

Joachim Müller und Karlheinz Köller, Hohenheim, sowie Sherif Algohary und Ahmed Hegazi, Kairo

Solarbetriebene Tropfbewässerung in Ägypten

Da sowohl die Energie zur Wasserförderung als auch das Wasser als solches begrenzte Ressourcen im Bewässerungslandbau darstellen, kommt der Entwicklung wasser- und energiesparender Bewässerungssysteme wachsende Bedeutung zu. Vor diesem Hintergrund wurde ein photovoltaisch betriebenes Niederdruck-Tropfbewässerungssystem konzipiert und in Ägypten zur Bewässerung einer 1,7 ha großen Dattel/Zitrus-Plantage eingesetzt. Die installierte Leistung des Solargenerators beträgt 530 W_p. Der Wirkungsgrad bei der Wandlung von Strahlungsenergie in hydraulische Energie erreichte 3 %. Durch Anpassung der Solargeneratorleistung an die Lastkennlinie der Pumpe sowie durch regelmäßige Reinigung der Solarmodule läßt sich der Wirkungsgrad noch erheblich steigern.

Die Wasserförderung gilt als bevorzugtes Einsatzfeld photovoltaisch erzeugter Energie, da der Wasserbedarf in der Regel direkt von der Globalstrahlung abhängt und somit eine gute Anlagenauslastung erwarten läßt [1]. Aufgrund der hohen Investitionskosten der Solarmodule kommt diesem Wirtschaftlichkeitskriterium besondere Bedeutung zu. Posorski [2] belegte durch eine umfassende ökonomische Analyse die wirtschaftliche Überlegenheit von PV-Pumpen gegenüber Dieselpumpen im unteren Leistungsbereich, wobei die Obergrenze je nach Einsatzland bei 2 bis 4 kW lag. Mehrere PV-Pumpensysteme dieser Leistungsklasse wurden auch im Rahmen eines BMBF-Projektes an verschiedenen Standorten in Deutschland zur Bewässerung eingesetzt [3, 4, 5]. Während die technische Zuverlässigkeit der Anlagen nachgewiesen werden konnte, entstanden durch die geringe Anlagenauslastung aufgrund der kurzen Bewässerungssaison oft sehr hohe Wasserförderkosten.

Prof. Dr. Karlheinz Köller ist Leiter des Fachgebiets „Mechanisierung und Bewässerung“ des Instituts für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, e-mail: koeller@ats.uni-hohenheim.de. Dr. sc. agr. Joachim Müller ist Mitarbeiter des Instituts. Sherif Algohary und Ahmed Hegazi sind Mitarbeiter der Atomic Energy Authority, Kairo.

