



4.2 Meerwasserentsalzung

SABINE LATTEMANN

***Desalination of seawater:** Drinking water production by desalination of seawater has become increasingly important in recent years and reached a world-wide total of about 28 million m³ per day in 2007 and increased to 36 million in 2009. The main technical processes are MSF-distillation (market share of 50%) and reverse osmosis (35%) with facilities ranging from fully automated containers to industrial plants that produce water for both the public and private sector. As desalination capacities continue to grow, the concern for environmental impacts of this activity is also increasing. Besides the emission of combustion gases that can be attributed to the high energy demand of desalination plants, major impacts may result from the waste discharges into the sea.*

Die Gewinnung von Salz aus Meerwasser durch Verdunstung wird seit Jahrhunderten praktiziert. Früher war Salz, nicht Wasser das begehrte Gut. Heute stellt die Entsalzung von Meerwasser zur Trinkwassergewinnung die Basis für Wachstum und Wohlstand in vielen ariden Regionen dar, wie zum Beispiel im Arabisch-Persischen Golf und zunehmend auch im Mittelmeerraum. Meerwasser ist eine im Prinzip unerschöpfliche und klimaunabhängige Ressource. Angesichts von Bevölkerungswachstum, industrieller Entwicklung, Verschmutzung und Überbeanspruchung von Grund- und Oberflächengewässern sowie zu erwartenden Klimaveränderungen ist davon auszugehen, dass die weltweite Produktionsleistung von Entsalzungsanlagen weiter stark ansteigen wird.

Entsalzung ist ein industrieller Prozess, welcher chemisch, energetisch und operativ aufwändig ist. Aufgrund der Fokussierung auf große Anlagentypen erfordert sie oftmals eine beträchtliche Kapitalinvestition, Ingenieursleistung und Infrastruktur. Die damit verbundenen Kosten und möglichen Umweltbeeinträchtigungen stehen weiterhin einem weitverbreiteten Einsatz dieser Technologie entgegen (SHANNON 2008). Angesichts des weltweit steigenden Bedarfs an Trinkwasser ist es daher wichtig, kostengünstige und umweltfreundliche Technologien zu entwickeln.

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die verschiedenen Meerwasserentsalzungs-Technologien, die globale Verteilung und Kapazität von Entsalzungsanlagen und die möglichen Umweltfolgen, insbesondere für die Meeresumwelt. Die folgenden Angaben bezie-

hen sich – soweit nicht anders erwähnt – auf Meerwasseranlagen. Entsprechende Verfahren werden ebenfalls angewandt, um z.B. salzhaltiges Grundwasser oder Flusswasser aufzubereiten, sind jedoch nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

Techniken der Meerwasserentsalzung

Die Techniken der Entsalzung erlauben sowohl die Trinkwasserproduktion als zentralisierte küstenständige Groß- und Schwerindustrie wie auch die dezentrale Anwendung für Siedlungen oder Einrichtungen des Tourismus, des Militärs und des Handels. Man unterscheidet prinzipiell zwischen thermischen und membranbasierten Verfahren, die sich nicht nur technisch sondern auch in der geographischen Verteilung der Anlagen, der Nutzung und Kosten, des Energieaufwandes und der Umweltbeeinträchtigungen z.T. erheblich unterscheiden.

Zu den thermischen Verfahren zählen alle Techniken, die auf Verdampfung von Meerwasser und Kondensation des Dampfes beruhen. Trotz des hohen Energieaufwandes (s.u.) entfallen mehr als 17 Mio. m³ pro Tag (2007), d.h. mehr als 60% der weltweiten Meerwasserentsalzungskapazität, auf diese Verfahren. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um multi-stage flash (MSF) und multi-effect Destillation (MED). Mehr als 10 Mio. m³/Tag werden mit Membranverfahren gewonnen. Hierzu zählen vor allem die Umkehrosmose (Reverse Osmosis, RO) mit 9,6 Mio m³/Tag oder 35% der globalen Meerwasserentsalzungskapazität. RO gewinnt zunehmend an Bedeutung und stellt in vielen

*Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011)
- Hrsg. Lozán, J. L. H., Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese*

Ländern außerhalb des Mittleren Ostens bereits das am häufigsten verwendete Verfahren dar. Zu den Membranverfahren zählen weiterhin die Elektrodialyse (ED) und Nanofiltration (NF), die aber nur geringe Anteile an der weltweiten Kapazität ausmachen.

