



# ECKPUNKTEPAPIER

**Entscheidungsunterstützung im Kontext von IWRM**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



**FONA**  
Nachhaltiges  
Wassermanagement  
BMBF

# ECKPUNKTEPAPIER

## Entscheidungsunterstützung im Kontext von IWRM

**Stefan Kaden**, DHI-WASY GmbH, Berlin

**Bernd Klauer**, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Ökonomie, Leipzig

**Bernd Rusteberg**, Rusteberg Consulting Services for Water and Environment, RCS

**Christian Stärz**, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Aquatische Ökosystemanalyse und Management, Magdeburg

## Vorwort\*

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert im Rahmen der Fördermaßnahme „Integriertes Wasserressourcen-Management“ im Zeitraum von 2006 bis 2015 zahlreiche Forschungsprojekte zum Integrierten Wasserressourcen-Management (IWRM) mit Partnern aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft. Das wissenschaftliche Begleitprojekt „Vernetzung der BMBF-Förderaktivität Integriertes Wasserressourcen-Management“ unterstützt dabei den inhaltlichen Dialog zwischen allen Akteuren aus Wissenschaft, Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft, um Synergieeffekte aus den unterschiedlichen Aktivitäten zu erzielen. Wichtige Synergien ergeben sich zum Beispiel aus den Ergebnissen der Förderinitiativen „Globaler Wandel des Wasserkreislaufes“ (GLOWA) und „Forschung für die nachhaltige Entwicklung der Megastädte von morgen“. Ein erklärtes Ziel des Vernetzungsprojektes ist es, den inhaltlichen Dialog zu Querschnittsthemen zu initiieren, zu begleiten und zusammenfassend aufzubereiten. Diese Aufbereitung erfolgt unter anderem in Form von Eckpunktepapieren, welches die gesammelten Problemstellungen, Lösungsvorschläge, lessons learnt und Ergebnisse bündelt und Entscheidungsträgern und Forschungsprojekten zugänglich macht.

Ein solches Querschnittsthema ist **Entscheidungsunterstützung im IWRM**. Wenngleich die Frage der Entscheidungsunterstützung nicht immer expliziter Forschungsgegenstand in allen IWRM-bezogenen Forschungsprojekten ist, so ist dieses Thema zentral, wenn es um die Umsetzung von IWRM-Konzepten in die Praxis geht. Dieses Eckpunktepapier dient der Aufbereitung dieser Thematik. Es führt die Ergebnisse aus IWRM Querschnittsveranstaltungen zusammen, die im Rahmen von Workshops und Arbeitsgruppen in den Jahren 2009 bis 2012 erarbeitet wurden.

\* IWRM Vernetzungsprojekt: Christian Stärz, Ralf Ibisch und Sabrina Kirschke (UFZ)

## Inhaltsverzeichnis

1. <b>Einleitung</b> .....	1
2. <b>Der Entscheidungsprozess im IWRM</b> .....	2
3. <b>Entscheidungsunterstützungssysteme im IWRM</b> .....	3
3.1. Komponenten eines komplexen, integrativen EUS .....	4
3.2. Informationssysteme .....	5
3.3. Wissensplattformen .....	5
3.4. Entscheidungswerkzeuge .....	5
3.5. Mathematische Modelle .....	6
4. <b>Umsetzung von Entscheidungsunterstützung in der Förderaktivität IWRM</b> .....	7
4.1. Allgemeine Aspekte .....	7
4.2. Entscheidungsunterstützungssysteme .....	8
4.3. Kernfunktionen der Entscheidungsunterstützung .....	9
5. <b>Fallstudien</b> .....	9
A. IWRM-China Shandong .....	10
B. IWRM-Namibia CUVEWATERS .....	11
C. IWRM-Nahost SMART .....	13
6. <b>Schlussfolgerungen</b> .....	15
7. <b>Literatur</b> .....	16

## 1. Einleitung

Die integrierte Wasserbewirtschaftung ist aufgrund der mit ihr verknüpften Zielsetzungen, der räumlich und zeitlich variierenden Randbedingungen sowie des oftmals großen Konfliktpotentials eine hochkomplexe Aufgabe. Entscheidungen im Bereich des IWRM beziehen sich auf Handlungsmöglichkeiten (Entscheidungsalternativen) der Entscheidungsträger, insbesondere die nachhaltige Entwicklung der Wasserressourcen betreffend. Prinzipiell kann zwischen Entscheidungsalternativen hinsichtlich der Implementierung von Wasserinfrastruktur wie Kläranlagen, Brunnensysteme, Kläranlagen, Rohrnetze, Bewässerungsanlagen oder auch Wasserentsalzungsanlagen einerseits sowie andererseits Entscheidungsalternativen, die den Betrieb bzw. die Regulierung von land- und wasserwirtschaftlicher Systeme betreffen, differenziert werden. Letztere Systeme beziehen sich auf eine integrative Bewirtschaftung von Land- und Wasserressourcen, wobei Aspekte der räumlich-zeitlichen Anpassung des Wasserdargebots an den Wasserbedarf, wie z. B. die Zwischenspeicherung und Verteilung des Wassers, im Vordergrund stehen. Grundsätzlich sind sowohl soziale, ökologische als auch ökonomische Aspekte sowie gesetzliche Rahmenbedingungen mit in die Beurteilung der Entscheidungsalternativen einzubeziehen. Im Rahmen des IWRM werden dabei Wassereinzugsgebiete als Planungs- und Bewirtschaftungseinheit verwendet. Die Entscheidungsalternativen sind über die oben dargestellten IWRM-Zielsetzungen eng miteinander verknüpft. Im Bereich der wasserwirtschaftlichen Planung ergeben sich Entscheidungen oftmals als Kombination verschiedener Maßnahmen. Diese Maßnahmenkombinationen werden als (wasserwirtschaftliche) Strategien bezeichnet (UNESCO, 2000).

