten im Verhältnis zum Umkehrosmoseverfahren				
Kostenkomponente	MSF	MED	MVC	RO
Anschaffungskosten	120	114	118	100
Energiekosten	215	175	140	100
Erneuerung der Membranen	---	---	---	100
Sonstige Kosten	103	89	100	100
Reinwasserkosten insgesamt	114	109	107	100



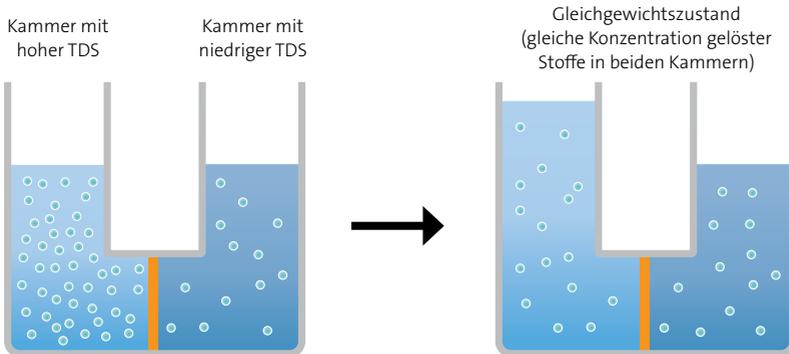
FUNKTIONSWEISE DER UMKEHROSMOSE

2. Funktionsweise der Umkehrosmose (Reverse Osmosis, RO)

Osmose beschreibt die natürliche Tendenz von Wasser mit niedriger Konzentration gelöster Stoffe (TDS), eine semipermeable Membran zu durchdringen, auf deren anderer Seite sich eine Lösung mit höherer TDS befindet. Durch diesen Vorgang wird die Konzentration der gelösten Stoffe auf beiden Seiten der Membran ausgeglichen.

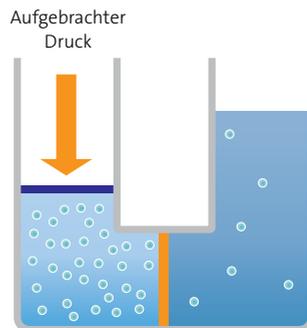
Die Abbildungen unten zeigen, wie die Wassermoleküle aus dem Wasser mit niedriger TDS

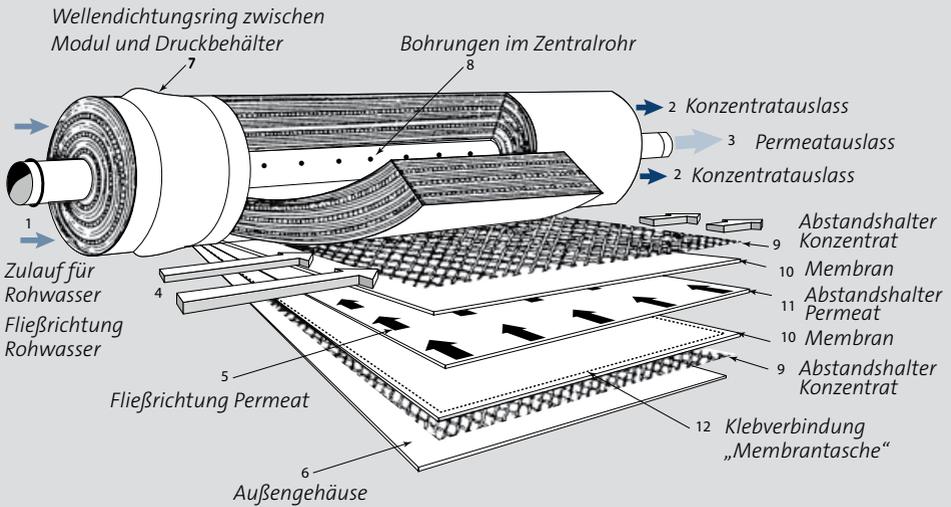
durch die semipermeable Membran in das Wasser mit hoher TDS strömen, um die Konzentration auf beiden Seiten auszugleichen. Die Wassermoleküle passieren nach und nach die Membran, sodass sich der Füllstand in jeder der Kammern verändert. Sobald die Konzentration der gelösten Stoffe auf beiden Seiten gleich ist, stoppt der Prozess. Das liegt daran, dass sich genug Druck aufgebaut hat, um das Fließen des Wassers von einer Seite zur anderen zu verhindern. Diesen Druck bezeichnet man auch als osmotischen Druck.



Bei der Umkehrosmose handelt es sich um einen Prozess, bei dem ein Druck aufgebracht wird, der höher ist als der osmotische Druck auf der Membranseite mit hoher TDS. Dadurch wird das Wasser gezwungen, die Membran hin zur Seite mit niedriger TDS zu durchqueren. Somit wird das natürliche Fließverhalten des Wassers „umgekehrt“.

Auch die Umkehrosmose-Membranen, die in der Entsalzung eingesetzt werden, basieren auf diesem Prinzip. Hier strömt Süßwasser von der Seite mit niedriger TDS durch eine semipermeable Membran auf die Seite mit hoher TD (z. B. Meerwasser, Brackwasser, Industrieabwasser usw).





Querschnitt eines Spiralwickelmoduls

a. Spiralwickelmodul

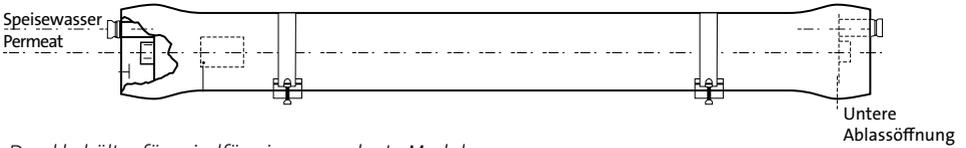
Im Trinkwassersegment ist das Spiralwickelmodul das dominierende Modul und der am weitesten verbreitete Modultyp.

Seine Konstruktion ist wesentlich komplizierter als diejenige anderer Modultypen. Zwei Membranen werden mithilfe eines durchlässigen Netzes zu einer „Membrantasche“ an drei Seiten verklebt. Das Netz befindet sich im Inneren der Tasche. An den beiden äußeren Flächen der Tasche sind die Membranen angebracht. Auf die Membrantasche wird ein Abstandshalter gelegt. Dann folgt eine weitere Membrantasche, ein weiterer Abstandshalter usw. Die offenen Seiten werden so an ein perforiertes Rohr geklebt (Permeatrohr), dass die Öffnungen direkt an den Bohrungen anliegen. Die Schichten aus Membrantasche werden dann um das Permeatrohr gewickelt – ähnlich wie bei einem