Die thermischen Verfahren nutzen eine Drucker-niedrigung, um die Verdampfung des Meerwassers unterhalb der normalen Siedetemperatur herbeizuführen. Nach dem Verdampfen kondensiert das Trinkwasser an Wärmetauscherflächen, auf deren anderer Seite das einströmende Meerwasser vorgewärmt wird, um den Energieaufwand zu minimieren. Thermische Verfahren benötigen zudem Kühlwasser, wodurch die Ausbeute an Trinkwasser auf ca. 10–20% des einströmenden Meerwassers limitiert ist. Der Rest wird als Konzentrat bzw. Kühlwasser wieder ins Meer eingeleitet. In der Praxis sind die Verfahren wesentlich komplizierter als hier geschildert und es gibt verschiedene Konfigurationen, sowohl für den MSF- als auch den MED-Typ.

In MSF-Anlagen wird vorgewärmtes Meerwasser mit Dampf, der typischerweise aus Kraftwerksturbinen entnommen wird, auf bis zu 120°C erhitzt. Anschließend fließt es in eine erste Verdampfungskammer, in der ein geringer Teil des Meerwassers sehr schnell verdampft (»flash«). Der entstehende Wasserdampf kondensiert an den kühleren Wärmetauscherflächen zu Trinkwasser und wärmt hierdurch seinerseits einströmendes Meerwasser vor. Das Restwasser tritt über in eine zweite Verdampfungskammer mit niedrigerem Druck, in der wiederum ein Teil verdampft. Dieser Vorgang wiederholt sich in bis zu 40 Kammern, ohne dass dem Meerwasser, dessen Salzgehalt schrittweise zunimmt je mehr Wasser verdampft, erneut Wärme zugeführt wird.

MSF-Anlagen bestehen in der Regel aus mehreren Einheiten, die wiederum aus den Verdampfungskammern bestehen, in denen der Wasserstrom eine Breite von 20 m und eine Länge von 100 m erreichen kann. Insgesamt kann eine thermische Anlage mehrere hundert Meter Länge erreichen und bildet oftmals zusammen mit dem benachbarten Kraftwerk einen Industriekomplex. Die größten MSF-Anlagen produzieren 1,6–1,7 Mio. m³ Trinkwasser pro Tag. Der thermische Energieaufwand von MSF-Anlagen beträgt zwischen 250 und 330 MJ/m³ Trinkwasser. Weitere 3 bis 5 kWh an elektrischer Energie sind pro m³ für das Pumpen des Wassers und den Betrieb der Anlage erforderlich (NRC 2008).

Bei dem MED-Verfahren wird das Meerwasser in dünner Schicht auf die warmen Wärmetauscherflächen aufgebracht, wo es verdampft. Auch hier folgen mehrere Kammern mit jeweils niedrigerem Druck aufeinander. Die Verdampfungsflächen der nachfolgenden Kammer werden jeweils durch den Dampf der vorhergehenden Kammer erwärmt, wobei dieser kondensiert.

Die maximale Temperatur ist mit bis zu 70°C geringer als bei MSF und auch der Energieaufwand ist in der Regel geringer, weshalb das Verfahren gegenüber MSF an Bedeutung gewinnt. Der Energiebedarf liegt minimal bei 145 MJ/m³ thermischer und 1,5 bis 2,5 kWh/m³ elektrischer Energie (NRC 2008).

Die Grundlage für RO bilden synthetische semi-permeable Membranen, die unter Druck Wasser, nicht aber Salze passieren lassen. Üblicherweise kommen spiralförmig gewickelte Membranelemente zum Einsatz, die äußerlich zylindrische Form haben. Das Meerwasser wird unter einem Druck von bis zu 80 bar gegen die Membran gepresst, durch die ein Teil des Wassers strömt. Das zurückbleibende Meerwasser steigt im Salzgehalt an und strömt zur nächsten Membran. Typischerweise befinden sich acht solcher Membranelemente in jedem der Druckzylinder, welche wiederum parallel zu Einheiten zusammengeschaltet werden. Die Ausbeute an Trinkwasser liegt bei ca. 40–50% des einströmenden Meerwassers. Der Rest wird als Konzentrat zurück ins Meer geleitet, nachdem ein Großteil der hydraulischen Energie in Druckaustauschern zurückgewonnen wurde. Auch bei RO-Anlagen ist die Konfiguration sehr viel komplexer als hier dargestellt (siehe z.B. WILF 2007 für weitere Informationen).

Der spezifische Energieaufwand in modernen Anlagen beträgt weniger als 2,5 kWh/m³ für die Umkehrosmose allein bzw. weniger als 3,5 kWh/m³ für die gesamte Anlage (einschließlich Vorbehandlung, Pumpen des Meerwassers, etc.). RO ist somit vergleichbar mit dem elektrischen Energieaufwand in MSF-Anlagen, allerdings ohne deren thermischen Energiebedarf. Nachteile von RO sind die begrenzte Lebensdauer der Membranen von 3 bis 7 Jahren und die aufwändigere Vorbehandlung des Meerwassers als bei thermischen Verfahren.