Zahlreiche Aspekte können die Entscheidungsfindung im Bereich IWRM erschweren. Dazu zählen nach Hättenschwiler (1999) und Ganoulis (2005) u. a. ein Mangel an verfügbarer Information, die mangelnde Kenntnis des Entscheidungsumfeldes, die multi- und interdisziplinärheit der Probleme, die Komplexität des wasserwirtschaftlichen Systems und seiner Interrelationen, die Involvierung zahlreicher Entscheidungsträger mit unterschiedlichen Interessen und Zielsetzungen, ein Mangel an Entscheidungsalternativen oder auch zu viele Handlungsoptionen, unklare Präferenzen sowie ein Misstrauen gegenüber einer strukturierten, insbesondere computerbasierten Entscheidungsunterstützung. Hieraus ergeben sich Unsicherheiten in der Entscheidungsfindung, die insbesondere daraus resultieren, dass der Entscheidungsträger (vgl. Sigel et al. 2010):

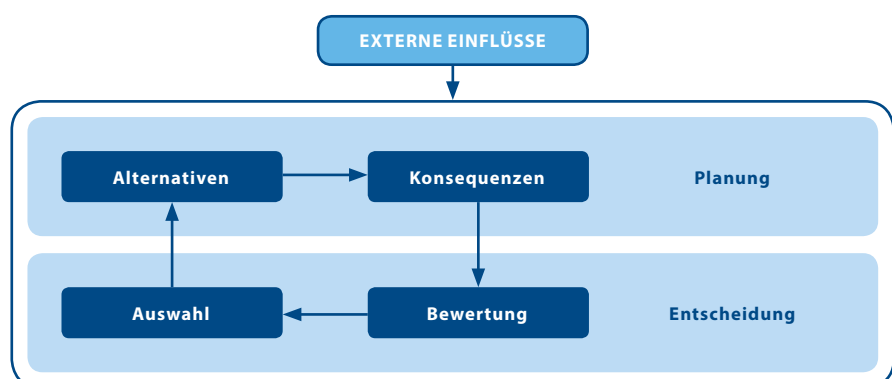
- nicht alle Handlungsmöglichkeiten (Entscheidungsalternativen) kennt,
- nicht die Konsequenzen kennt, die seine Handlungsmöglichkeiten nach sich ziehen,
- nicht weiß, wie er die Konsequenzen einschätzen soll und
- unsicher über die normativen Maßstäbe ist, mit denen er die verschiedenen Handlungsfolgen bewerten und gegeneinander abwägen soll, um zu einer Entscheidung zu gelangen.

## 2. Der Entscheidungsprozess im IWRM

Zur Strukturierung von Entscheidungsprozessen wird häufig auf das in Abbildung 1 dargestellte Grundmodell zurückgegriffen. Es unterscheidet die vom Entscheidungsträger kontrollierbare Umgebung von der nicht beeinflussbaren Außenwelt, von der aus „Externe Einflüsse“ auf das Entscheidungsproblem wirken können. Langfristige Klimaveränderungen sowie die regionale sozioökonomische Entwicklung sind Beispiele für externe Einflüsse, auf die der Entscheidungsträger keinen Einfluss hat, die aber einen signifikanten Einfluss auf die Wasserressourcen des Einzugsgebietes haben können und damit zu weiteren Unsicherheiten in der Entscheidungsfindung führen. Diese Unsicherheiten können z. B. durch unterschiedliche Entwicklungsszenarien berücksichtigt werden.

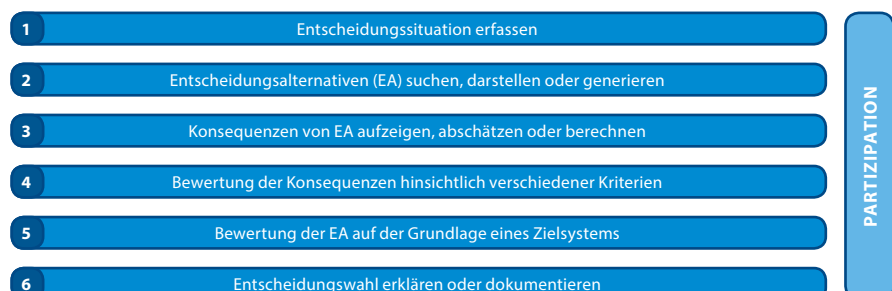
In Bezug auf die durch den Entscheidungsträger kontrollierbare Umgebung, den Prozess der Entscheidungsfindung betreffend, wird prinzipiell zwischen Planung und Entscheidung unterschieden (Abbildung 1). Dabei sind zunächst Entscheidungsalternativen, z. B. als Kombination wasserwirtschaftlicher Maßnahmen, zu erarbeiten und die möglichen Konsequenzen ihrer Implementierung zu ermitteln. Diese Aufgabe des IWRM ist sehr aufwendig und beinhaltet sowohl die wasserwirtschaftliche Planung als auch die effiziente Bewirtschaftung des wasserwirtschaftlichen Systems bzw. des Flusseinzugsgebietes. Die Entscheidung umfasst eine vergleichende Bewertung der Alternativen sowie die eigentliche Auswahl einer Alternative. Im Rahmen der Beurteilung der Konsequenzen spielen die Präferenzen der Entscheidungsträger eine signifikante Rolle.

**ABBILDUNG 1**  
Grundmodell der  
Entscheidungstheorie  
(Keeney & Raiffa, 1976)



Nach Hättenschwiler und Gachet (2000) ist Entscheidungsunterstützung dann gegeben, wenn zumindest eine der sogenannten Kernfunktionen unterstützt wird. Abbildung 2 stellt die wesentlichen Phasen des Entscheidungsprozesses auf der Grundlage der Kernfunktionen der Entscheidungsunterstützung dar.

**ABBILDUNG 2**  
Kernfunktionen der  
Entscheidungsunterstützung.



Die Erfassung der Entscheidungssituation kann beispielsweise durch ein Informationssystem erfolgen, welches entscheidungsrelevante Daten, Annahmen, Restriktionen, Aufgaben, Zielsetzungen oder auch Vorgaben (der Entscheidungsträger) aufnimmt. Entscheidungsalternativen können sich dann aus der Kombination spezifischer Maßnahmen ergeben. Die Bewertung der Konsequenzen der möglichen Implementierung einzelner Entscheidungsalternativen beinhaltet die Auswahl einer Anzahl sozioökonomischer und ökologischer Entscheidungskriterien, mit denen die wesentlichen Entwicklungsziele des IWRM gut wiedergegeben werden.

Der Entscheidungsprozess besitzt im Sinne des IWRM grundlegend partizipativen Charakter, um eine breite Akzeptanz und effiziente spätere Umsetzung der Handlungsempfehlungen bzw. Maßnahmenkombinationen zu gewährleisten. Die Transparenz der Entscheidungsunterstützung bzw. Nachvollziehbarkeit der einzelnen Entscheidungsschritte ist dabei von großer Bedeutung.

Im Sinne des partizipativen Ansatzes sind neben den Entscheidungsträgern (bzw. deren Vertreter) und dem interdisziplinärem technischen Beraterteam sämtliche Stakeholder am Entscheidungsprozess zu beteiligen, die direkt oder indirekt von den Implementierung einzelner wasserwirtschaftlicher Strategien betroffen sind. Dabei ist ein problemadäquater Planungshorizont zu berücksichtigen.

