

ZENTRUM FÜR ENTWICKLUNGSFORSCHUNG -
RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT BONN

Efficient Water Allocation and Water Conservation Policy Modeling in the Aral Sea Basin

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr.agr.)

der
Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt am 31.10.2013

von
Maksud Bahodirovich Bekchanov
aus
Khorezm (Usbekistan)

EFFICIENT WATER ALLOCATION AND WATER CONSERVATION POLICY MODELING IN THE ARAL SEA BASIN

ABSTRACT

Increasing water demand challenges policy makers to implement in-time and effective water management measures to mitigate both the on-going and upcoming water crisis in the Aral Sea basin (ASB) of Central Asia. The shrinkage of the Aral Sea due to the rapid expansion of irrigated agriculture along the two main rivers of the basin – the Amu Darya and Syr Darya – which accompanied by water overuse is at the core of the all water related problems. Various hypothetical “solutions”, including massive inter-basin water transfers, have been considered to ease the water challenge. Yet, given the enormous conveyance and water application losses in the irrigation system combined with ineffective coordination of the basin resources among the riparian countries in both the Amu and Syr Darya basins, increasing the efficiency of using internal water resources is more technically and financially feasible option. Furthermore, water management measures must address the root causes of water scarcity and ecological deterioration rather than attempting to deal with the consequences of the problem only. This study examines therefore three important options for addressing the core reasons of aggravated water (ab)use in the ASB. In the first option, sectoral transformations (e.g., economic restructuring) are considered by prioritizing economic activities with relatively high economic growth impacts and low water consumption requirements. In the second option, it is assessed to replace the current administrative water management institutions with more effective market-based water allocation institutions to encourage cooperation among regional water users for attaining optimal basin-wide benefits. In the third option, technological and infrastructural improvements are evaluated following an increased efficiency of the irrigation systems and building reservoirs in the upper reaches of the rivers to regulate river flow.

Economic restructuring was analyzed by ranking all economic sectors based on their sustainable economic growth potentials using an environmentally extended input-output model. The forward and backward linkages and the total (direct and indirect) water requirements of the different economic activities were estimated and compared as well. The results indicated that water demand in the ASB can be reduced substantially by decreasing the production of the water intensive sectors such as agriculture in favor of the development of less water demanding, non-agricultural sectors. Within the agriculture sector, crop diversifications are recommendable, e.g. by partially replacing rice cultivation and cotton production, which have the highest total (direct and indirect) water use contents of 36 m³/USD and 18.4 m³/USD respectively, with high water productive crops such as fruits/vegetables with total water use of 9.1 m³/USD.

Potential effects of replacing the traditional administrative water allocation system with market-based water allocation approaches were examined through an aggregated hydro-economic model. Substantial basin-wide economic gains is appeared feasible when the trade of water rights among all irrigation zones is allowed in each river basin (the Amu Darya or Syr Darya). Total benefits under restricted water rights trading by permitting a trade only among the regions located within each upstream, midstream, and downstream sub-basins (catchments) is lower than the total economic gains of unrestricted water rights trading but is still higher than total benefits of the option without trading. Depending on water availability, the amount of additional annual gains ranged between \$373 and 476 million USD under an inter-catchment (unrestricted) water rights trading system whereas additional annual gains of \$259–339 million USD were predicted under intra-catchment (restricted) water rights trading. Benefits from water rights trading increase with growing water scarcity. When purchase of water use rights is considered to enhance environmental flow into the Aral Sea while compensating reduced water withdrawals of agricultural producers, basin-wide economic gains are expected to be higher if water rights trading among irrigation zones

are allowed rather than prohibited. Moreover, the cost of purchasing water use rights for environmental needs is less expensive compared to an interbasin water transfer. Since the establishment and operation of market-based water allocation institutions comes with costs, the transaction costs of introducing tradable water use rights were considered in assessing the effectiveness of such institutional changes. An inverse relationship was found between the benefits of water rights trading and its transaction costs. Results showed furthermore that transaction costs of more than \$0.05 USD per m³ of water use rights eliminate the potential benefits of a water trading option.

