

Performance assessment of a bamboo-drip irrigation system

a contribution to water productivity improvement West Africa

Dissertation

zur
Erlangung des Grades
Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr.agr.)

der
Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von
Hernaude V. K. Agossou

aus
Porto-Novo (Benin)

Bonn 2018

ABSTRACT

Despite its high efficiency and productivity potential in regions subject to scarce water supply, conventional drip irrigation is still expensive and therefore only being adopted slowly in West Africa where 80% of vegetable gardens and small farms are still watered by hand. Much effort has been made so far, and some less costly drip kits were implemented in the region, but are rare due to the still high investment cost. As an alternative and further-going option, a novel bamboo-drip system was created and assessed in terms of performance with regard to hydraulics and uniformity in the laboratory, and yields, water productivity and soil-water management *in situ* under field conditions. Then the layout of the system was optimized in order to identify a spacing with the best compromise between deep percolation and fresh yields on a sandy loam soil.

In the laboratory, the bamboo system was tested at four pressure heads. For hydraulic performance assessment, coefficients of variation of emitter flow were determined with regard to bamboo material, emitter precision and emitter plugging, and compared to the ASAE EP405.1 standards. The analyses reveal that plugging is the most important factor causing emitter flow to vary in the system. For uniformity performance assessment, the Christiansen uniformity coefficient was determined and compared to ASABE EP458 standards. Results show that the bamboo-drip system has good performance, and hydraulic characteristics similar to conventional drip systems under suitable pressure conditions.

An *in-situ* test was conducted in a farmer's field (south-west Benin) in 2015 and repeated in 2016. Tomato was selected as the test crop due to its relevance for smallholder farmers and its suitability for drip systems. The experimental design was a three-plot randomized block with three repetitions, and each block in the bamboo-drip system was compared to plastic-drip and watering-can systems. The bamboo system was compared to the two systems with regard to yield, irrigation water productivity, soil-water potential and soil-water content, which were also compared to the main characteristics of soil-water storage behavior in each plot. Comparisons were performed with STATA 13.0 at 5% significance level.

For assessment of yield and water productivity performance, one-way analysis of variance (ANOVA) was used, and results show that the bamboo system led to yields in the range of the two other systems in both cropping seasons. Its water productivity was found to be similar to that of the plastic-drip system in both seasons, but 99% (2015) and 85% (2016) higher than that of the can system.

For soil-water management performance assessment, soil-water content and matric potential were determined at five positions in and around the plants' rooting area, and one-way ANOVA used for comparisons between irrigation treatments. T-test was also employed to compare soil-water content to major characteristics of soil-water storage behavior in each plot. Results show that soil-water management under the bamboo system is good. Soil-water content and potential in the bamboo system were in acceptable ranges for crop growth during both cropping seasons. Soil-water content under this system was slightly above field capacity in the vicinity of the rooting front during mid and late seasons, where over-irrigation was more pronounced. Soil-water matric potential fluctuation intervals and ranges under the bamboo system were higher in areas closer to where the plant sits laterally and vertically, and lower close to the rooting front. They were also higher in this system compared to the watering-can system.

For layout optimization, HYDRUS 2D and AquaCrop software packages were used to simulate hydrologic and agronomic behavior of the bamboo system with spacing decreasing by increments of 1 cm from 30 to 60 cm. Then, under the GAMS model, CONOPT Solver was used to integrate hydrologic and agronomic behavior of the system, and identified 34 cm as best spacing where the best *deep percolation - fresh yield* compromise on sandy loam soil was observed.

Useful life, economic analysis and performance improvement possibilities of the bamboo system need to be investigated in long-term time-series studies. However, this system promises a more productive use of water on a small scale, improved food security, and increased income at the household level, culminating in a better rural and peri-urban economy.

Leistungsbewertung und Verbesserung eines Bambus-Tropfenbewässerungssystems: Ein Beitrag zur Verbesserung der Wasserproduktivität im ländlichen und peri-urbanen Westafrika

KURZFASSUNG

Obwohl die Tropfenbewässerung hohe Effizienz und Produktivität in der Wassernutzung ermöglicht, was vor allem in Gebieten mit knappen Wasserdargeboten vorteilhaft ist, erweist sich die konventionelle Tropfenbewässerung immer noch als teuer. Sie wird daher in Westafrika nur vergleichsweise langsam in größerem Umfang eingesetzt, obwohl dort 80% der Gemüsegärten und kleinen Farmen noch mit Handkannen bewässert werden. Es her wurden zwar große Anstrengungen (zur Entwicklung (Kosten-) günstiger Tropfsysteme) unternommen, und in der Region wurden auch einige weniger kostspielige Tropfsysteme implementiert; einer weiten Verbreitung stehen allerdings die noch immer hohen Investitionskosten entgegen. In dieser Arbeit wurde eine alternative und weitergehende Option in Form eines innovativen Tropfsystems aus Bambus konzipiert, konstruiert und getestet, und zwar in Bezug auf: hydraulische Kennwerte und Gleichmäßigkeit (Laboruntersuchungen), Ertrag der bewässerten Anbaukulturen, Wasserproduktivität und Bodenwassermanagement (Felduntersuchungen). Darauf aufbauend wurde der Entwurf eines Bambus-Systems optimiert, um den Abstand (zwischen den Tropferleitungen) mit der besten Relation aus (verringerten) Sickerverlusten und (gesteigertem) Ertrag auf sandigem Lehm zu finden.