In der Regel müssen Entscheidungen in Bezug auf die nachhaltige Entwicklung der Wasserressourcen nicht ad hoc getroffen werden, sondern sind das Ergebnis eines langen, sorgfältigen Planungs- und Entscheidungsprozesses. Das heißt, es besteht Zeit, entscheidungsrelevante Informationen zu sammeln und zu ordnen, Handlungsalternativen zu entwickeln und zu durchdenken, den Rat anderer einzuholen und Betroffene mit einzubeziehen sowie sorgfältig Positionen, Fakten und Einschätzungen abzuwägen, um zu einer ausgewogenen Bewertung und letztlich zu einer guten Entscheidung zu gelangen.

### **3. Entscheidungsunterstützungssysteme im IWRM**

Speziell computergestützte Systeme können zur Entscheidungsunterstützung im IWRM vorteilhaft eingesetzt werden. Prinzipiell kann ein computerbasiertes System dann als Entscheidungsunterstützungssystem (EUS, engl. Decision Support System: DSS) angesehen werden, wenn es mindestens eine der in Abbildung 2 dargestellten Kernfunktionen direkt oder indirekt unterstützt. Ein computerbasiertes Tool zur Auswahl von Entscheidungskriterien wäre beispielsweise als indirekte Unterstützung der Kernfunktion 4 zu verstehen. Auch ein solches Werkzeug wäre als EUS zu klassifizieren.

EUS wurden in großer Zahl für die Anwendung in unterschiedlichen Fachdisziplinen oder interdisziplinäre Fragestellungen entwickelt. Nach Simonovic (1996) handelt es sich bei einem Entscheidungsunterstützungssystem um ein computerbasiertes Werkzeug, welches Entscheidungsträgern eine Kombination von persönlicher Beurteilung und Rechnerausgaben erlaubt, um in einer Mensch-Maschine-Interaktion relevante Informationen zur Unterstützung in einem Entscheidungsprozess zu erhalten. Entscheidend ist, dass die persönliche Beurteilung des Entscheidungsträgers auf der Grundlage der durch das EUS bereitgestellten Informationen erfolgt.

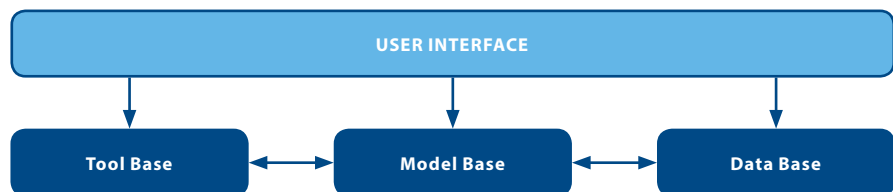


### 3.1. Komponenten eines komplexen, integrativen EUS

Im Rahmen der Entscheidungsunterstützung im Bereich des IWRM wird das EUS häufig als ein komplexes System verstanden, welches aus mehreren funktionalen Komponenten besteht und mit dem mehrere der in Abbildung 2 angegebenen Kernfunktionen unterstützt werden können. Abbildung 3 zeigt die grundlegenden Komponenten eines komplexen, integrativen Entscheidungsunterstützungssystems.

**ABBILDUNG 3**

Grundlegende Komponenten eines komplexen, integrativen Entscheidungsunterstützungssystems im Bereich des IWRM (Hahn & Engelen, 2000).



Ein komplexes EUS integriert somit ein Datenbanksystem mit mathematischen Modellen und spezifischen Entscheidungswerkzeugen. Die graphische Benutzeroberfläche unterstützt die Interaktion mit dem Nutzer des Systems. Hierbei handelt es sich häufig um Fach- bzw. Entscheidungsberater, die direkt mit den Entscheidungsträgern kommunizieren. Als Beispiel für ein komplexes, integratives Entscheidungsunterstützungssystem im Kontext des IWRM kann das MULINO-DSS genannt werden (Giupponi et al., 2004).

Wie die Literaturrecherchen und die hier durchgeführten Erhebungen zur Umsetzung von Entscheidungsunterstützung in ausgewählten IWRM-Vorhaben zeigen, können neben einem komplexen, integrativen EUS einzelne Systemkomponenten auch separat oder in Kombination mit anderen Komponenten zur Unterstützung bestimmter Kernfunktionen eingesetzt werden (Abb. 2 und 3). Zur Systematisierung von EUS im Bereich des IWRM soll im Rahmen dieses Eckpunktepapiers daher zwischen komplexen, integrativen EUS einerseits und solchen Systemen unterschieden werden, die gemäß Ihrer wesentlichen Komponente entweder als datenbasiertes Informationssystem, als Wissensplattform, als Entscheidungstool oder als Modellsystem zu werten sind. Im Hinblick auf eine Systematisierung der im Bereich des IWRM eingesetzten computerbasierten EUS wird für die weiteren Analysen von folgender Einteilung ausgegangen:

- A. Komplexe, integrative EUS (Abb.3),**
- B. Datenbasierte Informationssysteme,**
- C. Wissensplattformen,**
- D. Entscheidungswerkzeuge sowie**
- E. Mathematische Modelle.**



### 3.2. Informationssysteme

Datenbasierte Informationssysteme im Bereich des IWRM verfügen häufig über eine geographische Plattform zur Darstellung und Analyse räumlicher Informationen und finden im Datenbanksystem (DBS) integrativer EUS ihre Entsprechung. Für ihre Entwicklung kann sowohl kommerzielle Software, wie ArcGIS und Oracle oder open source Software (wie bspw. GRASS GIS, SAGA GIS, Quantum GIS) herangezogen werden. Auch diese Systeme können als EUS gesehen werden, sofern sie speziell zur Entscheidungsunterstützung herangezogen werden können bzw. mindestens eine der oben genannten Kernfunktionen unterstützen. Häufig konzentrieren sich diese Systeme auf die Erfassung und Strukturierung entscheidungsrelevanter Information und unterstützen damit die erste Kernfunktion (s. Abb. 2) (Renaud & Künzer, 2012).

Geographische Informationssysteme (GIS) werden häufig mit speziellen Entscheidungstools oder auch mathematischen Simulationsmodellen gekoppelt. Die Entscheidungsunterstützung kann damit u. U. auf die Kernfunktionen 2, 3 und 5 ausgedehnt werden. Beispielsweise könnten durch GIS-basierte Raumanalyse Standortalternativen für die Implementierung der kontrollierten Grundwasseranreicherung bestimmt und miteinander verglichen werden (Rahman et al., 2012).