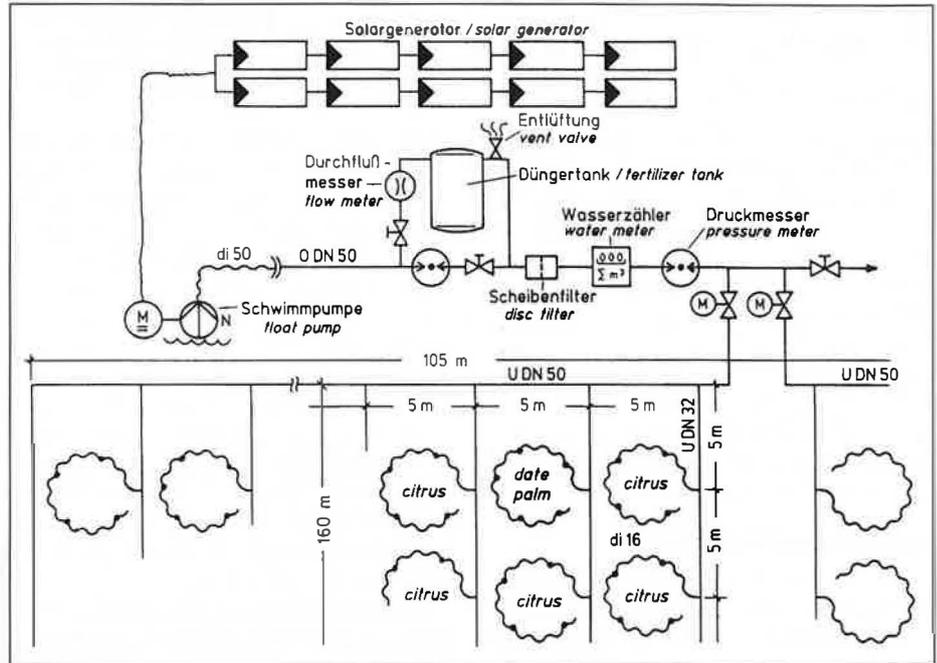


Bild 1: Aufbau des photovoltaisch betriebenen Tropfbewässerungssystems

Fig. 1: Design of the photovoltaic driven drip irrigation system

In der vorliegenden Arbeit wurde ein PV-Bewässerungssystem für ein arides Klima mit ganzjährigem Bewässerungsbedarf konzipiert und in Ägypten (Inshas 31° 26' W, 30° 36' N, 20 m NN) unter Praxisbedingungen untersucht. Ziel war die Entwicklung einer wirtschaftlich konkurrenzfähigen Lösung durch eine optimale Anpassung sämtlicher Systemkomponenten an das spezifische Betriebsverhalten einer PV-Pumpe unter Minimierung des hydraulischen Energiebedarfs.

Aufbau und Funktion der Bewässerungsanlage

Das PV-Pumpensystem besteht aus einer einstufigen Kreiselpumpe mit einem integrierten, elektronisch kommutierten Gleichstrommotor, welcher direkt an einen Solargenerator gekoppelt ist. Der Motor ist für eine Leerlaufspannung von 100 V und einen maximalen Kurzschlußstrom von 8,4 A ausgelegt. Die zulässige Dauerleistung beträgt 450 W. Der Solargenerator besteht aus zehn Siemens-M55 Solarmodulen mit zwei parallelen Strängen à fünf Modulen in Reihenschaltung, Bild 1. Aus dieser Verschaltung ergibt sich eine Leerlaufspannung des Generators von 108,5 V und ein Kurzschlußstrom von 6,8 A. Die Nennleistung beträgt 530 W_p bei einer Generatorfläche

von 4,27 m². Das Wasser wird direkt, also ohne zwischengeschalteten Hochbehälter in das Rohrnetz der Tropfbewässerungsanlage eingespeist. Der Betriebsdruck der Anlage variiert somit entsprechend der Globalstrahlung. Um trotzdem eine gleichmäßige Wasserverteilung zu erreichen, wurde ein spezielles Verrohrungsschema entwickelt, wobei zur Minimierung des Anlagendrucks sämtliche Leitungsquerschnitte überdimensioniert sind. Entlang jeder Baumreihe wurde ein PE-Rohr DN32 unterirdisch verlegt, von welchem an jedem Baum eine Steigleitung DN16 abzweigt (Bild 2). Die Steigrohre münden in Blindleitungen, welche ringförmig um die Stämme gelegt sind. Die Scheitel der Steigleitungen sind 0,2 m über dem höchsten Geländepunkt nivelliert. Das Rohrnetz bleibt somit ständig mit Wasser gefüllt. Das tägliche Fluten der Anlage entfällt und damit auch die kritischen Phasen mit ungleichmäßiger Wasserverteilung. Auf den Ringleitungen sind, entsprechend des unterschiedlichen Wasserbedarfs von Zitrusbäumen und Dattelpalme, vier oder fünf Aufsatztrichter mit einer Nenn-Ausflußrate von 8 l/h installiert. Die tatsächliche Ausflußrate variiert entsprechend der momentanen Pumpenleistung. Zur Vermeidung von Tropferverstopfungen wurde ein

Scheibenfilter installiert, welcher manuell gespült wird, da automatische Rückspül-systeme einen zu hohen Betriebsdruck erfordern. Flüssigdünger wird über einen Drucktank eingespeist – eine Technik, die im Gegensatz zur präziseren Venturidüse oder Dosierpumpe auch bei geringem Betriebsdruck arbeitet.

