

**UNIVERSITÄT HOHENHEIM**

**INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK  
IN DEN TROPEN UND SUBTROPEN**

Prof. Dr. K. Köller

Diplomarbeit

Allgemeine Agrarwissenschaften

Fachrichtung Agrartechnik

cand. agr. Katja Heitkämper

**Management and Profitability of Photovoltaic Operated Pumping  
Systems for Irrigation in Northern Chile**

Diese Arbeit wurde gefördert aus Mitteln  
der Eiselen-Stiftung, Ulm  
und der Deutschen Gesellschaft  
für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn

## 10 SUMMARY

The increasing demand for food of a steadily growing population and the limited availability of the natural resources water and fossil energy impose a challenge on today's research and technology. Methods have to be developed and introduced which contribute to an expansion of agriculture in zones that have not been suitable for crop production until now. Many desert areas, such as the valleys in northern Chile offer a large potential for crop production provided that water is accessible. Any form development, be it in the agricultural or in other sectors, always needs some kind of energy. An abundance of energy is provided by the sun in desert areas. That makes PV-technology a promising alternative to conventional power supply in remote areas without access to the public power grid.

In recent years the power supply of irrigation systems by photovoltaic energy was investigated and tested in the field. The results with respect to the technical feasibility were quite satisfactory. The offer of solar insolation during the course of the day meets the necessities of the plant for water. But PV-technologies demand a combination with highly efficient water distribution systems. Drip irrigation systems have proven to be suitable for this kind of application because they only require a small amount of kinetic energy to distribute the water which is applied directly to the root zone of the plant. Thus, the water distribution is very effective.

The GTZ has started a pilot project on PVP-irrigation systems in 1998. Four PVP-pilot systems were installed at small scale farms in northern Chile. These systems consist of a solar generator of an installed power between 330 and 1760W<sub>p</sub>, a DC/AC inverter, a submersible centrifugal pump which is coupled to a submersible motor, both installed in a deep well and an elevated water storage tank. The systems deliver between 1.9 and 6.7 m<sup>3</sup>/h. The pumping head varies from 12 to 28m.

This thesis focuses on the economic aspect of PVP-systems compared to conventional power supply by combustion engines. The operation characteristics of the PVP-system and a petrol powered motor pump of 4 kW were evaluated on the project site Chaca. The PVP-system was used for the irrigation of 0.12 ha sweet maize, the petrol system for the irrigation of an olive orchard with 115 trees. For the cost comparison it was assumed that both systems were applied for the irrigation of sweet maize. A field test revealed that the motor pump delivers 17m<sup>3</sup>/h, whereas the PVP-system has a capacity of 15m<sup>3</sup>/d at an insolation of 6.5kWh/m<sup>2</sup>d. The specific water pumping costs per m<sup>3</sup> resulted 18 Chilean pesos (0.07 DM) for the PVP-system and 12 pesos (0.05 DM) for the motor pump.

Additional scenarios were considered such as a higher degree of utilisation, costs of the solar components on the basis of world market prices and elimination of the water tank. These scenarios showed that there is still a potential for a cost reduction of roughly 60%. The next step of system optimisation would be the elimination of the water tank. At present, such a system is planned at the project site in Vitor.

As far as the management of pumping systems is concerned, the requirements of both systems differ from each other. The management of a petrol pumping system requires a lot of technical understanding. Operation and maintenance play the most important role, because these mechanical devices are susceptible for wear and tear. The motor pump needs attendance during the operation which is less user friendly and effects the costs. The supply with petrol does not impose a big difficulty in the case of the site in Chaca. The site is easily accessible and the farmer drives twice a week from the city to the farm. However, the costs for fuel and lubricants have a share of 11% of the annuities.

The management of a PVP-system requires mainly organisational skills. Almost all management activities aim at the economic implementation of the irrigation system. It is strongly interrelated with agricultural know how, because only with a sound knowledge of plant production principles the farmer will be able to plan and schedule the crop production and the irrigation, so that a maximum efficiency can be achieved. The full exploitation of the system is necessary to keep the costs as low as possible.

Drip irrigation systems are well suited for the injection of fertilisers, because they deliver the fertiliser directly to the root zone of the plant. Machinery and manpower can be saved by this means of application. A suitable metering pump for the PVP-systems should be found. Two pumps were tested. One is a sophisticated diaphragm pump which can be adjusted by the length of the strokes or the frequency of the strokes. The maximum flow rate measured under field conditions was 24 l/h. The measurements of the flow rate showed a linear group of curves. The large number of setting possibilities offer a high dosing accuracy. The second pump tested was a peristaltic pump. The flow rate could be adjusted by tubes with different diameters or by changing the voltage. The pump delivered a maximum flow rate of 5.6 l/h in a laboratory test. This was too low for an application in the field, but the peristaltic option should be further investigated, because of the simple handling and the cost advantage compared to the diaphragm pump.

