

# Solare Meerwasser-Entsalzungsanlagen mit mehrstufiger Wärmerückgewinnung

C. Müller / K. Schwarzer / E. Vieira da Silva\* / C. Mertes  
Solar-Institut Jülich / \*Universidade Federal do Ceara  
Heinrich-Mussmann-Str.5, 52428 Jülich  
Tel.: (0049-2461) 99 35 70, Fax: (0049-2461) 99 35 70  
E-Mail: c.mueller@sij.fh-aachen.de,  
Internet: <http://www.sij.fh-aachen.de>

## 1. Einleitung

Bei der Meerwasserentsalzung durch Verdampfung handelt es sich um einen energetisch aufwendigen Prozeß. Pro Liter Destillat muß eine Verdampfungsenthalpie von 2294 kJ/kg aufgewendet werden. Soll dieser Prozeß mit Solarenergie betrieben werden, so ist zu beachten, daß die Nutzung von Sonnenenergie mit großen Flächen und den damit meist hohen Kosten verbunden ist. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, muß eine energiesparende Entsalzungstechnik zum Einsatz kommen. Eine Verbesserung des energetischen Wirkungsgrads kann durch die Rückgewinnung der Verdampfungsenthalpie mit Hilfe einer mehrstufigen Anordnung der Verdampferwannen erreicht werden (siehe Abbildung 1). Im Vordergrund der hier behandelten Entwicklung steht die einfache Handhabung und die Vermeidung von aktiven Komponenten wie Pumpen und Steuerelektronik. So soll die Anlage auch autark ohne Anschluß an das Stromnetz und dezentral von technisch wenig versierten Benutzern betrieben werden können. Die vorgestellten Systeme sollen für kleine Tagesleistungen von 50 bis 5000 Litern Trinkwasser eine wirtschaftliche Alternative zu den technisch aufwendigeren Umkehrosmoseanlagen bieten.

Die Grundlagen der mehrstufigen Entsalzungsanlage wurde im Rahmen eines AIF-Forschungsprojektes (FKZ:1708499) untersucht. Beim Betrieb unter Umgebungsdruck wurde mit einer 7-stufigen Anlage ein energetischer Rückgewinnungsgrad von  $GOR=2,8$  bei einer Produktionsrate von 8 kg/m<sup>2</sup>h erreicht.

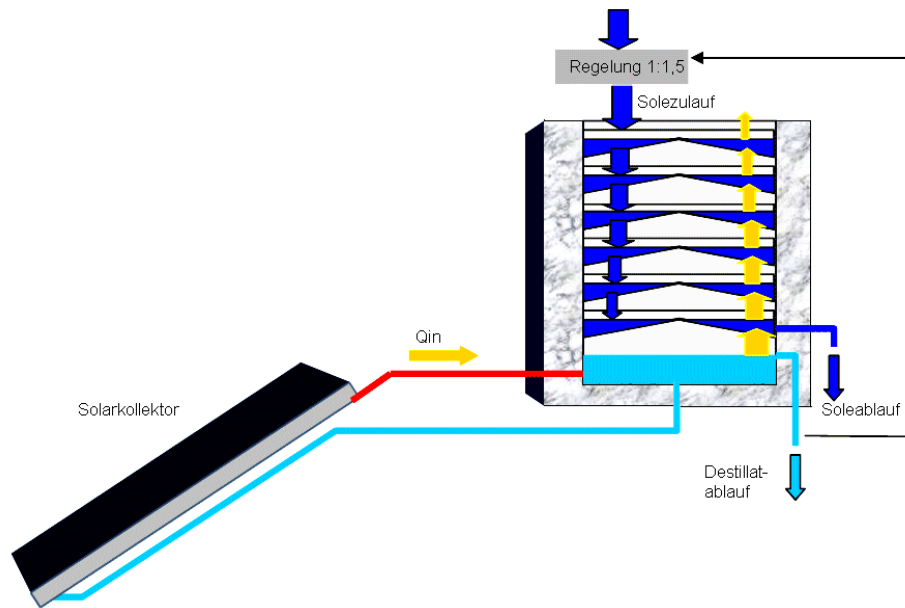


Abbildung 1: Schema der mehrstufigen Entsalzung

## 1. Solarbetrieb

In einem durch Greenpeace International geförderten, weiterführenden Projekt wurden auf Grundlage der mehrstufigen Rückgewinnung drei Typen von solaren Meerwasser-Entsalzungsanlagen untersucht:

- 4 m<sup>2</sup> Flachkollektor mit 1 m<sup>2</sup> Verdampferfläche
- 2,5 m<sup>2</sup> Parabolrinne mit 0,66 m<sup>2</sup> Verdampferfläche
- 2 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektor mit 1 m<sup>2</sup> Verdampferfläche

Abbildung 2 zeigt die Seitenansicht des Entsalzungsmoduls mit Flachkollektor. Die unterste Stufe in der Entsalzungsanlage dient gleichzeitig als erste Stufe der Verdampferkolonne und als Auffangbecken für das Destillat. Der Wärmeeintrag durch die Flachkollektoren findet ebenfalls in der untersten Stufe statt. Dabei werden die Kollektoren direkt vom Destillat durchströmt. Da die Kollektoren unterhalb des Verdampfers angebracht sind, zirkuliert das Destillat mit Hilfe von natürlicher Konvektion. Die beiden Kollektoren mit jeweils 2 m<sup>2</sup> Fläche bilden jeweils einen eigenen Kreislauf. Ein zusätzlicher Kopf- oder Fußspiegel am Kollektorende vergrößert die Aperturfläche.

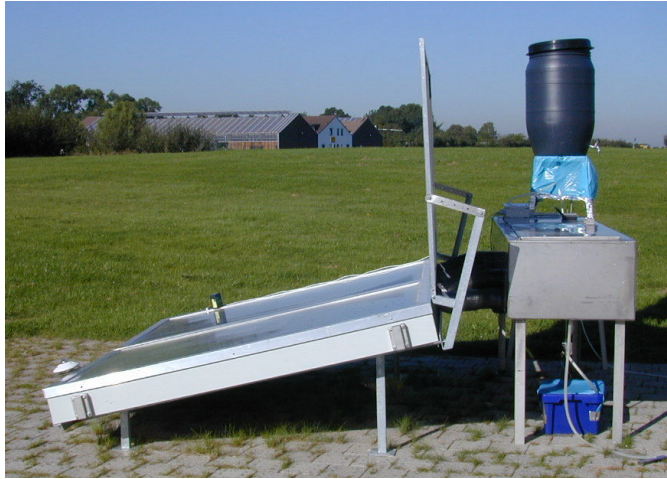


Abbildung 2: Entsalzungsmodul mit Flachkollektoren.

Abbildung 3 zeigt die Messergebnisse des Systems an einem Sommertag. Dargestellt ist der Temperaturverlauf des Verdampfers und der obersten Stufe, sowie die Destillatproduktion und die Einstrahlung über 24 Stunden. Das Nachfüllverhältnis von Destillat zu zugeführtem Salzwasser beträgt 1:1,8. Die Anlage produziert insgesamt 44 kg Destillat pro Tag.

Die eingestrahlte Tagesenergiesumme liegt bei 7,23 kWh/m<sup>2</sup>d. Damit ergibt sich der Wirkungsgrad von eingestrahlter Energie zu genutzter Energie ( $Q=M_{\text{dest}} \cdot h$ ) zu 98 Prozent. Eine zum Vergleich parallel betriebene, einfache Destille vom Gewächshaus-Typ produzierte im gleichen Zeitraum eine Destillatmenge von