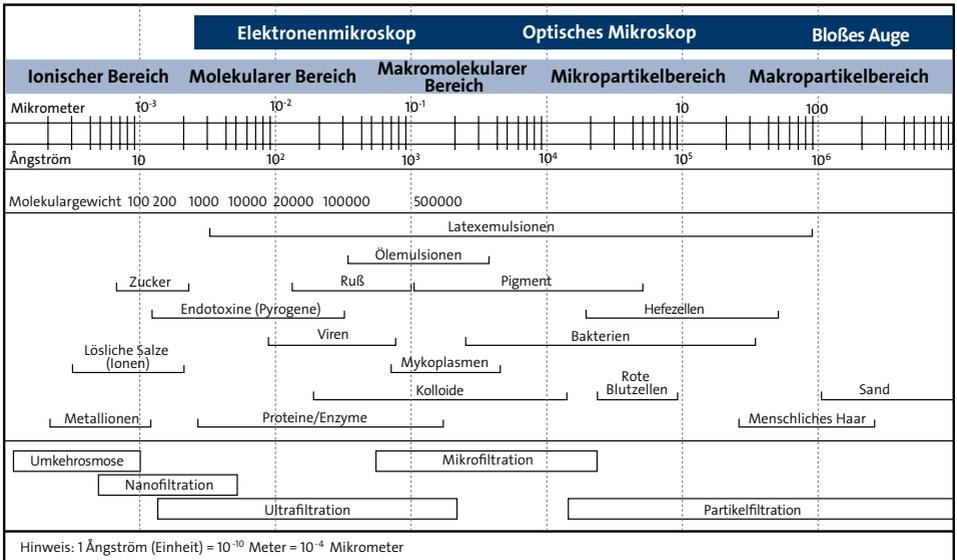
aufgerollten Teppich. Schließlich wird eine rohrförmige Gehäuseabdeckung (Stützhülse) um das gesamte Konstrukt platziert.

Die Module werden in einer Reihe aus bis zu sieben Modulen in einem Druckrohr, dem „Druckbehälter“, installiert. Dies ist entscheidend, damit die Module dem oft sehr hohen Systemdruck standhalten.

Während des Betriebs wird das Rohwasser in das eine Ende des Moduls geleitet und durchfließt dieses aufgrund der oben genannten Abstandshalter axial. Das Permeat dringt in die Membranen ein und tritt durch die Abstandshalter im Inneren der Membrantaschen wieder aus. Es durchfließt diese spiralförmig, bis es das Permeatrohr erreicht, an dessen Enden das Permeat ausgelassen werden kann.



Druckbehälter für spiralförmig angeordnete Module



Die Tabelle zeigt die unterschiedlichen Filtrationsprozesse in Abhängigkeit von der relativen Größe der zurückgehaltenen Partikel.

Für die Partikelfiltration sind verschiedenste Verfahren verfügbar, die jeweils für unterschiedliche Anforderungen geeignet sind. Bei Partikeln mit einer Größe von weniger als einem Mikrometer kommt die Membranfiltration zum Einsatz, die eine Art der Filtration mittels Träger ist.

Die Membranfiltration ist eine spezielle Art der Filtration auf einem Träger. Die Filtration/Rückhaltung von Partikeln und anderen Schadstoffen findet mithilfe von relativ dünnen Platten oder dünnen Fasern mit einer ultradünnen Oberflächenschicht statt. Während des Vorgangs bildet sich außen am Filter der sogenannte Filterkuchen. Die Regeneration des Filters wird dadurch erleichtert und kann mit geringerem Wasserverbrauch durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist der Marktanteil der Membranfilter im Bereich Wasseraufbereitung in letzter Zeit enorm gestiegen.

Membranreinigung

Die Umkehrosmose-Membranen müssen in regelmäßigen Abständen gespült und chemisch gereinigt werden. Dies kann während einer Betriebsunterbrechung geschehen, spätestens aber wenn die Leistung um 10 bis 15 % abgenommen hat.

Meerwasser durchfließt die Membran tangential, wodurch an der Länge der Membran ein Konzentrationsgefälle des Salzgehalts erzeugt wird. Die am höchsten konzentrierte Sole befindet sich am hinteren Ende der Membran.

Wenn die RO-Anlage angehalten wird oder sich im Stand-by befindet, setzt die natürliche Osmose zwischen der Permeatseite und der Konzentratseite mit der salzreichen Sole ein. Dadurch können die Abstandshalter für das Speisewasser beschädigt werden, da ein Vakuum in der Permeatleitung entsteht, wenn das Wasser naturgemäß durch den osmotischen Druck zur Konzentratseite zurückfließt.

Um diese Schäden durch die natürliche Wirkung der Osmose zu vermeiden, werden Meerwasser und Sole nach der Wartung mit Permeatwasser aus dem Permeatbehälter gespült (vor der Chlorierung) und durch eine Niederdruckpumpe (z. B. eine Förderpumpe, Speisepumpe oder spezielle Reinigungspumpe) in die Membran gedrückt.

Chemische Membranreinigung

Meerwasser fließt tangential entlang der Membran und bildet eine Grenzschicht auf der Membranoberfläche.

Normalerweise müssen Membranen gereinigt werden, wenn

- der normierte Permeat-Volumenstrom zwischen 10 und 15 % liegt,
- der normierte Zulaufdruck zwischen 10 und 15 % liegt,
- die normierte Permeat-Leitfähigkeit zwischen 10 und 15 % liegt oder
- der Druckverlust zwischen Speisewasser und Konzentrat zwischen 10 und 15 % liegt.

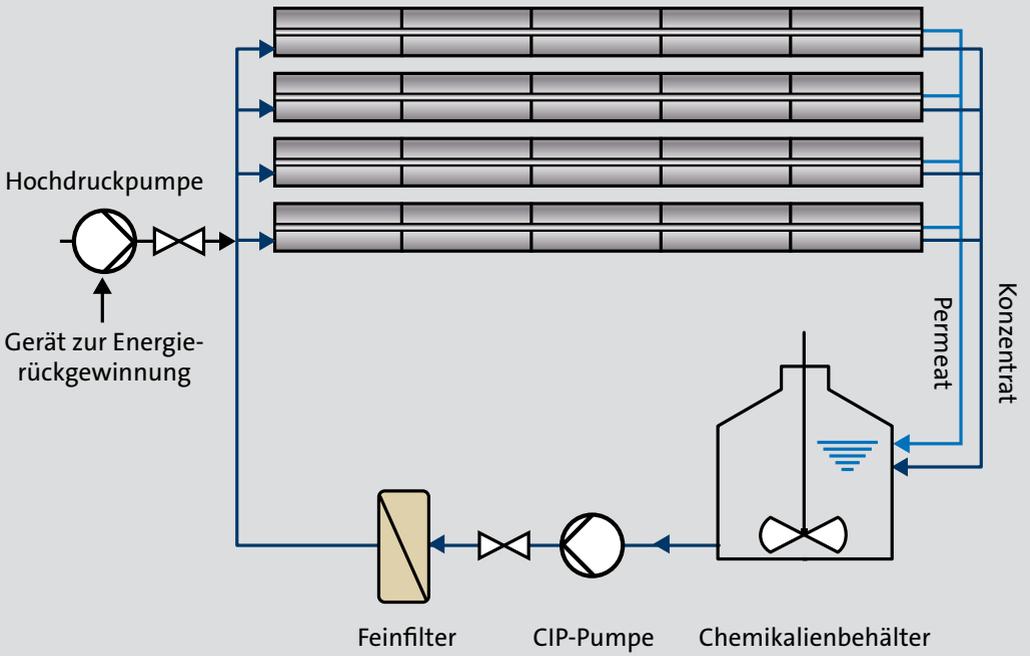
Die Temperatur- und Salzgehaltsschwankungen im Speisewasser werden von den normierten Werten berücksichtigt.

Um die chemische Reinigung zu erleichtern, kann eine CIP-Einheit (Cleaning in Place) integriert werden, die mit dem Membranträger verbunden wird.