### 3.3. Wissensplattformen

Wissensplattformen sind i.d.R. internet-basiert und stärken die Partizipation am Entscheidungsprozess, die Kommunikation zwischen Stakeholdern sowie generell die Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen spezifischer IWRM-Vorhaben. Die Implementierung solcher Systeme verbessert damit die Aussichten in Bezug auf eine erfolgreiche Umsetzung der erarbeiteten IWRM-Strategien (Pinheiro & Böhl, 2007).

Ähnlich wie die datenbasierten Informationssysteme tragen sie zur Erfassung und Strukturierung entscheidungsrelevanter Information bei. Auch diese Systeme können mit (webbasierten) Entscheidungswerkzeugen integriert werden und zur Erläuterung der Entscheidungswahl beitragen. Die Entscheidungsunterstützung könnte damit auf sämtliche Kernfunktionen, die 3. Kernfunktion ausgenommen, ausgedehnt werden. Dies liegt darin begründet, dass die Möglichkeiten einer Kopplung mit Simulationsmodellen aufgrund des derzeitigen Stands der Technik zurzeit noch erschwert wird. Dies betrifft insbesondere die zur Durchführung der Simulationsrechnungen benötigten Rechenzeiten und den Datentransfer zwischen der Online-Plattform und lokalen Systemen.

### 3.4. Entscheidungswerkzeuge

Gruppe B nimmt auf eigenständige Entscheidungswerkzeuge (Stand-Alone-Tools) Bezug, die unabhängig von einem Hauptsystem zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden können. Diese Werkzeuge finden gemäß Abbildung 3 ihre Entsprechung in der „Tool Base“ integrativer Entscheidungsunterstützungssysteme. Sie basieren häufig auf Methoden des Operations Research, insbesondere der multikriteriellen Analyse bzw. der Mehrzeilentcheidung, und können zur Bestimmung, Bewertung und Auswahl von Entscheidungsalternativen sowie zur Erläuterung der Entscheidungswahl eingesetzt werden (Kernfunktionen 2, 4, 5, 6). Die Methoden der multikriteriellen Analyse ermöglichen die vergleichende Bewertung von Entscheidungsalternativen bei unterschiedlicher sozio-ökonomischer und ökologischer Performance bzw. gegenläufigen Präferenzen sowie die Bestimmung von Kompromisslösungen. Diese Verfahren sind daher für die Integrierte Wasserbewirtschaftung von großer Bedeutung. Dazu zählen u. a. der Analytical-Hierarchy-

Process (AHP) nach Saaty (2008), Fuzzy-Verfahren, ELECTRE, PROMETHEE (vgl. Klauer, 2006), Goal Programming und Compromise Programming. Hajkowicz & Collins (2007) sowie Zarghami & Szidarowski (2011) gehen auf die Einsatzmöglichkeiten der unterschiedlichen Verfahren ein und diskutieren die Auswahl, Quantifizierung und Gewichtung von Entscheidungskriterien in diesem Zusammenhang.

### 3.5. Mathematische Modelle

Gruppe D der Entscheidungsunterstützungssysteme bezieht sich auf mathematische Modelle, die im Wesentlichen zur Ermittlung der Konsequenzen von Entscheidungsalternativen eingesetzt werden. Dazu zählen insbesondere die Simulationsmodelle, mit denen Komponenten des Wasserkreislaufs abgebildet werden können, aber auch Wasserbewirtschaftungsmodelle, wie z. B. WBalMo (Kaden & Kaltofen, 2004). Mit dem Simulationsmodell MONERIS lassen sich beispielsweise Einträge, Retention und Frachten in Flusssystemen simulieren (Venohr et al., 2008).

Dieser Gruppe ebenfalls zuzurechnen sind statistische Verfahren oder auch Klimamodelle, mit denen der Einfluss von Entwicklungsszenarien, insbesondere Sozioökonomie und Klimawandel betreffend, auf wasserwirtschaftlich relevante Faktoren ermittelt bzw. Vorausschau betrieben werden kann (Werner & Gerstengarbe, 1997).

Letztlich können sämtliche Modelle, mit denen sozioökonomische oder ökologische Kriterien zur Beurteilung von Entscheidungsalternativen bewertet werden können (Kernfunktion 4), dieser Gruppe zugerechnet werden. Dazu zählen beispielsweise auch Tools zur Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen oder zur Bestimmung anderer ökonomischer Indikatoren.

Hättenschwiler (2000) stellt die wesentlichen Anforderungen an computerbasierte Entscheidungsunterstützungssysteme zusammen. Dazu zählen u. a. Anwenderfreundlichkeit, Performance, Integration sowie Datenschnittstellen, die Systemerweiterungen ermöglichen. Hinsichtlich weiterer informationstechnischer Anforderungen an ein EUS soll auf DWA (2011) verwiesen werden.

Hahn und Engelen (2000) gehen in Ihrem Beitrag mit dem Titel „Concepts of DSS Systems“ im Rahmen des internationalen Workshops „Decision Support Systems for River Basin Management“ u. a. auf den Aspekt des Technologietransfers bzw. der Wiederverwendbarkeit von Entscheidungsunterstützungssystemen ein. Diskutiert werden welche Elemente oder Produkte eines EUS in welcher Form durch wen wiederverwendbar sind, Möglichkeiten und Voraussetzungen zur Weiterentwicklung und Wiederverwendung von EUS, Basiskomponenten, Modellintegration, EUS-Bewertungskriterien, Integration von Entscheidungstools sowie technische Erfolgskriterien für ein EUS-IWRM Pilotvorhaben.

## 4. Umsetzung von Entscheidungsunterstützung in der Förderaktivität IWRM

Für die Darstellung des Querschnittsthemas Entscheidungsunterstützung wurde in den IWRM-Vorhaben eine Umfrage durchgeführt und ausgewertet. Der Fragenkatalog umfasste 40 Fragen, die sich mit den folgenden Aspekten auseinandersetzen: (A) Charakterisierung der Problem- bzw. Aufgabenstellung, (B) Allgemeine Aspekte der Entscheidungsunterstützung, (C) Entscheidungsunterstützungssysteme, (D) Partizipation in der Entscheidungsunterstützung, (E) Unterhalt und Übertragbarkeit der EUS sowie (F) Empfehlungen der Projektleitung zur Verbesserung der Entscheidungsunterstützung im Hinblick auf eine Implementierung der Projektergebnisse. Den im Rahmen des Vorhabens eingesetzten Entscheidungsunterstützungssystemen wird dabei besondere Bedeutung beigemessen. Etwa die Hälfte der Fragen konzentriert sich auf diesen Bereich.

