© Julian Xanke, 2016

Grenzüberschreitender Wassertransfer aus der Meerwasserentsalzung im Nahen Osten

Dieser Beitrag setzt sich mit der Deckung der prognostizierten Süßwasserdefizite in Jordanien und Palästina durch Meerwasserentsalzung am Mittelmeer und Roten Meer sowie Wassertransfer zu den regionalen Bedarfszentren auseinander. Vorgestellt werden alternative Wasserproduktions- und -transferstrategien, die nach einem innovativen methodischen Konzept entwickelt wurden. Es wird gezeigt, dass der sich anbahnenden regionalen Wasserkrise durch grenzüberschreitenden Transfer von entsalztem Meerwasser und Kombination mehrerer Wassertransfervorhaben Einhalt geboten werden kann.

Bernd Rusteberg, Philippe de Bourgoing und Jacob Bensabat

1 Motivation und Zielsetzung

Die Projektregion der SALAM-Initiative (Frieden-Initiative), die Jordanien, Israel und die palästinensischen Gebiete umfasst, ist durch semiaride bis aride Bedingungen charakterisiert und von akuter Wasserknappheit betroffen. Die natürlichen Süßwasserressourcen der Region sind größtenteils erschöpft. Wichtige regionale Grundwasserspeicher werden bereits seit Jahren übernutzt, was permanent fallende Grundwasserspiegel zur Folge hat. Aufgrund des raschen Bevölkerungswachstums, das durch die Flüchtlingsströme aus den angrenzenden Kriegsgebieten noch verstärkt wird, leiden viele Gebiete bereits unter akutem Wassermangel. Auch die Ökosysteme sind von der Wasserknappheit betroffen. Während der Untere Jordan kaum noch nennenswerte Abflüsse aufweist, sinkt der Wasserspiegel des Toten Meeres um etwa 1 m/a [1].

Die im Rahmen der SALAM-Initiative durchgeführten Arbeiten zeigen, dass sowohl Jordanien als auch Palästina auf eine ernste Wasserkrise zusteuern, sofern nicht zusätzliche Süßwasserressourcen bereitgestellt werden. Israel hingegen investiert

seit Jahren in den Ausbau der Meerwasserentsalzung (MWE) und wird auch zukünftig in der Lage sein, den steigenden Bedarf an Süßwasser zu decken. Kosteneffiziente und umsetzbare Lösungen werden dringend benötigt, um der sich anbahnenden regionalen Wasserkrise Einhalt zu gebieten. Die prognostizierten Süßwasserdefizite in Jordanien und Palästina können nur durch MWE in Verbindung mit Wassertransfervorhaben gedeckt werden [2]. Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung sowie des sensiblen politischen Kontexts wird ein transparenter konzeptioneller Ansatz benötigt, mit dem alternative Wasserproduktions- und -transferstrategien partizipativ und multilateral bestimmt sowie bewertet werden können. Der vorliegende Beitrag stellt den entwickelten Ansatz vor und zeigt dessen Anwendung auf die Projektregion.

2 Methodische Vorgehensweise

Die Aufgabenstellung ist dem Bereich der wasserwirtschaftlichen Planung zugeordnet. Unter alternativen Wasserproduktions- und -transferstrategien sind Ausbauvarianten der regionalen Wasserinfrastruktur zu verstehen, die sich insbesondere durch die Positionierung und Produktionskapazität der benötigten MWE-Anlagen sowie die Transferwege zu den Bedarfszentren voneinander unterscheiden. Zur Bestimmung und Bewertung von Lösungsalternativen für die wasserwirtschaftliche Planungsaufgabe wurde methodisch gemäß **Bild 1** verfahren, wobei sämtlichen Bearbeitungs- bzw. Planungsschritten ein partizipativer multilateraler Entscheidungsprozess zugrunde liegt.

(1) Aufteilung des Projektgebietes in Bedarfscluster

Um Informationen über die räumliche Verteilung der Süßwasserdefizite zu gewinnen, war die betroffene Region in Teilgebiete einzuteilen. Die Einteilung erfolgte in der Weise, dass für jedes Gebiet ein Anschlusspunkt für den Wassertransfer (existierender oder geplanter Wasserspeicher; Engl.: Connection Point (CP)) zur Verfügung steht, von dem aus das importierte Wasser im gesamten Teilgebiet verteilt werden kann. Berücksichtigt wurden dabei u. a. die Topografie sowie die bestehende Wasserinfrastruktur.

(2) Definition von Entwicklungs- und Klimaszenarien

Zur Prognose der Süßwasserdefizite wurden Entwicklungsszenarien definiert, die auf Annahmen sowohl zur Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft als auch der Wassernutzung

Kompakt

- Ein Konzept für die Entwicklung und Bewertung alternativer Wasserproduktion und -transferstrategien wird vorgestellt und im Nahen Osten angewendet.
- Die prognostizierten Süßwasserdefizite in Jordanien und Palästina können durch Meerwasserentsalzung und grenzüberschreitenden Wassertransfer kosteneffizient gedeckt werden.

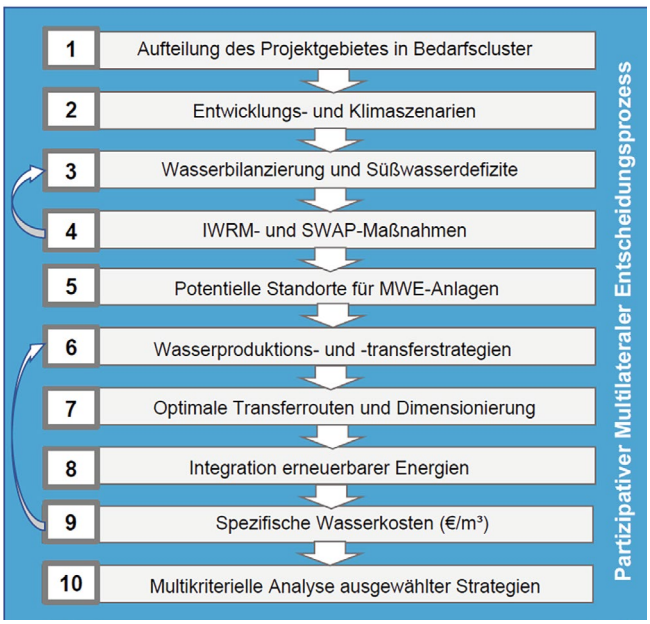

Bild 1: Ablaufdiagramm zur Entwicklung und Bewertung alternativer Wasserstrategien

