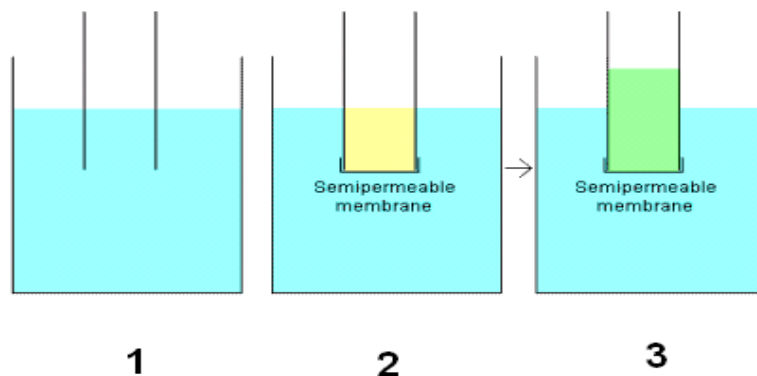


## Watermaker Kompendium

(© Thomas Eulenberg 2012)

### Wie funktioniert Seewasserentsalzung, ein wenig Theorie

Wenn man ein Gefäß durch eine halbdurchlässige Membran trennt und eine Seite mit Seewasser füllt und die andere mit reinem Wasser, so würde das reine Wasser in das Seewasser eindringen, bis beide Flüssigkeitshälften gleich „salzig“ wären. Das nennt man „Osmose“, dabei wollen zwei durch eine Membrane getrennten Flüssigkeiten unterschiedlicher Konzentration sich ausgleichen, das kann aber nur geschehen, weil in den beiden Flüssigkeiten ein unterschiedlicher (osmotischer) Druck herrscht, der als „Treibmittel“ Trinkwasser hat einen osmotischen Druck von weniger als 2 bar, während Seewasser einen Druck von ca. 30 bar aufweist.



In (1) wird ein Rohr in den Topf gesteckt, in (2) das Rohr mit einer semipermeablen Membrane verschlossen und in das Rohr eine Salzlösung hineingegossen. Und nun passiert nach einer gewissen Zeit etwas Ungewöhnliches... (3) in dem Rohr steigt der Flüssigkeitsspiegel bis zu einer gewissen Höhe, die treibende Kraft ist der „osmotische Druck“.

Nehmen wir denselben Topf mit der Membrane und setzen das Seewasser unter Druck, und zwar mehr als 30 bar (in Entsalzungsanlagen so um die 60-80 bar), dann wandern die Wassermoleküle gegen ihre „natürliche“ Ausbreitungsrichtung durch die Membrane zurück in den „entsalzten“ Teil und die Salzmoleküle bleiben zurück. Daher der Name „Umkehr-Osmose“.

Im Gegensatz zu einem klassischen Membranfilter verfügen Osmosemembranen nicht über durchgehende Poren. Vielmehr wandern die Ionen und Moleküle durch die Membran hindurch, indem sie durch das Membranmaterial diffundieren.

Die Membranen für Seewasserentsalzung bestehen aus Polyamid, PTFE, um sie vor Verstopfen und Beschädigung zu schützen, werden in den Anlagen mechanische Filter (20 Mikron und 5 Mikron) vorgeschaltet. Die Membranen halten Stoffe grösser 0.001 Mikron zurück, das sind Teilchen kleiner als Viren, daher ist das aus Entsalzungsanlagen gewonnene Wasser keimfrei.

