Journal of Applied Irrigation Science (ISSN 0049-8602)
Vol. 33 (No. 2), 153 – 173
Frankfurt a.Main: DLG-Verlags-GmbH, 1999

Wassereinsparungspotentiale der Bewässerungslandwirtschaft

Water saving potentials of irrigated agriculture

P. Wolff und Th.-M. Stein

Stichworte
Bewässerung, Wasserbedarf, Wassernutzungseffizienz, Wasserverluste, Wassereinsparungpotentiale

Keywords
Irrigation, water requirements, water use effiency, water losses, water saving potentials

Zusammenfassung
In jüngster Zeit rückt vorallem in den Wassermangelgebieten die Frage der Konkurrenz der Wassernutzungssektoren, d.h. der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft, der Kommunen, des Gewerbes, der Industrie, des Naturschutzes etc., um das nutzbare Wasserdargebot in den Vordergrund der öffentlichen Diskussion. Kritisiert werden in diesem Zusammenhang zunehmend die negativen Einflüsse der Bewässerungslandwirtschaft auf das schöpfbare Wasserdargebot. Die vorliegende Arbeit versucht vor dem Hintergrund der Bedeutung der Bewässerungslandwirtschaft für die Ernährungssicherung die Zwänge, Möglichkeiten und Grenzen eines sparsamen Umganges mit der Ressource Wasser in der Bewässerungswirtschaft aufzuzeigen.

Abstract
The discussion of water use problems is, especially in water scare regions, focusing more and more on the competition among the different water use sectors, as agriculture, forestry, communities, industry, environment etc.. In these discussions irrigated agriculture is increasingly criticised in relation to its negative effects on the usable water resources. This paper try's to analyse. under consideration of the importance irrigated agriculture plays in securing food supply of a fast increasing world population, possibilities and limitations it faces in improving its effects on the water resources.

1. Einführung

In jüngster Zeit rückt vor allem in den Wassermangelgebieten die Frage der Konkurrenz der Wassernutzungssektoren, d.h. der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft, der Kommunen, des Gewerbes, der Industrie, des Naturschutzes etc., um das nutzbare Wasserdargebot in den Vordergrund der öffentlichen Diskussion. Es zeichnet sich ab, daß es in Zukunft nicht nur darum gehen wird, die

Wasserversorgung der Kulturpflanzenbestände zu optimieren. Die landwirtschaftliche Praxis und Forschung werden sich mit der Forderung auseinandersetzen müssen, den Wasserverbrauch in der Agrarproduktion zu Gunsten der Wassernutzung in anderen Nutzungssektoren einzuschränken. Insbesondere die Bewässerungswirtschaft wird sich in den nächsten Jahrzehnten einer Reihe von Herausforderungen gegenübersehen. Sie muß weltweit einerseits den größten Anteil der erforderlichen Steigerungen in der Nahrungsmittel- und Faserproduktion erbringen, um Ernährung und Kleidung der wachsenden Weltbevölkerung sicherzustellen und um ihren zwingend erforderlichen Beitrag zur Armutsbekämpfung und wirtschaftlichen Entwicklung zu leisten. Andererseits wird sie zunehmend mit der Forderung eines sparsameren qualitätsverbessernden Umganges mit der Ressource Wasser konfrontiert werden.

In der vorausgegangenen Ausgabe dieser Zeitschrift haben die Autoren die Frage "Mit weniger Wasser mehr Nahrungsmittel erzeugen?" zur Diskussion gestellt (WOLFF u. STEIN, 1999). In Fortsetzung dieses Beitrages soll in der vorliegenden Arbeit der Frage nachgegangen werden, welche Möglichkeiten die Bewässerung zur Wassereinsparung hat, d.h. welche Einsparungspotentiale vorliegen und in welchem Umfang diese Einsparungspotentiale zum Nutzen der anderen Verbrauchssektoren mobilisiert werden können.

2. Bedeutung der Bewässerungslandwirtschaft

Die Bewässerung von Acker- und Grünland wird weltweit seit Hunderten von Jahren praktiziert. Mit ihrer Hilfe war und wird es auch weiterhin möglich sein, in den Trockengebieten der Erde Pflanzenproduktion auf einem sicheren und hohen Ertragsniveau zu betreiben. Die damit verbundene Gewährleistung einer ausreichenden kontinuierlichen Nahrungsmittelversorgung ermöglichte erst das Entstehen hochentwickelter Kulturen am Nil (Ägypten), Tigris und Euphrat (Türkei, Syrien und Irak), Indus (Pakistan und Indien), Ganges (Indien) und Hwang-Ho (China). Die moderne Bewässerung, so wie wir sie heute kennen, kam jedoch erst gegen Ende des letzten bzw. zu Beginn dieses Jahrhunderts auf. Es wird geschätzt, daß um 1800 weltweit rund 8 Mio. ha und 100 Jahre später aber schon etwa 40 Mio. ha landwirtschaftliche Nutzfläche bewässert wurden. Bis zum Jahre 1950 wuchs die Weltbewässerungsfläche auf ca. 94 Mio. ha. In den Folgejahren vergrößerte sich diese Fläche beachtlich. Vor allem im Zuge der sogenannten „Grünen Revolution“ erfuhr die Bewässerungsfläche eine beachtliche Ausdehnung. Heute werden weltweit ca. 250 Mio. ha oder 17% der landwirtschaftlichen Nutzfläche bewässert. Der Beitrag bewässerter Flächen an der weltweiten Nahrungsmittelerzeugung wird auf 36% geschätzt.

Fast zwei Drittel der Weltbewässerungsfläche entfällt auf nur fünf Länder: Indien, China, USA, ehemalige Sowjetunion (vor allem Zentralasien) und Pakistan. Der überwiegende Teil der Weltbewässerungsfläche, d.h. 73%, liegt in den sogenannten Entwicklungsländern, also in Ländern, die aufgrund ihres rasanten Bevölkerungswachstums auf eine weitere Steigerung wie auch auf eine größere Sicherung der Nahrungsmittelversorgung angewiesen sind. Um mit dem Bevölkerungswachstum in diesen Ländern mithalten zu können, wird künftig eine jährliche Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion um 2% als zwingend notwendig angesehen. Ange-

sichts knapper Landressourcen und verhältnismäßig hoher Erschließungskosten kann dies nicht mehr durch eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen geschehen, die erforderliche Zunahme der landwirtschaftlichen Erzeugung muß künftig überwiegend durch Ertragssteigerungen auf bereits bewirtschafteten Flächen erzielt werden. Das setzt unabweisbar einen höheren und gezielteren Produktionsmitteleinsatz und in diesem Zusammenhang auch eine Optimierung der Pflanzenwasserversorgung voraus. Da dies ohne Bewässerung in vielen Fällen kaum möglich sein wird, kann von einer zunehmenden Bedeutung der Bewässerung für die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung ausgegangen werden.

Die sich vor allem in den letzten Jahrzehnten deutlich abzeichnende Verknappung der verfügbaren Wasserressourcen und die steigenden Ansprüche anderer Wassernutzer werden der Ausdehnung der Bewässerungsfläche allerdings eindeutige Grenzen setzen und Verbesserungen in der angewandten Bewässerungstechnologie und dem Bewässerungsmanagement erzwingen. Letzteres wird auch notwendig sein, um die Nachhaltigkeit der Bewässerungswirtschaft zu gewährleisten und negative Wirkungen auf die Umwelt zu vermeiden.

In bezug auf die angebauten Kulturpflanzen setzt sich die Bewässerungsfläche in den Ländern der Dritten Welt aus etwa 34% Reis, 17% Weizen, 10% Futterpflanzen und 8% Gemüse und Obst zusammen. Baumwolle nimmt 7%, Zuckerrohr 6%, Gerste und Hirse 5% und Mais 4% ein. Die restlichen 9% entfallen auf eine Vielzahl von Kulturen. Relativ wasseraufwendige Kulturen wie der Reis, die Baumwolle und das Zuckerrohr nehmen somit fast die Hälfte der Bewässerungsfläche in der Dritten Welt in Anspruch.