beruhen, um den zukünftigen Wasserbedarf abschätzen zu können. Gleiches gilt für den zu erwartenden Einfluss des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit und -nutzung. Um eine möglichst realistische Prognose der Süßwasserdefizite zu gewährleisten, wurde zusammen mit den nationalen Entscheidungsträgern für Jordanien und Palästina jeweils ein Baseline-Szenario definiert, dem eine realistische Einschätzung der weiteren Entwicklung zugrunde liegt. Die Baseline-Szenarien (Business-As-Usual-Ansatz) gehen davon aus, dass im Planungszeitraum keine großskaligen Interventionen in die regionale Wasserinfrastruktur erfolgen und insbesondere keine Wassertransfervorhaben implementiert werden.

(3) Wasserbilanzierung und Süßwasserdefizite

Die Süßwasserdefizite im Planungszeitraum wurden mit Hilfe von Wasserbilanzrechnungen auf Jahresbasis ermittelt. Dazu war der prognostizierte Süßwasserbedarf für öffentliche Haushalte, Industrie und Viehzucht den Volumina gegenüberzustellen, die zukünftig für die Wasserversorgung bereitgestellt werden können. Um die künftige Wasserversorgung verlässlich prognostizieren zu können, sind die verfügbaren Wasserressourcen umfassend zu charakterisieren. Die Prognose orientiert sich am aktuellen sowie möglichen Nutzungsgrad des potenziellen Wasserdargebots sowie an den Grundsätzen nachhaltiger Wasserbewirtschaftung. Die Erhebung erfolgt auf Clusterebene, um Informationen über die räumliche Verteilung der Wasserdefizite im Zeitverlauf zu erhalten.

(4) Einfluss von IWRM- und SWAP-Maßnahmen

Weiterhin ist zu prüfen, inwieweit die prognostizierten Süßwasserdefizite durch IWRM- und SWAP-Maßnahmen (IWRM: Integrated Water Ressources Management; SWAP: Tauschgeschäft) reduziert werden können. Dazu zählen beispielsweise die Reduzierung der Süßwassernutzung in der Bewässerungslandwirt-

schaft bzw. Reallokation von Süßwasser sowie die Implementierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Nutzungseffizienz und Verminderung von Wasserverlusten. Im Fall grenzüberschreitender Wasserbewirtschaftung ist zu prüfen, inwieweit Teile des Süßwasserdefizits nicht durch bilaterale Wasser-SWAP-Abkommen gedeckt werden können. Durch solche Abkommen können infrastrukturelle Interventionen vermieden oder zumindest stark reduziert werden.

(5) Potenzielle Standorte für die Meerwasserentsalzung

Bei der Festlegung alternativer Standorte für den Bau der MWE-Anlagen ist sowohl die Implementierung neuer Anlagen als auch die Vergrößerung bereits bestehender Anlagen in Betracht zu ziehen. Im Fall von Küstenregionen mit erheblicher Besiedlungsdichte sollte auch der Bau von Offshore-Anlagen optional in Betracht gezogen werden.

(6) Wasserproduktions- und -transferstrategien

Zur Festlegung alternativer Wasserstrategien sind MWE-Standorte, Produktionskapazitäten der Anlagen und Bedarfszentren strategisch so zu kombinieren, dass die für den gewählten Planungshorizont prognostizierten Süßwasserdefizite sämtlicher Bedarfszentren gedeckt werden können. Zu beachten ist dabei, dass mit zunehmender Größe bzw. Kapazität der Wasserinfrastruktur prinzipiell von einer Verringerung der spezifischen Wasserkosten (€/m³) ausgegangen werden kann [3].

(7) Optimale Transferrouten und Dimensionierung der Wasserinfrastruktur

Gemäß der festgelegten Wasserproduktions- und -transferstrategien konnten optimale Routen für den Wassertransfer zwischen den MWE-Anlagen und den Anschlusspunkten (CP) der Bedarfszentren bestimmt und die Wasserinfrastruktur (Pipelines, Pumpstationen) gemäß der Wasserproduktion und -verteilung dimensioniert werden. Dabei kamen insbesondere infrastrukturelle, politische (Grenzverlauf), topografische und energetische Aspekte zum Tragen.

(8) Integration erneuerbarer Energien

Gerade in Regionen mit erheblichen Höhendifferenzen im Verlauf der Transferwege ist zu prüfen, ob erneuerbare Energie durch Wasserkraft gewonnen werden kann, um die Kosten zu reduzieren. In Anbetracht geplanter Abgaben auf CO_2-Emissionen und sinkender Kosten für die Gewinnung von Solar- und Windenergie ist prinzipiell zu untersuchen, ob erneuerbare Energien für die Wasserproduktion als auch den -transfer nutzbar gemacht werden können.

(9) Berechnung der spezifischen Wasserkosten

Die Kosteneffizienz alternativer Lösungen wird hier auf der Grundlage der spezifischen Wasserkosten beurteilt. Dabei handelt es sich um Einheitskosten für die Produktion und den Transfer von 1 m³ Süßwasser zu den regionalen Bedarfszentren. Dazu sind die über den Planungszeitraum hinweg auftretenden Kosten für die Implementierung, den Unterhalt sowie Betrieb der Wasserinfrastruktur zu erheben [3]. Im Fall grenzüberschreitender Vorhaben sollten die Kosten für jedes Bedarfscluster bzw. jeden Anschlusspunkt sowie auf nationaler Ebene bestimmt werden.