Technical improvements to raise the efficiency of water use and water coordination were analyzed through a disaggregated hydro-economic model. Substantial benefits can be expected from improving irrigation (conveyance and water application) efficiencies in the ASB. Total basin-wide benefits can increase by 20% to 40% depending on basin-wide water availability when irrigation system efficiencies are optimized across the basin. The findings showed also that a construction of upstream reservoirs as intensely debated at present by up- and downstream countries in Central Asia does not considerably influence on the irrigation water availability if these reservoirs are operated with the objective of providing optimal basin-wide benefits. In contrast, constructing additional dams can boost hydropower production. Particularly, additional hydropower production benefits are expected to be considerably higher from the construction of the Kambarata reservoir than those from the construction of the Rogun dam because of higher investment costs of the latter. Thus, the construction of dams upstream can increase national and regional energy security due to 65-67% increase in hydropower production levels. Yet, the risks of flooding related to natural and political calamities and reduced downstream water availability during the period of filling the reservoirs should be evaluated further for a more comprehensive assessment of such infrastructural developments. High risks of using upstream reservoirs as a tool of geopolitical influence and consequent damage on downstream irrigation and environmental systems should not be forgotten as well. Establishing effective relationships among the riparian countries, ensuring the rule of law, empowering water users for decision making, raising their awareness on ecological sustainability and market-based management approaches, and maintaining human and technological capacities are also essential for finding a compromise in sharing common basin resources in the ASB.

Keywords: Water rights trading, Transaction costs, Environmental flow, Hydro-economic model, irrigation technology, infrastructural development, Rogun dam, Kambarata reservoir, Sectoral transformation, Virtual water, Input-output analysis

MODELLIERUNG VON STRATEGIEN ZUR EFFIZIENTEN ALLOKATION UND SCHONUNG VON WASSERRESSOURCEN IM EINZUGSGEBIET DES ARALSEES

ZUSAMMENFASSUNG

Im Einzugsgebiet des Aralsees (ASB) stellt der steigende Wasserbedarf eine Herausforderung an die Entscheidungsträger dar, zeitnah Maßnahmen für eine effiziente Wasserbewirtschaftung einzuführen, um die derzeitige und zukünftige Wasserkrise in der Region zu entschärfen. Die schnelle Ausdehnung der bewässerten Landwirtschaft in Verbindung mit einer Über-Nutzung der Wasserressourcen führte zum Schrumpfen des Aralsees; zur Lösung dieses Problems wurden zahlreiche hypothetische Ansätze vorgeschlagen, die auch den massiven Wassertransfer aus anderen Einzugsgebieten einbezogen. Bedenkt man allerdings die enormen Transport- und Wasseraufleitungsverluste in den Bewässerungssystemen und die ineffektive Koordination in der Bewirtschaftung von Ressourcen aufgrund unzureichender Zusammenarbeit zwischen den Staaten in den Einzugsgebieten der Flüsse Amu Darya und Syr Darya, erscheint die Erhöhung der internen Effizienz bei der Nutzung der Wasserressourcen ein in technischer und finanzieller Hinsicht eher Erfolg versprechender Ansatz. Darüber hinaus sollten diese Maßnahmen der Wasserbewirtschaftung auch und vor allem die wesentlichen Ursachen des Wassermangels und der ökologischen Probleme angehen, anstatt lediglich deren Folgen zu behandeln.