Die Nahrungsmittelerzeugung hat weltweit, mit Ausnahme des Nahen Ostens und Afrikas, südlich der Sahara, im Zeitraum 1960 - 95 eine beachtenswerte Steigerung erfahren. Die erzielten Produktionszuwächse in Asien sind besonders beeindruckend. Diese Steigerungen wurden vorwiegend durch Ertragsverbesserungen, vor allem im Zuge des Überganges vom Regenfeldbau zum Bewässerungslandbau und nur in einem unbedeutendem Umfang durch die Erschließung von Neuland erzielt. Angesichts des Mangels an kultivierungsfähigem, produktivem Ödland werden auch künftig die notwendigen Produktionssteigerungen nur über die Erhöhung der Flächenerträge zu erzielen sein. Nach Berechnungen von Yudelman (1994) sind künftig bei Getreide die in Tabelle 1 aufgeführten Ertragssteigerungen notwendig. Wie kann die als notwendig angesehene Verdoppelung der Flächenerträge erreicht werden? Wird die Bewässerung dabei eine Rolle spielen?

Es dürfte schwierig werden, den spektakulären Produktionsanstieg der letzten 40 Jahre zu wiederholen. Man wird wohl kaum noch einmal so nachhaltige Durchbrüche in der Getreidezüchtung in Kombination mit einer generellen Verbesserung der Produktionsbedingungen, in der Anwendung von Agrochemikalien und in der Ausweitung der Bewässerungsfläche erwarten dürfen. Noch ist mehr als fraglich, ob die Gentechnologie die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen kann. Wie die sogenannte Grüne Revolution gezeigt hat, ist es nicht damit getan, Sorten mit einem höheren Ertragspotential zu züchten, es müssen auch die Rahmenbedingungen geschaffen werden, die für die Ausschöpfung des Produktionspotentials erforderlich sind. In Zukunft wird man daher vor allem versuchen müssen, die notwendige Steigerung der Erträge durch Verbesserung der Produktionstechnologien, durch ein

systemorientiertes Management und durch eine effizientere, nachhaltige Nutzung der Ressourcen zu erreichen. Dies wird nicht leicht sein und wird besonderer Anstrengungen bedürfen. Hinzu kommt, daß die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) pro Kopf der Bevölkerung ständig abnehmen wird. Lal und Pierce (1991) z. B. erwarten, daß die LN pro Kopf der Bevölkerung bis zum Jahr 2000 auf 0,23 ha, bis 2050 auf 0,15 ha und schließlich bis zur erwarteten Stabilisierung der Weltbevölkerung im Jahr 2100 auf 0,14 ha zurückgehen wird.

Die obigen Fakten legen die Schlußfolgerung nahe, daß die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung nur mit einer leistungsfähigen Bewässerungslandwirtschaft gewährleistet werden kann.

Tabelle 1: Notwendige Ertragssteigerungen zur Deckung des Getreidebedarfs in den Entwicklungsländern bis zum Jahr 2050 (Yudelman, 1993)

	Durchschnitts-ertrag, 1991/92 t/ha	Bedarfs-zunahme %	Notwendige Erträge in 2025, t/ha	Durchschnitts-erträge in IL 1991, t/ha
Getreide	2,4	120	4,9	4,4
Weizen	2,4	150	5,1	4,8
Reis	3,5	100	7,0	5,8
Mais	2,5	200	5,2	5,4

IL = Industrieländer

Die Bewässerungswirtschaft sieht sich heute weltweit - mehr oder weniger - einer Reihe von Zwängen ausgesetzt, die ihren Handlungsrahmen und ihre Entwicklungsmöglichkeiten bestimmen. Die Verknappung der Ressource Wasser spielt dabei eine sehr wichtige, wenn nicht gar die wichtigste Rolle.

3. Negative Einflüsse auf das schöpfbare Wasserdargebot

Die Bewässerungslandwirtschaft ist ohne Zweifel der größte Wasserverbraucher weltweit. Nach vorliegenden Schätzungen setzt die Bewässerungslandwirtschaft weltweit jährlich ca. 2.200 km³ Wasser ein. Bei einer für Konsumzwecke insgesamt erschlossenen Wassermenge von ca. 3.500 km³ sind dies 63%. Entsprechend der verschiedenartigen klimatischen Bedingungen und dem unterschiedlichen Entwicklungsgrad der Bewässerungslandwirtschaft schwankt der für Bewässerungszwecke genutzte Anteil am erschlossenen Wasserdargebot in den einzelnen Ländern. Nach Angaben der OECD beträgt dieser Anteil z.B. in den USA 41%, Italien 57%, Spanien und Japan jeweils 66%, Türkei 79% und Pakistan 98%. Selbst in den subhumiden und humiden Gebieten Süd- und Ostasiens ist der Anteil mit 50 - 95% sehr hoch, bedingt durch den dort verbreiteten Naßreisanbau.

Durch die starke Ausweitung des Bewässerungslandbaues übersteigt in einigen Ländern derzeit der Wasserverbrauch das erneuerbare Wasserdargebot. Der Anteil der Entnahme am Dargebot beträgt in Libyen z.B. 374%, im nördlichen Teil des Jemen sind es 147% und in Saudi Arabien 106%. Im Gebiet der Texas High Plains

sinkt der Grundwasserstand seit Jahren kontinuierlich, im Mittel um 12 - 15 cm pro Jahr. In der nordchinesischen Tiefebene geht der Grundwasserstand seit 1974 teilweise um bis zu 1 m pro Jahr zurück. Dort wie beispielsweise auch auf der tunesischen Halbinsel Cap Bon, dem Obst- und Gemüsegarten von Tunis, oder in der fruchtbaren Küstenebene von Israel ist die Ursache eine über die Erneuerungsrate hinausgehende Wasserentnahme, vor allem für Bewässerungszwecke (Hell,1989; Wolff, 1994). Selbst in humiden Gebieten hat sich die Wasserbereitstellungssituation einiger Regionen dramatisch verschärft. Ein Beispiel hierfür ist das Hessische Ried. Im Ballungsraum Rhein-Main stand Anfang der neunziger Jahre einem aus ökologischer Sicht verfügbaren Wasserdargebot von 378 Mio. m³/a ein Wasserverbrauch von 387 Mio. m³/a gegenüber. Unter Berücksichtigung qualitativer Aspekte, wie Ausfall von Gewinnungsanlagen sowie eingeschränkte Förderungen infolge von akuten Grundwasserschadensfällen, hohen Nitratbelastungen und bakteriologischen Problemen, erfolgt dort somit zur Zeit eine theoretische Überförderung von jährlich rund 9 Mio. m³ (Lehr, 1992).

Auch im Westen der USA liegt eine äußerst angespannte Wasserdargebotssituation vor, in deren Folge es dort in den letzten Jahren zu einschneidenden Veränderungen für den Bewässerungssektor gekommen ist. Die Bewässerungslandwirtschaft hat, vor allem in den Bewässerungsperimetern des "USDA-Bureau of Reclamation", mit einer Gesamtbewässerungsfläche von rund 4 Mio. ha ihr absolutes Primat in der Wasserbereitstellung gegenüber anderen Wassernutzern verloren. Die Ansprüche anderer Wassernutzer werden dort heute gleichrangig, wenn nicht gar bevorzugt behandelt, und die z.T. beachtliche Subventionierung der Wasserbereitstellungskosten wird mehr und mehr abgebaut. Hinzu kommt, daß Wasser dort zunehmend einem Handelsgut gleichkommt, d.h., Wasser bzw. Wassernutzungsrechte werden wie Erdöl gehandelt, und der Preis ist allein eine Frage von Angebot und Nachfrage. Es entwickeln sich, übrigens nicht nur dort, sogenannte Wassermärkte. Nach Moore (1991) zahlten bereits 1988/89 Kommunen für Wassernutzungsrechte 40 - 250 US$ pro 1.000 m³. Diese Preise liegen weit über denen, die seitens der dortigen Bewässerungslandwirtschaft gezahlt werden können. Das bedeutet: dort, wo die Kommunen oder andere Wassernutzer mit der Bewässerungslandwirtschaft in Konkurrenz um die knappe Ressource Wasser treten, wird letztere im Regelfall zukünftig das Nachsehen haben.

