



Institute of Farm Management
Universität Hohenheim

Production Theory and Resource Economics

Prof. Dr. Stephan Dabbert

**Domestic and Agricultural Water Use by Rural Households in the
Oueme River Basin (Benin): An Economic Analysis Using Recent
Econometric Approaches**

Dissertation

Submitted in fulfilment of the requirements for the degree

“Doktor der Agrarwissenschaften”

(Dr.sc.agr. / Ph.D. in Agricultural Sciences)

To the Faculty of Agricultural Sciences

Presented by

Aminou Arouna

Place of birth: Ketou, Benin.

2009

SUMMARY

Improving the management of water resources as well as an efficient use of available water are particularly important to address the increasing scarcity of water and the low level of water accessibility in many developing countries. However, better water management requires an understanding of the existing pattern of water use for domestic and agricultural activities. With a view towards contributing to such knowledge, this dissertation analyzes domestic and agricultural water use by rural households in the Oueme river basin of Benin. This is done within the scope of three research articles. The specific objectives of the dissertation were: 1) to analyze determinants of domestic water use in the rainy and dry seasons; 2) to estimate households' willingness to pay for water supply improvements and analyze its determinants; and 3) to quantify the efficiency of water use for agricultural production and identify factors explaining the differences in water use efficiency among households.

The analyses are built on primary data collected from a household survey administrated to a sample of 325 households in the Oueme river basin, in 2007. To analyze domestic water demand, we identified three types of households: those that use only free water sources, those that use only purchased sources and those that combine both free and purchased sources. A system of two demand equations (one equation for free water and another for purchased water) was estimated using a Seemingly Unrelated Tobit (SURT) approach. The advantage of using the SURT approach is that it is appropriate to account simultaneously for the censored nature of water demand and the correlation between the error terms of two equations. In the analysis of households' willingness to pay (WTP) for water supply improvements, particular attention was given to the distribution of WTP, which has been addressed using (arbitrary) parametric assumptions in many previous studies. To avoid distributional assumptions, the dissertation introduced a semi-nonparametric bivariate probit approach to estimate WTP. To analyze water use efficiency, the dissertation combined an input-specific Data Envelopment Analysis (DEA) with a bootstrapped Tobit model. Bootstrapped Tobit takes care of the dependency problem between efficiency estimates. The analysis of water use efficiency focused on vegetable production in the dry season when water is scarce.

Results showed that the average daily domestic water consumption per household during the rainy season (252 liters) is significantly higher than in the dry season (216 liters). SURT estimation results showed that water demand from purchased sources is perfectly price inelastic in the rainy season; indicating that rural households in Benin are very insensitive to changes in water price. This suggests that households are willing to pay more for water supply improvements, due not only to the necessity nature of water but also to its scarcity. Factors affecting domestic water use in the rainy season are household size and composition, education, time for fetching and accessibility to water sources. In the dry season, econometric analysis revealed that there is a positive relationship between wealth and the use of water from free and purchased sources. This result suggests that poverty reduces water use. Purchased water demand in the dry season is also perfectly price inelastic. However, a comparison of determinants of water use between seasons revealed that variables such as time for fetching water, access to water

sources and wealth have differential influence on water use during the rainy and dry seasons. These results imply that policy makers must consider among other factors seasonal variation of the determinants of water use.

The results of this dissertation provided the first evidence that, in rural Benin, households wanting to improve water supplies are willing to pay more than existing water prices. Households are willing to pay over one and a half times the present average water price. Furthermore, results revealed that estimated WTP would generate substantial revenue from the community, which can lead to significant reductions in subsidies. The supply of safe and adequate water based on estimated WTP will reinforce both the participation of the rural population in water supply management and the sustainability of water facilities. A related policy is that a demand-side management approach can be successfully implemented in rural areas for water supply improvements and sustainability. The important determinants of WTP for water supply improvements were education, age of household head, wealth, queue time at existing water sources and preferred improvements. The policy implication of these findings is that a combination of socio-economic factors affecting WTP, and a demand-side management approach, are likely to improve the sustainability of water projects in rural areas of Benin.

Average water use efficiencies were 0.38 and 0.50 under constant and variable returns to scale specification, respectively. This implies that if vegetable farmers in the study area become more efficient in water use, significant amounts of water could be saved and made available for dry season farming land expansion. In addition, many farmers operated at an increasing return to scale (average scale efficiency is 0.70), revealing that most farms should be larger than they currently are to produce efficiently. Water use efficiency in vegetable production was determined by market access, land fragmentation, extension service, ratio of children to adults, water expenditure, water sources, off-farm income and wealth. Results suggest that policy makers should focus on improving farmers' access to input and output markets as well as their access to technical information and training through extension service or NGOs. The findings also showed that households paying for irrigation water or systems are more efficient in water use. However, any price policy should be combined with other policy options such as training and development of improved irrigation techniques adapted to socio-economic conditions of farmers.

