

Solarthermische Wasserentsalzung in Tunesien: Neues Anlagenkonzept mit Speicher

# Solare Wasserentsalzungsanlage

Nach Angaben des *Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)* war im Jahre 1991 selbst im Schwellenland Tunesien für etwa 35 bis 50 % der Bevölkerung eine Basisversorgung mit Trinkwasser nicht gewährleistet /1/. Verschmutztes Oberflächenwasser, aber auch salzhaltiges Grundwasser zwingt die Bevölkerung, geeignetes Trinkwasser und Wasser zur Bewässerung über weite Entfernungen heranzuschaffen. Im Folgenden wird eine Maßnahme vorgestellt, durch die der gesamte Wasserbedarf einer landwirtschaftlichen Kooperative in Südtunesien mittels einer solarbetriebenen Wasserentsalzungsanlage in Kombination mit einer Tropfbewässerungsanlage gedeckt werden konnte. Das integrierte Konzept machte es zum ersten Mal möglich, eine nahezu wartungsfreie, robuste und langlebige solarbetriebene Wasserentsalzungsanlage als wirtschaftliche Alternative für die dezentrale Wasserversorgung einzusetzen.

In Sfax/Südtunesien ist Grundwasser in ausreichender Menge vorhanden. Allerdings ist dieses Wasser wegen des hohen Salzgehalts einiger Brunnen nicht zur Verwendung als Trinkwasser geeignet. Es kann auch nicht direkt in der Landwirtschaft eingesetzt werden, da die Böden wegen der großen Verdunstung in dieser Region sehr schnell versalzen und damit unfruchtbar werden. Diese Situation ist nicht auf Südtunesien beschränkt, sondern liegt in vielen Gebieten der ariden und semiariden Klimazonen vor. Die Bevölkerung in weniger dicht besiedelten Regionen ist deshalb gezwungen, ihren Wasserbedarf über weit entfernte Brunnen oder Zapfstellen zu decken.

Auch eine landwirtschaftliche Kooperative in den Außenbezirken von Sfax, die geistig- und körperbehinderten Jugendlichen einen Ausbildungs- und Arbeitsplatz bietet, konnte den eigenen Brunnen wegen des hohen Salzgehalts nicht nutzen. Das Wasser wurde deshalb von einem eigens dazu angestellten Fahrer mit dem Traktor von einem fünf Kilometer entfernt liegenden Brunnen beschafft. Dies war mit einem großen organisatorischen und finanziellen Aufwand verbunden. Der Vorstand der Kooperative stellte sich deshalb die Frage nach einer möglichen Alternative zur bisherigen Wasserversorgung. Da das ökologische Bewußtsein in Tunesien allgemein deutlich ausgeprägt ist, strebte der Kooperationsvorstand eine Wasserentsalzung unter Nutzung der Sonnenenergie an.

## Rahmenbedingungen für die Anlagenkonzeption

Die *Gesellschaft für solare Wasserentsalzung e.V.* in Marburg hat daher in enger Zusammenarbeit mit der *Technologie-Transferstelle* und dem *Fachbereich Physik der Philipps-Universität Marburg* sowie der *Ingenieurschule ENIS der Universität Sfax* ein optimiertes Konzept einer Kleinanlage zur solaren Wasserent-

salzung entwickelt. Diese Anlage wurde im April 1997 unter Mitwirkung von Physikstudenten mit finanzieller Unterstützung des *BMZ* errichtet (Abb. 1).

Bei der Konzeption der Anlage und der Wahl der Methode zur Wasserentsalzung legten die Institutionen besonderen Wert auf den Einsatz einer einfachen, bedienungsfreundlichen und wartungsarmen Technologie. Eine weitere Bedingung im Hinblick auf die Trinkwassergewinnung war: Weder die Überprüfung der Wasserqualität noch die Prozeßführung sollte der Kontrolle durch ausgebildetes Fachpersonal bedürfen, d. h. ein weitgehend automatisierter Betrieb der Anlage sollte möglich sein.

Um den Wartungs- und Reparaturaufwand zu minimieren, kamen ausschließlich Komponenten zum Einsatz, die kommerziell erhältlich sind und schon viele Jahre auch unter extremen klimatischen Bedingungen getestet wurden.

## Prozeßbeschreibung

Die Wasserentsalzungsanlage besteht aus zwei Anlagenteilen: dem Wasserentsalzungsmodul, in dem das versalzte Wasser des Brunnens der Kooperative destilliert wird, und der Solaranlage mit einem 37 m<sup>2</sup> großen Kollektorfeld, die die nötige Prozeßwärme über einen Titan-Wärmetauscher bereitstellt.