4. Zum Wasserbedarf der Bewässerungslandwirtschaft

Der Wasserbedarf für die Bewässerung ergibt sich aus der nachfolgenden Beziehung:

$$B = ET - (N+Bf) / \eta$$

Darin bedeuten:

B	=	Bewässerungswasserbedarf (mm)
ET	=	Evapotranspiration (mm)
N	=	wirksamer Niederschlag (mm)
Bf	=	zu Beginn der Bewässerung vorhandene pflanzenverfügbare Bodenfeuchte im Wurzelraum (mm)
η	=	Gesamtwirkungsgrad der Bewässerung

Handelt es sich um Bewässerungsstandorte mit Versalzungsproblemen, dann erhöht sich der Bewässerungswasserbedarf um den sogenannten Auswaschungsbedarf, d.h. jener Wassermenge die benötigt wird, um die im effektiven Wurzelraum sich anreichernde Salze bis auf ein bestimmtes Niveau auszuwaschen. Die zur Erfüllung des Auswaschungsbedarfs benötigte Wassermenge ist abhängig vom Salzgehalt des Bewässerungswassers und dem Salzgehalt des Bodens, der bei Anbau einer bestimmten Kultur und dem angestrebten Ertragsniveau maximal toleriert werden kann.

Tabelle 2: Schwankungsbreite der Evapotranspiration (ETcrop) von Kulturpflanzenbeständen im Verlauf einer Vegetationsperiode im Vergleich zu der eines Grasbestandes (ETgrass)

Kultur		ETcrop (mm)	in % zu ETgrass
englisch	deutsch		(ETgrass = ETo)
Alfalfa	Luzerne	600-1,500	90-105
Bananas	Bananen	700-1,700	90-105
Beans	Bohnen	250-400	29- 25
Cocoa	Kakao	800-1,200	95-110
Coffee	Kaffee	800-1,200	95-110
Cotton	Baumwolle	550-950	50- 65
Dates	Dattelpalmen	900-1,300	85-110
Deciduous trees	Obstbäume	700-1,050	60- 70
Grains (small)	Getreide	300-450	25- 30
Grapefruit	Pampelmuse	650-1,000	70- 85
Maize	Mais	400-700	30- 45
Oil seeds	Ölsaaten	300-600	25- 40
Onions	Zwiebeln	350-600	25- 40
Orange	Orangen	600-950	60- 75
Potatoes	Kartoffeln	350-625	25- 40
Rice	Reis	500-800	45- 65
Sisal	Sisal	550-800	65- 75
Sorghum	Sorghum	300-650	30- 45
Soya beans	Sojabohnen	450-825	30- 45
Sugar-beet	Zuckerrüben	450-850	50- 65
Sugar-cane	Zuckerrohr	1,000-1,500	105-120
Sweet potatoes	Süßkartoffeln	400-675	30- 45
Tobacco	Tabak	300-500	30- 35
Tomatoes	Tomaten	300-600	30- 45
Vegetables	Gemüse	250-500	15- 30

Wie der Tabelle 2 zu entnehmen ist, schwankt die Evapotranspiration oder die Gesamtverdunstung eines Kulturpflanzenbestandes in einem relativ weiten Bereich und zwar in Abhängigkeit von den klimatischen Verhältnissen und der Vegetationsdauer. Wenn man die angegebenen ETcrop-Werte mit 10 multipliziert, erhält man die Wassermenge in m^3/ha, die von dem jeweiligen Pflanzenbestand verdunstet wird. Es zeigt sich, daß es sich hier um beachtliche Wassermengen handelt. Sofern der natürliche Niederschlag unbedeutend ist, wie z. B. in Ägypten, muß das gesamte für die Verdunstung notwendige Wasser durch die Bewässerung bereitgestellt

werden. Hinzu kommen noch die nicht unbeträchtlichen Wasserverluste. So ergibt sich bei Baumwolle bei einer ETcrop von 800 mm, N und Bf = 0 und einen Wirkungsgrad von 60% = 0,6 ein Bewässerungsbedarf von ca. 1.333 mm, dies sind 13.330 m³/ha und Wachstumsperiode. Wenn kein Niederschlag fällt, muß die gesamte Wassermenge künstlich zugeführt werden. Zu diesem Zwecke muß die Bewässerungswirtschaft auf das schöpfbare Wasserdargebot zurückgreifen und tritt damit in direkte Konkurrenz mit den anderen Wassernutzungssektoren. Soll die Bewässerungslandwirtschaft auch künftig dazu beitragen, die Nahrungsmittelversorgung sicherzustellen, dann kann sie auf die Nutzung des schöpfbaren Wasserdargebotes nicht verzichten. Zumindest soweit es die Abdeckung des Evapotranspirationsbedarfs betrifft. Aus der obigen dargestellten Beziehung des Bewässerungswasserbedarfs läßt sich aber ein Einsparungspotential ableiten, wenn man die durch die Wasserverluste bedingten überwiegend schlechten Wirkungsgrade der Wassernutzung bedenkt.

Wie bereits oben erwähnt, steht die Bewässerungswirtschaft in dem Ruf, bei der Nutzung der Wasserressourcen mit dem Wasser nicht sonderlich haushälterisch umzugehen. Ihr wird in vielen Fällen massive Wasserverschwendung vorgehalten. Im Klartext heißt dies, der Bewässerungslandwirtschaft wird unterstellt, daß nur ein relativ geringer Teil des dem jeweiligen Wasservorkommen entnommenen Bewässerungswassers wirklich produktiv von den Pflanzen genutzt wird und daß erhebliche Teile des abgeleiteten Wassers verloren gehen. Insbesondere bei Bewässerungssystemen mit offenen Zuleitern und der Anwendung von Oberflächenbewässerungsverfahren sind „Wasserverluste“ von >50% bekanntermaßen keine Seltenheit. Angesichts dieser Tatsache wundert es nicht, daß besonders in Wassermangelgebieten die Bewässerungslandwirtschaft zu einem effizienteren Umgang mit dem Wasser aufgefordert wird. Hier stellt sich zwangsläufig die Frage: Ist die Bewässerungslandwirtschaft zu einem effizienteren Umgang mit dem Wasser in der Lage?

Israelsen (1932) gilt als derjenige, der sich als Erster mit der Wassernutzungseffizienz der Bewässerungslandwirtschaft befaßt hat und die sogenannte „Irrigation Efficiency“ definierte als

> *The ratio of irrigation water transpired by the crops of an irrigation farm or project during their growth period, over the water diverted from a river or other natural source into the farm or project canal or canals during the same period of time.*

Daraus ergibt sich, daß all das Wasser, das einem natürlichen Wasservorkommen entnommen und einen Bewässerungsareal zugeleitet wird, dort selbst aber durch die bewässerten Pflanzen nicht transpiriert wird, als verloren gegangen angesehen wird. Ausgehend von dieser Definition Israelsen’s beschäftigte man sich in der Folgezeit bis heute sehr intensiv mit der Effizienz der Wassernutzung in der Bewässerungswirtschaft. Es kam zu einer Flut von Definitionen und Vorschlägen zur Verbesserung bzw. Erhöhung der Wassernutzungseffizienz (Wolters, 1992). Am weitesten verbreitet sind die diesbezüglichen Definitionen der Internationalen Kommission für Be- und Entwässerung (ICID). Der Gesamtwirkungsgrad (E_p) oder auch Gesamtprojektwirkungsgrad der Bewässerung ergibt sich danach aus folgender Beziehung:

$$E_p = V_m + V_2 + V_3 / V_c + V_1$$

Darin bedeuten:

E_p = Gesamtwirkungsgrad oder Gesamtprojektwirkungsgrad der Bewässerung

V_m = Wasservolumen, das für die Evapotranspiration der angebauten Kultur benötigt wird, um unerwünschten Streß der Pflanzen während der gesamten Wachstumsperiode zu vermeiden (m^3)

V_c = aus dem Wasservorkommen (Fluß, Speicher, Brunnen) abgeleitetes oder gepumptes Wasservolumen (m^3)

V_1 = Wasserzufluß von anderen Wasserquellen (m^3)

V_2 = Wasserentnahme aus den Hauptzuleitern (m^3) für andere Nutzungszwecke

V_3 = Wasserentnahme aus dem Verteilernetz für andere Nutzungszwecke (m^3)

Der Gesamtwirkungsgrad der Bewässerung liegt bei Anwendung von nicht ausgekleideten offenen Zuleitern und Oberflächenbewässerungsverfahren selten über 50%. Das heißt, nur die Hälfte des aus einem Wasservorkommen abgeleiteten Wassers oder weniger gelangt in den Wurzelraum der Bewässerungskulturen und wird von diesen mittels Evapotranspiration genutzt. Sharma und Sarkar (1994) berichten aus Indien, daß dort im Rahmen verschiedener Studien lediglich Gesamtwirkungsgrade von 30% und weniger festgestellt wurden. Dabei wurden im Mittel 15% Wasserverluste im Bereich des offenen Hauptzuleitersystem ermittelt, weitere 15% gingen bei der Wasserverteilung im Farmbereich verloren und schließlich wurden >25% an Wasserverlusten bei der Applikation auf den Bewässerungsflächen festgestellt. Insgesamt kann festgehalten werden, daß bei Anwendung eines offenen Zuleitersystems und von Oberflächenbewässerungsverfahren weit über die Hälfte des abgeleiteten Wassers als unproduktiver Verlust zu deklarieren ist. Es ist nur zu verständlich, daß diese geringe Wassernutzungseffizienz vor allem in Wassermangelgebieten die anderen Wassernutzungssektoren erregt und zur Kritik an der Bewässerungslandwirtschaft Anlaß gibt. Die Kritiker gehen dabei von der Annahme aus, daß die Landwirtschaft beträchtliche Wassereinsparungen durch Erhöhung der Wassernutzungseffizienz mittels besserer Planung, Optimierung des Managements sowie durch Umstellung auf Beregnung oder Tropfbewässerung erreichen kann. Lassen sich solche Einsparungen in der Praxis tatsächlich realisieren?

5. Einsparungspotentiale und schöpfbares Wasserdargebot

5.1 Einsparungspotentiale

Ohne Zweifel gib es eine Reihe von Möglichkeiten zur Wassereinsparung in der Bewässerungslandwirtschaft. Zu nennen sind hier:

- Auskleidung oder Verrohrung der offenen Zuleiter, d.h. Einschränkung der Versickerung aus den Zuleitungs- und Verteilerkanälen; bei Verrohrung auch Einschränkung von Verdunstungsverlusten.

- Reliefmelioration, d.h. der Aus- und Abgleichung der Bodenoberfläche bei einem ungünstigen Mikrorelief. Dadurch wird die Wasserverteilung auf der Bewässerungsfläche bei Anwendung von Oberflächenbewässerungsverfahren verbessert und die zur Bewässerung benötigte Wassermenge reduziert, der Ertrag verbessert und der Bodenerosion sowie der Bodenvernässung entgegengewirkt.

- Sammlung und Rückführung des Dränwassers, d.h. das überschüssige bzw. das verfahrenstechnisch und managementbedingt zuviel applizierte Bewässerungswasser aufzufangen, zurück in das Zuleitersystem und damit einer Wiederverwendung zuführen.

- Einsatz moderner wasser- und energiesparender Bewässerungsverfahren wie z.B. Schwallbewässserung, Beregnung, LEPA (low energy precision application), Tropf- bzw. Mikrobewässerung.

- Verbesserung des off-farm und on-farm Wassermanagements, d.h. u.a. Verbesserung der Wasserbereitstellung, gerechtere und verläßlichere Wasserverteilung, Optimierung der Bewässerungssteuerung etc.

- Umstellung der Fruchtfolgen auf weniger wasseraufwendige Kulturen, Kulturen mit kürzeren Wachstumsperioden.

- Verbesserung der Ausbildung und Beratung sowie Beteiligung der Bewässerungslandwirte an Managemententscheidungen.

Diese Wassereinsparungsmöglichkeiten in der Bewässerungslandwirtschaft sind allerdings nicht in allen Fällen zu realisieren. So ist die Reliefmelioration in der Regel nur möglich, wenn hinreichend tiefgründige Böden vorliegen und der Umfang der erforderlichen Bodenbewegungen begrenzt ist. Systembedingt sind bei der Oberflächenbewässerung nur Einzelbewässerungsgaben in der Größenordnung von > 75 mm möglich, dies obwohl z.B. zu flachwurzelnden Kulturen Gaben in der Höhe von 30 mm völlig ausreichend wären. Die Folge sind hohe Versickerungsverluste, die der Landwirt selbst bei bestem Management nicht verhindern kann. Die Umstellung vom Flächenüberstau auf Tropfbewässerung ist in der Regel nur möglich, wenn es sich um die Bewässerung von Reihenkulturen mit einem relativ weiten Reihenabstand und einem hohen Marktwert des Ernteproduktes handelt. Anderenfalls ist die Anwendung der Tropfbewässerung aus anwendungstechnischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich. Auch für die Anwendung der Beregnung ergeben sich entsprechende Begrenzungen. Hier wie bei der Tropfbewässerung muß u.a. eine kontinuierliche Wasserbereitstellung gewährleistet sein. Auf Rotationsbasis ausgelegte Bewässerungssysteme erlauben daher die Anwendung von Beregnungs- oder Mikrobewässerungsverfahren nicht.

Bei einer verrohrten Zuleitung und mittels Beregnung oder Mikrobewässerung ausgestatteter Bewässerungssysteme, wie sie z.B. in Deutschland fast ausschließlich existieren, ist das Wassereinsparungspotential relativ gering. Entsprechendes Management vorausgesetzt wird die Bewässerung hier in der Regel schon mit einer hohen Wassernutzungseffizienz betrieben. Allerdings liegen z.B. bei der Beregnung durch Verbesserung der Bewässerungssteuerung und der Wasserverteilungsorgane

durchaus noch Möglichkeiten der Effizienzsteigerung vor. Das Potential ist allerdings nicht so groß wie beispielsweise bei der Umstellung von dem Flächenüberstau auf Beregnung etc.

OWEIS et al. (1999) propagieren in jüngster Zeit verstärkt die Zusatz- bzw. Ergänzungsbewässerung für semiaride Gebiete zur Effizienzsteigerung der Wassernutzung. Durch entsprechende Bewässerungsmaßnahmen soll der natürliche Niederschlag ergänzt, d.h. Niederschlagsdefizite ausgeglichen werden. Die Bewässerungspraxis in den gemäßigten Klimaten, z.B. in Deutschland, basiert schon immer auf diesem Prinzip. OWEIS et al. konnten unter Versuchsbedingungen nachweisen, daß auch unter semiariden Bedingungen mittels Ergänzungsbewässerung Ertragssteigerungen und eine Ertragssicherung zu erzielen ist. Was für die Wassermangelgebiete den Autoren aber noch wichtiger erscheint, ist die Tatsache, daß die Produktivität der Wassernutzung durch die Ergänzungsbewässerung auch bei hohem Ertragsniveau angehoben werden kann. Ob sich dies unter Praxisbedingungen auch der Fall ist, bleibt abzuwarten. Zu beobachten ist, daß in den semiariden Gebieten bei Bewässerung aus betriebstechnischen, ökonomischen und sozialen Gründen eher eine Vollbewässerung als eine Ergänzungsbewässerung erfolgt. Letztere erfordert schon unter gemäßigten Klimabedingungen einen hohen Steuerungsaufwand und ein äußerst leistungsfähiges, sowie flexibles Bewässerungssystem unter Beachtung standörtlicher und wirtschaftlicher Kriterien (Roth, 1997). Diese Voraussetzungen sind unter den Bedingungen der Entwicklungsländer schwer zu entwickeln und anzuwenden.