Finally, the reference crop evapotranspiration for the farm in Chaca was determined. Two methods were applied and compared, the pan evaporation method and the Penman-Monteith equation. Both methods need measured and estimated values. In order to confirm the exactitude of the measurements the measurement of the actual plant and soil evaporation would be helpful. The applied methods are very complex, but the pan evaporation method could be applied by the farmers without any additional electronic devices.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die steigende Nachfrage einer ständig wachsenden Weltbevölkerung nach Nahrungsmitteln und die begrenzte Verfügbarkeit der natürlichen Ressourcen Wasser und fossile Energie stellen eine Herausforderung für die heutige Forschung und Technologie dar. Methoden müssen entwickelt und verbreitet werden, die eine Ausdehnung der Landwirtschaft auf Regionen ermöglicht, die bis zum heutigen Zeitpunkt nicht für die Pflanzenproduktion geeignet waren. Viele Wüstenregionen, wie beispielsweise die Täler in Nordchile, bieten ein großes Potential für die Pflanzenproduktion, vorausgesetzt, daß Wasser verfügbar ist. Jede Art der Entwicklung, sei es im landwirtschaftlichen Sektor oder in anderen Bereichen, benötigt jedoch Energie. In Wüstengegenden liefert die Sonne ein reiches Energieangebot. Dadurch wird die Photovoltaik-Technologie zu einer vielversprechenden Alternative zur herkömmlichen Energieversorgung, besonders in abgelegenen Gegenden ohne Anbindung an das öffentliche Stromnetz.

In den vergangenen Jahren wurde die Energieversorgung von Bewässerungssystemen mit Photovoltaik untersucht und unter Praxisbedingungen getestet. Im Hinblick auf die technische Zuverlässigkeit waren die Ergebnisse zufriedenstellend. Die Bestrahlungsstärke im Tagesverlauf und damit die Wasserfördermenge eines PVP-Systems entspricht dem Wasserbedarf der Pflanzen im Tagesverlauf. Allerdings erfordern PVP-Bewässerungssysteme die Kombination mit effizienten Wasserverteilsystemen. Tropfbewässerungssysteme erwiesen sich für diese Art der Anwendung als geeignet, da sie einen relativ geringen Bedarf an kinetischer Energie zur Wasserverteilung erfordern. Das Wasser wird direkt in der Wurzelzone der Pflanze ausgebracht. Dies sorgt somit für eine hohe Effizienz, da die Verdunstung minimiert wird.

Die GTZ startete 1998 ein Pilotprojekt zur PVP-Bewässerung. Vier PVP-Pilotsysteme wurden auf kleinbäuerlichen Betrieben in Nord-Chile installiert. Diese Systeme bestehen aus einem Solargenerator mit einer Leistung zwischen 330 und 1760 W<sub>p</sub>, einem DC/AC-Wandler, einer Tauchkreiselpumpe, einem Motor und einem Hochbehälter zur Wasserspeicherung. Tauchpumpe und Motor sind miteinander gekoppelt und im Tiefbrunnen installiert. Die vier Systeme fördern zwischen 1,9 und 6,7 m<sup>3</sup>/h. Die Förderhöhe beträgt zwischen 12 und 28 m.

In dieser Arbeit steht die ökonomische Betrachtung von PVP-Systemen im Vergleich zu herkömmlichen Diesel- oder Benzinsystemen im Mittelpunkt der Untersuchungen. Das Betriebsverhalten des PVP-Systems und einer benzinbetriebenen 4 kW Motorpumpe wurden am Pilotstandort in Chaca untersucht. Das PVP-System wurde zur Bewässerung von 0,12 ha Zuckermais eingesetzt, mit dem Benzinsystem wurde eine Oliven-Plantage mit 115 Bäumen bewässert. Für den Kostenvergleich wurde angenommen, daß beide Systeme zur Bewässerung der Versuchsparzelle mit Zuckermais eingesetzt wurden.

Eine Untersuchung der Motorpumpe unter Praxisbedingungen ergab ein Fördervolumen von 17 m<sup>3</sup>/h. Das PVP-System erbringt eine durchschnittliche Förderleistung von 15 m<sup>3</sup>/d bei einer mittleren Einstrahlung von 6,5 kWh/m<sup>2</sup>d. Die spezifischen Wasserförderkosten pro m<sup>4</sup> betragen 18 chilenische Pesos (0,07 DM) für das PVP-System und 12 Pesos (0,05 DM) für die Motorpumpe.