Im Labor wurde das Bambus-System für vier Druckhöhen getestet. Zur Beurteilung der hydraulischen Eigenschaften des Bambus-Systems wurden Variationskoeffizienten der Tropferdurchflüsse ermittelt, und zwar in Bezug auf das (Bambus-) Material, die Dosiergenauigkeit und die Anfälligkeit für Verstopfungen; Untersuchungsergebnisse wurden und mit dem Standard ASAE EP405.1 verglichen. Die Untersuchungen zeigten, dass das Verstopfen der Einfluss-stärkste Faktor ist, der die Gleichmäßigkeit der Tropferleistung bei dem Bambus-System beeinträchtigt. Die Gleichmäßigkeit wurde mit dem Christiansen-Koeffizienten beurteilt und mit dem Standard ASABE EP458 verglichen. Die Ergebnisse belegen, dass das Bambus-System ähnlich gute hydraulische Eigenschaften aufweist wie konventionelle Tropfsysteme, vorausgesetzt das Bambus-System wird mit angemessenem Druck betrieben.

In situ-Untersuchungen wurden auf dem Feld eines Farmers im südwestlichen Benin in 2015 durchgeführt und in 2016 wiederholt. Tomaten wurden für den Test ausgewählt, und zwar aufgrund ihrer Bedeutung für Kleinbauern und der Eignung für Tropfenbewässerung. Das Experiment wurde als randomisierter Block-Versuch (Varianten: Bambus-System, konventionelles Tropfsystem, Kannenbewässerung; drei Wiederholungen) konzipiert. Der Vergleich des Bambus-System mit den beiden anderen Methoden erfolge nach den Kriterien Ertrag, Wasserproduktivität und Bodenwasserpotenzial sowie Bodenfeuchte; letztgenannte Kriterien wurden in Relation zu den Speichereigenschaften des Bodens gesetzt. Die Auswertung erfolgte mit der STATA 13.0 software und einem Signifikanzniveau von 5%.

Zur Beurteilung des Ertrages und der Wasserproduktivität wurde die einfache Varianzanalyse (ANOVA) verwendet. Die dabei ermittelten Ergebnisse zeigen, dass die mit dem Bambus-System erreichten Erträge mit denen der beiden anderen Systemen vergleichbar sind (in beiden Testzeiträumen); die Wasser-Produktivität beim Bambus-System war genauso hoch wie bei dem konventionellen System und um 99% sowie 85% (2015 und 2016) höher als bei der Kannenbewässerung.

Zur Beurteilung der Beeinflussung des Bodenwasserhaushalts wurden die Bodenfeuchte und das Matrixpotenzial an fünf Stellen in, am Rand und unterhalb der Wurzelzone bestimmt; bei der Auswertung mit ANOVA (einfach) wurde ein Vergleich der

Bewässerungssysteme vorgenommen. Darüber hinaus fand der t-Test Anwendung, um die Bodenfeuchtwerte mit den Kenngrößen zur Erfassung des Bodenspeichers in jedem Plot zu vergleichen. Dabei wurden mit dem Bambus-System gute Ergebnisse erzielt, denn mit dem Bambus-System konnten die Bodenfeuchte und das Matrixpotenzial für beide Untersuchungszeiträume in Bereichen gehalten werden, die für das Pflanzenwachstum akzeptable Bedingungen schaffen. Bei diesem System ergaben sich in der mittleren sowie späten Vegetationsphase am unteren Ende der Wurzelzone Bodenfeuchtwerte leicht über der Feldkapazität (stärker ausgeprägte Überbewässerung in diesen späten Phasen). Die Fluktuation des Matrixpotenzials (nach Dauer und Betrag) unter dem Bambus-System waren größer im Bereich an der Pflanze (vertikal und lateral) und geringer am unteren Ende der Wurzelzone; insgesamt waren sie höher als bei dem System der Kannenbewässerung.

Um die Optimierung des Entwurfs (Abstand der Tropferleitungen) vorzunehmen, wurden die Modelle *hydrus* (dreidimensionale Version) und *AquaCrop* genutzt; damit konnten wasserwirtschaftliche und agronomische Effekte des Bambussystems für unterschiedliche Entwürfe simuliert werden (ausgehend von 60 cm wurde der Abstand in Schritten von einem cm verringert und das Verhalten des Systems simuliert). Die Simulationsergebnisse wurden genutzt, um mit *GAMS* (*CONOPT Solver*) die wasserwirtschaftlichen und agronomischen Kriterien für die Bewertung des Systems zu integrieren. Dabei erwies sich der Abstand von 34 cm zwischen den Tropferleitungen als optimal, um für sandigen Lehm die beste Relation aus (verringerten) Sickerverlusten und (gesteigertem) Ertrag zu erreichen.

Es sind weitere - und vor allem langfristige - Tests mit dem Bambus-System nötig, um insbesondere die Dauerhaftigkeit, die ökonomische Analyse und die Optionen zur Steigerung Handhabung dieses innovativen Systems weiter zu untersuchen. Die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen jedoch deutlich das Potenzial dieses Systems auf, und zwar im Hinblick auf die Steigerung der Produktivität in der Wassernutzung in kleinen Betrieben, die Verbesserung der Nahrungssicherheit und Erhöhung der Haushaltseinkommen, was in der Gesamtwirkung die wirtschaftliche Situation in urbanen und peri-urbanen Räumen begünstigen kann.