Die oben aufgeführten Möglichkeiten erlauben, trotz der angedeuteten Begrenzungen, in vielen Fällen durchaus deutliche Wassereinsparungen in der Bewässerungswirtschaft. Die Nutzung dieser Möglichkeiten ist für die Bewässerungslandwirte allerdings nur dann interessant, wenn daraus ein Nutzen für sie erwächst. Diese Haltung ist verständlich, da die Nutzung entsprechender Möglichkeiten der Wassereinsparung meist mit hohen finanziellen und persönlichen Aufwendungen verbunden ist. Aufwendungen die aus betriebswirtschaftlicher Sicht nur vertretbar sind, wenn ihnen entsprechend höhere Einnahmen gegenüber stehen.

Ob aus der Nutzung der oben aufgeführten Möglichkeiten der Wassereinsparung in der Bewässerungslandwirtschaft ein höheres Wasserdargebot für die anderen Wassernutzungssektoren und gleichzeitig eine höhere Nahrungsmittelerzeugung resultieren kann hängt sehr von der jeweiligen Situation ab. Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die aufgezeigten Möglichkeiten zu einer Einschränkung der Wasserverluste führen können und damit zu einer geringeren Wasserentnahme aus den Wasservorkommen. Dies allerdings nur, wenn sich die Bewässerungsfläche und die Bewässerungskulturen nicht verändern. In der Praxis besteht allerdings oft die Tendenz, das eingesparte Wasser anderweitig in der Bewässerungslandwirtschaft zu verwenden, weil sich nur dann gegebenenfalls die Aufwendungen für die Effizienzsteigerung der Wassernutzung rechnen. Eine Entlastung des schöpfbaren Wasserdargebotes tritt daher auch nur in seltenen Fällen ein.

Da potentiell die Möglichkeit besteht, mit den oben dargestellten Maßnahmen nicht nur Wasser einzusparen, sondern damit auch optimalere Produktionsbedingungen für die angebauten Pflanzen verbunden sind, können theoretisch auch höhere

Erträge erzielt und damit auch mehr Nahrungsmittel erzeugt werden. D.h. in der Bewässerungslandwirtschaft besteht durchaus die Möglichkeit, der am Anfang dieses Beitrages dargelegten Forderung: *die Landwirtschaft muß künftig mit weniger Wasser mehr Nahrungsmittel erzeugen* gerecht zu werden. Ob dies in der Praxis tatsächlich möglich ist, hängt sehr von den standörtlichen, ökonomischen, politischen, institutionellen, rechtlichen und soziokulturellen Rahmenbedingungen ab. Von der Durchführung bzw. Einführung wassersparender Maßnahmen in der Bewässerungslandwirtschaft im Hinblick auf eine Mehrung des Wasserdargebotes für die anderen Wassernutzungssektoren Wunder zu erwarten ist sicher nicht angebracht.

Rein theoretisch besteht schließlich noch ein beachtliches Einsparungspotential bei Änderung der Verzehrgewohnheiten der Bevölkerung. Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, benötigt die Fleischproduktion erheblich höhere Wassermengen als die pflanzliche Produktion. Eine Verminderung des Fleischkonsums führt somit zu einer Verringerung

Tabelle 3. Wasserbedarf zur Erzeugung verschiedener Agrarprodukte

Produkt	Wasserbedarf (l)
1 Orange	500
1 Ei	900
1 Glas Bier (pint beer)	1.500
1 kg Brot	2.400
1 Liter Milch	3.300
1 kg Hühnerfleisch	10.000
1 kg Rindfleisch	110.000

Quelle: Kowal, J.M und A.H. Kassam, 1978: Agricultural ecology of Savanna. A study of West Africa.- Clarendon Press, Oxford.

des Wasserbedarfs für die Nahrungsmittelerzeugung, d.h. es könnten tatsächlich mehr Nahrungsmittel mit weniger Wasser erzeugt werden. Ob dies allerdings in der Praxis zu realisieren ist, bleibt fraglich. So gibt es z.B. eine Reihe von Agrarstandorten, die absolutes Weideland darstellen, die ackerbaulich nicht zu nutzen sind.

Nach Kowal und Kassam (1978) wird geschätzt, daß in entwickelten Ländern für die Sicherstellung der Ernährung eines Erwachsenen (2.700 kcal/d) mit einem ausgeglichenem Eiweißanteil 11.000 t/a Wasser benötigt werden. Unter Verhältnissen der Subsistenzlandwirtschaft, bei geringem Ertragsniveau und einer eiweißarmen Ernährung kann sich der Wasserbedarf bis auf ein Fünftel des oben angegebenen Wertes reduzieren.

5.2 Beispiel Reis

Am wasseraufwendigsten ist der Naßreisanbau. Dies liegt daran, daß neben der relativ hohen Evapotranspiration, bedingt durch den permanenten Überstau der Anbauflächen, die Versickerungsverluste relativ hoch sind und daß die Bodenvorbereitung einen hohen Wasserbedarf hat. In Asien z.B. schwankt der Wasserbedarf der Reisanbauflächen zwischen 700 und 1.500 mm. Hiervon

entfallen: (1) 150 - 250 mm auf die Vorbereitung des Bodens, 50 mm auf die Anzucht der Reispflanzen im Saatbeet und 500 - 1.200 mm (5 - 12 mm/d bei einer Wachstumszeit von 100 Tagen) auf die Evapotranspiration.

Der tatsächliche Wasserverbrauch ist jedoch in den meisten Fällen wesentlich höher als der oben genannte Wasserbedarf. So liegt der Wasserverbrauch in der Phase der Bodenvorbereitung oft wesentlich über der erforderlichen Menge von 150 - 250 mm. Ghani et al. (1989) berichten z.B., daß im Ganges-Kobadak Bewässerungsprojekt in Bangladesch allein für die Bodenvorbereitung bis zu 1.500 mm Wasser verbraucht werden. Ursache hierfür sind die tonreichen Niederungsböden, die während der Brache in der Trockenzeit stark austrocknen und tiefe Schrumpfungsrisse bilden. Um diese Böden in einen Zustand zu bringen, der die Bodenbearbeitung und das problemlose Verpflanzen der Reises ermöglicht, ist eine Bodenbefeuchtung notwendig, die über den Sättigungsgrad hinausgeht, d.h. eine Zufuhr großer Wassermengen. Auch kommt es u.U. zu einem besonders hohen Wasserverbrauch in der Phase der Bodenvorbereitung, weil der Unterboden eine hohe Durchlässigkeit besitzt und es eine Weile dauert bis die Durchlässigkeit des zunächst trocken und rissigen Oberbodens hinreichend reduziert ist, um die vertikale Wasserbewegung einzuschränken und den Oberboden zu sättigen. Auch ist zu beobachten, daß es in der Bodenvorbereitungsphase oft zu einem erhöhten Wasserverbrauch kommt, weil die Betriebe, bedingt durch Arbeitskräfte- und/oder Zugtiermangel, nicht über die Schlagkraft verfügen die notwendigen Arbeiten zügig zu erledigen. Dadurch verlängert sich die Bodenvorbereitungsphase auf Perimeterebene über Gebühr und damit der Zeitraum für die Zuführung des notwendigen Wassers. Daraus resultiert ein stark erhöhter Wasserverbrauch.