Eine der größten RO-Anlagen mit 330.000 m³ Tagesproduktion (dies entspricht 132 Schwimmbecken olympischen Ausmaßes) besteht aus 27.000 Membranelementen mit einer aktiven Oberfläche von 99 ha (rund 200 Fußballfeldern). Der Energieaufwand für Baumaterial und Membranen ist allerdings gering und liegt in der Größenordnung von 5–10% des Gesamtenergiebedarfs über die Lebensdauer des Projektes gerechnet. Der Hauptenergieaufwand ist dem Betrieb der Anlage geschuldet und liegt in diesem Fall bei 3,6 kWh/m³, was für die gesamte Anlage vergleichbar wäre mit dem gleichen Stromaufwand wie für 330.000 Wäschetrocknerladungen pro Tag.

Kosten

Bei den Kosten für Trinkwasser sind zwei gegenläufige Entwicklungen zu beobachten. Einerseits steigen

die Kosten der konventionellen Wasseraufbereitung an vielen Orten aufgrund des höheren Aufwandes, der mit einer Übernutzung, Verschmutzung oder Versalzung bestehender Ressourcen einhergeht. Andererseits sinken die Kosten der Entsalzung aufgrund von technologischer Weiterentwicklung, größeren Anlagen und Ausnutzung von Synergien mit anderen Industrien, vor allem Kraftwerken (Nutzung des Dampfes als Energiequelle für thermische Entsalzungsanlagen oder Nutzung der bestehenden Einlass- und Einleitungssysteme für Meerwasser bzw. Kühlwasser/Konzentrat). Die Kosten liegen in der Regel zwischen 0,5 und 1 US\$ pro m^3 für große RO-Anlagen. Die Angabe von Kosten für thermische Verfahren wird dadurch erschwert, dass die Energiekosten im Mittleren Osten sehr niedrig sind und das Wasser oftmals subventioniert wird.

Zeitliche Entwicklung und geographische Verteilung der Kapazitäten

Die weltweite Produktionsleistung von Entsalzungsanlagen lag 2007 bei rund 44 Mio. m^3 pro Tag. Es wird erwartet, dass sich dieser Wert bis 2015 mehr als verdoppeln wird auf mind. 98 Mio. m^3 /Tag (GWI 2007). Diese Angaben beziehen sich auf alle Wasserressourcen, d.h. Flusswasser (8%), Brackwasser (19%) etc. (Abb. 4.2-1).

Meerwasser stellt den Hauptanteil mit einer Tagesproduktion im Jahr 2007 von 27,9 Mio. m^3 (63%) – dies entspricht in etwa dem mittleren Abfluss der Seine in Paris (28,3 Mio. m^3 /Tag). In 2009 lag die weltweite Produktion bereits bei 60 Mio. m^3 /Tag (alle Quellen) bzw. bei 35,9 Mio. m^3 /Tag (Meerwasser).

Ein großes Potenzial wird in dem Bereich der Abwasseraufbereitung (derzeit 5% der weltweiten Produktion) mit Hilfe von Membrantechnologie gesehen. Obwohl technologisch das Abwasser direkt zu Trinkwasser aufbereitet werden kann, wird eine direkte Trinkwassernutzung bislang nicht praktiziert. Mehrere Projekte (z.B. in Kalifornien) sehen aber vor, Abwasser über Membranverfahren aufzubereiten und in Trinkwasserreservoirs einzuspeisen, die als Puffer fungieren. Ein wesentlicher Vorteil der indirekten Abwasseraufbereitung gegenüber der Meerwasserentsalzung ist der deutlich niedrigere Energieverbrauch.

Rund dreiviertel der weltweiten Produktion befindet sich im Raum des Arabisch-Persischen Golfes mit 12,1 Mio. m^3 /Tag oder 44% der globalen Produktion (Abb. 4.2-2), des Roten Meeres (3,6 Mio. m^3 /Tag oder 13%, Abb. 4.2-3) und des Mittelmeers (4,0 Mio. m^3 /Tag oder 14%, Abb. 4.2-4). Die Hauptproduzenten sind hier als auch global Saudi Arabien (25% der globalen Produktion, davon rund 11% am Golf), die Vereinigten Arabischen Emirate (23%) und Kuwait (6%). Rund

81% des Wassers am Arabisch-Persischen Golf wird durch MSF, 13% durch MED und nur 6% durch RO erzeugt. Spanien ist der größte Produzent am Mittelmeerraum und der drittgrößte weltweit mit einem Anteil von 8% der globalen Produktion. Rund ein Drittel der spanischen Produktion erfolgt auf den Kanarischen Inseln. In Spanien werden fast ausschließlich RO-Anlagen (99%) genutzt. Die größte RO-Anlage Europas in Barcelona hat eine Kapazität von 200.000 m^3 /Tag. Weitere Wachstumsregionen im Mittelmeer sind Israel und Algerien, wo ebenfalls RO-Technologie vorherrschend genutzt wird und sich Anlagen mit bis zu 500.000 Tageskubikmeter in Planung befinden.