Ergebnisse

In Bild 2 ist das Betriebsverhalten der Bewässerungsanlage exemplarisch für einen repräsentativen Tag im Juni dargestellt. Die Tagessumme der Globalstrahlung erreichte einen Wert von $7,9 \text{ kW/m}^2$, mit einem Maximum der Strahlungsleistung von 980 W/m^2 . Die Pumpe startete morgens selbsttätig bei einer Einstrahlung von etwa 100 W und stoppte abends bei Unterschreitung dieses Wertes. Bei Sonnenhöchststand erreichte der Förderstrom ein Maximum von $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer Gesamtförderhöhe von 8 m . Die Tagesfördermenge summierte sich auf 51 m^3 . Der leicht asymmetrische Verlauf von Förderhöhe und -strom ist auf den zunehmenden Druckverlust des Scheibenfilters zurückzuführen, hervorgerufen durch die hohe Algenfracht des Kanal-

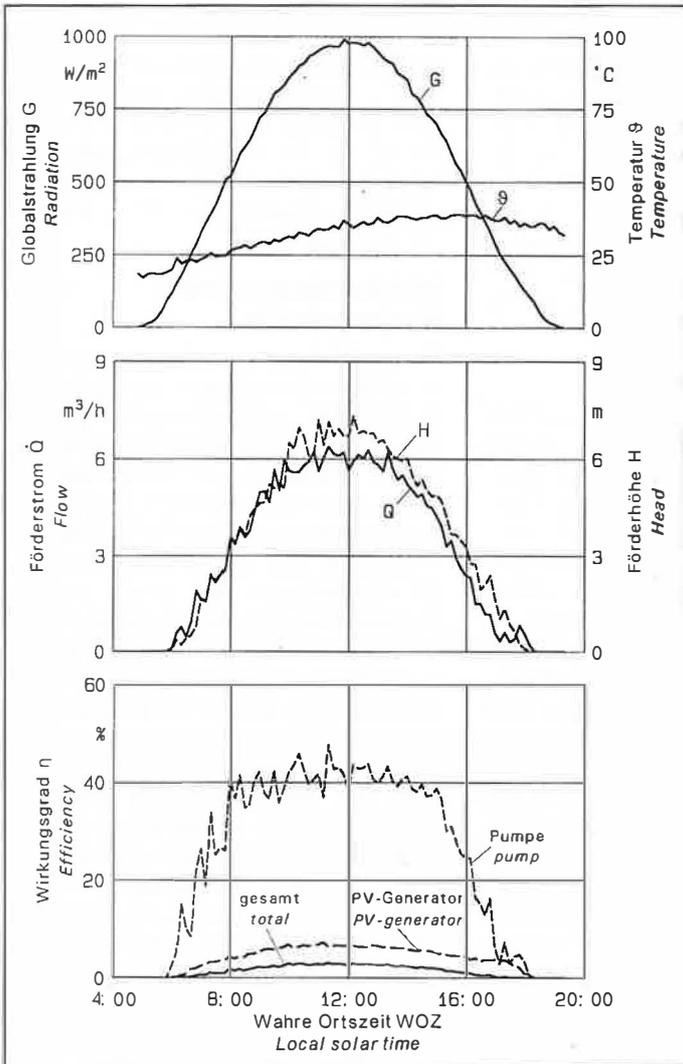
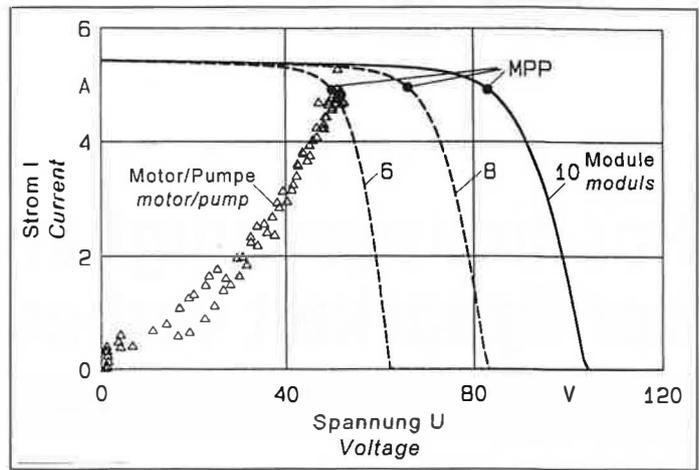