Auch in der Wachstumsphase wird meist wesentlich mehr Wasser verabfolgt, als zur Deckung des Evapotranspirationsbedarfs und zur Aufrechterhaltung des gewünschten Überstaues erforderlich. Dies führt zu einem erhöhten Oberflächenabfluß und zu einer verstärkten Versickerung. Beides zusammen erreicht oft 50 - 80 % der insgesamt verabfolgten Wassermenge. Hinzu kommt, daß oft auch leichtere, durchlässige Böden für den Reisanbau genutzt werden. Damit steigen zwangsläufig die Versicherungsraten. Während die Versickerung bei speziell bearbeiteten Tonböden in der Größenordnung von 1 - 5 mm/d liegt, können die Versickerungsraten bis zu 24 - 29 mm/d bei sandigen Lehmböden oder lehmigen Sandböden ansteigen. Um den gewünschten Überstau aufrechtzuerhalten, müssen entsprechend große Wassermengen zugeführt werden.

Wenn die Wasserbereitstellung innerhalb eines Bewässerungsperimeters unzuverlässig ist, versuchen die Landwirte in ihren Bewässerungsbecken Wasservorräte anzulegen, d.h. möglichst viel Wasser einzuleiten, wenn immer dieses zur Verfügung steht. Sie tun dies in der Hoffnung, damit Bereitstellungslücken überbrücken zu können. Die Folge ist allerdings eine deutlich erhöhte Überstauhöhe. Auch versuchen die Reisfarmer unmittelbar nach dem traditionellen Auspflanzen des Reises eine relativ hohe Überstauhöhe herzustellen und aufrechtzuerhalten, um den Unkrautwuchs sowie die Häufigkeit der Bewässerung einzuschränken, um so letztlich die Kosten zu reduzieren. Mit der erhöhten Überstauhöhe steigen in der Regel aber die Versickerungsraten und damit der Wasserverbrauch.

In älteren asiatischen Bewässerungsperimetern, in denen nicht jedes Bewässerungsbecken an einen Zuleiter angeschlossen ist und wo die Wasserzufuhr von Becken zu Becken erfolgt, liegt der Wasserverbrauch meist sehr hoch. Um überhaupt eine hinreichende Wasserbewegung von Becken zu Becken zu gewährleisten, muß in die ersten Becken übermäßig viel Wasser eingeleitet und damit eine deutlich überhöhte Überstauhöhe hergestellt werden. Dies ist in der Regel mit hohen Wasserverlusten verbunden, da die Versickerungsrate auf das 2 - 5 fache der normalen Versickerung ansteigen kann.

Insgesamt ergibt sich aus den oben aufgezeigten Faktoren, daß in Relation zum eigentlichen Wasserbedarf der Reispflanzen (Evapotranspiration), der sonstige Wasserbedarf (für Bodenvorbereitung) und die Versickerungsverluste sehr hoch sind. Hieraus resultiert, daß die Produktivität der Wassernutzung im Reisanbau bezogen auf die einzelne Anbaufläche oder den jeweiligen landwirtschaftlichen Betrieb in der Regel sehr niedrig ist. Guerra et al. (1998) zeigen in einer Zusammenstellung entsprechender Untersuchungsergebnisse, daß die Produktivität der Wassernutzung im Reisanbau, wenn man sie allein auf die Evapotranspiration bezieht, im Falle der ausgewerteten Untersuchungsergebnisse zwischen 0,88 und 1,61 kg Reis pro m^3 Wasser schwankt. Bezieht man aber den Wasserbedarf der Bodenvorbereitung und die ermittelten Versickerungsverluste mit ein, dann sinkt die Produktivität auf 0,29 bis 0,58 kg Reis pro m^3 Wasser.

Zu dem oben aufgezeigten Wasserverbrauch im Reisanbau auf der Ebene der Anbaufläche, bzw. des einzelnen Betriebes kommen noch die Verluste hinzu, die im Bereich der überbetrieblichen Wasserbereitstellung erfolgen. Sie sind, wie schon an anderer Stelle dieser Arbeit dargelegt, zum Teil beträchtlich. Diese Verluste wie auch die teilweise übermäßigen Wasserentnahmen der Oberlieger können zu erheblichen Störungen in der Wasserbereitstellung, insbesondere zu Ungerechtigkeiten in der Wasserverteilung innerhalb eines Zuleitungssystems führen. Allerdings ist die Frage zu stellen, ob das Wasser, daß im Bereich der Anbaufläche, des einzelnen Bewässerungsbetriebes versickert, für die Wassernutzer insgesamt als verloren anzusehen ist. Dieser Frage wird im nächsten Kapitel dieser Arbeit nachgegangen.

Hier soll noch kurz der Frage nachgegangen werden, wo im Reisanbau Einsparungspotentiale zu sehen sind. Guerra et al. (1998) sind dieser Frage nachgegangen und zu der Feststellung gelangt, daß nachfolgende Strategien und Praktiken denkbar erscheinen, den Wasserverbrauch im Reisanbau einzuschränken:

- Steigerung der Produktion pro Einheit evapotranspiriertem Wasser durch Umstellung auf frühreife, hochertragreiche, moderne Reissorten und ein verbessertes agronomisches Management (Optimierung der Nährstoffversorgung und Unkrautbekämpfung). Auch wenn dies nur in wenigen Fällen möglich ist, kann an eine Umstellung vom Reisanbau auf andere weniger wasseraufwendige Kulturen gedacht werden.

- Reduzierung des Wasserverbrauchs bei der Bodenvorbereitung durch Verkürzung der Bodenvorbereitungsphase, durch Anschluß eines jeden einzelnen

Feldes (Beckens) an einen Zuleiter, durch Verminderung der Schrumpfungsrisse (flachgründige Bodenbearbeitung nach der Ernte) und damit der Versickerung.

- Anwendung von Anbaumethoden die eine effiziente Wassernutzung ermöglichen durch Direktsaat (*wet-seeded or dry-seeded rice*)und damit Verzicht auf Überstau zur Bodenvorbereitung.

- Verminderung der Wasserversickerung während der Wachstumsphase durch Bodenverschlämmung, Einschränkung der Wasserbewegung in die Begrenzungsdämme der Staubecken, Umstellung vom Dauerüberstau zum intermittierenden Überstau, Einschränkung der Überstauhöhe auf ein Minimum.

- Verbesserung des Managements der Wasserbereitstellung durch Berücksichtigung des natürlichen Niederschlages, Entwicklung angepaßter Wasserverteilungsstrategien, Wasserverteilung auf Rotationsbasis, Wiedernutzung des überschüßigen Wassers, zusätzliche Grundwassernutzung, Rehabilitation und Modernisierung der technischen Infrastruktur, Stärkung der Managementkapazitäten und der Kooperation zwischen Perimetermanagement und Wassernutzern.

6 . Wann ist Wasser wirklich für die Nutzung verloren ?

Keller et al. (1996) haben in Frage gestellt, ob die oben genannten Wasserverluste der Bewässerung oder anderer Wassernutzungen wirklich als Verluste zu bezeichnen sind, d.h., ob das Wasser wirklich verloren ist. Bei ihren Überlegungen kommen sie zu dem Schluß, daß Wasser erst dann als verloren anzusehen ist, wenn es keiner anderen Nutzung mehr zugeführt werden kann. Wasser ist mit anderen Worten erst dann als verloren zu bezeichnen, wenn das Wasser beispielsweise das Wassereinzugsgebiet in flüssiger oder gasförmiger Form verlassen hat oder wenn es für jegliche andere Nutzung unzugänglich oder unbrauchbar geworden ist. Wasser aber, das beispielsweise von einer Bewässerungsfläche oberirdisch abfließt oder von der Fläche bzw. den Zuleitern in den Grundwasserleiter versickert, ist in physikalischer Hinsicht nicht zwangsläufig als verloren anzusehen, solange es innerhalb des Wassereinzugsgebietes wiedergewonnen und erneut genutzt werden kann (s. Abbildung 1).