Je nach Größe der Anlage umfasst die CIP-Einheit einen Chemikalienbehälter mit mechanischem oder manuellem Rührwerk, eine CIP-Pumpe und einen Filter, um das Eindringen von Verunreinigungen in die Membran zu verhindern. Die Größe des Chemikalienbehälters hängt von der Anzahl der Membranen ab, die gleichzeitig gereinigt werden sollen. Die Membranen werden mindestens 30 Minuten lang mit alkalischen und sauren Reinigungslösungen umspült.

Die regelmäßige Reinigung, die Chemikalien und die Verfahren werden durch den Aufbau der Entsalzanlage und die Membranverschmutzung (Fouling) bestimmt.





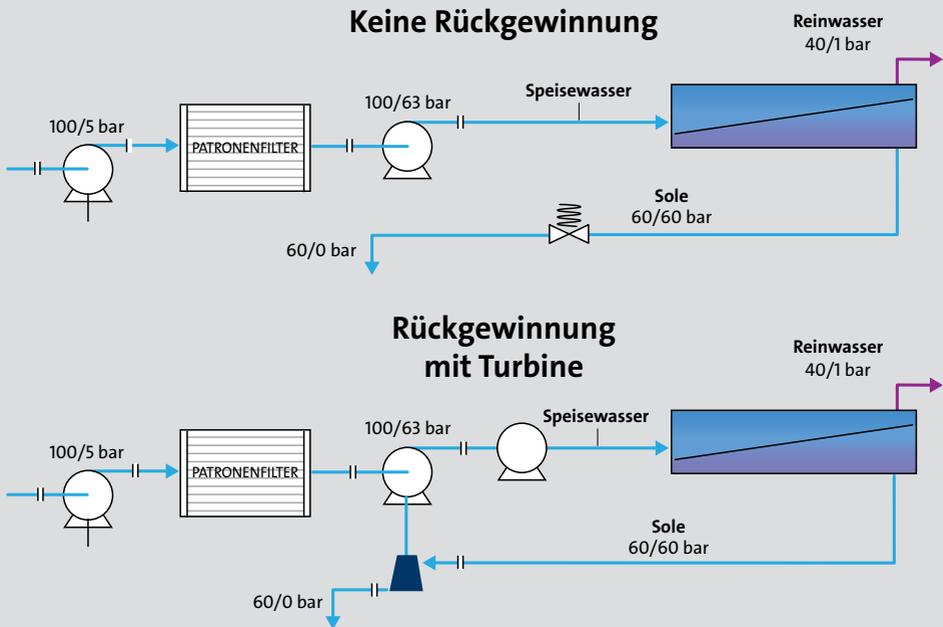
Die Umkehrosmosemembranen halten außer den Wassermolekülen alles zurück. Daher ist es erforderlich, nach diesem Schritt den pH-Wert anzupassen und wichtige Mineralstoffe hinzuzufügen, zum Beispiel indem man das Wasser durch Kalksteinfilter fließen lässt. Auch hier sind präzise Dosieranlagen und -pumpen entscheidend, um sicherzustellen, dass das Endprodukt (Reinwasser) bedenkenlos als Trinkwasser verwendet werden kann.

b. Energierückgewinnung

Die Sole verlässt die Anlage mit sehr hohem Druck. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um diese Energie zurückzugewinnen und wiederzuverwenden. Tatsächlich können durch die Nutzung dieser Energie mit Energierückgewinnungssystemen Energieeinsparungen von bis zu 60 % erzielt werden.

In der folgenden Abbildung sind zwei Lösungen zur Energieeinsparung und -wiederverwendung dargestellt. In der Konfiguration mit Pelton-turbine wird der gesamte Zulaufstrom von der Hochdruckpumpe bereitgestellt, wohingegen in der Konfiguration mit Drucktaucher nur ein Teil des Zulaufstroms (gleich dem Reinwasserstrom) von der Hochdruckpumpe gefördert wird.

Der Hauptunterschied zwischen den beiden Konfigurationen ist daher der von der Hochdruckpumpe gelieferte Förderstrom. Das bedeutet, dass die normalen Pumpen- und Motorverluste nur für einen Teil des Zulaufstroms gelten. Daher bietet die Konfiguration mit Drucktaucher Energieeinsparungsmöglichkeiten.



c. Beispiel für mögliche Energieeinsparungen

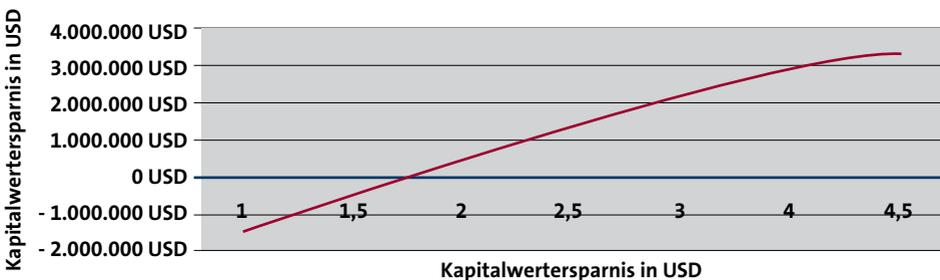
Nehmen wir an, eine Entsalzungsanlage mit einer Kapazität von 95.000 m³ pro Tag soll mit einer der beiden technischen Lösungen ausgestattet werden: Pelton-turbine oder Drucktaucher.

Allgemeine Auslegungsparameter beider Konfigurationen							
Wasserproduktion der Anlage	Druck auf die Membran	Soledruck von der Membran	Rückgewinnung der Anlage	Wirkungsgrad Hochdruckpumpe	Wirkungsgrad Pelton-turbine	Wirkungsgrad Umwälzpumpe	Wirkungsgrad Motor
95.000 m ³ /Tag	63 bar	50 %	85 %	87 %	89 %	95 %	
Pelton-Konfiguration							
Energieverbrauch der Hochdruckpumpe	Energierückgewinnung mit Pelton-turbine	Gesamter Energieverbrauch für eine Betriebsstunde	Spezifischer Energieverbrauch pro m ³				
16232 kW	5716 kW	11069 kWh	2,8 kWh				
Konfiguration mit Drucktauschern							
Leistung der Hochdruckpumpe	Leistung der Umwälzpumpe	Gesamter Energieverbrauch für eine Betriebsstunde	Spezifischer Energieverbrauch pro m ³	Der Unterschied im Energieverbrauch zwischen den Konfigurationen mit Drucktaucher und Peltronturbine beträgt 0,5 kWh pro m ³ .			
8643 kW	405 kW	8948 kWh	2,3 kWh				

Die Ausrüstungs- und Wartungskosten der Lösung mit Drucktaucher sind höher als bei Konfigurationen mit Pelton-turbine.

Welche Lösung den größeren Nutzen bietet, hängt von mehreren Faktoren ab, wie z. B. Energiekosten, Projektlaufzeit und Zinssätzen. Die folgende Abbildung zeigt die Kosteneffizienz der beiden Konfigurationen in Abhängigkeit von

den Energiekosten. Die Abbildung stellt den Fall einer Entsalzungsanlage mit einer Kapazität von 95.000 m³/Tag, einer Finanzierungsdauer von 10 Jahren und einem Zinssatz in Höhe von 7,5 % dar. Folgendes ist erkennbar: Wenn die Energiekosten für eine große Industrieanlage 0,0175 USD (1,75 Cent) pro kWh übersteigen, kann die Variante mit Drucktaucher wirtschaftlicher sein als die Lösung mit Pelton-turbine.