Overall, various socio-economic characteristic of households and institutional factors are found to explain water use for both domestic and agricultural activities. These factors must be carefully considered for the design and implementation of water management programs that can lead to sustainable accessibility to water. Although the research focuses on Benin, most of the conclusions and policy implications are relevant and could be applicable to many developing countries with similar socio-economics conditions. The dissertation also applies and extends recent econometric approaches that may be used for empirical studies on water management policy in developing countries.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Verbesserung des Managements von Wasservorkommen und die effiziente Nutzung des verfügbaren Wassers sind besonders wichtig, um zunehmendem Wassermangel und dem geringen Zugang zu Wasser in vielen Entwicklungsländern zu begegnen. Ein besseres Wassermanagement erfordert jedoch das Verständnis der vorhandenen Nutzungsmuster und Bestimmungsgründe des privaten und landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs. Diese Dissertation analysiert, mit dem Ziel das Wissen in diesem Bereich zu erweitern, den privaten und landwirtschaftlichen Wasserverbrauch von ländlichen Haushalten im Einzugsgebiet des Oueme-Flusses in Benin. Diesem Ziel wird im Rahmen von drei Forschungsarbeiten, die diese Dissertation bilden, Rechnung getragen. Die spezifischen Ziele der Forschungsarbeiten sind 1) die Determinanten zu analysieren, die den privaten Wasserverbrauch während der Regen- und Trockenzeit bestimmen; 2) die Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Wasserversorgung zu schätzen und ihre Determinanten zu analysieren; und 3) die Effizienz des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs zu quantifizieren und Faktoren zu identifizieren, welche die Unterschiede der Wasserverbrauchseffizienz zwischen den Haushalten erklären.

Die Analyse wird mit Hilfe von Primärdaten durchgeführt, die im Jahr 2007 in einer Haushaltsumfrage mit 325 Haushalten im Oueme-Einzugsgebiet erhoben wurden. Um die private Wassernachfrage zu analysieren, wurden zunächst drei Haushaltstypen identifiziert: Haushalte, die nur kostenlose Wasserbezugsquellen nutzen; Haushalte, die nur Wasser aus gebührenpflichtigen Bezugsquellen nutzen; sowie Haushalte die sowohl gebührenpflichtige als auch kostenfreie Wasserbezugsquellen nutzen. Ein System zweier Nachfragefunktionen (eine für kostenloses und eine für gebührenpflichtiges Wasser) wurden mit einem Seemingly Unrelated Tobit (SURT) Ansatz ermittelt. Der Vorteil des SURT-Ansatzes ist, dass er sowohl die nach unten beschränkte Wassernachfrage, als auch die Korrelation der Störvariablen der beiden Gleichungen berücksichtigt. In der Analyse der Zahlungsbereitschaft der Haushalte für eine verbesserte Wasserbereitstellung wurde der Verteilung der Zahlungsbereitschaft besondere Aufmerksamkeit geschenkt. In vielen vorherigen Studien wurde dieses Problem durch die Anwendung von (beliebigen) parametrischen Annahmen angegangen. Um Annahmen über die Verteilung zu vermeiden, wurde in der vorliegenden Arbeit ein semi-nonparametrischer bivariater Probit-Ansatz für die Berechnung der Zahlungsbereitschaft eingeführt. Für die Analyse der Wasserverbrauchseffizienz wurde in dieser Arbeit eine Input-spezifische Data Envelopment Analysis (DEA) mit einem bootstrapped Tobit Model kombiniert. Das bootstrapped Tobit Model berücksichtigt das Abhängigkeitsproblem zwischen den Effizienzschatzungen. Die Analyse der Wasserverbrauchseffizienz richtet sich hier besonders auf die Gemüseproduktion in der Trockenzeit, wenn nur wenig Wasser zur Verfügung steht.

Die Ergebnisse zeigen, dass der durchschnittliche private Tagesverbrauch pro Haushalt während der Regenzeit (252 Liter) signifikant höher ist als in der Trockenzeit (216 Liter). Die Ergebnisse der SURT-Analyse zeigen, dass die Nachfrage nach Wasser von entgeltlichen Bezugsquellen während der Regenzeit vollkommen preisunelastisch ist, was bedeutet, dass beninische Haushalte kaum auf Wasserpreisänderungen reagieren. Dies weist auf eine Bereitschaft der Haushalte hin,

für eine verbesserte Wasserbereitstellung mehr zu bezahlen. Dies hängt nicht nur damit zusammen, dass Wasser ein lebenswichtiges Gut ist, sondern auch mit der Knappheit des Gutes. Faktoren, die den privaten Wasserverbrauch in der Regenzeit beeinflussen sind Haushaltsgröße und -zusammensetzung, Bildungsniveau, die für das Wasserholen verwendete Zeit, sowie die Zugänglichkeit der Bezugsquellen. Die ökonometrische Analyse machte weiterhin deutlich, dass es in der Trockenzeit einen positiven Zusammenhang zwischen dem Wohlstandsniveau und der Nutzung von kostenfreien und entgeltlichen Bezugsquellen gibt. Hiervon lässt sich ableiten, dass Armut den Wasserverbrauch reduziert. Die Nachfrage nach Wasser von entgeltlichen Bezugsquellen ist in der Trockenzeit ebenfalls vollkommen unelastisch. Dennoch zeigt ein Vergleich der Determinanten, dass Variablen wie die für das Wasserholen verwendete Zeit, Zugänglichkeit zu Bezugsquellen und Wohlstand in Regen- und Trockenzeit einen unterschiedlich starken Einfluss auf den Wasserverbrauch haben. Dies bedeutet, dass politische Entscheidungsträger neben anderen Faktoren auch die saisonale Schwankung der Determinanten des Wasserverbrauches berücksichtigen müssen.