Als praktisches Beispiel für obige Überlegungen kann das ägyptische Bewässerungssystem angesehen werden. Die Wirkungsgrade im Farmbereich bzw. der einzelnen Bewässerungsfläche sind in Ägypten meist sehr gering. Ein erheblicher Teil des zugeführten Wassers versickert ins Grundwasser oder fließt oberirdisch ab. Das Wasser fließt dabei auf natürliche Weise oder über das künstliche Entwässerungssystem dem Nil bzw. den Hauptzuleitern wieder zu und wird so von den Unterliegern wieder genutzt (s. Abbildung 1). Zunehmend wird das durch Bewässerungswasser gespeiste Grundwasser auch über Brunnen einer direkten erneuten Nutzung zugeführt. Dieser Zyklus wiederholt sich einige Male, bis schließlich ein relativ kleiner Teil des über den Nil zugeleiteten Wassers das Niltal bzw. das Nildelta verläßt, um in das Mittelmeer abzufließen. Durch die mehrfache Wiedernutzung des „verlorenen unproduktiven Abflusses“ ergibt sich ein hoher Gesamtwirkungsgrad des ägyptischen Bewässerungssystems und eine relativ hohe Produktionsleistung der ägyptischen Bewässerungslandwirtschaft je Einheit eingesetzter Wassermenge.

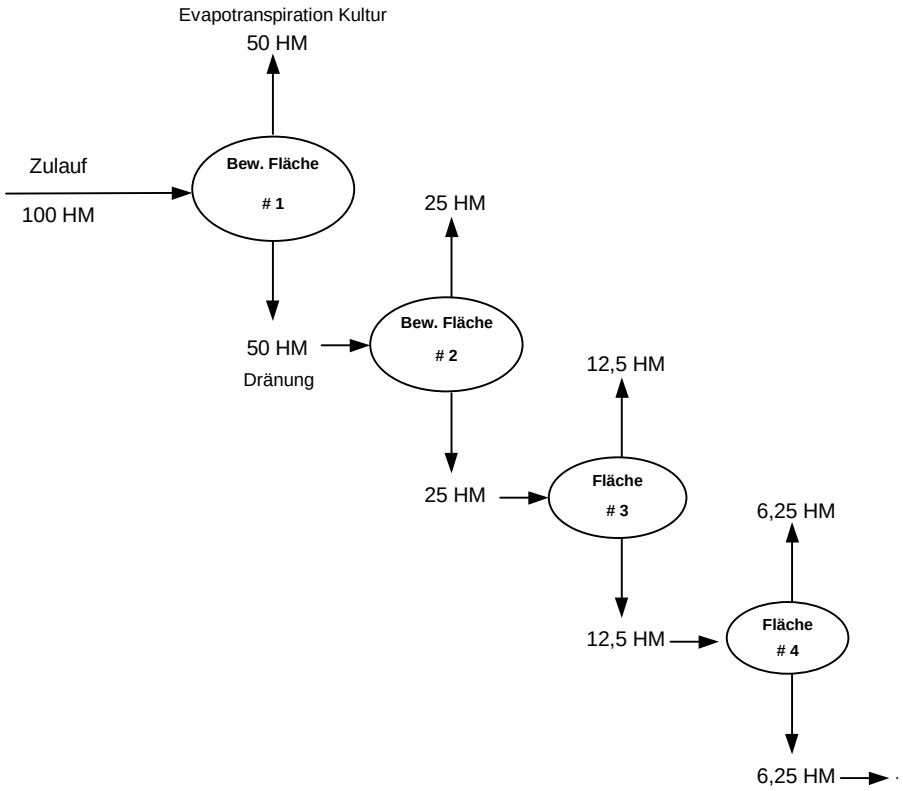

Abbildung 1: Beispiel einer Wiedernutzung des überschüssigen Bewässerungswassers bei geringem Wirkungsgrad (50 %) je Einzelfläche jedoch mit hohem Wirkungsgrad in Bezug auf das Gesamtsystem.
HM = Ursprüngliche Ableitungsmenge von 100 Hektar-Meter (HM)

Quelle: Verändert nach KELLER et al. (1996)

Aus der mehrfachen Wiedernutzung des ober- und unterirdischen Abflusses resultiert allerdings eine zunehmende Befrachtung des Wassers mit löslichen Mineralstoffen, d.h. eine Erhöhung des Salzgehaltes und potentiell auch einer Anreicherung mit Schadstoffen. Im Ergebnis führt die mehrfache Wiedernutzung zwar zu einer

Erhöhung der Wassernutzungseffizienz, allerdings bei zunehmender Verschlechterung der Wasserqualität und dadurch zu einer Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten durch die nichtagrarischen Wassernutzungssektoren. Dies insbesondere, da letztere relativ hohe Ansprüche an die Wasserqualität stellen. Erhöhungen der Wassernutzungseffizienz durch Wiedernutzung des Abflusses verbessern die Wasserdargebotssituation für die nichtagrarischen Wassernutzungssektoren in der Regel nur, wenn dadurch die Wasserentnahme der Bewässerungslandwirtschaft aus den natürlichen Wasservorkommen eingeschränkt wird.

Folgt man der Hypothese von Keller et al. (1996), dann ist davon auszugehen, daß die Landwirtschaft nicht nur durch quantitative Wassereinsparungen zur Mehrung des schöpfbaren Wasserdargebotes für die nichtagrarischen Nutzungssektoren beitragen kann, sondern auch durch einen wirksamen Gewässerschutz. Je weniger die Wasservorkommen durch landwirtschaftliche Aktivitäten mit qualitätsmindernden Stoffen befrachtet werden, umso größer ist der Anteil des Wassers, der anderweitig genutzt werden kann. Rechnet man das Wasser, das durch die landwirtschaftliche Produktion für andere Nutzungen unbrauchbar geworden ist, dem Wasserbrauch der Landwirtschaft hinzu, so kann man im Umkehrschluß sagen: Je geringer die Befrachtung der Wasservorkommen durch die Landwirtschaft ist, umso mehr erzeugt die Landwirtschaft pro Einheit Wasser.

7. Mögliche Verbesserungen einer effizienteren Wassernutzung

Die obigen Ausführungen zeigen, daß für eine Diskussion der Wassereinsparungsmöglichkeiten in der Bewässerungslandwirtschaft die einzelne Bewässerungsfläche und das dortige hydrologische Geschehen nur eingeschränkt als Betrachtungsebene dienen kann. Überlegungen zu einer Verbesserung der Wassernutzungseffizienz müssen mehr als bisher von dem Wassereinzugsgebiet als Betrachtungsebene ausgehen. Nur auf dieser Ebene lassen sich tatsächlich Verbesserungen in der Effizienz der Wassernutzung erzielen. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht macht es wenig Sinn, die Wassernutzungseffizienz beispielsweise auf eine einzelne Bewässerungsfläche oder einen Bewässerungsperimeter zu beziehen. Entsprechende Betrachtungen müssen stets das Gesamtgeschehen innerhalb eines Wassereinzugsgebietes umfassen. Dies um so mehr, je knapper das Wasser und je größer die Konkurrenz um die Wasserressourcen wird. Die Wassernutzer innerhalb eines Wassereinzugsgebietes müssen erkennen, daß die gegenwärtigen und künftigen Probleme der Wassernutzung nur durch ein holistisches intersektorales Wassermanagement auf Wassereinzugsgebietsebene gelöst werden können. Und die Bewässerungslandwirtschaft muß erkennen, daß sie nur Teil des Ganzen ist.

Die Bewässerungswirtschaft vermag durchaus entscheidende Beiträge zu einer effizienten und sparsameren Wassernutzung zu leisten, sofern die entsprechenden Rahmenbedingungen gegeben sind bzw. geschaffen werden. Auch müssen Agrarforschung und Agrarberatung den Bewässerungslandwirten die möglichen Wege aufzeigen, die unter den jeweils gegebenen Rahmenbedingungen nachhaltig beschritten werden können. Die Politik muß schließlich die Rahmenbedingungen schaffen, die der Landwirtschaft, insbesondere der Bewässerungslandwirtschaft ein entsprechendes Handeln möglich machen.

