Solar-Institut Jülich (SIJ)

Vorhaben 252 001 91; Teilprojekt: Solarthermische Anwendungen (Solarthermische Meerwasserentsalzung / Wasseraufbereitung)

Prof. K. Schwarzer, C. Faber, J. Hohmann
FH Aachen, Solar-Institut Jülich, Ginsterweg 1, 52 428 Jülich

Zielsetzungen

In vielen ländlichen Gebieten der dritten Welt (auch im Mittelmeerraum) stellt die Wasserversorgung der Bevölkerung ein großes Problem dar. Konventionelle Trinkwasseraufbereitungsverfahren könnten die Versorgungsprobleme beheben, sind jedoch für die in Frage kommende Bevölkerung hinsichtlich Anschaffung und Betrieb zu teuer. Für kleinere, dörfliche Gemeinschaften und entlegene Siedlungen stellt die solarthermische Trinkwasseraufbereitung eine mögliche Alternative dar. Die einfachste und schon seit Ende des letzten Jahrhunderts genutzte Entsalzungsanlage ist die einfache Solardestille, ein einfacher Bottich mit schwarzem Boden, in dem das Meerwasser nach dem Gewächshaus-Prinzip verdunstet und an der Glasscheibenabdeckung wieder kondensiert. Nachteile der einfachen Solardestille sind ihre nur geringe Produktionsrate (weniger als 5 Liter pro Quadratmeter und Tag) sowie der Verlust der Kondensationswärme. Ziel der durchgeführten Arbeiten war die Entwicklung einfacher solarthermischer Entsalzungsanlagen unter Nutzung der Sonne als Energiequelle. Die Anlagengröße soll variabel (modular gestaltet) sein, so daß Einfamilienhäuser, aber auch kleinere, dörfliche Gemeinschaften, in denen kein Wasserverteilungsnetz vorhanden ist, versorgt werden können. Ein weiterer Aspekt für die Auswahl eines geeigneten Verfahrens ist der möglichst einfache und wartungsarme Betrieb. Die Trinkwasseraufbereitungsanlagen sollen ohne ausgebildetes Personal vom Nutzer selbst gehandhabt, im Schadensfall Anlagenkomponenten selbständig, ohne großen Aufwand repariert bzw. ausgetauscht werden können.

Arbeitsinhalte

In der Literatur sind verbesserte Verfahren bekannt geworden, die durch veränderte Prozeßführungen und/oder einer Rückgewinnung der Kondensationswärme höhere Produktionsraten erwarten lassen. Im Rahmen des Projekts sollten verschiedene solarthermische Trinkwasseraufbereitungsanlagen gebaut, getestet und im Hinblick auf einen Einsatz in Entwicklungsländern bewertet werden. Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:

- Optimierung der einfachen Solardestille
- Bau und Test einer mit einem Flachkollektor gekoppelten Solardestille
- Bau und Test einer Kaskadendestille mit und ohne Wasservorwärmung
- Bau und Test einer 4-stufigen Multi-Effekt-Destille
- Bau und Test einer Destillationsanlage mit Luft-Be- und Entfeuchtung
- Bau und Test einer Mehrstufendestillationsanlage als Kocheraufsatz
- Bau und Test einer Druckentkeimungsanlage zur Trinkwasserentkeimung.

Ergebnisse

Zur Optimierung einfacher Solardestillen wurden experimentelle Untersuchungen unter Variation der Parameter Wassertemperatur, Füllhöhe und Neigungswinkel der Abdeckung durchgeführt. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Materialien für die Abdeckung und den Bottich hinsichtlich ihrer Eignung in Entwicklungsländern überprüft. Die thermodynamischen Vorgänge in der Destille sowie das Benetzungsverhalten der Wassertropfen an der Abdeckung