Die Abb. 4.2-2 bis -4 zeigen die Standorte mit MSF- (rote Kreise), MED- (orange Kreise) oder RO- (grüne Kreise) Entsalzungsanlagen mit einer kumulativen Kapazität von mind. 1.000 m^3 /Tag. Anlagenstandorte mit $\geq 100.000 \text{ m}^3$ /Tag (Arabisch-Persischer Golf, Rotes Meer) bzw. $\geq 50.000 \text{ m}^3$ /Tag (Mittelmeer) sind namentlich mit ihrer Kapazität aufgeführt. Die Dreiecke geben die Kapazitäten pro Land bzw. Meeresgebiet an.

Auswirkungen auf die Meeresumwelt

Alle Entsalzungsverfahren erzeugen neben dem Produkt Süßwasser große Mengen eines salzigen Reststromes (Konzentrat), der in der Regel betriebsbedingt Chemikalienrückstände und korrosionsbedingt Schwermetalle enthalten kann und z.T. mit Chemikalien aus Reinigungsstufen vermischt zurück ins Meer fließt. In der Meeresumwelt können negative Auswirkungen insbesondere dann eintreten, wenn hohe Entsalzungskapazitäten mit empfindlichen Ökosystemen zusammentreffen. Die physikalischen und chemischen Abwassereigenschaften hängen von dem Entsalzungsverfahren und dem Betrieb der einzelnen Anlagen ab.

Abwasser aus thermischen Anlagen weist in der Regel reduzierte Sauerstoffwerte auf, sowie mit einem Salzgehalt von ca. 50 g/l und einer Temperaturerhöhung um 5–10°C entweder eine geringere oder höhere Dichte als das umgebende Meerwasser (bei $S=45 \text{ g/l}$ und $T=33^\circ\text{C}$ im Meerwasser führt eine Salzgehaltserhöhung auf 50 g/l und eine Temperaturerhöhung auf 38°C zu einer höheren Dichte bzw. eine Temperaturerhöhung auf 43°C zu einer geringeren Dichte). Neben geringen Konzentrationen an Kupfer und Nickel aus der Korrosion von Wärmetauscherflächen sind oftmals im Abwasser Restmengen von Chlor, das zur Verminderung von Bewuchs zugesetzt wird, halogenierte organische Reaktionsprodukte wie z.B. Trihalomethane, sowie so genannte Antikalk- und Antischaumbildner. Dabei handelt es sich um organische Substanzen, die wie z.B. Polymaleinsäure zur Verhinderung von Abta-

gerungen in Rohrleitungen bzw. wie Polyglykol zum Vermindern der Schaumbildung an der Wasseroberfläche eingesetzt werden. Die Reinigung thermischer Anlagen erfolgt durch Spülen mit sauren Lösungen, denen Korrosionsinhibitoren zugesetzt werden.

Das Abwasser aus RO-Anlagen ist im Gegensatz zu thermischen Anlagen mit einem Salzgehalt von bis zu 80 g/l und unveränderter Temperatur schwerer als das umgebende Meerwasser und kann in flachen, wenig durchmischten Küstengebieten bis auf den