8. Schlußfolgerungen

1. In jüngster Zeit rückt vor allem in den Wassermangelgebieten die Frage der Konkurrenz der Wassernutzungssektoren, d.h. der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft, der Kommunen, des Gewerbes, der Industrie, des Naturschutzes etc., um das nutzbare Wasserdargebot in den Vordergrund der öffentlichen Diskussion.

2. Es zeichnet sich ab, daß es in der agrarischen Praxis und Forschung in Zukunft nicht nur darum gehen wird, die Wasserversorgung der Kulturpflanzenbestände zu optimieren. Praxis und Forschung werden sich auch mit der Forderung auseinandersetzen müssen, den Wasserverbrauch in der Agrarproduktion, insbesondere in der Bewässerungslandwirtschaft zu Gunsten der Wassernutzung in anderen Nutzungssektoren einzuschränken.

3. Insbesondere die Bewässerungswirtschaft wird sich in den nächsten Jahrzehnten einer Reihe von Herausforderungen gegenübersehen. Sie muß weltweit einerseits den größten Anteil der erforderlichen Steigerungen in der Nahrungsmittel- und Faserproduktion erbringen, um die Ernährung und Kleidung der wachsenden Weltbevölkerung sicherzustellen und ihren zwingend erforderlichen Beitrag zur Armutsbekämpfung und wirtschaftlichen Entwicklung zu leisten. Andererseits wird sie mit der Forderung eines sparsameren qualitätsverbessernden Umganges mit der Ressource Wasser konfrontiert werden.

4. Die Erzeugung landwirtschaftlicher Güter ist ein sehr wasseraufwendiger Produktionsprozeß bei geringer Wertschöpfung je Einheit verbrauchtem Wasser. Damit hat die Bewässerungslandwirtschaft langfristig eine ungünstige Position gegenüber den anderen Wasserverbrauchsektoren.

5. Die Bewässerungslandwirtschaft ist weltweit der größte Nutzer der bis dato erschlossenen Wasservorkommen. Überall dort wo es nicht gelungen ist die Wasserentnahme an der Erneuerungsrate der Wasservorkommen auszurichten, ist es zu negativen Auswirkungen auf das schöpfbare Wasservorkommen gekommen.

6. Die Pflanzenproduktion generell, speziell jedoch insbesondere die Bewässerungslandwirtschaft weist eine sehr geringe Effizienz der Wassernutzung auf. Dies liegt insbesondere an den system- und managementbedingten Wasserverlusten. Effizienzsteigerungen und damit Einsparungen bei den unproduktiven Verlusten sind in einem begrenztem Umfang möglich. Angesichts des relativ zur Bewässerungslandwirtschaft geringen Wasserbedarfs der Kommunen, des Gewerbes und der Industrie können schon relativ geringe Einsparungen in der Bewässerungslandwirtschaft zu einer deutlichen Verbesserung der Wasserdargebotssituation der anderen Nutzungssektoren führen. Dies trifft allerdings nicht für Standorte zu, wo die Wassernutzung der Bewässerungslandwirtschaft im Verhältnis zu den anderen Nutzungssektoren

relativ gering ist. Dort wo Einsparungen zu erzielen sind, stellt sich die Frage, ob das eingesparte Wasser technisch den anderen oft weit entfernt liegenden Verbrauchssektoren zugeführt, damit nutzbar gemacht werden kann und ob es den qualitativen Anforderungen der anderen Sektoren entspricht.

7. Ein Verzicht auf die Bewässerungslandwirtschaft ist in der Regel aus Gründen der Ernährungssicherung nicht möglich. Ihr muß daher auch eine angemessene Nutzung der Wasserressourcen gewährt werden.

8. In der Diskussion um das Einsparungspotential der Bewässerungswirtschaft ist zu berücksichtigen, daß die Bewässerungslandwirte einer Reihe von Zwängen unterliegen, die einen sparsamen Umgang mit der Ressource Wasser erschweren. Auch gibt es in vielen Fällen dazu keine Anreize für die Bewässerungslandwirte.

9. Die nachhaltige Sicherung der Wasserversorgung aller Sektoren erfordert ein intersektorales Wassermanagement und u.a. ganz allgemein Verbesserungen in der Effizienz der Wassernutzung. Diese ist wirkungsvoll nur auf Wassereinzugsgebietsebene zu erzielen..

Literatur

GHANI, MdA; BHUIYAN, S.I. und R.W. Hill, 1989: Gravity irrigation management in Bangladesh.- Journal of Irrigation and Drainage Engineering 115 (4), 642 - 655.

GUERA, L.C.; BHUIYAN, S.I.; TUONG, T.P. und R. BARKER, 1998: Producing more rice with less water from irrigated systems.- SWIM Paper No. 5. International Water Management Institute, Colombo/Sri Lanka.

HELL, R., 1989: Die Bewässerungswirtschaft der Texas High Plains. Teil 1: Standortverhältnisse und historische Entwicklung.- Zeitschrift für Bewässerungslwirtschaft 24 (H. 2), 163 - 177.

ISRAELSEN, O.W.,1932: Irrigation Principles and Practices.- 1st Edition. John Wiley, New York.

KELLER, A.; KELLER, J. und D. SECKLER, 1996: Integrated Water Resource Systems: Theory and Policy Implications.- Research Report No. 3. International Irrigation Management Institute, Colombo/Sri Lanka.

KOWAL, J.M. und A.H. KASSAM, 1978: Agricultural Ecology of Savanna. A Study of West Africa.- Clarendon Press, Oxford.

LAL, R. und PIERCE, F.J. 1991: The vanishing resource.- In: Lal, R.; Pierce, F.J., 1991: Soil Management for Sustainability.- Soil and Water Conservation Society, Ankeny (USA).

LEHR, H.,1992: Konkurrenz um das Wasser im Ballungsgebiet Rhein-Main und die Auswirkungen auf die Beregnung.- Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 27, 158 - 167.

MOLDEN, D., 1997: Accounting for water use and productivity.- SWIM Paper No. 1. International Irrigation Management Institute, Colombo/Sri Lanka.

MOORE, M.R., 1991:The Bureau of Reclamation’s New Mandate for Irrigation Water Conservation: Purposes and Policy Alternatives.- Water Resources Research 27 No. 2), 145 - 155.

OWEIS, Th.; HACHUM, A. und KIJNE; J., 1999: Water Harvesting and Supplemental Irrigation for improved water use efficiency.- SWIM Paper No. 7. International Water Management Institute, Colombo/Sri Lanka.

ROTH, D., 1997: Standörtliche und wirtschaftliche Kriterien für den lohnenden Einsatz der Beregnung.- Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 38, 114 - 119.

SHARMA, B.R. und T. K. SARKAR, 1994: Efficient Water Management: A Key to Sustainable Food Production.- Indian Farming Vol. 44 (No. 7), 7 - 12.

WOLFF, P., 1994: Grundwassersituation in den Bewässerungsgebieten der Texas High Plains nach wie vor kritisch.- Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 29 (H. 1), 121 - 122.

WOLFF, P. und Th.-M. STEIN, 1999: Zur Diskussion gestellt: Mit weniger Wasser mehr Nahrungsmittel erzeugen? Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 34 (H. 1), 61 - 84.

WOLTERS, W., 1992: Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use.- Publication 51. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen/Niederlande

YUDELMANN, M., 1994: Demand and Supply of Foodstuffs up to 2050 with SPECIAL Reference to Irrigation.- IIMI Review Vol. 8 (No. 1), 4 - 14.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Peter Wolff
Heiligenstaedter Weg 5
D-37213 Witzenhausen
Germany

Dr.-Ing. Thomas-M. Stein
Nordbahnhofstraße 1a
D-37213 Witzenhausen
Germany