wurden parallel dazu eingehendend theoretisch analysiert. Mithilfe der durchgeführten Untersuchungen konnten umfangreiche Erfahrungen zum Bau und zur Optimierung von einfachen Solardestillen nach dem Gewächshaus-Prinzip, vor allem für den Einsatz in Entwicklungsländern, gesammelt werden. Als günstige Betriebstemperatur für eine möglichst hohe Destillatproduktion ergab sich für die einfache Solardestille ein Wert von ca. 70 °C. Bei den untersuchten Destillen mit geringen Neigungswinkeln der Abdeckung muß bei der Wahl des Materials insbesondere das Benetzungsverhalten der Abdeckung beachtet werden. Das Ablaufverhalten von normalem Fensterglas hat sich als sehr gut erwiesen. Zudem ist es überall relativ preiswert erhältlich und ermöglicht den Einsatz ohne eine aufwendige Oberflächenbehandlung. Einfaches Fensterglas muß jedoch spannungsfrei gelagert werden. Eine Alternative zu normalem Fensterglas ist Weißglas (ESG - Einscheibensicherheitsglas). Es hat die Vorteile geringerer Transmissionsverluste und hoher Temperaturstabilität. Nachteilig ist allerdings die schlechtere Verfügbarkeit des Materials in den Anwenderländern. Dagegen ist eine Kunststoffabdeckung aus Makrolon für den Einsatz bei flachen Destillen ungeeignet. Zu bemängeln ist einmal das schlechte Ablaufverhalten und zum anderen die ungünstigen Festigkeitseigenschaften des Materials bei höheren Temperaturen (Durchhängen der Abdeckung). Mit kleineren Neigungswinkeln der Abdeckung (1° bis 5°) in Verbindung mit einer Oberflächenbehandlung der Glasscheiben und dem Vorteil eines geringeren Abstands Wasseroberfläche - Abdeckung konnten entgegen Angaben aus der Literatur keine Produktionssteigerungen erzielt werden.

Wie aus den theoretischen Untersuchungen an der einfachen Solardestille hervorgeht, steigt die Produktion des Destillats mit der Wassertemperatur progressiv an. Es liegt daher nahe, die Destille mit einem solarthermischen Kollektor zu koppeln und die Kondensationswärme des im Kollektor verdampfenden Wassers zur Aufheizung der Sole in der Destille zu nutzen. Die mit einem Kollektor gekoppelte Destille erbrachte bei guter solarer Einstrahlung im Vergleich zur einfachen Solardestille eine Produktionssteigerung von 15 %, bezogen auf 1 m² Anlagenfläche (Destille + Kollektor). Dagegen steht der sehr viel höhere Bauaufwand und die höheren Kosten eines Flachkollektors gegenüber der einfachen Solardestille. Die Versuche haben jedoch gezeigt, daß durch eine Wärmezufuhr in das Solebad (externe Wärmequelle mit genügend hohem Temperaturniveau, ggf. Abwärme) und die damit verbundenen höheren Sole-Temperaturen oberhalb 80 °C Produktionssteigerungen von über 50 % erzielt werden können.

In der Kaskadendestille ist das Salzwasserbecken treppenförmig angelegt, um den Abstand zwischen Wasseroberfläche und der geneigten Abdeckung möglichst gering zu halten. Die Kaskadendestille produziert im Vergleich zu einer einfachen Solardestille etwa 5 % mehr Destillat. Der höhere Bauaufwand und das aufwendigere Reinigen der Kaskaden können diesen geringen Mehrertrag jedoch nicht rechtfertigen. Ein Versuch, die zuzuführende Sole im Zwischenraum einer Doppelglasabdeckung durch Wärmerückgewinnung der Kondensationswärme an der Abdeckung vorzuwärmen, brachte nur ungenügende Ergebnisse. Die Wärmeverluste durch Reflexion und Absorption in der Abdeckung sind dabei höher als der zusätzliche Energieeintrag der Wärmerückgewinnung, so daß die Effektivität der Anlage insgesamt vermindert wird.

Die als Aufsatz für einen Solarkocher ausgeführte Mehrstufendestillation ergab die besten Ergebnisse aller untersuchten Verfahren. Die einzelnen Stufen sind als umgekehrte Kegel ausgeführt, an deren Mantelfläche der aufsteigende Wasserdampf kondensiert und die Kondensationswärme an das Salzwasser im Kegel abgibt. Mit einem dreistufigen System konnte die 2,2-fache Menge an Destillat im Vergleich zu einem Referenzverfahren ohne Wärmerückgewinnung erzielt werden. Ein zweistufiges System ergab die 1,8-fache Menge. Weitere Modifikationen der Anlage (leichtere Bauweise, Optimierung der Flüssigkeitsmengen in den einzelnen Stufen u. a.) lassen durchaus noch höhere Werte erwarten. Um den abnehmenden Wärmeströ-

men in den höheren Stufen Rechnung zu tragen, müssen außerdem die Wärmetauscherflächen angepaßt werden.