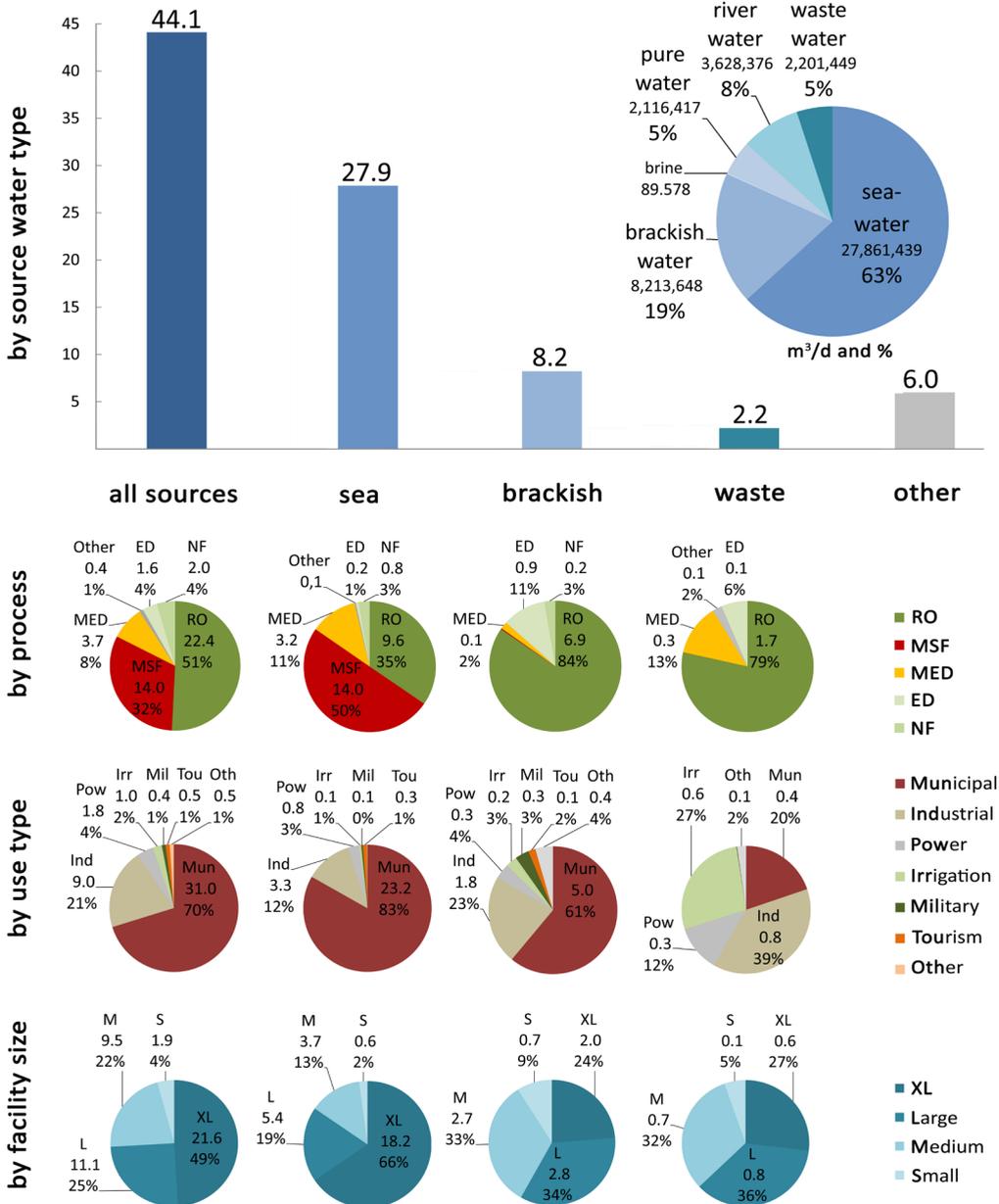


Abb. 4.2-1: Weltweite Entsalzungskapazität in Mio. m³/Tag und Prozent, unterteilt nach Wasserressource (ganz oben), Verfahren und Ressource (zweite Reihe), Nutzungsform und Ressource (dritte Reihe) und Anlagengröße und Ressource (vierte Reihe). Abkürzungen: Umkehrosmore (RO), Multi-stage flash Verdampfung (MSF), Multi-effect Verdampfung (MED), Nanofiltration (NF), Elektrodialyse (ED), Anlagengröße: XL ≥ 50.000 m³/Tag > L ≥ 10.000 m³/Tag > M ≥ 1.000 m³/Tag > S (Primärdaten aus GWI and IDA 2007).