(10) Multikriterielle Analyse ausgewählter Wasserstrategien

Anhand einer Entscheidungstabelle können prioritäre Wasserstrategien ausgewählt und auf der Grundlage entscheidungsrelevanter ökonomischer, politischer, technischer, ökologischer sowie sozialer Kriterien bewertet werden. Mit Hilfe multikriterieller Verfahren können die alternativen Strategien gemäß aktueller Präferenzen der regionalen Entscheidungsträger geordnet werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Süßwasserdefizite in Jordanien und Palästina

(1) Aufteilung des Projektgebiets in Bedarfscluster

Um Informationen über die räumliche Verteilung des künftigen Süßwasserdefizits zu erhalten, wurde Jordanien in 11 Bedarfscluster und die palästinensischen Gebiete in 6 Bedarfscluster unterteilt (**Bild 2**).

(2) Entwicklungs- und Klimaszenarien

In Absprache mit den verantwortlichen Wasserbehörden Jordaniens und Palästinas wurde der Planungszeitraum auf 30 Jahre

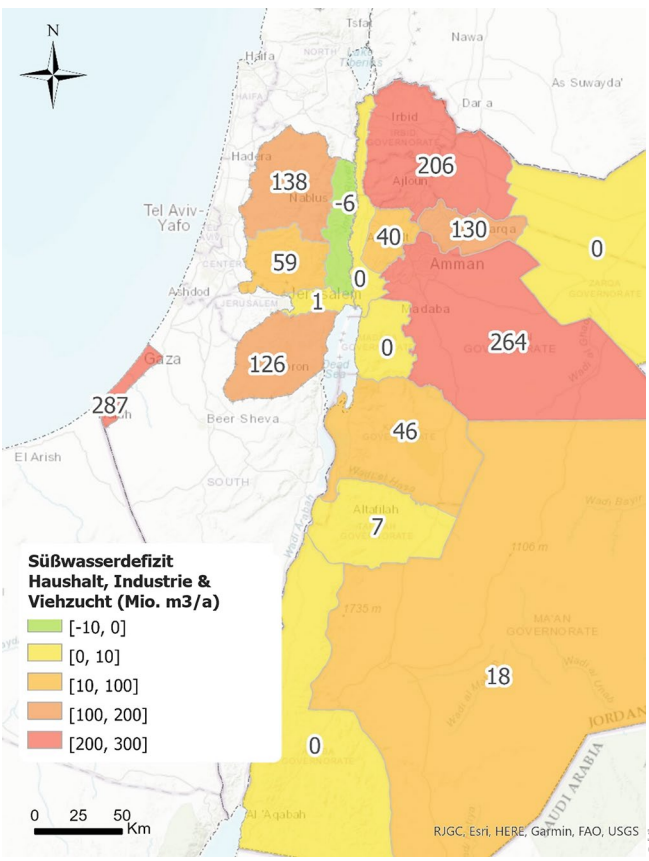

Bild 2: Süßwasserdefizite auf Clusterebene in Jordanien und Palästina (2050)

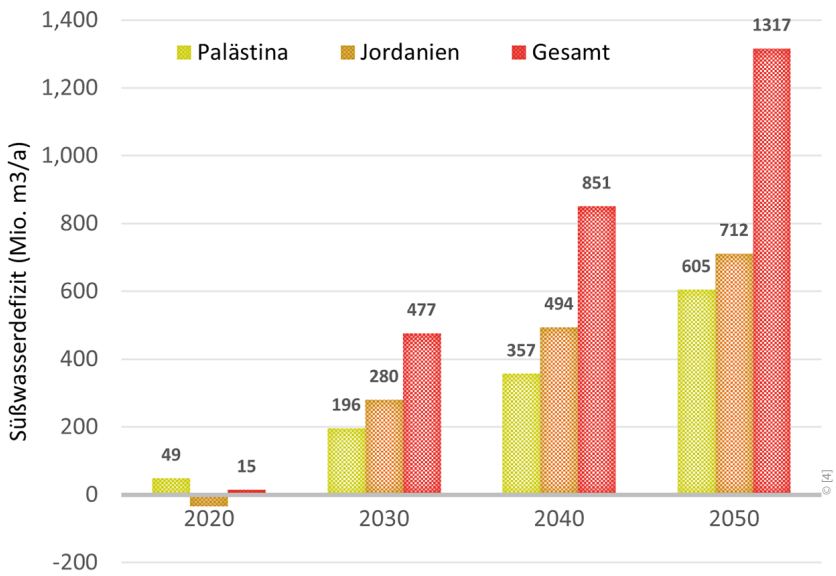

Bild 3: Prognostizierte Süßwasserdefizite in Jordanien und Palästina (2020-2050)

(bis 2050) festgelegt. Die der Szenarienberechnung zugrunde liegenden Annahmen wurden in [4] zusammengestellt. Die Baseline-Szenarien gehen von einer positiven Entwicklung des Friedensprozesses in der Region aus.

(3) Wasserbilanzierung und Süßwasserdefizite

Die anhand der Baseline-Szenarien prognostizierte Entwicklung der Süßwasserdefizite in Palästina und Jordanien im Zeitraum 2020 bis 2050 wird in **Bild 3** dargestellt. Berücksichtigt wurden ausschließlich die öffentlichen Haushalte, Industrie und Viehzucht, da die Nutzung kostspieliger Wasserimporte aus der MWE für die Bewässerung aus wirtschaftlichen Gründen zunächst nicht in Betracht gezogen werden kann. Für beide Länder ist in den kommenden drei Jahrzehnten ein rapider Anstieg des Süßwasserdefizits zu erwarten, das bis 2050 etwa 1,3 Mrd. m^3/a betragen wird, sofern keine zusätzlichen Süßwasserressourcen bereitgestellt werden können. Auf Jordanien entfallen 712 Mio. m^3/a und auf die palästinensischen Gebiete 605 Mio. m^3/a, davon allein 287 Mio. m^3/a im Gazastreifen. **Bild 2** zeigt die räumliche Verteilung des prognostizierten Süßwasserdefizits (positive Werte) in Palästina und Jordanien im Jahr 2050. Die größten Süßwasserdefizite sind für Nord- und Zentraljordanien zu erwarten. In Palästina wird der Gazastreifen das größte Süßwasserdefizit aufweisen.