Die Multi-Effekt-Destille arbeitet ebenfalls nach dem Mehrstufenprinzip, bei dem die Kondensationswärme als Energiequelle für die nächstfolgende Stufe genutzt wird. Die einfallende Sonnenstrahlung erwärmt das unter einer Glasscheibe liegende Absorberblech. Auf der Rückseite des Blechs ist ein Viskosetuch aufgebracht, welches mit Salzwasser beschickt wird. Ein Anteil des Salzwassers verdunstet, kondensiert auf dem darunter liegenden, kühleren Blech und gibt die Kondesationswärme an die folgende Stufe ab. Die Auswertungen der Versuchsergebnisse für einen 4-stufigen Prototyp ergaben hohe Wärmerückgewinnungsfaktoren in den einzelnen Stufen (ca. 70 %). Die maximal erzielten Destillaterträge liegen jedoch nur etwa 50 % über den Ergebnissen der einfachen Solardestille. Ursache sind die hohen Wärmeverluste in der ersten Absorberstufe, in der nur ca. 20 % der einfallenden Strahlung in Nutzenergie umgesetzt werden. Verbesserungen des Systems durch eine Doppelglasabdeckung oder eine transparente Wärmedämmung und/oder durch Einsatz eines selektiv beschichteten Absorbers lassen daher weitere Ertragssteigerungen erwarten. Gut bewährt hat sich die Befeuchtung des Systems mit Hilfe der Viskosetücher. Ein Abtropfen der Sole und eine Vermischung des Salzwassers mit dem Destillat wurde nicht beobachtet. Salzgehaltprüfungen ergaben eine sehr gute Destillatqualität. Berücksichtigt werden muß jedoch der hohe Aufwand für Betrieb und Wartung der Anlage.

Mit den im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Untersuchungen an einer Luft-Be- und Entfeuchtungsanlage zur Meerwasserentsalzung konnten bisher nur erste Betriebserfahrungen gesammelt werden. Da das vorgeschlagene Verfahren eine Neuentwicklung darstellt, konnte nicht auf Erfahrungen aus der Literatur zurückgegriffen werden. Wegen der hohen Anzahl beeinflussender Betriebsparameter (Luftmassenstrom, Solemassenstrom, Baugröße des Verdunsters, Baugröße des Kondensators usw.) bedarf es zur Optimierung des Verfahrens zusätzlicher Untersuchungen, um die einzelnen Komponenten aufeinander abzustimmen.

Die im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelte solarthermische Anlage zur Wasserentkeimung hat sich bei der thermodynamischen Erprobung als praxistauglich erwiesen. Bei hohen solaren Einstrahlungen können mehr als 5 kg/h Wasser bei 134 °C und einer Haltezeit von 180 s entkeimt werden. An einem Tag wurde eine Gesamtmenge von 16,4 kg erreicht. Das Verfahren arbeitet mit einem Wärmetauscher, mit dem die Wärme des entkeimten Wasser zur Vorheizung des zuzuführenden, keimhaltigen Wasser rückgewonnen werden kann. Zu einer abschließenden Bewertung der Anlage muß noch eine medizinisch-technische Überprüfung durchgeführt werden.

Nutzungsmöglichkeiten der Ergebnisse

Einfache Solardestillen aus Styropor werden bereits in Chile zu einem niedrigen Preis angeboten. Die Haltbarkeit und die Produktionsrate läßt jedoch sehr zu wünschen übrig. Die im Rahmen des Projekts entwickelten einfachen Solardestillen sollten daher zukünftig in einem Feldtest vor Ort praktisch erprobt werden. Durch die einfache Handhabung der Abdeckung und die aus einem hochwarmfesten Laminat bestehende Struktur des Beckens können gute Ergebnisse des Tests erwartet werden. Die solarthermische Anlage zur Wasserentkeimung hat sich bei der thermodynamischen Erprobung als praxistauglich erwiesen und sollte ebenfalls im Feldtest erprobt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Multi-Effekt-Destille, der Mehrstufendestillation als Kocheraufsatz und der Luft-Be-und Entfeuchtungsanlage lassen nach weiteren Optimierungsarbeiten noch größere Ertragssteigerungen erwarten. Die erzielten Produktionssteigerungen für die mit einem Flachkollektor gekoppelte Destille und die Kaskadendestille müssen dem einfa-

cheren Bauaufwand einer einfachen Destille gegenübergestellt werden. Die gekoppelte Destille wäre jedoch für eine Prozeßwärmenutzung interessant.