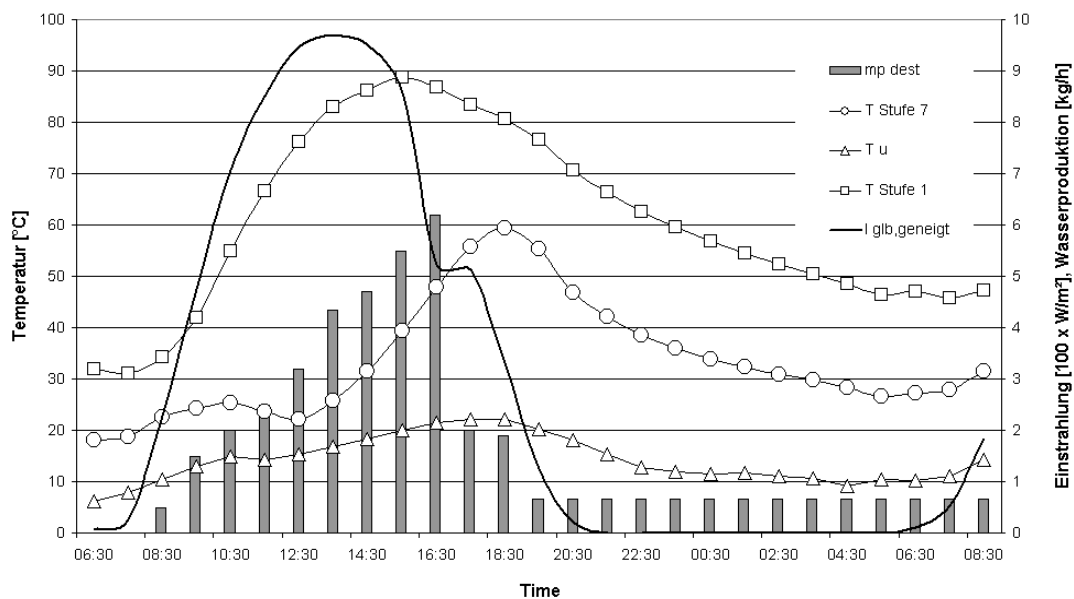


Abbildung 3: Messkurve der Flachkollektordestille über 24 Stunden

4,0 Liter/m<sup>2</sup>. Vergleicht man beide Anlagen, so erkennt man, daß mit der Wärmerückgewinnung die 2,75-fache Ausbeute pro Fläche gegenüber einem einfachen System erreicht werden kann. Die alternativen Systeme mit Vakuumröhre

und Parabolspiegel sind in Abbildung 4 und 5 zu sehen. Die Parabolrinnenversion ist in Ost-West-Richtung aufgestellt. Bei der Auslegung wurde besonderer Wert auf eine geringe Nachführung gelegt. So kann die Brennlinie auf dem breiten Absorberblech über den Tag 20 cm wandern. Je nach Standort ist somit nur eine saisonale Nachführung nötig. Der Absorber stellt gleichzeitig die unterste Verdampferwanne dar und enthält das Salzwasser. Die Wärme wird also ohne Umwege und mit geringer Trägheit in das System gebracht. Unter windigen Verhältnissen treten jedoch an dem, nur durch einen Hohlraum geschützten Absorber große Verluste auf. Auch führt das Fehlen einer Isolierung zu einer schnellen Abkühlung über Nacht. Ein Schutz des Absorbers mit einer Glasabdeckung kann an besonders windigen Standorten in Erwägung gezogen werden. Um die Randverluste der Parabolrinnenversion bei flachen Sonnenwinkeln möglichst gering zu halten, müssen möglichst viele Module in Reihe geschaltet werden (siehe Abbildung 4).

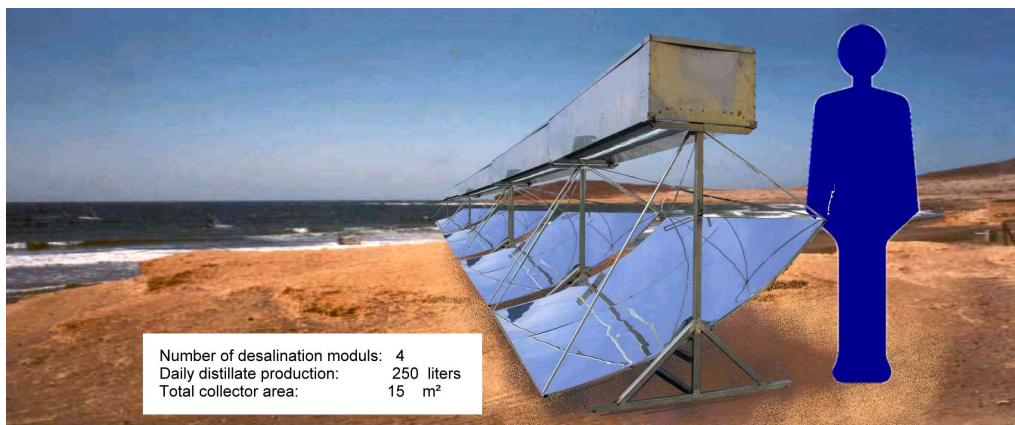


Abbildung 4: Paraboldestille



Abbildung 5: Vakuumröhren-Destille

Die Vakuumröhrenversion bietet bei derzeit sehr niedrigen Preisen von chinesischen Fabrikaten, eine interessante wirtschaftliche Alternative. Die durch die großen Abstände zwischen den Röhren bedingte, geringe Leistungsdichte ist jedoch zu beachten.