Diese Studie untersucht drei wichtige Ansätze, um die grundlegenden Ursachen der sich verschärfenden Wasserbewirtschaftungsprobleme im ASB zu bearbeiten. Die erste Option ist die sektorale Transformation (ökonomische Neuordnung), bei der man wirtschaftliche Aktivitäten mit hoher Priorität versieht, die einen relativ hohen Impuls auf das Wirtschaftswachstum ausüben und einen niedrigen Wasserverbrauch erfordern. Die zweite Option besteht darin, die bürokratischen Wassermanagement-Institutionen durch effektivere Markt-basierte Wasserallokations-Institutionen zu ersetzen, die die Zusammenarbeit zwischen regionalen Wassernutzern fördern, um in Bezug auf das gesamte Einzugsgebiet Vorteile zu erzielen. Die dritte Option beinhaltet die Verbesserung der Effizienz der Bewässerungssysteme und den Bau von Speichern zur Regulierung des Abflusses an den Oberläufen der Flüsse.

Die Möglichkeit der ökonomischen Restrukturierung wurde mit Hilfe eines auf die Umweltfaktoren ausgeweiteten Input-Output Modells analysiert, so dass im Ergebnis alle ökonomischen Sektoren im Hinblick auf ihren potenziellen Beitrag zu einem nachhaltigen Wirtschaftswachstum beurteilt und in eine Rangliste gebracht wurden. Hierfür wurden Vorwärts- und Rückwärtsverknüpfungen und die gesamten (direkten und indirekten) Wasserbedarfswerte der verschiedenen wirtschaftlichen Aktivitäten geschätzt und miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass der Wasserbedarf im ASB reduziert werden kann, indem die Produktion wasserintensiver Sektoren wie Landwirtschaft verringert wird, während die Entwicklung weniger wasserintensiver Sektoren außerhalb der Landwirtschaft gefördert wird. Innerhalb der Landwirtschaft ist eine Diversifizierung ratsam, die den Anbau von Reis und Baumwolle mit jeweils hohem Gesamtwasserverbrauch (direkt und indirekt) von $36 \text{ m}^3/\text{USD}$ bzw. $18,4 \text{ m}^3/\text{USD}$ teilweise ersetzt durch Wasser-produktivere Pflanzen, wie beispielsweise Obst/Gemüse mit einem Gesamtwasserverbrauch von $9,1 \text{ m}^3/\text{USD}$.

Mit einem aggregiertem hydro-ökonomischen Modell wurden potenzielle Auswirkungen untersucht, die mit dem Ersetzen des traditionellen administrativen Wasserallokations-System durch Markt-basierte Wasserallokation erzielt werden können. Bedeutende ökonomische Gewinne im gesamten Einzugsgebiet sind erreichbar, wenn der Handel von Wasserrechten zwischen allen Bewässerungszonen in jedem der Einzugsgebiete (Amu Darya oder Syr Darya) erlaubt wurde. Die Begrenzung des Handels von Wasserrechten auf jeweils Untereinheiten der Einzugsgebiete (oberer, mittlerer, unterer Teil) führte zu einem Gesamtgewinn, der zwar geringer ausfiel als im Fall des

unbegrenzten Handels aber höher war als bei der Option ohne Wasserhandel. Die Ergebnisse zeigen ein Potential von zusätzlichen jährlichen Gewinnen zwischen 373 bis 476 Millionen USD durch den Handel mit Wassernutzungsrechten im gesamten Einzugsgebiet (zwischen den Untereinheiten) in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit. Gleichermaßen ergeben sich zusätzliche Erträge von 259 bis 339 Millionen USD durch den Handel innerhalb von Untereinheiten des Einzugsgebietes. Die durch Wasserhandel erzielbaren Gewinne steigen mit zunehmendem Wassermangel. Wenn Wasserhandel zwischen den Bewässerungszonen eingesetzt würde, um den ökologisch motivierten Mindestwasserfluss zum Aralsee zu erhöhen (und gleichzeitig die entsprechend geringere Wasserverfügbarkeit für die Produzenten in der bewässerten Landwirtschaft kompensiert würde), lässt der Wasserhandel größere ökonomische Vorteile auf der Ebene des gesamten Einzugsgebietes erwarten als ohne die Möglichkeit des Wasserhandels. Zudem wären die Kosten für den ökologisch motivierten Wasserkauf kostengünstiger als die Überleitung von Wasser aus anderen Einzugsgebieten. Da der Aufbau und der Betrieb von Markt-basierten Wassermanagement-Institutionen mit Kosten verbunden sind, werden die Transaktionskosten für die Einführung von handelbaren Wasserrechten berücksichtigt, um die Effektivität der institutionellen Veränderungen zu bewerten. Die Ergebnisse weisen auf eine umgekehrt proportionale Beziehung zwischen den Vorzügen des Wasserrechthandels und dessen Transaktionskosten. Die Ergebnisse zeigen, dass Transaktionskosten von über 0.05 USD/m³ pro Einheit gehandelter Wasserhandelsrechte die potenziellen Vorteile der Wasserhandelsoption eliminieren würden.