Das Entsalzungsmodul arbeitet nach dem Prinzip der Feuchtluft-Gegenstrom-Destillation (Abb. 2). Dabei wird salzhaltiges Wasser im Verdunster bei Temperaturen von 70 bis 85 °C über Verdunstertücher verteilt /2/. Aus der dabei entstehenden warmen, wasserdampfhaltigen Luft wird im Kondensator der Dampf an einem Kunststoff-Wärmetauscher kondensiert und als Destillat unterhalb des Kondensators aufgefangen. Im Wärmetauscher wird die Kondensationswärme dazu genutzt, das zu destillierende Salzwasser vorzuwärmen. Durch diese Rückführung der Kondensa-

tionswärme in den Prozeß kann der spezifische Energiebedarf zur Erzeugung eines Kubikmeters Destillats deutlich gesenkt werden.

Nach diesem Prinzip arbeitet eine Pilotanlage der Firma *T.A.S. München* seit mehr als sieben Jahren auf Fuerteventura nahezu wartungsfrei. Die Anlage erzeugt etwa 100 l Destillat täglich. In Sfax wurde ein kosten- und effektivitätsoptimiertes Anlagenkonzept realisiert, bei dem durch die Integration eines konventionellen Druckwasserspeichers sowie eines Brauchwassermischers in den Solarkreis und durch eine vergrößerte Austauschfläche im Modul die tägliche Destillatproduktion auf 700 l gesteigert werden konnte.

Hintergrund für den Speicherbetrieb des Wasserentsalzungsmoduls sind die folgenden Überlegungen und Erfahrungen aus einem Feldversuch /3/:

- Die Auskühlung des Moduls während der Nachtstunden und die Totzeit, in der am Morgen zuerst das Modul auf Betriebstemperatur gebracht wird, be-



### Sonnenenergieanlagen mit hohem solarem Deckungsgrad

Josef Jenni  
Jenni Energietechnik AG, CH-Oberburg  
68 Seiten, farbig illustriert

DM25.--  
EXKL. MWST

Wie gross muss die Kollektorfläche und der Speicher sein, wenn der Wärmebedarf des Hauses bekannt ist und wieviel des Gesamtenergiebedarfes für Heizung und Warmwasser kann mit dieser Anlage solar erzeugt werden? Diese und viele andere Fragen werden Ihnen in diesem Buch rund um den Neubau beantwortet.

### Graue Energie und Umweltbelastungen von Heizungssystemen

Markus May  
Jenni Energietechnik AG, CH-Oberburg  
104 Seiten, farbig illustriert

DM30.--  
EXKL. MWST

Mit grauer Energie wird diejenige Energie bezeichnet, welche im Zusammenhang mit einem Produkt oder einer Dienstleistung aufgewendet werden muss, aber nicht unbedingt unmittelbar bemerkt wird. Kann also mit Sonnenkollektoren oder mit einer Wärmepumpe Energie gespart werden? Sie werden verblüffende Antworten finden!

Sie erhalten beide Bücher zusammen für nur

Zu beziehen bei:  
**SOLAR Einkaufsgemeinschaft**  
Paul Kessler  
Kirchstrasse 17  
D-89616 Rottenacker  
Tel. 07393/91 570 - Fax 07393/91 571