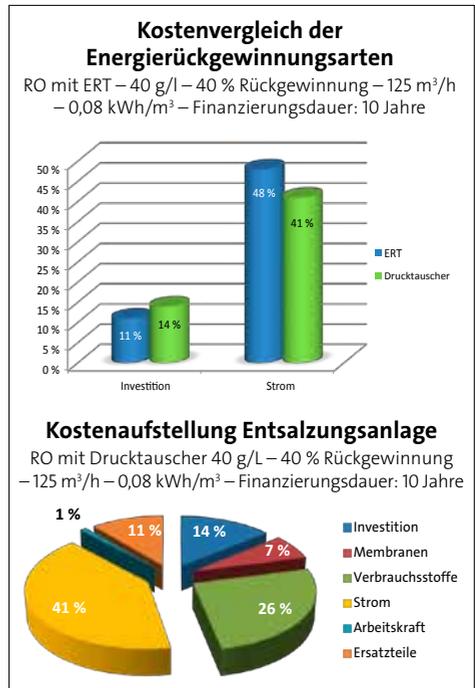


Kosteneffizienz von Lösungen mit Drucktauschern und Lösungen mit Pelton-turbine in Abhängigkeit von den Energiekosten

Unterschiede zwischen den beiden Konfigurationen

Der Wirkungsgrad von Pelton- und Francis-Turbine unterscheidet sich stark. Die Pelton-turbine ist effizienter und wird in den meisten SWRO-Anlagen eingesetzt. Der Schwachpunkt der Pelton-turbine besteht darin, dass sie einen schaumigen Förderstrom verursacht, der nur durch die Schwerkraft abgeführt oder erst dann mit einer Pumpe weitertransportiert werden kann, wenn sich der Schaum aufgelöst hat. Die Unterschiede zwischen Dual Work Exchange Energy Recovery (DWEER) und isobaren Drucktaucher-Systemen (ERI) sind gering. Beide gelten als zuverlässige Energierückgewinnungssysteme.

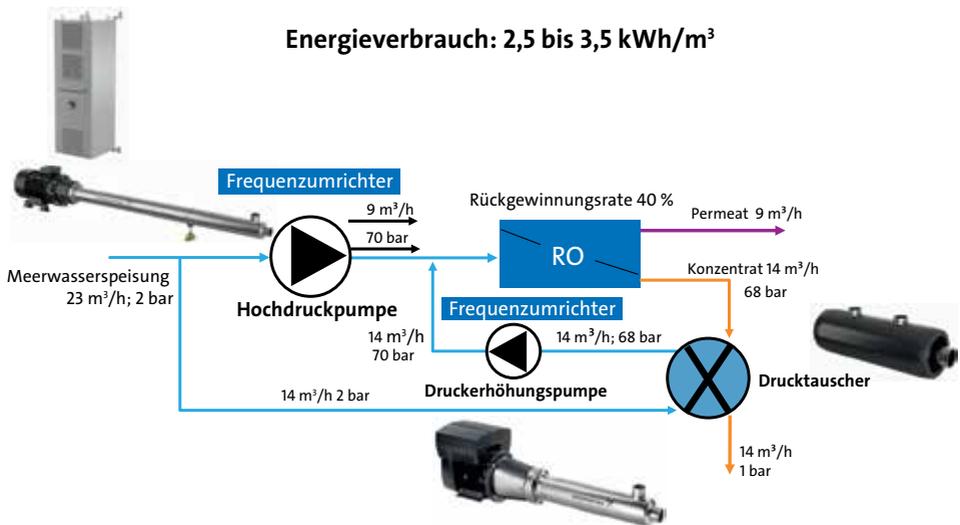
DWEER- und ERI-Systeme sind energieeffizient, aber auch teuer. Sie sollten nicht eingesetzt werden, wenn die Energiekosten niedrig sind, der Zinssatz hoch und die Finanzierungsdauer kurz ist. Welches Energierückgewinnungssystem eingesetzt wird, hängt auch damit zusammen, wie die Sole abgeleitet wird. DWEER- und ERI-Systeme sind in der Lage, einen ausreichenden Gegendruck aufrechtzuerhalten. So kann das Abbleiten der Sole in großer Entfernung erfolgen.





Isobarer Drucktaucher (ERI), eingesetzt für die Energierückgewinnung in BMSX-Anlagen von Grundfos

Energieverbrauch: 2,5 bis 3,5 kWh/m³



Das Verhältnis zwischen Energiekosten, Zinssätzen sowie Kosten für Arbeitskraft und den Bau der Anlagen ist maßgeblich für die Rückgewinnung, den Membranfluss und sogar die Wassergeschwindigkeit in den Rohrleitungen. Niedrige Energie- und hohe Arbeitskosten wie in den USA sind für die meisten Gebiete, in denen die Meerwasserentsalzung eingesetzt wird, eher ungewöhnlich. Diese Kombination wirtschaftlicher Parameter treibt Anlagenplaner dazu an, die Grenzen

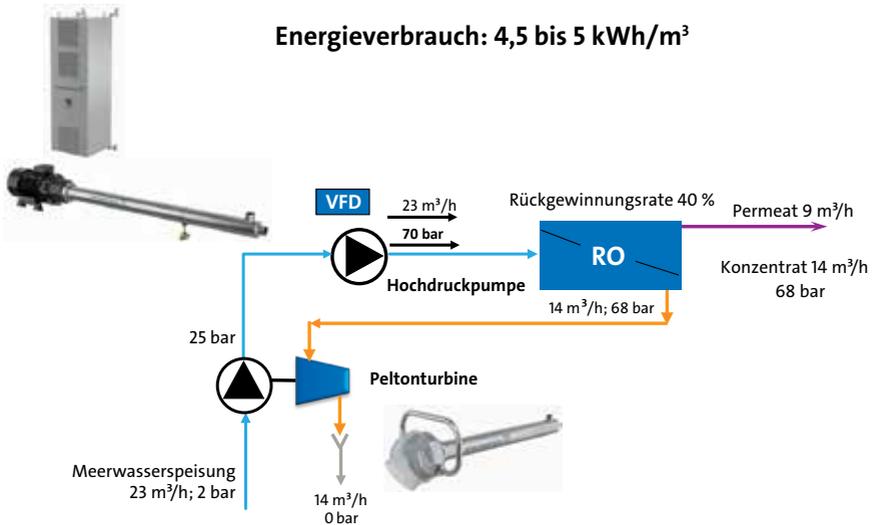
der Entsalzungs-technologie zu erweitern. Um die allgemeinen Wasserkosten niedrig zu halten, werden hohe Membranflüsse und eine hohe Rückgewinnung von den SWRO-Anlagenplanern vorgesehen. So können die Anlagenmaße reduziert und die Energieanteile der Wasserkosten erhöht werden.

In den Ausschreibungsanforderungen sollten die Grenzwerte für mehrere technische Parameter festgelegt werden, um eine zuverlässige Wasserversorgung zu gewährleisten.