Technische Ansätze zur Verbesserung der Effizienz der Wassernutzung und -koordination wurden mit einem dis-aggregierten hydro-ökonomischen Modell analysiert. Erhebliche Vorteile werden von der Verbesserung der Bewässerungswirkungsgrade (Bewässerungsnetz und Feldebene) im ASB erwartet. Aufgrund der Ergebnisse lässt sich der Gewinn im gesamten Einzugsgebiet um 20 bis 40% steigern (in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit), wenn die Bewässerungswirkungsgrade im gesamten Einzugsgebiet optimiert würden. Weiterhin belegen die Ergebnisse, dass die Konstruktion von Speichern an den Oberläufen der Flüsse (wie derzeit intensiv zwischen Ober- sowie Unterliegerstaaten in Zentralasien diskutiert) die Verfügbarkeit von Bewässerungswasser in der Region nicht erheblich beeinträchtigt, wenn diese Speicher unter der Zielvorgabe optimaler Einzugsgebiets-weiter Vorteile betrieben werden. Der Bau des Kambarata-Speichers lässt erhebliche Gewinne durch Stromerzeugung erwarten, wohingegen dies beim Rogun-Speicher aufgrund der hohen Investitionskosten nicht der Fall sein wird. Dennoch verstärkt die Konstruktion von Dämmen an den Oberläufen die nationale und regionale Energiesicherheit durch eine Zunahme der Energiegewinnung aus Wasserkraft um 65-67%. Jedoch sollten mögliche Überflutungsrisiken durch Erdbeben und politische Instabilitäten sowie die verringerte Wasserverfügbarkeit flussabwärts während der Periode der Füllung der Speicher weiterführend untersucht werden, um eine fundierte Bewertung dieser Infrastrukturmaßnahmen zu ermöglichen. Es sollte nicht vernachlässigt werden, dass die hohen Risiken von Speichern in oberen Bereichen der Einzugsgebiete durch die Nutzung als Instrumente geopolitischer Einflussnahme und aufgrund von Folgen für unterliegende Bewässerungsgebiete sowie Ökosysteme die Vorteile der Speicher bei der infrastrukturellen Entwicklung eliminieren können. Wirksame Beziehungen zwischen den Anrainerstaaten, die Sicherung der Rechtstaatlichkeit, die Stärkung der Mitwirkungsmöglichkeiten der Wassernutzer an Entscheidungen und ihres Bewusstseins für ökologische Nachhaltigkeit sowie Markt-basierte Managementansätze und die Aufrechterhaltung von menschlichen und technischen Fähigkeiten sind ebenfalls wichtig, um einen Kompromiss zu finden bei der Aufteilung gemeinsamer Ressourcen im Einzugsgebiet im ASB.

Schlüsselwörter: Wasserhandel, Transaktionskosten, Ökologischer Mindestabfluß, Hydro-ökonomisches Modell, Bewässerungstechnologie, Infrastrukturelle Entwicklung, Rogun Damm, Kambarata Speicher, Sektor-Transformation, Virtuelles Wasser, Input-Output Analyse