DM50.--  
EXKL. MWST

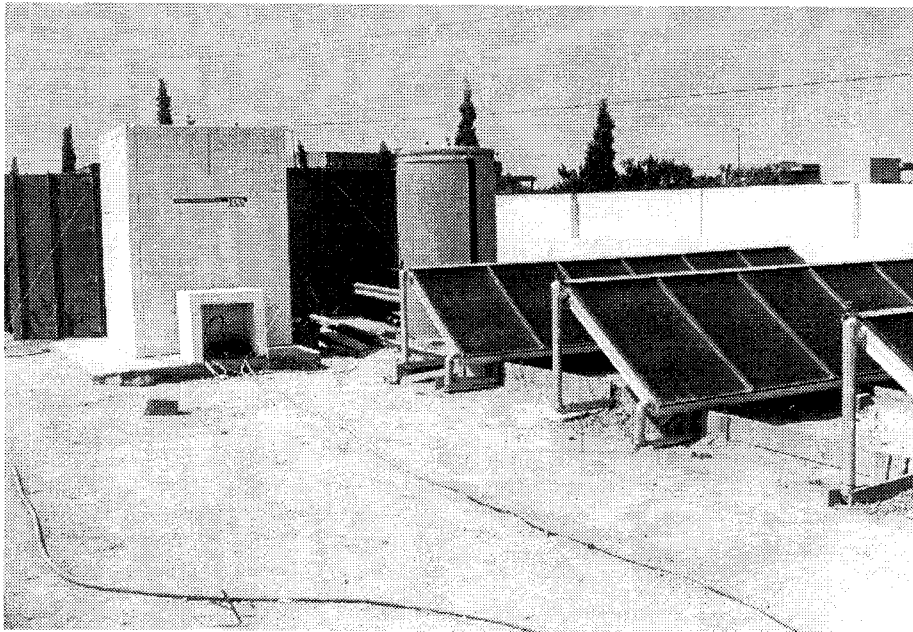


Abb. 1: Solarbetriebene Wasserentsalzungsanlage in Sfax/Tunesien: Der tägliche Wasserbedarf der Kooperative beträgt 5 m<sup>3</sup>. Der Wasserverbrauch konnte durch den Einsatz einer modernen Tropfbewässerungsanlage um mindestens 70 % gegenüber der bisher angewendeten Furchenbewässerung gesenkt und das erzeugte Destillat im Verhältnis 1:1 mit Brunnenwasser verschnitten werden. Die Wasserentsalzungsanlage muß täglich etwa 700 l destilliertes Wasser bereitstellen. Foto: Ulber

vor es Destillat produziert, kann durch den Speicherbetrieb minimiert bzw. vollständig vermieden werden.

- Der spezifische Energiebedarf pro m<sup>3</sup> erzeugtem Destillat beträgt unter stationären Bedingungen im Labor 70 bis 80 kWh. Im Feldversuch ergibt sich aufgrund des tageszeitlich schwankenden Leistungsangebots ein spezifischer Energiebedarf, der etwa doppelt so hoch ist (150 bis 180 kWh/m<sup>3</sup>).
- Trotz höherer Investitionskosten für eine Anlage mit Speicherbetrieb kann der Wassergestehungspreis durch diese Maßnahme, wegen der vergleichsweise hohen Kosten des Moduls, drastisch gesenkt werden.

### Anlagenkonzeption für 24-Stunden-Betrieb

In Abb. 3 ist die in Tunesien errichtete Anlage schematisch dargestellt. Sie besteht aus folgenden Komponenten:

- GOR-8-Modul mit Titan-Wärmetauscher (WT) und Steuerung,
- fünf LB-Flachkollektoren mit jeweils 7,5 m<sup>2</sup> TiNOx beschichteter Absorberfläche,
- Solarregelstation, Grundfoss-Umwälzpumpe und elektrisches Drei-Wege-Ventil,
- konventioneller 2 m<sup>3</sup>-Druckwasserspeicher mit Weichschaumisolierung,
- Brauchwassermischer.

Das Wasserentsalzungsmodul wurde von der Firma T.A.S. München entwickelt und gebaut. Die Komponenten der Solaranlage wurden von der Firma Wagner & Co. Solartechnik, Cölbe, bezogen.

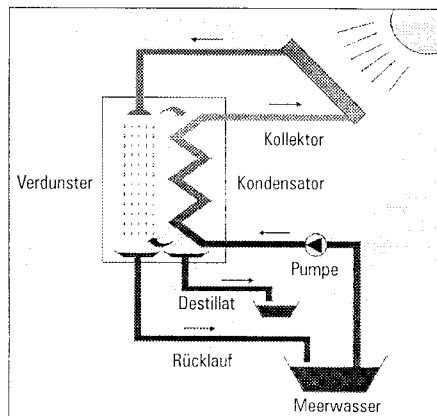


Abb 2: Allgemeines Funktionsprinzip einer solarthermischen Wasserentsalzungsanlage ohne Wärmespeicher

Grafik: T.A.S. München

Durch die Installation eines Brauchwassermischer werden quasistationäre Betriebsbedingungen für die Verdunstung – nicht nur im Speicherbetrieb, sondern auch tagsüber – garantiert. Steigt die Temperatur im Kollektorvorlauf über den vom Brauchwassermischer vorgegebenen Wert, so wird am Mischventil