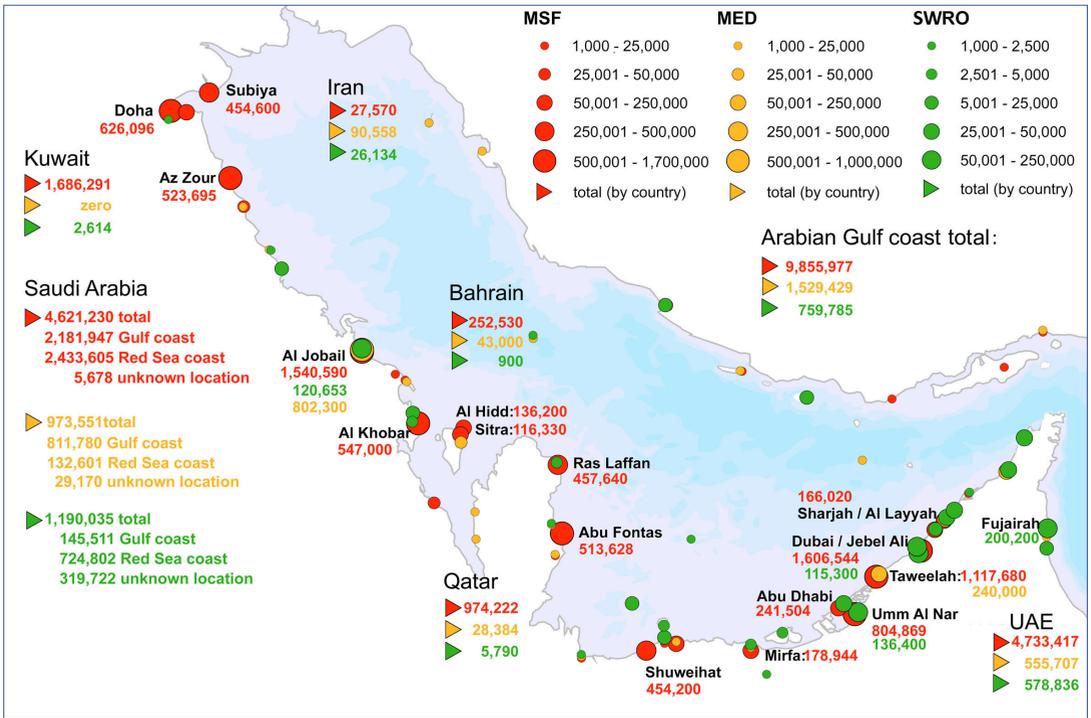


Abb. 4.2-2: MSF, MED und RO-Meerwasserentsalzungsanlagen im Arabisch-Persischen Golf unter Angabe der Kapazität in m³/Tag (LATTEMANN 2010).

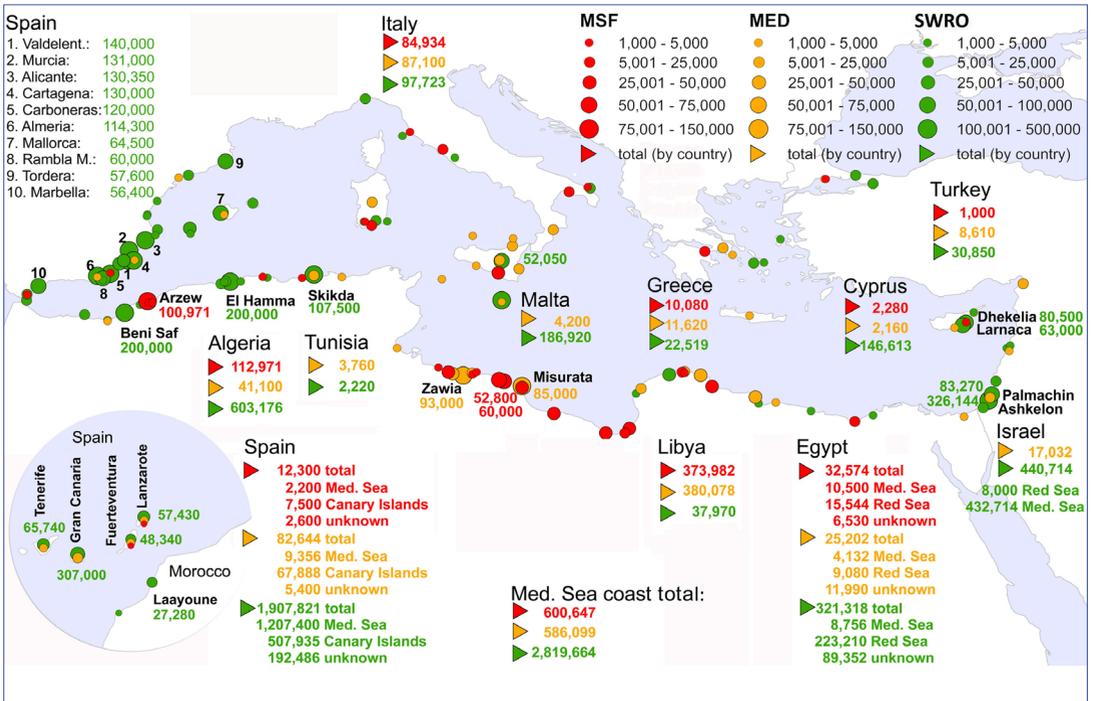


Abb. 4.2-4: MSF, MED und RO-Meerwasserentsalzungsanlagen im Mittelmeer unter Angabe der Kapazität in m³/Tag (LATTEMANN 2010).