## Aufbau einer Entsalzungsanlage

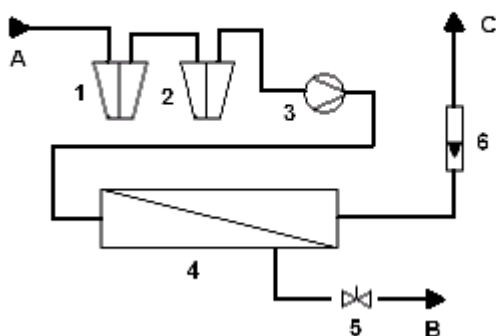
Aus der Theorie ergibt sich der Aufbau logischerweise aus

1. Vorfilter (20 Mikron) (1)
2. Vorfilter (5 Mikron) (2)
3. Druckerzeuger (Druckpumpe, auch HD(Hochdruck)-Pumpe genannt) (3)
4. Membrane (4)
5. Hochdruckventil (5)
6. Rotameter (6)

A = Seewassereinlauf

B = Ablauf Seewasser-Konzentrat

C = Entsalztes Wasser zum Tank



Diese Anlagenteile werden über Schläuche verbunden und mit Absperrventilen bestückt, dabei wird der Anlagenbereich vor der Pumpe mit Niederdruck (ca. 0,5-2bar) und der Anlagenbereich HD-Pumpe-Membrane mit Hochdruck (ca. 55-65 bar) betrieben. Die Membrane wird dazu in ein spezielles Druckrohr (pressure vessel) eingebaut. Dieser Teil der Anlage wird mit Hochdruckschläuchen verrohrt. Um den Hochdruck in der Membrane aufzubauen, ist ein spezielles Hochdruckventil (5) hinter der Membrane eingebaut und an einem ebenfalls installierten Manometer wird die Druckhöhe kontrolliert. Hinter diesem Ventil ist die Anlage wieder im Niederdruckbereich und auch der aus der Membrane ausfließende Süßwasserstrom ist im Niederdruckbereich, die Menge wird von einem Rotameter (6) überwacht.

## Hersteller

Nachstehend eine mir bekannte (und daher unvollständige) Liste von Herstellern:

HD-Pumpen:

Cat-Pumps  
Interpump

Membranen:

Osmonics [www.osmonics.de](http://www.osmonics.de)  
Hydranautics <http://www.membranes.com>  
Filmtec [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com) [www.dow.com](http://www.dow.com)  
Koch <http://www.kochmembrane.com/>

Die Membranen sind die Grundlage zur Auslegung der Anlage. Sie werden industriell in bestimmten Größen gefertigt, es werden hergestellt

2,5 Zoll Membranen

4 Zoll Membranen

8 Zoll Membranen

in unterschiedlichen Längen. Für Anlagen auf Booten eignen sich die 1 m langen 2,5 Zoll oder 4 Zoll Membranen. Die 2,5 bzw 4 Zoll geben den Durchmesser der Membranen an.

Alle auf dem Markt befindlichen Membranen sind genormt und passen in die handelsüblichen Druckgehäuse.

Druckrohre:

<http://www.appliedmembranes.com>  
[http://www.amcctx.com/ro\\_vessels.htm](http://www.amcctx.com/ro_vessels.htm)  
<http://www.belvessels.com>  
<http://www.codeline.com/>  
<http://www.protecpresurevessels.com/>  
[http://www.phoenixvessel.co.uk/grp\\_pressurevessels.asp](http://www.phoenixvessel.co.uk/grp_pressurevessels.asp)

## **Begriffe und Fachausdrücke der Membranen**

Feed flow rate = Fördermenge der HD(Hochdruck)-Pumpe (F)

Recovery rate = Verhältnis entsalztes Wasser zu Gesamtfördermenge ( R )

Permeate flow = Menge gewonnenes Süßwasser (P)

Scaling = Verkalken

Fouling = Verschmutzen durch organische Stoffe

Berechnungsformel

$$P/F = R ; F = P/R$$

d.h eine Membrane, die für einen Permeate flow von 100l/h mit einer Recovery rate von 10% ausgelegt ist, produziert diese 100l/h Süßwasser nur dann, wenn auch die Pumpe 1000L/h = 16,7 l/min bei Betriebsdruck pumpt.