Diplomarbeiten

/1/ J. Decker, A. Seel
Entwicklung, Konstruktion, Bau und thermodynamische Bilanzierung zweier solarthermischer Entsalzungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, Diplomarbeit FH Aachen, Abt. Jülich, 1995

/2/ C. Fark
Auslegung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer solaren Meerwasserentsalzungsanlage für das Fischerdorf Puerto Viejo, Region Atacama, Chile, Diplomarbeit FH Aachen, Abt. Jülich, 1995

/3/ J. Hohmann
Konstruktion, Bau und Vermessung einer neuartigen Meerwasserentsalzungsanlage, Diplomarbeit FH Aachen, Abt. Jülich, 1992

/4/ K. H. Kurfürst
Konstruktion, Bau und thermodynamische Vermessung einer solarthermischen Anlage zur Entkeimung von Wasser, Diplomarbeit FH Aachen, Abt. Jülich, 1995

/5/ M. Razen
Konstruktion, Bau und vergleichende Vermessung von solarthermischen Destillatoren nach dem Gewächshaus-Prinzip, Diplomarbeit FH Aachen, Abt. Jülich, 1995

/6/ F. Stermann
Konstruktion, Bau, thermodynamische Vermessung und Erprobung einer mehrstufigen, thermischen Meerwasserentsalzungsanlage, Diplomarbeit FH Aachen, Abt. Jülich, 1996

Zusammenfassung

In vielen ländlichen Gebieten der dritten Welt (auch im Mittelmeerraum) stellt die Wasserversorgung der Bevölkerung ein großes Problem dar. Konventionelle Trinkwasseraufbereitungsverfahren könnten die Versorgungsprobleme beheben, sind jedoch für die in Frage kommende Bevölkerung hinsichtlich Anschaffung und Betrieb zu teuer. Für kleinere, dörfliche Gemeinschaften und entlegene Siedlungen stellt die solarthermische Trinkwasseraufbereitung eine mögliche Alternative dar. Ziel der durchgeführten Arbeiten war die Entwicklung einfacher solarthermischer Entsalzungsanlagen unter Nutzung der Sonne als Energiequelle. In der Literatur sind verbesserte Verfahren bekannt geworden, die durch veränderte Prozeßführungen und/oder einer Rückgewinnung der Kondensationswärme höhere Produktionsraten erwarten lassen. Im Rahmen des Projekts sollten verschiedene solarthermische Trinkwasseraufbereitungsanlagen gebaut, getestet und im Hinblick auf einen Einsatz in Entwicklungsländern bewertet werden. Mithilfe der durchgeführten Untersuchungen konnten umfangreiche Erfahrungen zum Bau und zur Optimierung von einfachen Solardestillen nach dem Gewächshaus-Prinzip, vor allem für den Einsatz in Entwicklungsländern, gesammelt werden. Als günstige Betriebstemperatur für eine möglichst hohe Destillatproduktion ergab sich für die einfache Solardestille ein Wert von ca. 70 °C. Die als Aufsatz für einen Solarkocher ausgeführte Mehrstufendestillation ergab die besten Ergebnisse aller untersuchten Verfahren. Die einzelnen Stufen sind als umgekehrte Kegel ausgeführt, an deren Mantelfläche der aufsteigende Wasserdampf kondensiert und die Kondensationswärme an das Salzwasser im Kegel abgibt. Mit einem dreistufigen System konnte die 2,2-fache Menge an Destillat im Vergleich zu einem Referenzverfahren ohne Wärmerückgewinnung erzielt werden. Die solarthermische Anlage zur Wasserentkeimung hat sich bei der thermodynamischen Erprobung als praxistauglich erwiesen und sollte in einem Feldtest praktisch erprobt werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Multi-Effekt-Destille und der Luft-Be-und Entfeuchtungsanlage lassen nach weiteren Optimierungsarbeiten noch größere Ertragssteigerungen erwarten. Die erzielten Produktionssteigerungen für die mit einem Flachkollektor gekoppelte Destille und die Kaskadendestille müssen dem einfacheren Bauaufwand einer einfachen Destille gegenübergestellt werden. Die gekoppelte Destille wäre jedoch für eine Prozeßwärmenutzung interessant.