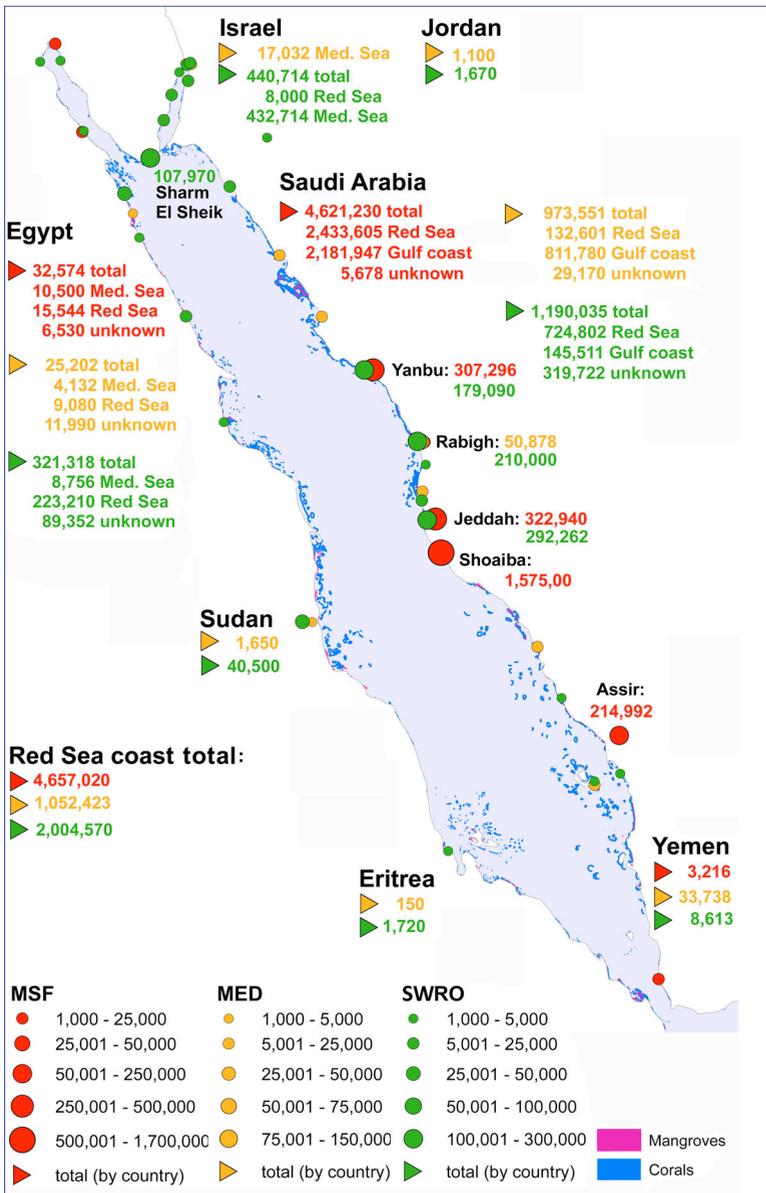


Abb. 4.2-3: MSF, MED und RO-Meerwasserentsalzungsanlagen im Roten Meer unter Angabe der Kapazität in m³/Tag (LATTEMANN 2010).

Meeresboden absinken. Um dies zu verhindern, werden in größeren Anlagen Diffusoren eingesetzt, die das Konzentrat durch eine größere Anzahl von Düsen einleiten. Am Einlass der Anlage wird typischerweise Chlor beigefügt, welches dicht vor den oxidationsempfindlichen Membranen durch chemische Reaktion wieder entfernt wird. Wie bei thermischen Verfahren kommen Antikalkbildner zur Anwendung. Da die RO-Anlagen im Gegensatz zu thermischen Anlagen aus Kunststoff und beständigen Edelstählen erbaut werden,

sind Schwermetalle im Abwasser kaum ein Problem. Da die feinporigen Membranen allerdings empfindlich auf suspendiertes Material reagieren, werden Eisensalze als Flockungsmittel eingesetzt und das Wasser durch Sand-Anthrazit-Betten gefiltert, bevor es zu den Membranen gelangt. Die anfallenden Schlämme aus dem Rückspülen der Filter wurden früher in der Regel mit dem Konzentrat ins Meer geleitet. In großen Anlagen in Europa, Israel, Australien und den USA werden diese Schlämme neuerdings i.d.R. entwässert und

– aufgrund ihres Salzgehaltes – in speziellen Deponien entsorgt, um Trübungsfähnen im Meer und dadurch bedingte mögliche Umwelteffekte zu vermeiden. Die Reinigungslösungen für die Membranen sind entweder sauer (pH 2–3) zur Entfernung von Kalkablagerungen und Metalloxiden oder alkalisch (pH 11–12) gegen Biofilme und können zur Verbesserung der Wirkung Detergentien, Oxidationsmittel, Komplexierungsmittel und Biozide enthalten. Diese sind vergleichbar mit Substanzen, die in herkömmlichen Haushaltsreinigern eingesetzt werden. Die Reinigungslösungen werden je nach Zusammensetzung und Umweltgesetzgebung entweder behandelt oder unbehandelt ins Meer eingeleitet.