(4) IWRM- und SWAP-Maßnahmen

Sowohl auf jordanischer als auch palästinensischer Seite wurden Untersuchungen zur Reduktion der Süßwassernutzung in der Bewässerung durch Wiederverwendung von Abwasser durchgeführt und bei der Wasserbilanzierung berücksichtigt. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass das prognostizierte Süßwasserdefizit in 2050 durch Reallokation von Süßwasser noch weiter reduziert werden kann. Allerdings zeigt sich die Umsetzung weitergehender Maßnahmen u. a. aus ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Gründen als problematisch und ist, ebenso wie die Implementierung von SWAP-Maßnahmen, Gegenstand weitergehender Untersuchungen.

3.2 Alternative Wasserstrategien

(5) Potenzielle Standorte für die Meerwasserentsalzung

Die potenziellen MWE-Standorte am Mittelmeer sowie Roten Meer (Engl.: Production Points (PP); PP-1 bis PP-6) sind in den **Bildern 4** und **5** dargestellt. PP-5 (Ashdod) und PP-6 (Hadera) beziehen sich auf die Erweiterung bestehender MWE-Anlagen, während sich die übrigen Standorte auf den Bau von neuen

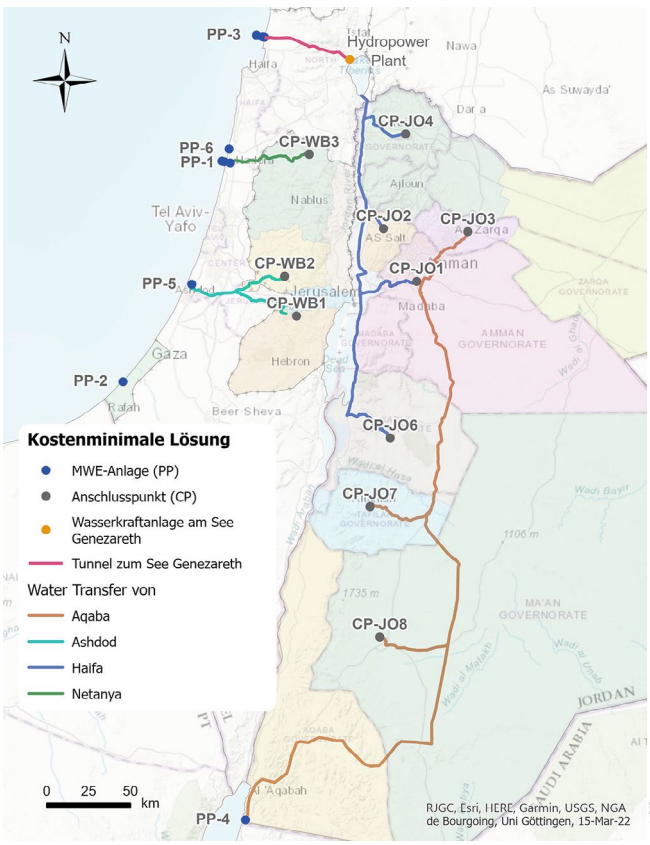

Bild 4: Kostenminimale Wasserproduktions- und -transferoption - Planungshorizont 2050