Zur Systematisierung der eingesetzten Entscheidungsunterstützungssysteme wird im Rahmen dieser Erhebung zwischen komplexen, integrativen EUS (Gruppe A) einerseits und solchen Systemen unterschieden, die gemäß Ihrer wesentlichen Komponente entweder als datenbasiertes Informationssystem (Gruppe B), als Wissensplattform (Gruppe C), als Entscheidungstool (Gruppe D) oder als Modellsystem (Gruppe E) zu werten sind. Zur weiterführenden Systematisierung der gewählten Entscheidungsunterstützung wird untersucht, welche der in Abbildung 2 dargestellten Kernfunktionen konkret unterstützt werden. Dadurch ergibt sich auch eine Zuordnung zu den wesentlichen Phasen des Entscheidungsprozesses.

Die Auswertung des Fragenkatalogs erbrachte die folgenden Erkenntnisse in Bezug auf die Umsetzung der Komponente Entscheidungsunterstützung in den Verbundvorhaben mit Bezug zur Förderaktivität IWRM (Anzahl der Vorhaben jeweils in Klammern):

### 4.1. Allgemeine Aspekte

- Ein Großteil der Vorhaben (11) setzt sich mit Aufgaben der wasserwirtschaftlichen Planung insbesondere dem Ausbau der Wasserinfrastruktur und der Implementierung neuer technologischer Lösungen zur Erhöhung der Wasserproduktion auseinander.
- Die Mehrzahl dieser Vorhaben (8) verknüpft die planerischen Aufgaben mit Fragen der Bewirtschaftung bzw. dem Betrieb des wasserwirtschaftlichen Systems, z. B. hinsichtlich der Zwischenspeicherung des Wassers oder auch seiner Allokation.
- Der Ressourcenschutz bzw. die Verbesserung der Wasserqualität (10), insbesondere durch den Ausbau der Abwasserbehandlung (8), ist dabei ein wesentlicher Aspekt.
- Auch die Wasserbedarfsdeckung unter Wasserknappheit (8) sowie die Behandlung von Interessenkonflikten um die Wassernutzung (9) sind vorrangige Aufgabenstellungen.
- Die Entscheidungsunterstützung konzentriert sich weiterhin auf die Bereiche: Landnutzung (8), Grundwasserbewirtschaftung, insbesondere durch die Implementierung von Anlagen zur kontrollierten Grundwasseranreicherung (5), Bewässerung (5) sowie Hochwasserschutz (4).

- Die Minimierung von Zuleitungsverlusten ist ein wesentlicher Aspekt des Water Supply Management. Insbesondere die Projekte IWRM Indonesien und IWRM Mongolei setzen sich intensiv mit dieser Fragestellung auseinander.
- Etwa die Hälfte der Vorhaben (7) setzt sich mit Klimawandelszenarien auseinander, um die Einflussnahme auf die Wasserverfügbarkeit im Untersuchungsgebiet zu untersuchen.
- Die Untersuchungen werden im Sinne des IWRM von einem Großteil der Vorhaben (10) auf Flusseinzugsgebietsebene durchgeführt, wobei teilweise auf repräsentativen Teilflächen Pilotstudien unternommen werden (8). Nur ein Vorhaben beschränkt sich aufgrund der planerischen Aufgabenstellung rein auf die lokale Ebene.
- Mehrere Vorhaben (5) betreiben formale Entscheidungsunterstützung in Bezug auf die Strukturierung des Entscheidungsprozesses. Nur 3 Vorhaben beschäftigen sich mit der Erarbeitung von Standards, die Abwicklung bzw. Bearbeitung des Entscheidungsprozesses betreffend.

## 4.2. Entscheidungsunterstützungssysteme

- Die Entwicklung eines komplexen, integrativen EUS (Abb.3) zur Generierung, Bewertung und Auswahl von alternativen IWRM-Strategien als Maßnahmenkombinationen wurde nur von einem Vorhaben betrieben (IWRM China Shandong).
- Die übrigen Vorhaben setzten sich mit der Anwendung, Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von computerbasierten Systemen auseinander, die gemäß Ihrer wesentlichen Komponente entweder als datenbasiertes Informationssystem (2) mit geographischer Plattform (11), als Wissensplattform (2), als Entscheidungswerkzeuge oder als Modellsystem zu werten sind.
- Dabei kommen sowohl Entscheidungswerkzeuge zur Bewertung von Entscheidungsalternativen (6) als auch GIS-basierte Entscheidungstools (6) zum Einsatz, z. B. die Wasserallokation betreffend.
- Es dominiert die Gruppe der Modellsysteme, wobei sowohl GIS-basierte Modelle (10), z. B. zur Abbildung hydro(geo)logischer Prozesse, als auch nicht räumliche Systeme (9), u. a. für die Generierung und Analyse von Entwicklungsszenarien, zum Einsatz kommen.
- Bei den Entscheidungs- und Modellsystemen handelt es sich fast durchweg um sogenannte Stand-Alone-Tools, die unabhängig von einem komplexen Hauptsystem als eigenständige Software Systeme eingesetzt werden können.
- In einigen Fällen handelt es sich um web-basierte Entscheidungsunterstützungssysteme (5), um den Systemzugriff, Partizipation und Verbreitung der Tools zu verbessern.
- Die entwickelten EUS sind nach Angaben der Projektleitungen in ihrer überwiegenden Mehrheit ohne Einschränkungen auf ähnliche Fragestellungen anderer Regionen übertragbar.

### 4.3. Kernfunktionen der Entscheidungsunterstützung

- Sämtliche Vorhaben arbeiten an der Entwicklung bzw. der Implementierung von (Geographischen) Informationssystemen, mit denen entscheidungsrelevanten Daten in strukturierter Form erfasst, analysiert sowie dargestellt werden können. Ein ausgezeichnetes Beispiel für eine umfassende Entscheidungsunterstützung auf einer GIS-Grundlage ist das WISDOM-Vorhaben (Renaud & Künzer, 2012).
- Etwa die Hälfte der Vorhaben (7) bietet computerbasierte Entscheidungsunterstützung zur Auswahl oder Generierung spezifischer (wasserwirtschaftlicher) Maßnahmen an. Dazu zählt beispielsweise die Planung von Anlagen zur kontrollierten Grundwasseranreicherung (IWRM China Shandong, SMART), Abwasserbehandlung (IWRM Indonesien) oder Regenwassernutzung (CuveWaters Namibia) an. Dies betrifft auch die Maßnahmenplanung in den Bereichen Landnutzung und Bewässerungslandwirtschaft (Uzbeskistan).
- Nur wenige Vorhaben (3) bieten allerdings computerbasierte Systeme an, mit denen die Entwicklung von IWRM-Strategien als kombinierte (wasserwirtschaftliche) Maßnahmen unterstützt werden kann. Hier sollen das EUS des Projektes IWRM China Shandong sowie die Toolbox des IWRM Mongolei-Vorhabens hervorgehoben werden.
- Zur Untersuchung der Konsequenzen einer möglichen Implementierung von Entscheidungsalternativen werden Modellsysteme eingesetzt (10).
- Etwa die Hälfte der Vorhaben bieten computerbasierte Entscheidungsunterstützung zur Bewertung von Entscheidungsalternativen (6) sowie zur Dokumentation bzw. Erläuterung der Entscheidungswahl an (7).
- Computerbasierte Entscheidungsunterstützung zur Auswahl von Entscheidungskriterien für die Bewertung von IWRM-Strategien im Rahmen eines partizipativen Prozesses wird dagegen kaum angeboten (2).
- Partizipation spielt bei sämtlichen Projekten eine wichtige Rolle in den Phasen des Entscheidungsprozesses, die im Rahmen des Vorhabens unterstützt werden.