Die Ergebnisse dieser Doktorarbeit lieferten erste Belege dafür, dass beninische Haushalte, die die Wasserbereitstellung verbessern wollen, auch bereit sind, einen höheren als den bestehenden Wasserpreis zu bezahlen. Die Haushalte sind bereit das Eineinhalbfache des aktuellen Wasserpreises zu zahlen. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass die errechnete Zahlungsbereitschaft beträchtliche Einnahmen aus den Gemeinden einbringen würde und zu einer Reduzierung der Subventionen führen könnte. Die Bereitstellung von sauberem und ausreichendem Wasser, wie sie von der Zahlungsbereitschaft ausgehend berechnet wurde, würde sowohl die Partizipation der ländlichen Bevölkerung am Wasserbereitstellungsmanagement als auch die Nachhaltigkeit der Wasseranlagen stärken. Dies impliziert auch, dass ein Management auf der Nachfrageseite erfolgreich die Wasserversorgung verbessern und die Nachhaltigkeit in ländlichen Gebieten erhöhen könnte. Die wichtigen Determinanten der Zahlungsbereitschaft für eine Verbesserung der Wasserversorgung sind das Bildungsniveau, das Alter des Haushaltsvorstands, der Wohlstand des Haushalts, die Zeit in der Warteschlange an der Bezugsquelle sowie die gewünschten Verbesserungen. Die sich hieraus ergebenden Implikationen für Entscheidungsträger sind, dass durch die Berücksichtigung einer Kombination sozio-ökonomischer Faktoren, welche die Zahlungsbereitschaft beeinflussen, und einem Management der Nachfrageseite sehr wahrscheinlich die Nachhaltigkeit von Wasserprojekten in ländlichen Gebieten Benins verbessert werden kann.

Die durchschnittliche Effizienz des Wassereinsatzes ist unter konstanten Skalenerträgen 0,38 und unter variablen Skalenerträgen 0,50. Das bedeutet, wenn Gemüseproduzenten im Forschungsgebiet das Wasser effizienter nutzen würden, könnten erhebliche Mengen Wasser gespart und in der Trockenzeit für die Ausdehnung der Anbaufläche bereit gestellt werden. Außerdem arbeiteten viele Landwirte mit zunehmenden Skalenerträgen (die durchschnittliche Skaleneffizienz ist 0,70). Das heißt, um effizient zu produzieren sollten die meisten Betriebe größer sein als sie aktuell sind. Die Wassereinsatzeffizienz in der Gemüseproduktion wurde vom Marktzugang, der Landfragmentierung, vom Vorhandensein von Beratungsdiensten, dem Verhältnis von Kindern zu Erwachsenen, den Ausgaben für Wasser, den Wasserbezugsquellen,

außerlandwirtschaftlichem Einkommen sowie dem Wohlstand der Haushalte bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass Entscheidungsträger sich auf den Zugang der Landwirte zu Input- und Outputmärkten sowie den Zugang zu technischen Informationen und Training durch Beratungsdienste und nichtstaatliche Organisationen konzentrieren sollten. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass Haushalte, die für Bewässerungswasser oder Bewässerungssysteme bezahlen, effizienter mit Wasser umgehen. Trotzdem sollte jede Preispolitik mit anderen politischen Maßnahmen wie Training oder der Entwicklung von verbesserten Bewässerungstechniken kombiniert werden und an die Bedingungen der Landwirte angepasst sein.

Insgesamt erklären diverse sozio-ökonomische Charakteristika der Haushalte sowie institutionelle Faktoren den Wasserverbrauch für private und landwirtschaftliche Aktivitäten. Diese Faktoren müssen sorgfältig bei der Planung und Implementierung von Programmen zum Wassermanagement, die zu einer nachhaltigen Wasserversorgung führen können, berücksichtigt werden. Obwohl sich diese Forschungsarbeit auf Benin konzentriert, sind die meisten der Folgerungen und Implikationen für Entscheidungsträger auch in anderen Entwicklungsländern mit ähnlichen sozio-ökonomischen Bedingungen relevant und könnten in diesen angewandt werden. In dieser Dissertation werden neueste ökonometrische Ansätze angewandt und erweitert, die für empirische Studien im Bereich Wasserwirtschaftspolitik in Entwicklungsländern genutzt werden könnten.