In RO-Anlagen werden zunehmend Ultra- oder Mikrofiltrations-Membranen (UF/MF) anstelle der Sand-Anthrazit-Filter zur Vorbehandlung des Meerwassers eingesetzt. Die möglichen Umwelteffekte bzw. -vorteile dieses Verfahrens sind noch nicht abschließend bewertet, da oftmals ebenfalls eisenhaltige Flockungsmittel, wenn auch in geringerer Dosierung als im herkömmlichen Verfahren, zum Einsatz kommen. Die ersten großen Anlagen mit UF/MF-Vorbehandlung in Australien (Perth und Adelaide) sollen gänzlich auf Flockungsmittel verzichten. Allerdings benötigen viele UF/MF-Membranen weiterhin Chlor zum Reinigen und Rückspülen der Membranen. Des Weiteren ist der Energieaufwand und Materialverbrauch zwischen UF/MF-Membranen und Sand-Anthrazit-Filtern abzuwägen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Trinkwasser-Produktion aus dem Meer gewinnt seit Jahren weltweit an Bedeutung und erreichte 2009 rund 36 Mio. m³ pro Tag. Die wesentlichen technischen Prozesse sind die MSF-Destillation (Marktanteil 50%) und zunehmend die Umkehr-Osmose (35%), wobei die Anlagen von vollautomatischen RO-Containern bis hin zu industriellen Großanlagen, bei MSF- und MED Anlagen oftmals mit Kraftwerken gekoppelt, reichen. Das Wasser wird hauptsächlich für Städte und Kommunen sowie Industrie produziert, ist aber für landwirtschaftliche Bewässerung mit Produktionskosten von 0,5–1 US\$ pro Kubikmeter zu teuer.

Mit steigender Produktion gewinnt auch die Diskussion um die Umweltfolgen zunehmend an Bedeutung. Neben den CO₂- und Luftschadstoffemissionen aus dem hohen Energiebedarf der Anlagen stehen vor allem die Abwässer, die zu einer Beeinträchtigung der Meeresumwelt führen können, im Mittelpunkt der Diskussion. In den letzten fünf Jahren sind enorme Anstrengungen, vor allem in Australien, unternommen worden, um die Umweltfolgen weitestgehend zu minimieren. Die Maßnahmen reichen von umfassenden Umweltverträglichkeitsstudien mit mehrjährigen ökologischen Begleit-

untersuchungen, Modellierungen und Toxizitätsstudien für das Konzentrat, über technische Maßnahmen wie z.B. Diffusoren oder Behandlung der Rückspülschlämme, bis hin zu Kompensationsmaßnahmen, z.B. des Energieverbrauchs durch neu gebaute Windparks. Eine umweltfreundliche Gestaltung von Entsalzungsanlagen ist mit heutigen Mitteln technisch und ökonomisch weitgehend möglich, und die somit minimierten Umweltauswirkungen sollten im Zusammenhang mit möglichen Alternativen bewertet werden. Diese sind ein Transport von Wasser über große Distanzen (z.B. in Südkalifornien, wo die energetischen Kosten für den Wassertransport höher ausfallen als für eine lokale Entsalzungsanlage), die Übernutzung von Grund- und Oberflächengewässern oder der Bau von Staudämmen, die oftmals mit erheblichen Schäden für die aquatischen und terrestrischen Ökosysteme verbunden sind. Eine Verlagerung von Umweltschäden in den marinen Bereich durch Entsalzungsanlagen gilt es zu verhindern durch den consequenten Einsatz umweltfreundlicher Technologien trotz der damit erhöhten Produktionskosten.

Literatur

- GW and IDA (2007): Desalination markets 2007, a global industry forecast (CD Rom) und IDA worldwide desalting plant inventory, no. 20 in MS Excel, Global Water Intelligence, Media Analytics Ltd., The Jam Factory, Park End St, Oxford OX1 1HU, United Kingdom, www.globalwaterintel.com.
- LATTEMANN S. (2010): Development of an environmental impact assessment and decision support system for seawater desalination plants (PhD thesis), CRC Press/Balkema. <http://repository.tudelft.nl/>. 276 pp.
- NRC (2008): Committee on Advancing Desalination Technology. Desalination: A national perspective. Water Science and Technology Board, National Research Council of the National Academies, National Academies Press, Washington D.C.
- SHANNON M., P. BOHN, M. ELIMELECH, J. GEORGIADIS, B. MARINAS & A. MAYES (2008): Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452(20): 301–310.
- WILF M., L. AWERBUCH, C. BARTELS, M. MICKLEY, G. PEARCE & N. VOUTCHKOV (2007): The guidebook to membrane desalination technology. Balaban Desalination Publications, L'Aquila.

*Dr. Sabine Lattemann
King Abdullah University of Science and
Technology (KAUST), Thuwal, Saudi Arabien
sabine.lattemann@kaust.edu.sa*