

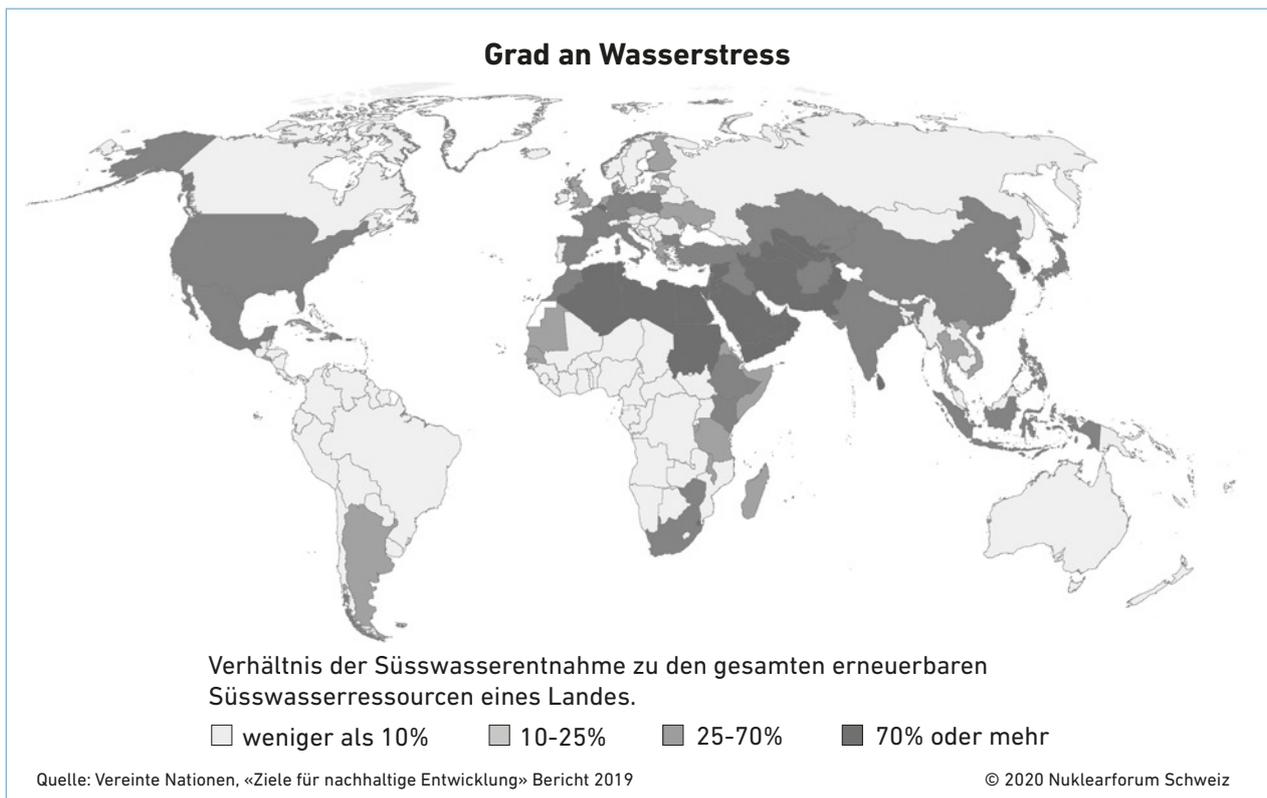
## Wasserentsalzung mit Kernenergie – eine Option mit Zukunft

Süsswasser ist ein kostbares Gut. Viele Länder haben aber zu wenig davon, weil die Niederschläge nicht ausreichen, um die Bewohner zu versorgen. Im Licht der wachsenden Weltbevölkerung müssen andere Wasserressourcen erschlossen werden. Die Wasserentsalzung dürfte dabei an Bedeutung gewinnen. Die Kernenergie bietet sich an, den damit verbundenen zusätzlichen Energiebedarf zu decken. Kerntechniken helfen daneben aber auch, die verfügbaren Wasserressourcen effizienter zu nutzen.

Die Bewohner von Island machen sich wohl kaum Sorgen über ihre Versorgung mit Wasser, denn verteilt auf die Bevölkerung stellt die Natur jedem Isländer und jeder Isländerin 1,4 Millionen Liter Wasser zur Verfügung – und das jeden Tag. Ein anderes Bild zeigt sich in Kuwait, wo den Bewohnern durch Niederschläge im Schnitt pro Tag nur 16 Liter zur Verfügung stehen. Die Vereinten Nationen (Uno) geben an, dass generell knapp 40% der Niederschläge auf dieser Welt vom Menschen genutzt werden können. Der Rest verdunstet wieder. Auf die Erdbevölkerung verteilt, stünden jedem

Erdbewohner pro Tag 16'000 Liter Wasser zur Verfügung – oder 5800 m<sup>3</sup> pro Jahr.