## 5. Fallstudien

Die folgenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des BMBF-Förderschwerpunkts zum Integrierten Wasserressourcenmanagement (IWRM) wurden ausgewählt, um die Umsetzung der Komponente „Entscheidungsunterstützung“ für ausgewählte Fallstudien im Detail darstellen zu können:

- A. IWRM-China SHANDONG – „Sustainable water resources management in the coastal area of Shandong Province“**, Projektlaufzeit: 2008 – 2011
- B. IWRM-Namibia: CUVEWATERS „Integrated water resources management in central northern Namibia – Cuvelai-Etoshia Basin“**, Projektlaufzeit: 2006 – 2013
- C. IWRM-Nahost: SMART „IWRM in the Lower Jordan Valley – Sustainable management of the available water resources with innovative technologies“**, Projektlaufzeit: 2006 – 2013

Im Rahmen der nachfolgenden Kurzdarstellung der entscheidungsrelevanten Aspekte und Aktivitäten der Vorhaben soll unter anderem auf die konkrete Umsetzung der Entscheidungsunterstützung sowie die damit verbundenen regionalspezifischen Herausforderungen eingegangen werden.

## **A. IWRM-China Shandong**

Das von der DHI-WASY GmbH koordinierte Vorhaben setzt sich mit der integrierten Wasserbewirtschaftung des Huangshui river basin in der Küstenregion der Shandong Provinz im Nordosten Chinas auseinander. Das Einzugsgebiet des Huangshui weist aufgrund des unzureichenden Wasserdargebots und steigenden Wasserbedarfs eine negative Wasserbilanz auf und sieht sich mit den typischen Problemen konfrontiert, die mit nicht nachhaltiger Entwicklung verbunden sind. Dazu zählen insbesondere die Übernutzung der Grundwasserressourcen, die eine zunehmende Salzwasserintrusion vom chinesischen Meer zur Folge hat, die Gewässerverschmutzung, insbesondere durch industrielles Abwasser, sowie die Änderungen in der Landnutzung. Da die sozioökonomische Entwicklung der Region durch die Wasserverfügbarkeit begrenzt wird, sind wasserwirtschaftliche Maßnahmen dringend erforderlich.

Im Rahmen des Vorhabens sollten insbesondere Entscheidungen, die die wasserwirtschaftliche Planung betreffen, unterstützt werden. Dazu zählt in erster Linie die Auswahl von Technologien zur effizienten Wassernutzung bzw. Wasserbewirtschaftung, insbesondere im Hinblick auf die Stärkung der Bewässerungslandwirtschaft. Technologische Lösungen für die Abwasserwiedernutzung (waste water reuse), Regenwassernutzung (rainwater harvesting) sowie kontrollierte Grundwasseranreicherung (managed aquifer recharge) stehen dabei im Vordergrund. Auch Entscheidungen zur nachhaltigen Landnutzung sollten im Rahmen des Shandong-Vorhabens unterstützt werden.

Zur Umsetzung der Entscheidungsunterstützung kamen zahlreiche computerbasierte Systeme zum Einsatz. Auf der Grundlage der entwickelten Systeme können die verschiedenen Phasen des mehrstufigen Entscheidungsprozesses umfassend unterstützt werden. Entscheidungsrelevante Informationen werden zunächst mit einem geographischen Informationssystem erfasst. Entscheidungsalternativen als prioritäre (wasserwirtschaftliche) Maßnahmen können dann mit Hilfe spezieller Entscheidungstools ausgewählt und kombiniert werden. Diesem, stets problematischen Aspekt der Generierung von Entscheidungsalternativen wurde im Vorhaben besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die Auswahl durchführbarer Maßnahmen erfolgt dabei auf der Grundlage eines umfassenden Maßnahmenkatalogs durch das Entscheidungswerkzeug „Maßnahmenscreening“ unter Berücksichtigung maßgeblicher sozioökonomischer und ökologischer Randbedingungen (constraints). Die Definition und Auswahl prioritärer alternativer Maßnahmenkombinationen erfolgt dann durch Kombinationsmechanismen auf der Grundlage eines Sets von Auswahlkriterien durch das Tool „Szenarien“. Die Konsequenzen der Entscheidungsalternativen werden mit Hilfe teils GIS-basierter hydro(geo)logischer Simulations- und Bilanzmodelle, wie SIWA, MIKE11, FEFLOW oder auch WbalMo, untersucht. Die Auswahl einer prioritären Maßnahmenkombination erfolgt letztlich durch das Tool DSS2 auf der Grundlage des Kosten-Nutzen Kriteriums. Die genannten Entscheidungstools, Simulations-, und Bilanzmodelle sowie Informationssysteme bzw. Datenbanken sind über Datenschnittstellen miteinander gekoppelt und bilden in dieser Form ein komplexes, integratives Entscheidungsunterstützungssystem (EUS). Die Systeme können jedoch durchweg auch separat, d. h. unabhängig vom Hauptsystem, eingesetzt werden. Es handelt sich hier zum Großteil

um Eigenentwicklungen der DHI-WASY. Die Übertragbarkeit der Systeme auf ähnliche Fragestellungen in anderen Regionen ist ohne Einschränkungen möglich. Ein Webzugang ist allerdings nicht gegeben.

Der partizipative Ansatz kam in sämtlichen Phasen des Entscheidungsprozesses zum Tragen. Besonders enge Zusammenarbeit mit den chinesischen Partnerinstitutionen fand im Rahmen der Generierung von Entscheidungsalternativen (Maßnahmenplanung) sowie bei der Ermittlung der Konsequenzen ihrer Implementierung statt (Tool: interaktive Wasserbilanz).