Verschiedene weitere Szenarien wurden betrachtet, darunter ein höherer Nutzungsgrad, die Kosten für die Anlagenkomponenten des PVP-Systems basierend auf Weltmarktpreisen sowie *der Verzicht auf einen Hochbehälter zur Wasserspeicherung. Diese Szenarien zeigten, daß ein Potential zur Kostensenkung auf Seiten des PVP-Systems von rund 60% besteht.* Ein nächster Schritt zur Optimierung des Systems ist der Verzicht auf einen Wasserspeichertank. Derzeit ist ein solches System am Pilotstandort in Vitor in Planung.

In Bezug auf das Management von Pumpsystemen zur Bewässerung bestehen deutliche Unterschiede zwischen einem PVP- und einem konventionellen System. Das Management eines Motorpumpen-Systems erfordert vor allem technische Kenntnisse. Sachverständiger Betrieb und regelmäßige Wartung der Pumpe verlangen fundierte Fachkenntnisse, da die mechanischen Komponenten einem Verschleiß unterliegen. Außerdem muß die Motorpumpe während des Betriebs beaufsichtigt werden und ist dadurch weniger anwenderfreundlich und wirkt sich außerdem negativ auf die Kosten aus. Die Versorgung mit Kraftstoff stellt im Fall des Standortes Chaca kein großes Problem dar, weil dieser Standort gut erreichbar ist und der Landwirt zweimal wöchentlich von seinem Wohnort in der Stadt zur Parzelle fährt. Dennoch beträgt der Anteil der Kosten für Benzin und Transport 11% der Annuitäten.

Das Management eines PVP-Systems erfordert in besonderem Maße organisatorische Fähigkeiten. Fast alle Management-Aktivitäten haben das Ziel, eine optimale Ausnutzung des Systems zu erreichen und dadurch den ökonomischen Einsatz des Bewässerungssystems sicherzustellen. Diese Anforderung ist unmittelbar verbunden mit dem pflanzenbaulichen Knowhow des Landwirts, weil dieser nur auf der Basis von fundierten landwirtschaftlichen Kenntnissen in der Lage sein wird, die Pflanzenproduktion zu planen und termingerecht durchzuführen, um eine maximale Effizienz zu erreichen. Darüber hinaus ist eine maximale Auslastung des Systems notwendig, um die hohen Investitionskosten zu kompensieren.

Ferner eignen sich Tropfbewässerungssysteme besonders gut, um Dünger direkt in das Bewässerungssystem einzuspeisen, da sie das Wasser und somit auch den Dünger **unmittelbar an der Wurzelzone der Pflanze** ausbringen. Diese Anwendungsmethode ermöglicht die **Einsparung von Maschinen und Arbeitskraft**. Für die Einspeisung des Düngers in das **Bewässerungssystem** muß eine geeignete Dosierpumpe zur Verfügung stehen.

Zwei Pumpen wurden im Rahmen dieser Arbeit getestet und verglichen. Zum einen eine aufwendige Magnet-Membranpumpe, die über die Veränderung der Hublänge und der Hubfrequenz gesteuert werden kann. Die maximale Förderleistung dieser Dosierpumpe betrug unter Feldbedingungen 24 l/h. Die Messungen ergaben eine lineare Kurvenschar. Die große Anzahl möglicher Einstellungen ermöglicht eine angepaßte Dosierung. Zum anderen wurde eine Peristaltik-Pumpe getestet. Die Einstellung des Fördervolumens erfolgte durch Auswechseln der Silikonschläuche mit verschiedenen Durchmessern oder durch Veränderung der elektrischen Spannung, die die Umdrehungen der Rollen pro Minute steuert und damit den Förderstrom direkt beeinflusst. Die Pumpe förderte im Laborversuch 5,6 l/h bei einem Schlauchdurchmesser von 6,4 mm und einer angelegten Spannung von 14 V. Dieser Förderstrom ist nur knapp ausreichend für die Düngung der Versuchspartzellen, deshalb wurde die Pumpe nicht im Feld installiert. Dennoch sollte diese Art von Dosierpumpen aufgrund ihrer einfachen Handhabung und der niedrigen Kosten im Vergleich zu der Membranpumpe weiter untersucht werden.

Schließlich wurde die potentielle Evapotranspiration für den Standort Chaca bestimmt. Zwei Methoden wurden angewendet und miteinander verglichen, die Verdunstungstank-Methode und die Berechnung nach der modifizierten Penman-Monteith-Gleichung. Für beide Methoden werden gemessene und geschätzte Werte benötigt. Um die Genauigkeit der Verdunstungsmessungen festzustellen, wäre eine Vergleichsmessung der tatsächlichen Pflanzen- und Bodenverdunstung hilfreich. Die beiden angewandten Methoden sind relativ komplex. Die Verdunstungstank-Methode könnte jedoch von den Landwirten ohne weitere elektronische Meßgeräte durchgeführt werden.