Die Beispiele Island und Kuwait zeigen, dass Frischwasser auf dieser Welt nicht gleichmässig verteilt ist. Tatsächlich leben rund 2 Milliarden Menschen in Ländern mit hohem Wasserstress, und etwa 4 Milliarden Menschen (zwei Drittel der Weltbevölkerung) leiden mindestens einen Monat im Jahr unter akuter Wasserknappheit. Die Uno sprechen von Wasserstress, wenn das in einem Land verfügbare Wasser unter 4600 Liter



pro Tag pro Person (beziehungsweise 1700 m<sup>3</sup> pro Jahr) sinkt. Unter der Schwelle von etwa 2700 Liter pro Tag pro Person kommt es zu Wasserknappheit und eine absolute Wasserknappheit gilt für Länder mit weniger als 1400 Liter pro Tag pro Person. Nach dieser Definition haben 49 Länder mit Wasserstress zu kämpfen, 9 davon leiden unter Wasserknappheit und 21 unter absoluter Wasserknappheit. Die Länder mit hohem Wasserstress befinden sich ausnahmslos in Nordafrika sowie West-, Süd- und Zentralasien.

### Nichtkonventionelle Wasserquellen nutzen

Aus dem Uno-Bericht «Ziele für eine nachhaltige Entwicklung» von 2019 ist zu entnehmen, dass der weltweite Wasserverbrauch im letzten Jahrhundert mehr als zweimal so schnell gewachsen ist wie die Bevölkerung. Bevölkerungswachstum, sozioökonomische Entwicklung, veränderte Konsummuster und der Klimawandel erhöhen den Wasserbedarf weiter. Sogenannte konventionelle Wasserquellen wie Niederschlag und Schneeschmelze reichen in wasserarmen Gebieten nicht mehr aus, um den menschlichen Bedarf zu decken.

Diese Entwicklung steht in direktem Konflikt zum Nachhaltigkeitsziel «Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen» der Uno, dem sechsten von insgesamt 17 Nachhaltigkeitszielen. Um die Belastung der Süsswasserreserven zu reduzieren, halten die Uno deshalb alle Länder und Regionen an, verstärkt nichtkonven-

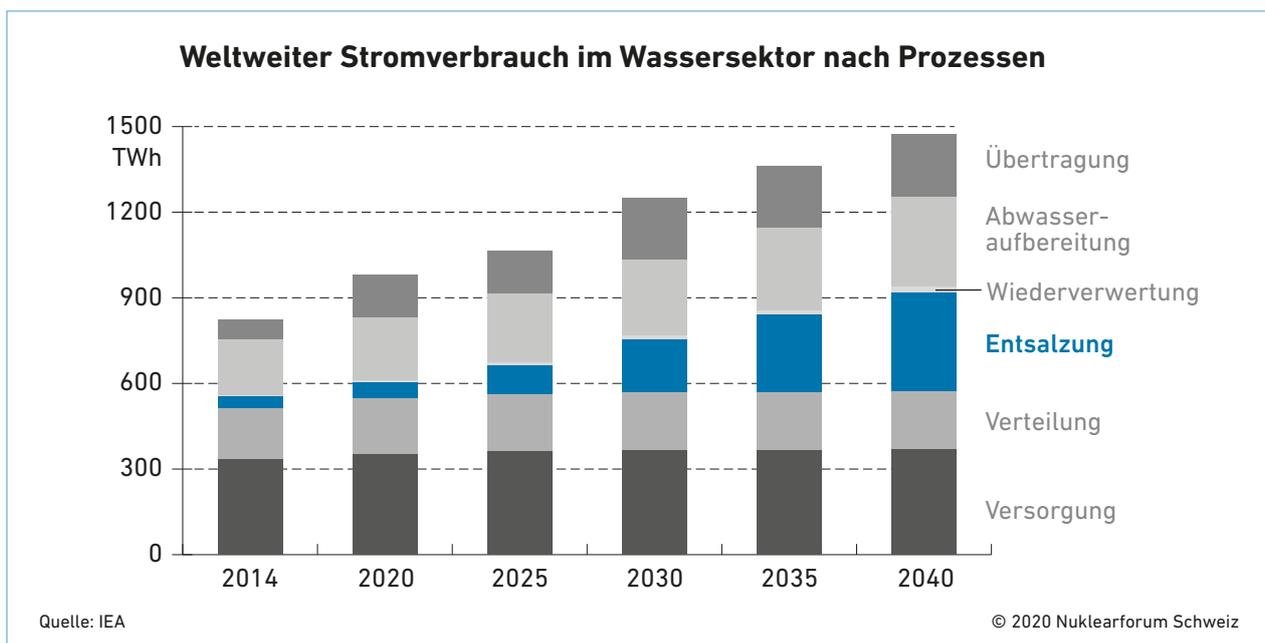
tionelle Wasserressourcen wie Wiederverwendung von Abwasser, direkte Nutzung von Drainagewasser in der Landwirtschaft und Wasserentsalzung zu nutzen.