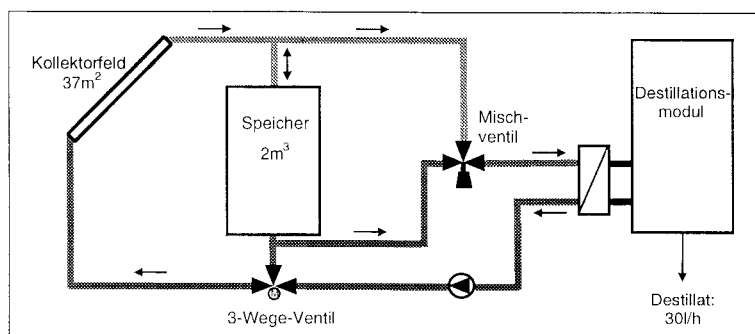


Abb. 3 : Schematische Darstellung der Anlagenkonzeption in Sfax

kälteres Wasser aus dem unteren Teil des Speichers zugeführt. Der Speicher wird dabei automatisch von oben mit dem überschüssigen heißen Wasser aus dem Kollektorvorlauf gefüllt und erwärmt sich auf diese Weise im Laufe des Tages.

Die Voraussetzungen, unter denen der Hersteller eine stündliche Destillatproduktion des Moduls zwischen 25 und 30 l garantiert, sind eine thermische Anschlussleistung von 3 kW bei einem Temperaturniveau für die Verdunstung zwischen 65 und 85 °C und ein Massenstrom im Sekundärkreis von 600 l/h. Bei einer Auslegung des Wärmetauschers auf eine Temperaturdifferenz von 5 K sind auf der Primärseite bei einem Massenstrom von ebenfalls 600 l/h Temperaturen zwischen 70 und 90 °C bereitzustellen.

Mit Hilfe des Wetterdatensatzes von Tunis wurde die für einen 24-Stunden-Betrieb in den Sommermonaten notwendige Kollektorfläche zu 40 m<sup>2</sup> berechnet. Basis der Rechnung war die Anforderung, einen Wasserspeicher mit einem Volumen von 2 m<sup>3</sup> bei einer konstanten Leistungsabnahme von 3 kW tagsüber von 65 °C auf die maximal möglichen 95 °C zu erwärmen. Mit einem Speicher dieser Größe kann beim vorgegeben Massenstrom von 600 l/h und einer Speichertemperatur von 95 °C eine zusätzliche Destillation über 17 Stunden realisiert werden.

Am Einlaß des Wärmetauschers wird durch den Brauchwassermischer primärseitig eine Temperatur von 85 °C vorgegeben und damit eine konstante Verdunstungstemperatur von 80 °C realisiert.

Die gesamte Wasserentsalzungsanlage wird von der Regelstation im Solarkreis geregelt. Sinkt die Temperatur im Kollektorvorlauf tagsüber unter 75 °C oder wird das Sicherheitskriterium des Speichers, das ist die Maximaltemperatur am Boden des Speichers, erreicht, so wird automatisch das Drei-Wege-Ventil aktiviert und der Speicher von oben entladen.

Die Pumpe im Solarkreis läuft in den Nachtstunden solange, bis das Abschaltkriterium für die Verdunstung erreicht ist. Das ist die Minimaltemperatur von 70 °C im Primärkreis. Bei einem voll beladenen, homogen geschichteten Spei-

cher kann mit diesem Konzept insgesamt ein 24-Stunden-Betrieb der Wasserentsalzungsanlage realisiert werden.

Durch die Installation eines Brauchwassermischers ist – neben den nun quasistationären Betriebsbedingungen des Moduls und einem damit einhergehenden geringeren spezifischen Energiebedarf – eine optimale Anpassung der Erträge der Kollektoren an die Anforderungen des Moduls gewährleistet. Zum Beispiel: Der Ertrag der gesamten Kollektorfläche wird in einstrahlungsarmen Zeiten (morgens, nachmittags und im Winter) ausschließlich zur Erwärmung des Salzwassers verwendet, während nur in strahlungsreichen Stunden ein Großteil des Ertrags in den Speicher eingebracht wird. Die Planer erwarten, daß durch diese Anlagenkonzeption auch in den Wintermonaten eine ausreichende Destillatproduktion erzielt wird.

In Abb. 4 sind erste Ergebnisse einer vollständigen Meßdatenerfassung aller Betriebsparameter dargestellt, die vom ZAE Bayern e.V. zur optimalen Einstellung der Anlage durchgeführt wurde. Die solare Einstrahlung und die Destillatproduktion für den 21. und 22. Juli 1997 zeigen, daß die Stillstandszeit in der Nacht auf drei Stunden reduziert wurde. Die Gesamtdestillatproduktion am 21. Juli beträgt 540 l bei einem spezifischen Energiebedarf von 105 kWh/m<sup>3</sup>. Dies entspricht einem GOR<sup>1</sup> für die Wasserentsalzung von 6,4 /4/.