Seitens der Projektleitung bestanden die größten Herausforderungen in der Komplexität und Disziplinarität des Entscheidungsprozesses in Bezug auf die unterschiedlichen räumlichen Ebenen (lokal-regional-überregional) sowie im Datenmangel. Zur Stärkung der fachlichen Kompetenzen der chinesischen Partner wurden Schulungen durchgeführt. Eine langfristige Ausrichtung der Projektaktivitäten wäre aus Sicht der Projektleitung zur nachhaltigen Umsetzung der erzielten Ergebnisse notwendig.

## **B. IWRM-Namibia CUVEWATERS**

Das vom Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) koordinierte Verbundvorhaben setzt sich mit wasserwirtschaftlichen Herausforderungen im zentralen Norden Namibias auseinander. Die Region unterliegt ariden Klimaverhältnissen mit hoher Niederschlagsvariabilität. Die daraus resultierende stark begrenzte Wasserverfügbarkeit einerseits sowie die zunehmende Bevölkerungsdichte, Verstädterung und Landnutzung (Weidewirtschaft mit hohem Viehbesatz) andererseits haben extreme Wasserknappheit zur Folge. Fehlende Abwassersammlung und -behandlung führen zur Kontamination des Wassers und sind mit Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung verbunden. Dies betrifft insbesondere die oberflächennahen Grundwasserressourcen höherer Salzkonzentration. Die Wasserknappheit macht einen Wassertransfer aus benachbarten Gebieten notwendig. Im Rahmen einer grenzüberschreitenden Wasserbewirtschaftung wird über Fernleitungen Wasser aus dem Nachbarstaat Angola importiert. Die nicht mit dem herrschenden Wasserrecht im Einklang stehenden traditionellen Rechte erschweren eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen.

Auch dieses Vorhaben setzt hinsichtlich der Komponente Entscheidungsunterstützung einen Schwerpunkt im Bereich der wasserwirtschaftlichen Planung. Im Rahmen des Vorhabens soll in erster Linie die Auswahl, das Design, die Implementierung und der spätere Betrieb von regional angepassten Wassertechnologien unterstützt werden. Die im Vorhaben näher untersuchten Technologien beziehen sich dabei auf eine Erhöhung des nutzbaren Wasserdargebots durch Regenwassernutzung, Abwasserwiederverwendung, klein-skalige Grundwasserentsalzung sowie kontrollierte Grundwasseranreicherung. Die Entscheidungsunterstützung erfolgt dabei sowohl computerbasiert als auch formal. Letztere wird u. a. durch Maßnahmen der Wissensbildung, intensiven Austausch (Workshops), Fachberatung, Leitfäden oder Handlungsempfehlungen, auch die Strukturierung des Entscheidungsprozesses betreffend, realisiert. Formale Entscheidungsunterstützung leistet das Vorhaben auch in Bezug auf die Finanzierungsmöglichkeiten für eine Implementierung der technologischen Lösungen auf regionaler Ebene.

Zur Umsetzung der computerbasierten Entscheidungsunterstützung kamen folgende Systeme zum Einsatz: Zur Erfassung entscheidungsrelevanter Informationen wurden der sogenannte „Digitale Atlas“ als auch das „IWRM-Toolkit“ entwickelt. Beim Digitalen Atlas



handelt es sich um ein Geographisches Informationssystem, das Daten für die wasserwirtschaftliche Planung bereitstellen soll. Das IWRM-Toolkit ist eine Wissensplattform, mit der Informationen zum IWRM (u. a. Institutionen, Handbücher, websites, Newsletters, Kurse) bereitgestellt werden. Der Fokus der Wissensinhalte liegt dabei auf Afrika, insbesondere Namibia.

In Bezug auf die computerbasierte Entwicklung von Entscheidungsalternativen liegt ein Fokus auf der Planung, Implementierung, dem Betrieb und Unterhalt von Anlagen zur Regenwassernutzung (Rain Water Harvesting: RWH). Hier sind die Systeme „RWH-Toolkit“ sowie „RWH-Tank and Gardening-Model“ zu nennen, die über verschiedene, zum Teil GIS-basierte Anwendungen verfügen. Bei der Planung dieser Anlagen kann weiterhin auf ein Tool für die Vorhersage von Klimaparametern sowie der Bevölkerungsentwicklung zurückgegriffen werden. Mit dem System „Food Security Impact“ kann der Beitrag von RWH-Anlagen zur regionalen Ernährungssicherheit abgeschätzt werden. Zur Unterstützung der Maßnahmenplanung steht auch ein GIS-basiertes System zur Verfügung, mit dem u. a. Risiken und Vulnerabilitäten in der Wasserversorgung untersucht werden können.

Wichtige Daten für die Entscheidungsunterstützung, insbesondere die Konsequenzen der Implementierung unterschiedlicher technologischer Lösungen betreffend, erfolgt im CUVEWATERS-Projekt über den Betrieb von sechs Pilotanlagen an repräsentativen Standorten im Untersuchungsgebiet. Die Entscheidungsfindung erfolgt dann gemäß der Kosten-Nutzen-Relation der technischen Alternativen und ihrer abschließenden Bewertung, u. a. auf der Grundlage der Ergebnisse der Pilotstudien.

Die genannten computerbasierten Entscheidungs- und Planungstools befinden sich zum Teil noch in der Entwicklung. Ein Internet-Zugang, insbesondere zu den Informationssystemen, befindet sich in Planung. Es handelt sich durchweg um sogenannte „Stand-Alone-Tools“, die ohne Kopplung an ein Hauptsystem separat eingesetzt werden können.

Partizipation findet in sämtlichen Entscheidungsphasen im Rahmen von Workshops und Expertengesprächen statt. Hervorzuheben ist die enge Zusammenarbeit mit den afrikanischen Partnerinstitutionen hinsichtlich der Implementierung der Pilotanlagen sowie Bewertung der angepassten Technologien.

Gemäß der Projektleitung lagen die größten Hürden hinsichtlich der Umsetzung der Komponente Entscheidungsunterstützung in der fachlichen Kompetenz der Partner, insbesondere Systemverständnis, Modellierung, GIS und IWRM-Grundlagen betreffend, der hohen personellen Fluktuation, die unter anderem auf eine AIDS-rate von etwa 25% zurückzuführen ist, im begrenzten Internetzugang sowie in Sprachbarrieren. Als Reaktion darauf, wurde auf die Entwicklung eines komplexen, integrativen EUS verzichtet. Zudem wurden die Software Tools mehrsprachig entwickelt und im Rahmen der Projekttreffen und Workshops namibische Moderatoren eingesetzt. Für eine erfolgreiche Implementierung der Ergebnisse der Projektkomponente Entscheidungsunterstützung sind aus Sicht der Projektleitung neben einem langfristigeren Planungshorizont, die Stärkung der Vorort-Präsenz, Verbesserung der Datengrundlagen, der Ausbau des Capacity Building, sowie nicht zuletzt die Intensivierung der Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen namibischen Akteuren und internationalen Geberinstitutionen (BMBF, BMZ, EU, KfW) notwendig.