Von einer Pelton turbine angetriebene BMT-Pumpe, eingesetzt in einer BMST-Anlage von Grundfos

Energieverbrauch: 4,5 bis 5 kWh/m³



Elektrische Leistungsaufnahme pro m³ Permeat einer SWRO-Anlage mit Pelton turbine





WASSERENTNAHME

3. Wasserentnahme

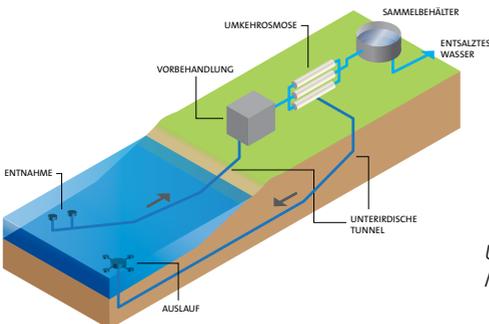
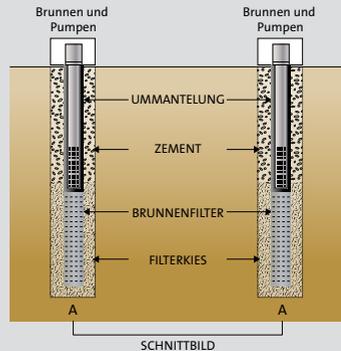
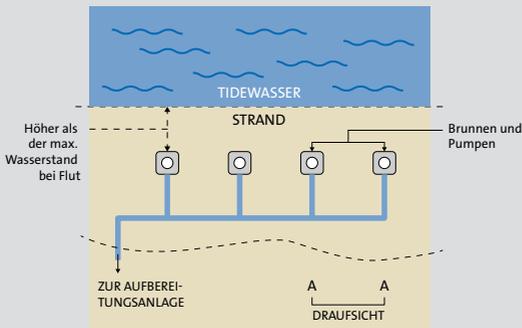
Der erste Schritt des Entsalzungsverfahrens ist die Entnahme von Meerwasser. Es gibt viele Möglichkeiten, wie man ein solches Entnahmesystem konstruieren kann – für welche Methode man sich entscheidet, hängt dabei von zahlreichen Faktoren ab, wie zum Beispiel dem Wasserbedarf und der Qualität des Meerwassers.

Bei kleineren Anlagen ist es meist eine gute Idee, Brunnen mit Unterwasserpumpen am Strand einzusetzen. Hierbei filtert der Sand das Wasser auf natürliche Weise und verringert so den Filtrationsaufwand in der Anlage.

a. Brunnen am Strand

Der Einsatz von Brunnen am Strand wird dann empfohlen, wenn sich die Qualität des Meerwassers mit den Jahreszeiten verändert und/oder gelegentlich starke Trübungen auftreten. Ein vertikaler Brunnen am Strand kann bis zu 200 m³ Wasser pro Stunde liefern. Ein radialer Brunnen kann je nach Bodenschichten bis zu 1.000 m³ Wasser pro Stunde liefern.

Bei größeren Anlagen oder Anlagen, die sich in Gebieten mit verschmutztem Küstengewässer befinden, sind Pumpengebäude mit trocken installierten Pumpen und Rohrleitungen meist die bessere Wahl. Durch eine Rohrleitung wird nicht nur die Entnahme größerer Wassermengen sondern auch die Entnahme außerhalb der verschmutzten Bereiche ermöglicht.



Übersicht über das Prinzip der Meerwasserentsalzung

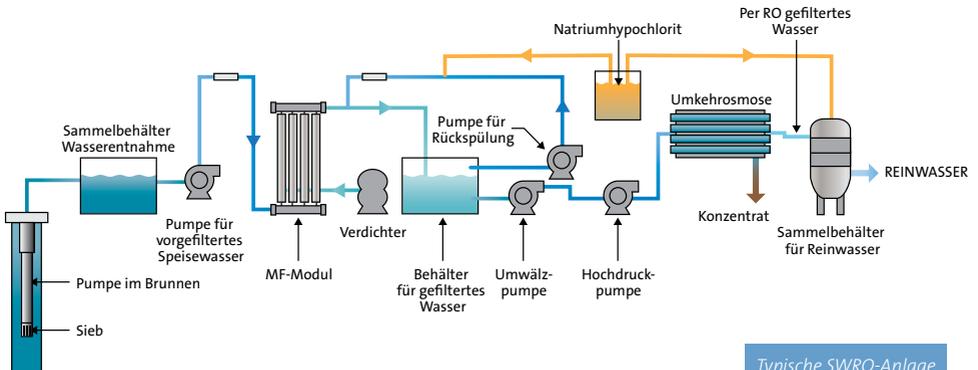
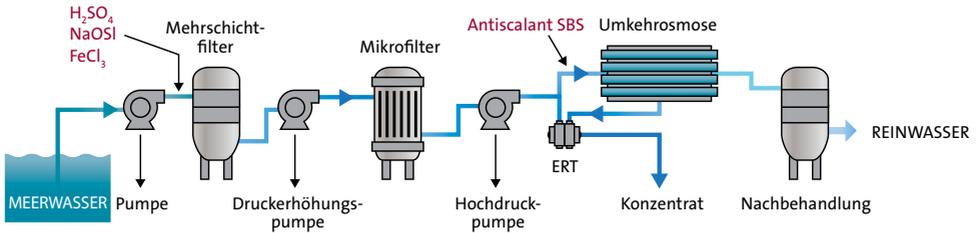


**AUFBEREITUNG DES
ENTNOMMENEN
WASSERS**

4. Aufbereitung des entnommenen Wassers

Der nächste Schritt bei der Meerwasser-
aufbereitung ist die mechanische und
gegebenenfalls chemische Vorbehandlung.

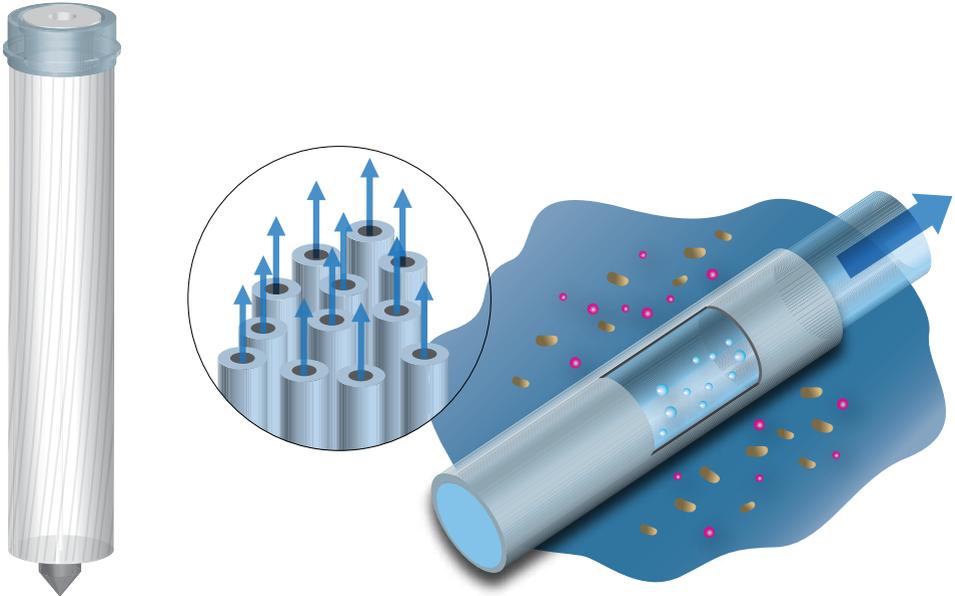
Typische SWRO-Anlage
mit Mehrschicht- und
Mikrofilter



Typische SWRO-Anlage
mit Ultrafiltration als
Vorfiltration

Die Wahl der Methode hängt von der Wasser-
qualität ab. Die gängigste Methode besteht
darin, das Meerwasser durch Mehrschicht-
filter zu leiten, die aus verschiedenen Schichten wie
zum Beispiel Sand oder Kies bestehen. So werden
Zweige, Seetang und andere Feststoffe aus
dem Wasser entfernt. Bevor das Wasser in die
Membranen gelangt, wird es durch Schlauch-
oder Patronenfilter gefiltert.