Wassernutzung und Abwasserbehandlung benötigen aber Strom. Ein Grossteil des Stroms wird für die Versorgung (36%), die Verteilung und Übertragung (35%) und die Aufbereitung (23%) von Wasser und Abwasser eingesetzt. Gemäss einer Studie der Internationalen Energieagentur (IEA) wurde dafür im Jahr 2014 schätzungsweise 4% der weltweiten Elektrizität aufgewendet. Die IEA prognostiziert, dass sich der Stromverbrauch im Wassersektor bis 2040 fast verdoppeln wird. Haupttreiber für diese Zunahme ist die Wasserentsalzung.

### Wasserentsalzung – ein Überblick

Weltweit stehen rund 16'000 Entsalzungsanlagen in Betrieb. Diese gewinnen zusammengenommen pro Tag rund 95 Millionen m<sup>3</sup> entsalztes Wasser. Zum Vergleich: Im Rhein bei Basel fliessen pro Tag im Schnitt etwa 86 Millionen m<sup>3</sup> Wasser ab (Mittelwert von 2019).

Entsalzungsanlagen nutzen anfänglich überwiegend thermische Technologien. Diese wurden vor allem in ölreichen, aber wasserarmen Regionen, insbesondere im Nahen Osten, gebaut. Vor den 1980er-Jahren wurden 84% des gesamten entsalzten Wassers weltweit mit den beiden thermischen Technologien MSF (Multi-Stage Flash Distillation) und MED (Multi-Effect Distil-



lation) erzeugt. Nach den 1980er-Jahren gewann die Membrantechnologie an Bedeutung, allen voran die Umkehrosmose (abgekürzt RO für Reverse Osmosis). Im Jahr 2000 wurde mit RO bereits gleichviel entsalztes Wasser produziert wie mit thermischen Technologien – je rund 11,5 Millionen m<sup>3</sup> pro Tag, was zusammen 93% der Gesamtmenge des damals erzeugten entsalzten Wassers ausmachte. Anzahl wie auch Kapazität von Umkehrosmose-Anlagen sind seither exponentiell gestiegen, thermische Anlagen hingegen nur geringfügig. Heute werden mit 65,5 Millionen m<sup>3</sup> pro Tag gut zwei Drittel des entsalzten Wassers mit Umkehrosmose produziert. Ein grosser Teil des verbleibenden entsalzten Wassers wird mit den thermischen Technologien MSF und MED hergestellt. Diese drei Technologien produzieren heute rund 94% des gesamten erzeugten entsalzten Wassers.

### Erhöhter Energiebedarf

Wasserversorger und Abwasserbetriebe sind laut Uno für 3 bis 7% der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Ein Grossteil dieser Emissionen

stammt entweder aus der Energie, die für den Betrieb der Systeme verwendet wird, oder aus den biochemischen Prozessen, die bei der Wasser- und Abwasserbehandlung ablaufen.

Wie zuvor erläutert, rechnet die IEA damit, dass der Stromverbrauch für die Wasserentsalzung bis 2040 um ein Vielfaches zunehmen wird. In Zahlen ausgedrückt heisst das: Während 2014 noch gut 40 TWh elektrische Energie für die Wasserentsalzung aufgewendet wurden, sollen es bis 2040 rund 345 TWh sein.

### Kernkraftwerke als emissionsarme Energielieferanten

Kernkraftwerke werden seit geraumer Zeit bei der Meerwasserentsalzung als emissionsarme Produzenten sowohl für Wärme wie auch für elektrische Energie eingesetzt. Die erste, mit einem Kernkraftwerk gekoppelte Entsalzungsanlage nahm die ehemalige Sowjetunion 1973 am Standort Aktau (heute Kasachstan) in Betrieb. Der Schnelle Brüter Aktau vom Typ BN-350 mit einer elektrischen Auslegungsnennleistung von



Die nukleare Entsalzungsanlage der am Meer gelegenen Kernkraftwerkseinheit Karachi in Pakistan.