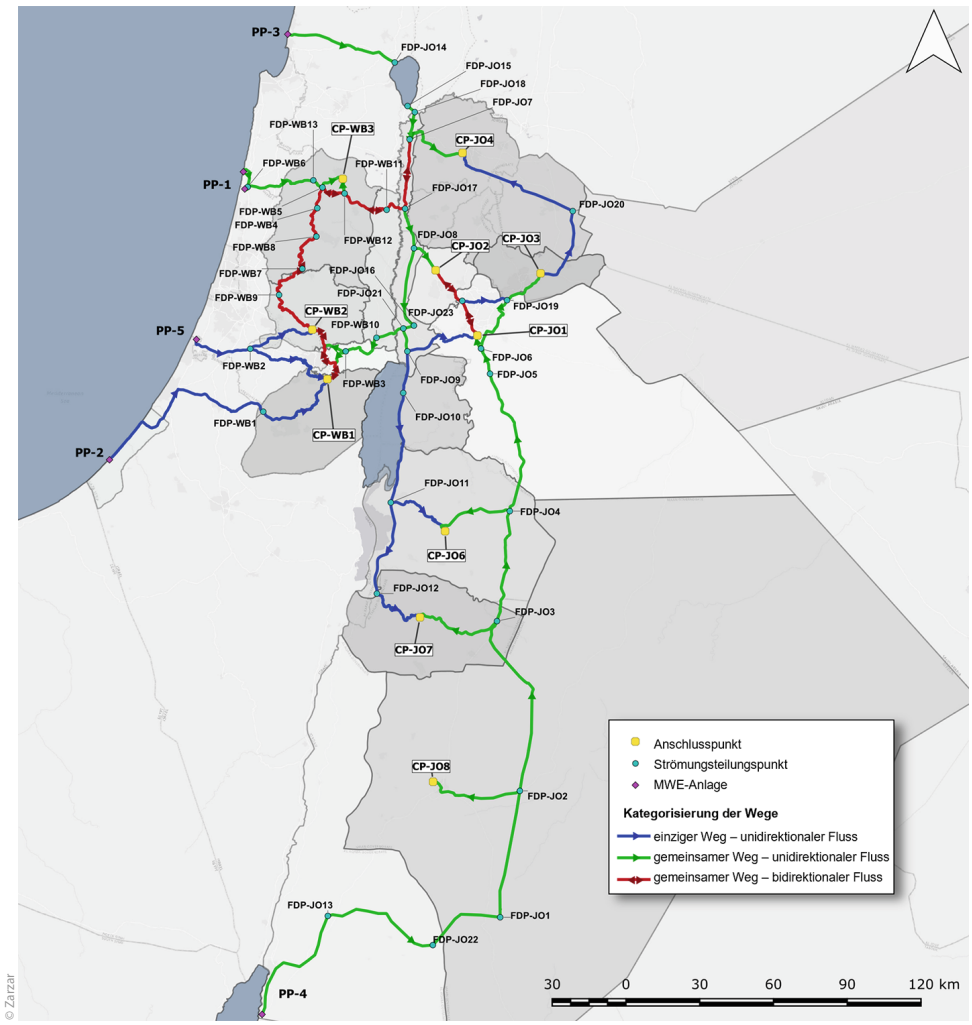

Bild 5: Regionales Wasserproduktions- und -allokationsnetzwerk als Überlagerung der alternativen Wassertransfervorhaben

Anlagen beziehen. Netanya (PP-1) und Hadera bieten sich aufgrund ihrer Nähe zum Westjordanland bzw. zum Anschlusspunkt CP-WP3 für den Ausbau der MWE an, auch da Landnutzungsrechte die Implementierung einer Transferpipeline auf israelischem Gebiet erheblich erschweren können. Eine Erweiterung der MWE-Anlage bei Ashdod wird aufgrund der Nähe zu den Anschlusspunkten CP-WB2 und CP-WB1 in Betracht gezogen. Von dort aus könnte der gesamte südliche und zentrale Bereich der Westbank mit Süßwasser versorgt werden. Unabhängig von Überlegungen zum Wassertransfer wird der Gazastreifen auf die MWE angewiesen sein, um den Süßwasserbedarf zu decken (PP-2). Alternativ wird auch ein Wassertransfer vom Gazastreifen in die Westbank berücksichtigt, da Palästina dies mit einen höheren Wasserunabhängigkeit von Israel verbindet. Shavei Zion, nördlich der Bucht von Haifa, wurde aufgrund der Nähe zum See Genezareth als weiterer potenzieller Standort für die Implementierung einer großskaligen MWE-Anlage berücksichtigt (PP-3). Letztlich steht Aqaba (PP-4) als potenzieller Standort für die MWE zur Verfügung, da Jordanien nur dort über einen Anschluss zum Meer verfügt. Janowitz et al. [5], [6] liefern nähere Informationen zur Implementierung von MWE-Anlagen an der israelischen Mittelmeerküste, auch die Planung innovativer Offshore-Anlagen betreffend.

(6) Wasserproduktions- und -transferstrategien

Bild 6 stellt 12 alternative Strategien zusammen, wobei zwischen nationalen und regionalen Lösungen unterschieden wird. Weitere regionale Lösungen ergeben sich durch Kombination nationaler Lösungen. Die strategische Verknüpfung zwischen Wasserproduktionspunkten und Bedarfszentren wurde hier vereinfacht dargestellt. Die Pfeile stellen den Wassertransfer dar. Alle Angaben beziehen sich auf den Planungshorizont 2050. Sämtliche Strategien ermöglichen die Deckung der prognostizierten Süßwasserdefizite. Im Vordergrund steht die Implementierung großskaliger MWE-Anlagen an nur wenigen Standpunkten. Diese sind im Vergleich zu kleineren Anlagen mit geringeren Wasserkosten verbunden. Die Nummerierung weist auf den Standort (PP) der MWE-Anlage hin (**Bilder 4** und **5**).

Die regionalen Lösungen 1b, 3c und 3d berücksichtigen lediglich eine MWE-Anlage am Mittelmeer sowie eine weitere Anlage bei Aqaba zur Deckung der Süßwasserdefizite beider Länder. Den aktuellen Plänen der jordanischen Regierung entsprechend wurde für die MWE-Anlage bei Aqaba eine Produktionskapazität von 300 Mio. m^3/a angesetzt. Das verbleibende Süßwasserdefizit in Nord- und Zentraljordanien in Höhe von 412 Mio. m^3/a kann dann, im Fall einer regionalen grenzüberschreitenden Strategie, entweder durch eine großskalige MWE-Anlage bei

Netanya (1b) oder eine Anlage bei Haifa (3c und 3d) gedeckt werden. Die Anlagen am Mittelmeer wären bis zum Jahr 2050 auf eine Produktionskapazität von jeweils 735 Mio. m³/a auszubauen, um auch die Süßwasserdefizite der Westbank decken zu können. Die Optionen 3a bis 3e basieren auf dem Transfer des entsalzten Wassers von Shavei Zion (Haifa) aus über einen Tunnel unter Ausnutzung der Schwerkraft zum See Genezareth, der als regionaler Zwischenspeicher dient und entsprechend zu bewirtschaften ist [7]. Von dort aus wird das Wasser zu den regionalen Bedarfszentren weitergeleitet. Die Süßwasserdefizite des Gaza-Streifens (287 Mio. m³/a) sind, unabhängig von der gewählten Strategie, durch eine lokale MWE-Anlage abzudecken und damit nicht Teil der Analysen zum Wassertransfer.

Hinsichtlich des Wassertransfers zur Westbank wurden gemäß **Bild 6** die folgenden Strategien definiert: Die Deckung des gesamten Süßwasserdefizits der Westbank könnte prinzipiell von einer einzigen MWE-Anlage aus bei Netanya (1a), Gaza (2) oder Haifa (3a,b) erfolgen. Option 2b berücksichtigt sowohl einen Wassertransfer von Gaza in den Süden der Westbank (185 Mio. m³/a) als auch von Netanya in den nördlichen Bereich (138 Mio. m³/a). Ein kostenminimaler Wassertransfer in die Westbank ist alternativ dann gewährleistet, wenn die Süßwasserdefizite im Norden der Westbank von Netanya aus und im südlichen Bereich der Westbank von Ashdod aus gedeckt werden [8].