Die zu erwartende Süßwassermenge hängt von der Größe und Anzahl der Membranen und von der Fördermenge der HD-pumpe ab. Es können also 2 oder 3 Membranen hintereinander oder auch parallel geschaltet werden.

Auslegung einer Anlage (nach o.a. Schema)

Zur Vermeidung von Druckverlusten vor der HD Pumpe sollte hinter dem Seewassereinlass (also zwischen A und 1 ) eine zusätzliche Förderpumpe (Booster-Pumpe) und zur Überwachung der Filter 1 und 2 hinter 2 ein Manometer eingebaut werden. Um Pulsationsstöße der HD zu vermeiden, ist ein Dämpfer (Damper) hinter der Pumpe vorzusehen, dieser Dämpfer ist zwingend notwendig bei Einkolbenpumpen, bei Dreikolbenpumpen kann auf ihn verzichtet werden; weiterhin ein Überdruckventil oder ein Druckschalter, der bei ca. 70 bar die Pumpe ausschaltet, um die Membrane nicht zu zerstören.

Hinter dem Rotameter ist ein Dreiwegehahn eingebaut, der das Permeat entweder in den Tank, außenbords oder als Spüllösung in den Einlauf A zurückleitet, entsprechend muss am Einlauf auch ein Dreiwegeventil geschaltet werden.

## **Antrieb der HD-Pumpe**

Umkehrosmose ist ein energieaufwendiger Prozess, man muss mit ca. 5-7 W/l rechnen, plus einem Verlust durch den Wirkungsgrad des Systems, damit kommt man auf ca. 10W/l und damit beginnen die unterschiedlichen Antriebs-Philosophien.

Prinzipiell muss man sich hier entscheiden,

1. ein Niedervolt-Antrieb mit dem 12V-Bordnetz und damit eingeschränkter Produktionsmenge
2. Elektroantrieb über 220V bzw. mechanischen Antrieb über Motor und Riemenscheibe.

Die Grenze zu 12V oder 200V bzw. Mechanischem Antrieb liegt wohl bei ca. 45L/h, will man mehr produzieren, dann geht es vernünftigerweise nur mit der 2.ten Lösung.

## **Betrieb in der Praxis**

Alle befragten Betreiber von RO-Anlagen sagen:

- Man kann die Anlage überall, d.h. in jedem Segelgebiet selbst Marinas betreiben, nur dort, wo sichtbar (Öl, chlorhaltige Abwasser) das Seewasser verdreckt ist, geht es nicht. In manchen Gewässern kann man es nicht vermeiden, dass das Wasser "naturtrüb" ist (z.B. Wattenmeer oder Flußmündungen). Das ist nicht so schlimm, da es sich meist nur um gröbere Schwebestoffe handelt, die schon zum größten Teil über die Vorfilter herausgefiltert werden. Man muß dann ggf. nur die Vorfilter häufiger wechseln. Auch sollte man verhindern, dass das eigene Abwasser, wenn es mit "Chemie" (wie Waschmittel, Weichspüler, Shampoo, Spülmittel, Duschgel usw.) durchsetzt ist, in den Wasserzulauf gelangt. Man sollte auch den Wassermacher in "chemisch" bedenklicher Umgebung, wie in einigen Handelshäfen, in der Nähe von Industrieanlagen, Dückern oder im Bereich von Fischzuchtanlagen nicht benutzen
- Die Vorfilter sollen mit dem eingebauten Manometer und auf Sicht nach Verschmutzung kontrolliert werden, fällt der Druck hinter den Filtern stark ab, (Erfahrungswerte sammelt man selbst an Bord) und werden die Filter grün/schwarz, dann muss gewechselt werden.