## Ausblick

Die an die Anlage gestellten Erwartungen bezüglich Destillatproduktion, energetischer Effizienz und Wartungsfreundlichkeit werden, nachdem die Anpassung an die lokalen Gegebenheiten abgeschlossen ist, seit mehr als einem halben Jahr voll erfüllt. Bei einer Verdopplung der Investitionskosten konnte die Destillat-

produktion etwa um einen Faktor sechs gegenüber einer Anlagenkonzeption ohne Speicher gesteigert werden.

Erste Abschätzungen der jährlichen Destillatproduktion, die auf einer Simulation des Kollektorertrages basieren, zeigen, daß in Kombination mit einer Tropfbewässerungsanlage eine Wasserversorgung realisiert wurde, deren Kosten denen herkömmlicher Verfahren entsprechen. Nach dieser Abschätzung werden sich die Anlagen nach Ablauf von zehn Jahren amortisiert haben.

In den nächsten Monaten wird eine weitere Optimierung der installierten Anlage durch die meßtechnische Erfassung aller Parameter im Jahresverlauf und eine Anpassung der Betriebsführung erreicht werden. Die Projektverantwortlichen erwarten, daß vergleichbare Anlagen anschließend bei einer weiteren Reduzierung der Investitionskosten um 30 % – und damit des Destillatpreises – realisiert werden können.

Das hochreine Destillat kann neben dem Einsatz in der Landwirtschaft und zur Trinkwasserversorgung auch für medizinische Zwecke verwendet werden. Die vorgestellte Technologie kann nicht nur zur Wasserentsalzung eingesetzt werden, sondern auch für die dezentrale Abwasserreinigung.

Isabell Uiber

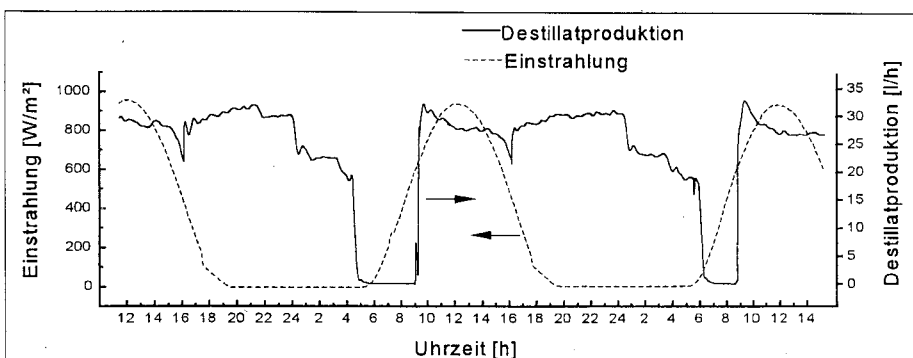


Abb. 4 : Einstrahlung und Destillatproduktion am 21. und 22. Juli 1997.

Quelle: M. Engelhardt, ZAE Bayern e.V.



## Literatur

- /1/ Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern, Hrsg. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (1994), 6.
- /2/ T. Baumgartner et al., Proceedings of the Seminar on New Technologies For The Use Of Renewable Energy Sources In Water Desalination, Athens (1991), 90ff.
- /3/ H. Müller-Holst et al., Abschlußbericht des Eigenprojekts des ZAE Bayern e.V. Zur Langzeitvermessung der solarthermischen MWE-Anlage in Fuerteventura/Kanarische Inseln.
- /4/ M. Engelhardt, ZAE Bayern e.V., private Mitteilung.

## Danksagung

Wesentlich zum erfolgreichen Abschluß des Projektes haben folgende Personen beigetragen: W. Baier, Dr. H. BenBacha, M. Engelhardt, J. Krelle, A. Lindau, R. Orth, D. Rodenhausen, Dr. H. Uchtmann, M. Uecker und Dr. K. Vajen.

Über die Autorin:

Die Physikerin Dr. Isabell Uiber ist Projektleiterin für solare Wasserentsalzung und regenerative Energien bei SOWAS – Gesellschaft für solare Wasserentsalzung e.V., einer Gründung des Technologietransfers der Philipps-Universität Marburg.