Bild 2: Tagesverlauf von Globalstrahlung, Temperatur, Förderstrom, Förderhöhe und Wirkungsgrad am 3. 6. 1997

Fig. 2: Daily course of solar radiation, temperature, flow, head and efficiency on 3. 6. 1997

Bild 3: Lastkennlinie und Solargeneratorkennlinien für 6, 8 und 10 Module (MPP = maximum power point)

Fig. 3: Load profile and solar generator characteristics for 6, 8 and 10 modules (MPP = maximum power point)



wassers. Der Filter mußte deshalb täglich gereinigt werden.

Der Gesamtwirkungsgrad des PV-Pumpsystems, also die Energieausbeute bei der Wandlung von Globalstrahlung in hydraulische Leistung, erreichte bei Sonnenhöchststand ein Maximum von 3 % und lag für sechs Stunden des Tages über 2 %. Dieses Ergebnis liegt im unteren Bereich üblicher PV-Pumpsysteme. Der Wirkungsgrad der Pumpe bei der Wandlung elektrischer Energie in hydraulische Energie lag dagegen mit rund 40 % über dem Durchschnitt vergleichbarer Solarpumpen. Einen Schwachpunkt stellte der Wirkungsgrad des Solargenerators dar, welcher mit einem Maximum von 7 % beträchtlich unterhalb des Potentials von etwa 12 % blieb.

Einer der Gründe für den reduzierten Generatorwirkungsgrad ist die Minderung der Transparenz der Glasabdeckung. Die Transmission einer Modul-Deckscheibe des eingesetzten Typs beträgt im Neuzustand 95 %. Bei einer Exposition am Versuchsstandort verringert sich die Transmission kontinuierlich durch Staubablagerung aus der Atmosphäre. Nach einer Expositionsdauer von drei

Wochen wurde eine Transmission von 80 % gemessen. Entsprechend des Einstrahlungsverlusts sinkt der potentielle Wirkungsgrad des Solargenerators um 20 %. Eine weitere Ursache für den geringen Generatorwirkungsgrad liegt in der konservativen Anlagendimensionierung seitens des Herstellers, wie aus der gemeinsamen Darstellung der Generator- und Lastkennlinie im U/I-Diagramm hervorgeht (Bild 3). Die Lastkennlinie des Pumpenmotors verläuft weit außerhalb des optimalen Bereichs, welcher durch den MPP (maximum power point) gekennzeichnet ist. Die für einen 6-Modul-Generator berechnete Kennlinie zeigt, daß beide Generatorstränge um je zwei Module verkürzt werden können, ohne die Pumpenleistung wesentlich zu beeinträchtigen. Das entspräche einer Steigerung des Generatorwirkungsgrades von 7 auf rund 12 % und einer Reduzierung der Modulkosten um 40 %.

Weitere Untersuchungen

Wie die ersten Ergebnisse zeigen, läßt sich der Systemwirkungsgrad durch die Anpassung der installierten Solargeneratorleistung an die Lastkennlinie der Pumpe erheblich steigern. Zur weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades sollen Maßnahmen zur Verminderung der Staubablagerung untersucht sowie Einrichtungen zur Reinigung der Module entwickelt werden. Nach Abschluß der technischen Optimierung wird das Anlagenkonzept einer ökonomischen Analyse unterzogen, um die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu konventionellen Systemen zu untersuchen.

Literaturhinweise sind unter LT 98322 vom Verlag erhältlich.

Schlüsselwörter

Solarenergie, Photovoltaik, Tropfbewässerung, Baumkultur

Keywords

Solar energy, photovoltaic, drip irrigation, orchard