- Wenn das Gerät eine längere Zeit nicht genutzt wird, sollten die Membranen in jedem Fall mit "Storage Solution" stillgelegt werden und die Vorfilterpatronen ggf. herausgenommen bzw. gewechselt werden. Bei der Aktion kann man die Anlage natürlich auch gleich durchspülen bzw. falls erforderlich, die Reinigungsprozedur durchführen. Hat man das bei der Installation der ganzen Anlage gleich bedacht, und entsprechende Leitungen, Gefäße und Mehrwegehähne von vorneherein fest installiert, ist das eine harmlose Sache von max. einer halben Stunde, wobei die meiste Zeit mit Abwarten der Spülgänge verstreicht.
- Liegt das Schiff in frostgefährdeten Gegenden (gibt es auch am Mittelmeer, vor allem, wenn das Schiff an Land steht) sollte das Gerät zum Schutz der teuren Membranen gemäß der Herstelleranleitung "eingewintert" werden.
- Wenn die produzierte Süßwassermenge um ca. 10-15% kleiner wird als die bei der ersten Inbetriebnahme festgestellte, dann muss die Membrane gesäubert werden.

## Reinigung der Membranen

Die Membranen setzen sich im Laufe der Zeit zu, was zu „scaling“ und „fouling“ führt (s.o.)

Daraus folgen zwei unterschiedliche Reinigungsvorgänge:

1. Scaling wird mit (Salz-)säure aufgelöst
2. Fouling wird mit Natronlauge entfernt, quasi „gewaschen“

Nach meiner Erfahrung tritt Fouling öfter auf als Scaling, daher genügt es oft, die Reinigung nach Angaben der Membran-Hersteller mit (normalerweise) 01.% Natronlauge durchzuführen.

## Storage Solution

Als Konservierungsmittel eignet sich hervorragend 0,2 % Natriumsulfit-Lösung, das man in Chemieläden und Photoläden noch finden kann.

Nach dem Lauf der Anlage sollte in jedem Fall drucklos (d.h. bei geöffnetem HD-Ventil) mit Seewasser gespült werden. Bleibt die Anlage länger als

- 1 Woche außer Betrieb, jede Woche mit Seewasser oder besser mit Permeat spülen
- 3 Wochen außer Betrieb, mit Natriumsulfit zum Konservieren der Membrane füllen

## Vor- und Nachteile einer RO-Anlage

- Unabhängig von oft dubiosen Wasserquellen.
- Nicht zu unterschätzende Gewichtsersparnis im Boot und damit Erhalt der Segeleigenschaften
- Mehr Stauraum durch weniger Platzverbrauch mit Wassertanks, Tanks brauchen nur ¼ bis ½ gefüllt sein
- Keine Plastikkanister zum Transport von Wasser

- Größere Autonomie in Gegenden mit wenig Wasser
- Höherer Komfort, wenig Einschränkung im Wasserbedarf
- Überwachungs-und pflegeintensiv
- Wenn kleinere Tanks ,dann größere Abhängigkeit von der Anlage
- Verhältnismäßig hohe Anschaffungskosten

### **Auslegungsdaten (das sind ungefähre Daten zur eigenen Überlegung)**

- Verbrauch Süßwasser ca. 15-30 l/Tag/Person d.h 30-60l /Tag bei einem Paar
- Tankgröße 250l = 4-8 Tage Autonomie ; 500l = 8-16 Tage ; 250 l =250 kg Zulast; 500l = 500 kg
- Anlage von 50l/h läuft alle 2 Tage 2 Stunden, eine von 100l/h läuft alle 4 Tage 2 h; 4 Tage kann eine Anlage ohne Süßwasserspülung stehen.
- Antrieb 12V bedeutet zusätzliche Batteriekapazität mit großem Gewicht und relativ kurzer Lebensdauer der Batterien (ca. 3 Jahre) plus größere Solarpaneele/Windgenerator.
- 220V-Antrieb = Generator ; zusätzliches Gewicht und Kosten
- Riemenantrieb über Motor; Motor vorhanden, kein Mehrgewicht keine Mehrkosten, dafür orgelt das „Shell Segel“ oft und erzeugt Wärme im Boot.