Die Wasserstrategie 3e nutzt die MWE-Anlage bei Haifa ausschließlich zur Deckung der Süßwasserdefizite in Nord- und Zentraljordanien (412 Mio. m³/a), wobei zusätzlich 300 Mio. m³/a Süßwasser von Aqaba bereitgestellt werden. Die Wasserstrategie 4 geht davon aus, dass das gesamte Süßwasserdefizit Jordaniens von nur einer Anlage bei Aqaba gedeckt wird. Für Jordanien kann eine Kostenreduktion durch Verringerung der Produktionskapazität der MWE-Anlage bei Aqaba von 300 Mio. m³/a auf 156 Mio. m³/a erreicht werden, sofern die verbleibenden Wasserdefizite in Höhe von 556 Mio. m³/a von Haifa aus gedeckt werden [8]. Die Transferwege der kostenminimalen Lösungen sind in **Bild 4** dargestellt.

(7) Optimale Transferrouten und Dimensionierung der Wasserinfrastruktur

Die Festlegung der optimalen Transferrouten erfolgt gemäß der konzeptionellen strategischen Planung. Da die Transferkosten wesentlich vom Energiebedarf abhängen, der zur Überwindung der signifikanten Höhenunterschiede von teilweise über 1 000 m in der Projektregion benötigt wird, ist die Energieeffizienz ein wichtiges Kriterium bei der optimalen Auslegung der Transferrouten [3], [9]. Die Dimensionierung der Rohrleitungen und Pumpsysteme erfolgt auf der Grundlage der Produktionskapazitäten der MWE-Anlagen und Wasserflüsse im Transfernetzwerk [9]. Die Überlagerung sämtlicher Wasserproduktions- und -transferoptionen ergibt das in **Bild 5** dargestellte regionale Wasserallokationsnetzwerk. Die Fließrichtung innerhalb des Netzwerks ergibt sich aus der Wahl der Standorte für die MWE.

(8) Integration erneuerbarer Energien

Durch den Bau eines Wasserkraftwerks am See Genezareth und Stromerzeugung aus Wasserkraft über eine Fallhöhendifferenz von etwa 200 m können die Wasserkosten der Haifa-Optionen 3a bis 3e reduziert werden [8], [3].

(9) Berechnung der Wasserkosten

Bild 7 stellt die spezifischen Wasserkosten (€/m³) der Wasserproduktions- und -transferoptionen für die Westbank und Jordanien einander gegenüber, wobei sowohl regionale als auch rein nationale Strategien berücksichtigt werden. Der Netto-Nutzen der Wasserkraftanlage am See Genezareth beträgt etwa 0,04 €/m³ und ist hier berücksichtigt [10], [3]. Die Wasserkosten für MWE und Transfer in die Westbank variieren zwischen 0,92 und 1,42 €/m³. Ein Wassertransfer von Haifa zur Westbank zeigt sich prinzipiell deutlich weniger kosteneffizient als Wassertransfervorhaben mit MWE bei Netanya und Ashdod. Ein Wassertransfer von Gaza aus sollte aus wirtschaftlichen Gründen nur dann in Betracht gezogen werden, sofern der Nordteil der Westbank von Netanya aus mit Süßwasser ver-