Es werden allerdings immer häufiger
Membranen für die Ultrafiltration eingesetzt,
die die Schlauch- oder Patronenfilter ersetzen.



Außenansicht einer Hohlfasermembran

a. Nanofiltration

Die Nanofiltration ist ein relativ neues Membranfiltrationsverfahren, das häufig dort eingesetzt wird, wo Wasser einen geringen Anteil an gelösten Feststoffen (TDS) enthält, wie z. B. Oberflächenwasser und Grundwasser. Die Nanofiltration wird zunehmend als Vorfiltration für SWRO-Anlagen eingesetzt. Sie dient der Enthärtung (polyvalente Kationenentfernung) und der Entfernung von Nebenprodukten der Desinfektion, darunter natürliche organische Stoffe und synthetische Stoffe.

Funktionsweise der Nanofiltration

Fouling wird in den SWRO-Membranen durch die Nanofiltration verhindert. Dadurch erhöht sich die Effizienz der Entsalzungsanlage. Die Nanofiltrationsmembranen, die für die Vorfiltration verwendet werden, sind oft Hohlfasermembranen.



b. Chlor

Gegebenenfalls kann Chlor in das Wasser gegeben werden, um Bakterien abzutöten, oder auch ein Flockungsmittel, um größere Partikel aus dem Wasser zu entfernen. Ablagerungen von Partikeln an den Membranen lassen sich durch den Einsatz eines Antiscalants vermeiden.

Bei diesem Verfahren sind präzise Dosierpumpen unerlässlich, um sicherzustellen, dass genau die richtige Menge an Chemikalien hinzugegeben wird.

Hinzugefügtes Chlor muss wieder entfernt werden, bevor das Wasser durch die Membranen gepumpt wird. Um Chlor und Chloramin zu entfernen, wird Kaliummetabisulfit im Wasser gelöst.

Bei diesem ersten Verfahrensschritt sind Speise- oder Blockpumpen ein wichtiger Bestandteil, um den richtigen Druck aufrechtzuerhalten und eine ordnungsgemäße Filtration zu gewährleisten. Zudem müssen die Pumpen einen ausreichenden Zulaufdruck zu den Hochdruckpumpen für das RO-Verfahren sicherstellen.



Dosierung von Chemikalien



Grundfos Polydos



ABLEITEN DER SOLE

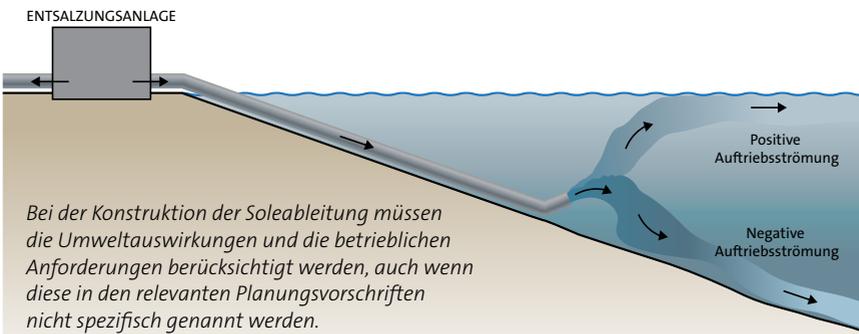
5. Ableiten der Sole

Bei der Planung einer Entsalzungsanlage muss das Ableiten der Sole berücksichtigt werden. Der Einfluss einer Meerwasserentsalzungsanlage auf die Meeresumwelt wird von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Abwasserströme der Entsalzungsanlage bestimmt. Außerdem spielt hierbei eine Rolle, wie anfällig das Ökosystem der Küste gegenüber dem zurückgeleiteten Wasser ist. Hierbei sind die unterschiedlichen hydrographischen und biologischen Eigenschaften von Bedeutung. Gute Kenntnisse der Abwassereigenschaften und der Anlagenumgebung sind zwingend notwendig, um die potenziellen Auswirkungen von Entsalzungsanlagen auf die Meeresumwelt bewerten zu können.

Die Sole-Ströme sind sehr groß. In der Regel umfassen sie bei membranbasierten Technologien wie der Umkehrosmose 50 bis 60 % und bei thermischen Technologien wie dem MSR-Verfahren einschließlich des Kühlwassers bis zu 90 % des Entnahme-Förderstroms. Die Ströme sind daher fast so groß wie der erforderliche Süßwasserstrom oder sogar wesentlich größer. Der Salzgehalt und die Temperatur haben einen direkten Einfluss auf die Dichte des Abwassers. Die verschiedenen Dichteunterschiede zwischen der Sole und dem Zulaufwasser zeigen sich durch die Auftriebsströmung und verursachen Unterschiede in den Strömungseigenschaften am Auslass. Der Abwasserstrom mit der höheren Dichte bildet meist eine negative Abwasserfahne und verteilt sich als Dichteströmung am Meeresboden. Eine neutrale oder positive Auftriebsströmung führt hingegen dazu, dass sich die Abwasserfahne an der Meeresoberfläche ausbreitet, was charakteristisch für thermische Entsalzungsanlagen ist.

Meerwasserentsalzungsanlagen transportieren eine Reihe von Abfallprodukten in die Küstenregion. Darunter konzentrierte Sole, die auch eine erhöhte Temperatur aufweisen kann und oft Bewuchshemmer, Antiscalant und andere Stoffe enthält. Moderne Anlagen mit großer Kapazität benötigen einen Auslass unter Wasser, um eine starke Verdünnung sicherzustellen, die die schädlichen Einflüsse auf die Meeresumwelt minimiert.

- In der Öffentlichkeit und Wissenschaft stehen die Umweltauswirkungen von Entsalzungsanlagen zunehmend im Fokus. Die Umweltauswirkungen sind für die Einleitgenehmigung ausschlaggebend. Sie beeinflussen somit den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage und erfordern unter Umständen Änderungen.
- Neue Vorschriften verlangen einen besseren Umweltschutz an der Einleitstelle („Abwassernormen“) sowie im Zulaufwasser („Umweltstandards“). Um diese Vorschriften zu erfüllen, ist eine optimierte, hocheffiziente Konstruktion der Auslässe erforderlich, die eine gute Vermischung ermöglicht.
- Die Planung der Auslässe erfolgt oft, ohne die Auswirkungen auf die Umwelt oder betrieblichen Anforderungen ausreichend zu berücksichtigen. Insbesondere bei größeren Anlagen oder Anlagenkomplexen kann es vorkommen, dass die Rückströmung zurück zur Entnahmestelle der Anlage fließt, was die Effizienz des gesamten Systems mindert. Es gibt kein geeignetes Planungstool, das Planer und Betreiber von Entsalzungsanlagen bei der wichtigen Planung der Soleableitung unterstützt.