## 2. Simulation

Grundlage der Simulation bildet ein validiertes Matlab/Simulink Modell der mehrstufigen Anlage, dass im Rahmen des AiF-Projektes entwickelt wurde. Dieses Modell wurde anhand der Messwerte aus dem Betrieb mit dem Warmwasserkollektor erneut überprüft. Mit dem validierten Komplettsystems ist es möglich, die Leistung an späteren Standorten vorherzusagen. Für eine erste Prognose wurde die Simulation mit Hilfe der Wetterdaten von Sidi Barrani an der ägyptischen Mittelmeerküste durchgeführt. Die durchschnittliche Tagesproduktion eines 1 m<sup>2</sup> Moduls mit 4 m<sup>2</sup> Flachkollektor ist über das Jahr in Abbildung 6 dargestellt. Die Tagesleistung liegt je nach Jahreszeit zwischen 20 und 60 kg/d. Im Jahresdurchschnitt liefert die Anlage 47 kg/d.

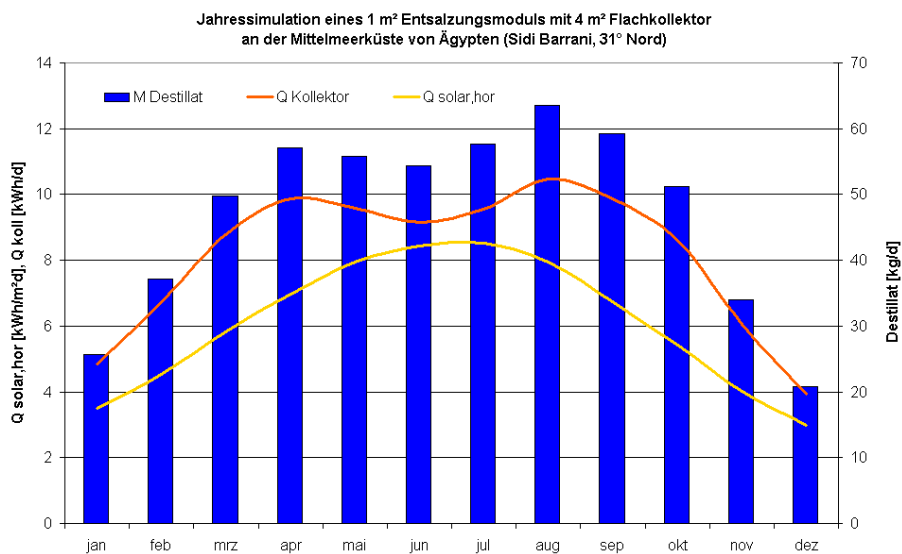


Abbildung 6: Simulierter Tagesertrag im Jahresverlauf

Um den Energiebedarf weiter zu verringern wird nun mit finanzieller Unterstützung von RWE Aqua eine zusätzliche, besonders für den Solarbetrieb geeignete, instationäre Wärmerückgewinnung der sensiblen Wärme im Destillat und der Sole untersucht. Erste Versuche lieferten bereits vielversprechende Ergebnisse.

## SOLAR THERMAL DESALINATION SYSTEMS WITH HEAT RECOVERY

This research article shows the experimental results of a solar thermal desalination system with heat recovery to produce drinking water from either sea or salty ground water. This system has two components: a solar collector and a desalination tower with heat recovery mechanism. The circulation through the solar collector is driven by natural convection. The water that runs through the collector is the condensate produced in the desalination tower. This condensate flows down on side wall to a clean water tank at the bottom of the tower. The hot water in the tank evaporates and condenses on the walls of the first stage, directly heating the salty water in this stage. Three units were built and tested: the first used a flat plate collector, the second used a parabolic reflector to directly heat the first stage in the tower and the third used evacuated tube collectors. The desalination tower has six stages and a water circulation system through the stages to avoid salt concentration. The results show the good thermal performance of this system. The water (polluted sea water and salty well water) laboratory test results show that the desalination process eliminated the Coli form group bacteria and reduced all physical variables, making it adequate for drinking purposes. A solar powered module with a 1 m<sup>2</sup> evaporator and a 4 m<sup>2</sup> flat plate collector was implemented as a simulation model under MATLAB/SIMULINK. The model was validated with data taken on a sunny day. A one year simulation with weather data from Sidi Barani (Egypt) showed that the average daily production of such a system would be 47 liters per day.