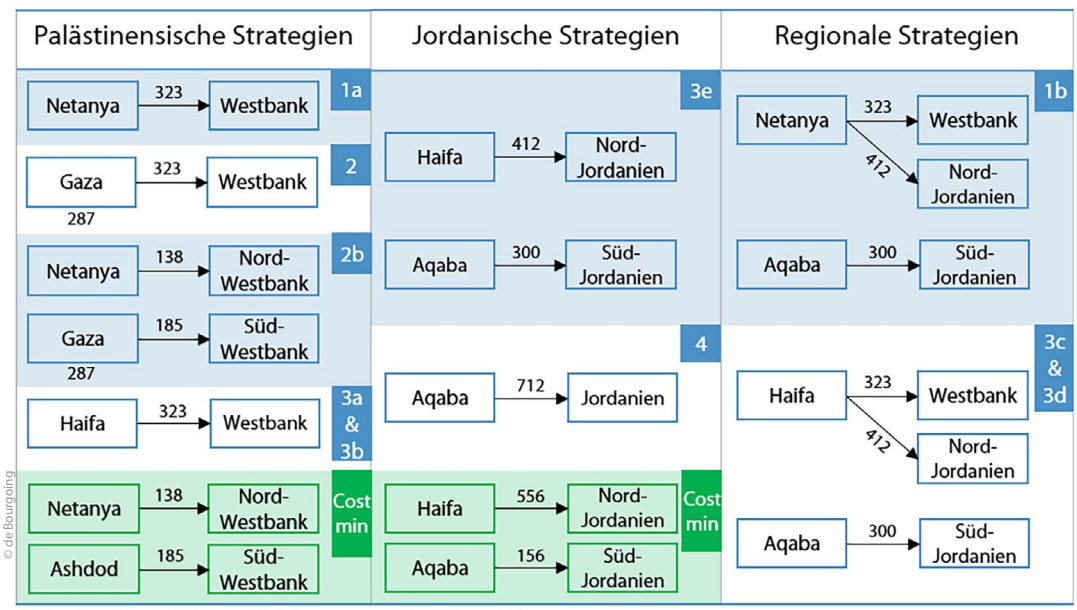

Bild 6: Wasserproduktions- und transferstrategien - Planungshorizont 2050

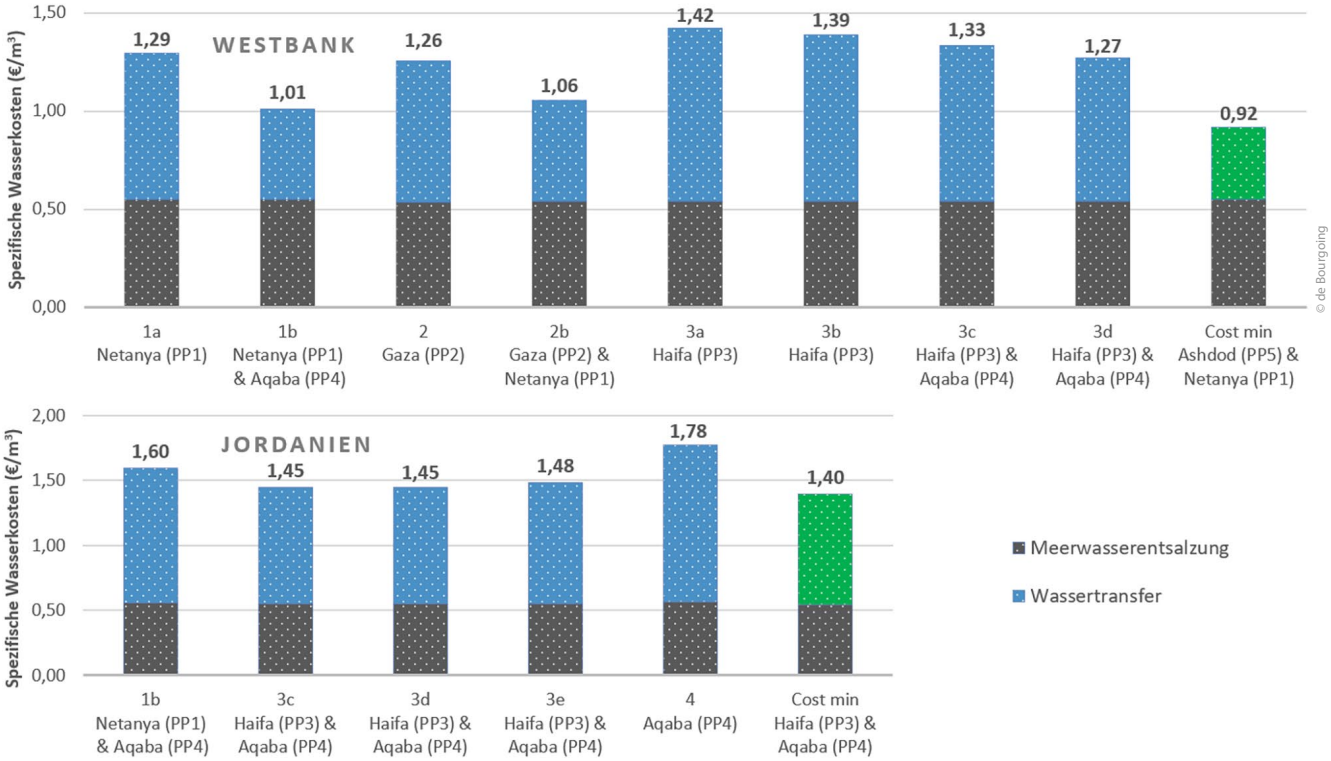

Bild 7: Wasserkosten alternativer Wasserproduktions- und -transferstrategien

sorgt wird. Kosteneffiziente Lösungen auf jordanischer Seite setzen voraus, dass etwa 60 % des Süßwasserdefizits in Zentral- und Nordjordanien im Jahr 2050 durch eine großskalige MWE-Anlage bei Haifa gedeckt werden. Ein Wassertransfer von Netanya über den Nordteil der Westbank hinweg scheint weniger kosteneffizient. Eine Deckung sämtlicher Süßwasserdefizite Jordaniens allein über den Ausbau der MWE bei Aqaba zeigt sich in wirtschaftlicher Hinsicht als ungünstigste Option. In Bezug auf die Mehrkosten bei alternativer Implementierung von Offshore-MWE-Anlagen an der israelischen Mittelmeerküste wird auf [5] verwiesen.

(10) Multikriterielle Analyse ausgewählter Wasserstrategien

Neben den Wasserkosten als ökonomisches Entscheidungskriterium zur Beurteilung der Kosteneffizienz alternativer Lösungen fließen auch weitere ökonomische, ökologische, technische, soziale sowie politische Kriterien in den partizipativen multilateralen Entscheidungsprozess mit ein. Ausgewählte Strategien werden derzeit in Zusammenarbeit mit den nationalen Entscheidungsträgern mit Hilfe multikriterieller Verfahren bewertet und miteinander verglichen.

4 Fazit und Ausblick

Die Wasserbilanzrechnungen machen deutlich, dass sich in Jordanien und Palästina eine ernste Wasserkrise anbahnt, die nur durch die Bereitstellung zusätzlicher Süßwasserressourcen vermieden werden kann. Das für den Planungshorizont 2050 prognostizierte Süßwasserdefizit beider Länder beträgt etwa 1,3 Mrd. m³ pro Jahr. Diese Volumina können ausschließlich durch die MWE produziert werden.

Im Rahmen der SALAM-Initiative wurden auf der Grundlage eines innovativen methodischen Ansatzes 12 alternative Wassertransferstrategien entwickelt und in Bezug auf ihre Kosteneffizienz bewertet. Berücksichtigt wurden insgesamt sechs potenzielle Standorte für die Implementierung von MWE-Anlagen am Mittelmeer und Roten Meer, wobei kosteneffiziente Strategien auf einer Kombination mehrerer Wassertransfervorhaben basieren. Eine für Jordanien wirtschaftlich besonders attraktive Option besteht in der Implementierung einer großskaligen MWE-Anlage bei Shavei-Zion, nördlich von der Bucht von Haifa, dem Transfer des entsalzten Wassers über einen Tunnel zum See Genezareth, dem Bau einer Wasserkraftanlage am See zur Gewinnung erneuerbarer Energie sowie der Weiterleitung des Wassers über das Untere Jordantal zu den Bedarfszentren in Zentral- und Nordjordanien. Kosteneffiziente Strategien zur Lösung des Wasserdefizitproblems in Jordanien ergeben sich durch Kombination dieser Option mit einem Wassertransfer aus einer MWE-Anlage bei Aqaba.