AUFBEREITUNG UND VERTEILUNG DES PERMEATS

6. Aufbereitung und Verteilung des Permeats

Am Schluss des Verfahrens steht die sogenannte Stabilisierung. Sie stellt das Gleichgewicht in der Wasserchemie wieder her, nachdem in den vorherigen Schritten Bestandteile hinzugefügt und entfernt wurden. Die Stabilisierung ist besonders wichtig, da es sich um den letzten Schritt vor der Weiterleitung des Wassers an die Endverbraucher oder Industrieanlagen handelt. Im Prinzip wird in diesem Schritt eine pH-Anpassung vorgenommen, bei der dem Wasser Mineralien wie Calcium (Ca) oder Magnesium (Mg) zugeführt werden. Auch in diesem Schritt kann es wieder vorkommen, dass Ionen aus dem Wasser entfernt werden, um das Wasser zu enthärten.

Die Wasserchemie muss reguliert werden, um Korrosion in den Rohrleitungen und an den Werkstoffen im anschließenden Prozess zu verhindern. Außerdem kann so die Wirksamkeit der Desinfektion sichergestellt werden, die bei einigen Chemikalien vom pH-Wert abhängt. Zudem kann so erreicht werden, dass das Wasser den Standards und Vorschriften für die jeweilige Wasserverwendung entspricht.

a. Verteilung

Im Grunde enden alle Wasseraufbereitungsprozesse mit dem Verteilernetz und den eingesetzten Pumpen. Wichtig ist auch hier, dass die ausgewählten Werkstoffe für die jeweilige Wasserverwendung geeignet sind. Gleiches gilt für die optimale Druckhöhe und den richtigen Förderstrom.



Dosierstationen



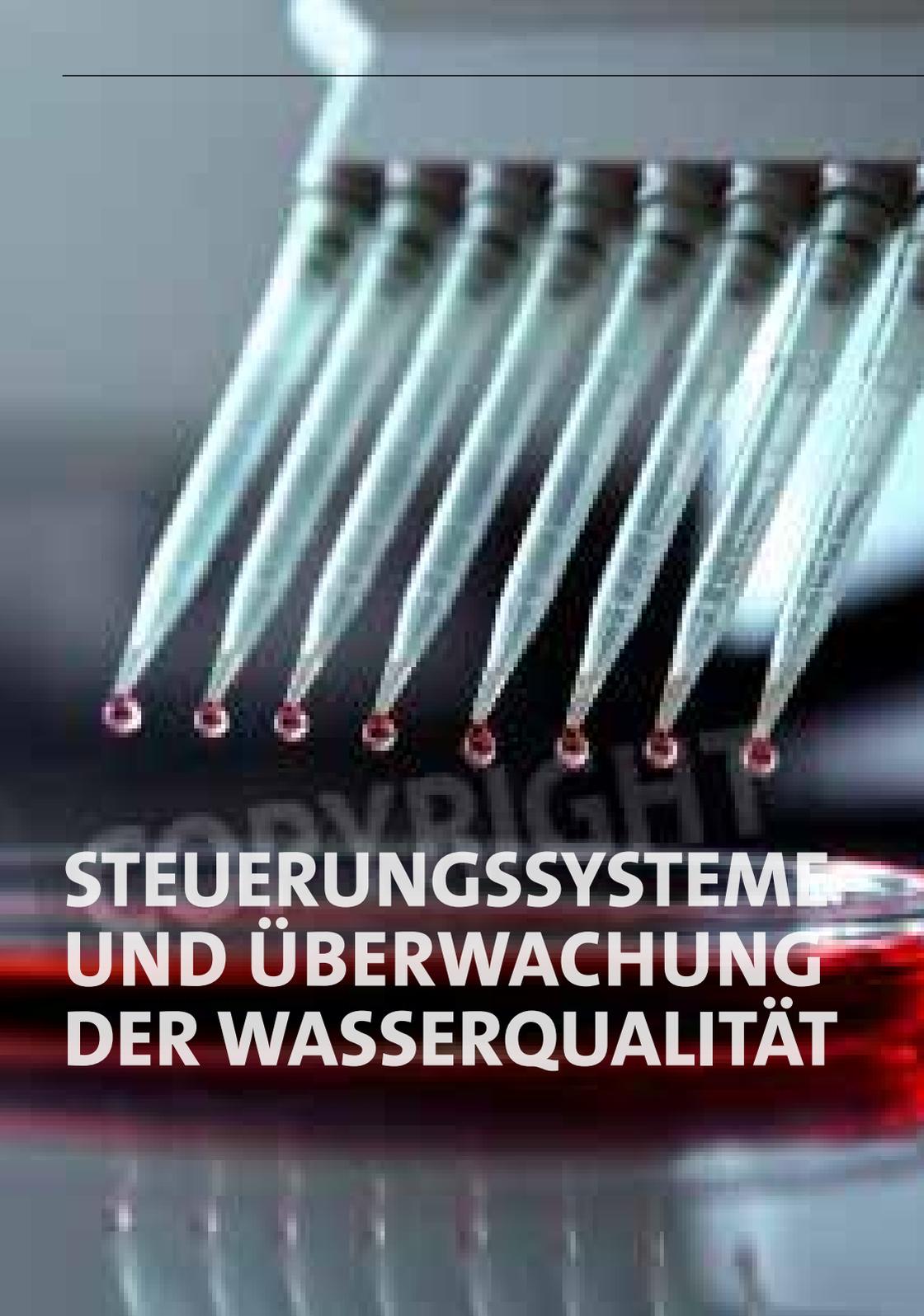
Anlage mit Hydro MPC



*Desinfektionsanlage
Oxiperm Pro*



*Kalk-Aufbereitungsanlage
zum Anpassen des pH-Werts*



**STEUERUNGSSYSTEME
UND ÜBERWACHUNG
DER WASSERQUALITÄT**

7. Steuerungssysteme und Überwachung der Wasserqualität

Während des gesamten Prozesses werden unterschiedliche Mess- und Steuerungsfunktionen benötigt. Hierfür sollte modernste Technik verwendet werden, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Normalerweise werden hydraulische Parameter wie Strömung und Druck, chemische Parameter wie pH-Wert, Trübung, Leitfähigkeit sowie die Gesamtmenge des organischen Kohlenstoffs direkt in der Leitung gemessen. Anschließend werden diese Daten an die Prozesssteuerung gesendet. Welche Parameter gemessen und geregelt werden müssen, hängt von den Vorschriften und Normen des jeweiligen Prozesses ab.

Die übergeordnete Prozesssteuerung ist entscheidend für jede Aufbereitungsanwendung. In der Regel sammelt eine SPS die gemessenen Werte aus den verschiedenen Prozessschritten und steuert den Prozess, um eine erfolgreiche Wasseraufbereitung sicherzustellen. Über die SPS werden auch die einzelnen Komponenten und Subsysteme mit ihren verschiedenen Signalen zu einem Gesamtprozess verbunden. Hierfür werden meistens Standard-Lösungen für die Datenkommunikation wie Profibus, Ethernet usw. verwendet. Die übergeordnete Prozesssteuerung wandelt auch das Grundfos-Protokoll GENiBus in die oben genannten Kommunikationsprotokolle um. Heutzutage sind für die übergeordnete Prozesssteuerung auch Cloud-Lösungen verfügbar.