Foto: PAEC

135 MW versorgte drei MED-Anlagen, die zusammen pro Tag 145'000 m<sup>3</sup> produzierten. Die Kernkraftwerkseinheit wurde im April 1999 stillgelegt. Kasachstan ist nach Angaben der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) mit Russland aber daran, die nukleare Wasserentsalzung im Land wieder aufzunehmen.

Verschiedene Länder haben danach ebenfalls begonnen, Kernkraftwerkseinheiten neben der Stromproduktion auch zur Wasserentsalzung einzusetzen, unter ihnen sind Indien, Japan und Pakistan. Indien betreibt beispielsweise am Standort Kalpakkam eine RO-Anlage (seit 2002 in Betrieb) sowie eine MSF-Anlage (seit 2008 in Betrieb). In Pakistan versorgt die Candu-Einheit Karachi die Region nicht nur mit elektrischer, sondern seit Anfang 2011 auch eine MED-Anlage mit thermischer Energie. Und Japan verfügt über einen Erfahrungsschatz von über 150 Reaktorjahren bei der Versorgung von Entsalzungsanlagen mit Kernenergie. Das Land hat vor dem Erdbeben von 2011 sowohl mithilfe von Druckwasserreaktoren wie auch mit Siedewasserreaktoren Meerwasser entsalzen. Die Kernkraftwerke Japans wurden nach dem Erdbeben nach und nach vom Netz genommen und nur wenige haben den Betrieb bisher wiederaufgenommen. Mehrere Länder planen, neue nukleare Entsalzungsanlagen zu bauen. Neubauprojekte gibt es neben den drei genannten Ländern unter anderem in Ägypten, Argentinien, China, Russland, Saudi-Arabien und Südkorea.

Die IAEO macht sich seit mehr als zwei Jahrzehnten für die Unterstützung der Meerwasserentsalzung durch Kernenergie stark. Die nukleare Entsalzung hat sich in den Augen der IAEO mit mehr als 200 Reaktorjahren Betriebserfahrung als praktikable Option zur Deckung des wachsenden Trinkwasserbedarfs erwiesen. Die Organisation stellt interessierten Mitgliedsstaaten als Unterstützung bei der Evaluation der nuklearen Entsalzung Rechenprogramme zur Optimierung zur Verfügung. Damit können wirtschaftliche und thermodynamische Analysen verschiedener Energieressourcen in Verbindung mit verschiedenen Entsalzungsprozessen durchgeführt werden. Die IAEO hat auch mehrere technische Berichte veröffentlicht, um Aspekte der optimalen Kopplung hervorzuheben. Auch Sicherheitsüberlegungen, die Umweltverträglichkeit der nuklearen Entsalzung und mögliche neue Technologien für die Meerwasserentsalzung durch Kernenergie werden beleuchtet. (M.B. nach Unesco, «The United Nations World Water Development Report 2020»; Jones et al., «The state of desalination and brine production: A global outlook», 2019; Website der IAEO; und weiteren Quellen)

### Effiziente Wassernutzung dank Isotopentechnik

Die Landwirtschaft benötigt rund 70% des gesamten weltweit verbrauchten Süßwassers. Weniger als die Hälfte davon wird jedoch effizient genutzt. Der Rest geht durch Verdunstung, Versickerung und Abfluss verloren. Dieses Wasser – ob aus Regenfällen oder Bewässerung – trägt Nährstoffe, Pestizide und Chemikalien zu den Grund- und Oberflächenwasserressourcen und schadet so der Wasserqualität und dem Lebensraum.

Isotopen- und Nukleartechniken tragen zu einem besseren Boden- und Bewässerungsmanagement bei, indem sie die Wassernutzungspraktiken und -effizienz verbessern. Diese Techniken werden zu einem integralen Bestandteil des landwirtschaftlichen Wassermanagements, da Isotope wie Sauerstoff-18 und Deuterium dazu beitragen können, die Herkunft und Bewegung von Wasser in Pflanzen und Böden zu bestimmen. Wissenschaftler können zum Beispiel mit Isotopen messen, wie viel Wasser von einer Pflanze verbraucht und «transpiriert» wird oder aus dem Boden verdunstet. Mit diesen Informationen können Strategien entwickelt werden, um die Pflanzenproduktion zu verbessern, Wasserverluste zu verringern und die Schädigung von Land, Wasser und Ökosystemen zu verhindern.