Damit stehen nun erstmalig umsetzbare und wirtschaftlich tragbare grenzüberschreitende Wassertransferlösungen bereit, mit denen eine Ausweitung der sich anbahnenden Wasserkrise im Nahen Osten vermieden werden kann. Die Süßwasserdefizite im Gaza-Streifen sind durch eine lokale MWE-Anlage abzudecken.

Die optimale Bewirtschaftung alternativer Wassertransfersysteme im Verbund mit den regionalen Oberflächen-, Grund- und Abwasserressourcen, auch zur Rehabilitierung der wichti-

gen Ökosysteme, und zwar unter bestmöglicher Ausnutzung erneuerbarer Energien, ist Gegenstand weitergehender Untersuchungen.

Dank

Die vorliegende Forschung ist Teil der SALAM-Initiative, ein Forschungsverbundvorhaben, in dem 20 Partnerinstitutionen aus Palästina, Jordanien, Israel und Deutschland gemeinsam an Strategien zur Lösung des Wasserdefizit-Problems im Nahen Osten arbeiten (https://salam2.uni-goettingen.de).

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WM1533 gefördert, wofür an dieser Stelle ausdrücklich gedankt sei. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Des Weiteren danken wir den nationalen und internationalen Projektpartnern sowie der Projektkoordination für die gute und konstruktive Zusammenarbeit.

Autoren

Dr.-Ing. Bernd Rusteberg
Rusteberg Water Consulting - RWC UG
Himmelsbreite 49
37085 Göttingen
brusteberg@rustebergwaterconsulting.com

Philippe de Bourgoing, M. Sc.
Georg-August-Universität Göttingen
Goldschmidtstr.3
37077 Göttingen
philippe.debourgoing@uni-goettingen.de

Dr. Jacob Bensabat
Environmental & Water Resources Engineering – EWRE Ltd.
Shaar Halevanon 3
Haifa 3445402, Israel
jbensabat@ewre.com

Literatur

[1] ISRAMAR - Israel Oceanographic and Limnological Research, Israel Marine Data Center (Hrsg.): Webpage (https://isramar.ocean.org.il, Abruf 17.03.2022).
[2] Rusteberg, B.; Bensabat J.; Salman A. et al.: The SALAM Initiative: Concepts and approaches for the resolution of the water deficit problem in the Middle East at regional scale. In: Lange, T.; Rusteberg, B.; Sauter, M. (Hrsg.): SMART: Sustainable Management of Available Water Resources with Innovative Technologies. In: Key products - Policy briefs (2019), S. 74-76.
[3] Schär, S.; Geldermann, J.: Techno-ökonomische Analyse integrierter Wasserinfrastrukturprojekte. In: WasserWirtschaft 112 (2022), Heft 7-8, S. 39-46.
[4] De Bourgoing, P.; Al-Karablieh, E.; Sadah, M.-A. et al.: Future freshwater deficits in Palestine and Jordan. In: de Bourgoing, P.; Nussbaum, P.; Rusteberg, B.; Sauter, M. (Hrsg.): The Salam Initiative: Transboundary strategies for the resolution of the water deficit problem in the Middle East, Key products - Policy briefs (2022).
[5] Janowitz, D; Yüce, S.: Innovative Konzepte zur großskaligen Meerwasserentsalzung im Nahen Osten. In: WasserWirtschaft 112 (2022), Heft 7-8, S. 18-24.
[6] Janowitz, D.; Groche, S.; Yüce, S.; Melin, T.;Wintgens, T: Can Large-Scale Offshore Membrane Desalination Cost-Effectively and Ecologically Address Water Scarcity in the Middle East? In: Membranes (2022), 12/3 (doi.org/10.3390/membranes12030323).
[7] Klein, M.; Theobald, S.: Modellbasierte prädiktive Regelung des See Genezareth zur verbesserten Wasserversorgung des Unteren Jordantals. In: WasserWirtschaft 112 (2022), Heft 7-8, S. 47-54.
[8] Bensabat, J.; Rusteberg, B.; de Bourgoing, P.: Regional macro-model for transboundary water resources planning. In: de Bourgoing, P.; Nussbaum, P.; Rusteberg, B.; Sauter, M. (Hrsg.) The Salam Initiative: Transboundary strategies for the resolution of the water deficit problem in the Middle East, Key products - Policy briefs (2022).
[9] Scheday, M.; Zarzar, G.: Evaluierung von Transfersystemen zur Wasserversorgung von Jordanien und Palästina. In: WasserWirtschaft 112 (2022), Heft 7-8, S. 25-30.
[10] Klein, M.; Theobald, S.: Wasserkraftnutzung am See Genezareth im Zusammenspiel mit Meerwasserentsalzung und Solarenergie. In: WasserWirtschaft 112 (2022), Heft 7-8, S. 31-38.

Bernd Rusteberg, Philippe de Bourgoing and Jacob Bensabat

Transboundary water transfer from seawater desalination in the Middle East

The Middle East, including Jordan, Israel and the Palestinian Territories, is characterized by semi-arid to arid conditions and suffers from acute water scarcity. Economically and technically feasible solutions are urgently required to tackle the freshwater deficit problem of the region. The expected enormous freshwater deficits in Jordan and Palestine can only be met by seawater desalination coupled with water transfer to the demand areas. This paper presents a conceptual approach for the development of alternative water strategies based on seawater desalination and water transfer to the demand areas and applies it to the region. It is shown that the emerging regional water crisis can be stopped by combining several transboundary water transfer projects with seawater desalination at the Mediterranean and the Red Sea.

Springer Professional

Meerwasserentsalzung

Wilhelm, S.: Meerwasserentsalzungsanlagen. In: Wasseraufbereitung. Berlin Heidelberg: Springer, 2008. www.springerprofessional.de/link/2728934

Walter, D.; Trautwein, K. et al.: Gerechte Verteilung limitierter Wasserressourcen in Entwicklungs- und Schwellenländern. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 10/2020. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020. www.springerprofessional.de/link/18450624