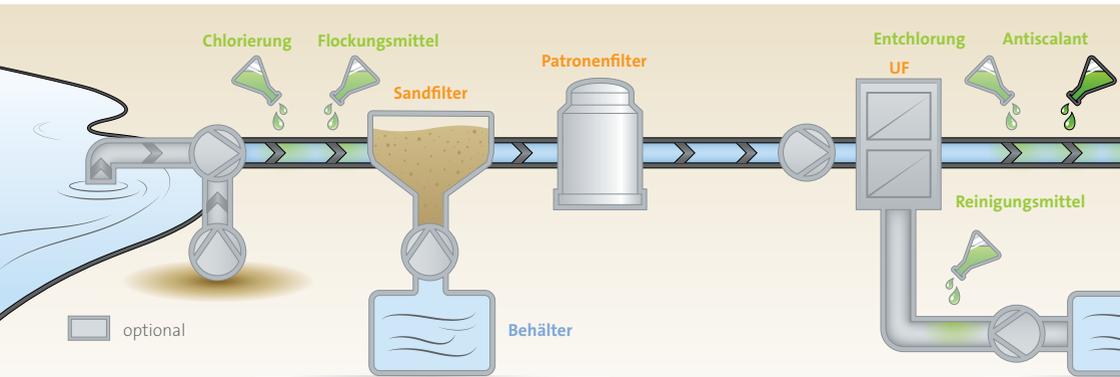




PRODUKTE



8. Produktübersicht



**Druck- und
Temperatursensoren**
DPI/RPI



VFI



Strömungssensor

Entnahme

Unterwasser-
pumpe
SP



Blockpumpen
NB/NK



Mehrstufige
Pumpen
CR



Turbinenpumpen
Vertikale Peerless-
Turbinenpumpen



**Chemikalien-
Dosieranlagen**

Behälter-
Dosierstationen



Polymer-
Dosieranlagen



Chemische Vorbehandlung

Dosierpumpen



**Druck- und
Temperatursensoren**
DPI/RPI



Strömungssensor
VFI



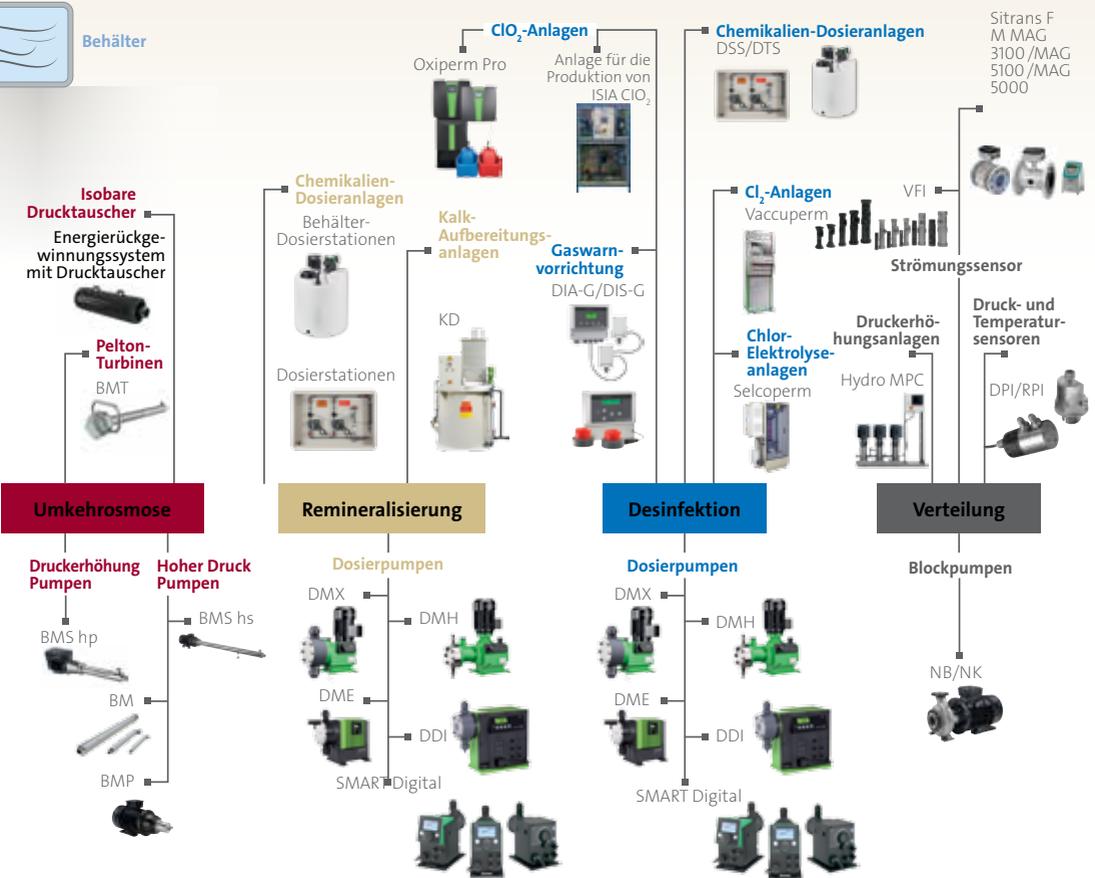
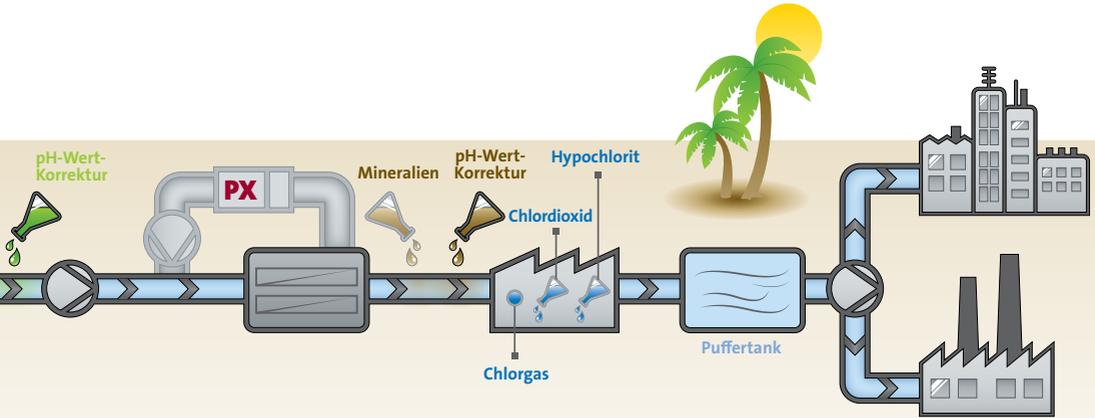
Vorfiltration

Speise-/
Rückspülpumpen



Blockpumpen







GRUNDFOS GmbH
Schlüterstr. 33
D-40699 Erkrath
Tel. +49 211 929 690
infoservice@grundfos.com
www.grundfos.de

GRUNDFOS Pumpen Vertrieb Ges.m.b.H.
Grundfosstr. 2
A-5082 Grödig
Tel. +43 6246 883 0
www.grundfos.at

GRUNDFOS Pumpen AG
Bruggacherstrasse 10
CH-8117 Fällanden
Tel. +41 44 806 81 11
www.grundfos.ch

1116/GRUNDFOS INDUSTRIE/2009-BrandBox

Der Name Grundfos, das Grundfos-Logo sowie „be think innovate“ sind eingetragene Warenzeichen der Grundfos Holding A/S bzw. Grundfos A/S, Dänemark. Weltweit alle Rechte vorbehalten.