## C. IWRM-Nahost SMART

Das vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) koordinierte multilaterale Verbundvorhaben setzt sich mit der Wasserbewirtschaftung des Unteren Jordantals auseinander, einer politisch höchst problematischen Region. Die auf Grund arider bis semiarider Bedingungen extrem knappen Wasserressourcen sind von Israelis, Palästinensern und Jordaniern gemeinsam zu bewirtschaften, um Konflikte um die Wassernutzung zu vermeiden, den Friedensprozess zu stärken und nachhaltige regionale Entwicklung zu gewährleisten. Hier handelt es sich somit um ein grenzüberschreitendes Wasserressourcen-Management. In Bezug auf den Entscheidungsprozess ist die Suche nach Kompromisslösungen daher von ausschlaggebender Bedeutung. Die zunehmende Verschmutzung und Übernutzung des Grundwassers als wesentliche Wasserressource verdeutlichen den Bedarf an nachhaltigen Lösungen. Allerdings wird die Umsetzung neuer Ansätze und Technologien durch traditionelle Wasserrechte und andere soziale Restriktionen erschwert. Trotz der knappen Wasserressourcen ist die Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktion bzw. Ausweitung der Bewässerungsfläche dringend erforderlich, um nachhaltige sozioökonomische Entwicklung zu ermöglichen.

**Im Rahmen der Komponente Entscheidungsunterstützung sollen folgende Aufgabenstellungen sowohl formal als auch durch computerbasierte EUS unterstützt werden:**

- Integrierte Bewirtschaftung sämtlicher verfügbarer Wasserressourcen (Hochwasserabflüsse, Grund- auch Brackwasser, Abwasser);
- Auswahl angepasster Technologien und deren Kombination (Technologie-Mix), u. a. zur Wasserentsalzung, kontrollierten Grundwasseranreicherung und Abwasserwiedernutzung;
- Implementierung konventioneller Wasserinfrastruktur zur effizienten Wasserverteilung und Zwischenspeicherung sowie Abwasserbewirtschaftung (Dämme, Kanäle, Rohrleitungen, Abwasseranlagen);
- Standortauswahl hinsichtlich der geplanten Interventionen.

Formale Entscheidungsunterstützung erfolgt im Wesentlichen durch Fachberatung auf der Grundlage eines intensiven multilateralen Austauschs sowie begleitend zum Entscheidungsprozess. Dazu zählt beispielsweise auch die Unterstützung der Entscheidungsträger in der Erarbeitung gesetzlicher Grundlagen, u. a. den Schutz der Wasserressourcen und deren Nutzung betreffend.

Die Erfassung entscheidungsrelevanter Daten und Informationen erfolgt zum Einen über ein Daten- und Informationsmanagementsystem DAISY mit geographischer Plattform, das am Helmholtz Zentrum für Umweltforschung - UFZ eingerichtet wurde, zum Anderen über die webbasierte Wissensplattform DROPEdia (Riepl, Wolf, Kaempgen, & Heinz, 2010). DROPEdia erlaubt das flexible Dokumentieren von Faktoren im Entscheidungsprozess, z. B. Hintergrundinformationen und aggregierte Statistiken zu Flussläufen, Einzugsbereichen und Städten und dient ebenfalls der Vernetzung sämtlicher Stakeholder und Interessenten sowie der Verbreitung von Informationen. Sämtliche computerbasierten Systeme werden für repräsentative Teileinzugsgebiete (Wadis) des unteren Jordantals sowohl auf israelisch-palästinensischer als auch jordanischer Seite eingesetzt. Zur Planung einzelner Maßnahmen, wie der kontrollierten Grundwasseranreicherung oder dezentraler Abwasseranlagen wurden spezielle Planungs- und Entscheidungstools entwickelt bzw. weiterentwickelt.

Die IWRM-Entscheidungsalternativen ergeben sich als alternative Maßnahmenpakete, d. h. Maßnahmenkombinationen. Der pre-screening Prozess zur Selektion prioritärer Maßnahmen basiert auf dem Analytical Hierarchy Process (AHP) und berücksichtigt sowohl sozioökonomische als auch ökologische Entscheidungskriterien. Entscheidungen zur Maßnahmenkombination bzw. Technologieeinsatz sowie zur Wasserallokation können durch ein System zur Mehrzieloptimierung unterstützt werden. Die Konsequenzen in Bezug auf eine mögliche Implementierung der Entscheidungsalternativen werden mit Hilfe von Bilanz- und hydro(geo)logischen Simulationsmodellen untersucht (u. a. Weap, Train-Zin, ModFlow, FeFlow). Neben dem AHP-Tool steht das multikriterielle ELECTRE-TRI Verfahren zur Bewertung und Auswahl von Maßnahmenkombinationen zur Verfügung. Die Systeme wurden als web-tools entwickelt und in Form einer Tool-box zusammengefasst. Eine Kopplung mit den oben erwähnten Modellsystemen wurde auf Grund des aktuellen Stands der Technik als nicht sinnvoll erachtet.

Aus Sicht der Projektleitung lagen die größten Herausforderungen in Bezug auf nachhaltige Entscheidungsunterstützung in den komplexen politischen und administrativen Randbedingungen und den daraus resultierenden Schwierigkeiten bei der Entscheidungsfindung, der begrenzten Datengrundlage, der Stakeholderakzeptanz gegenüber innovativen Lösungen, der Berücksichtigung sozialer Restriktionen sowie den fachlichen Kompetenzen auf technischer Ebene.

Die Erfahrungen bestätigen, dass Partizipation am Entscheidungsprozess über die Einbringung von Stakeholdern und Entscheidungsträgern sämtlicher Ebenen bei der Suche nach implementierfähigen, wasserwirtschaftlichen Kompromisslösungen für die Region von ausschlaggebender Bedeutung ist. Im Rahmen des Vorhabens wurde weiterhin auf die Entwicklung und Implementierung webbasierter und benutzerfreundlicher Informationssysteme und Entscheidungswerkzeuge Wert gelegt, um die Interaktion zwischen Stakeholdern zu fördern und die Transparenz des Entscheidungsprozesses zu verbessern.

Die Effizienz der Entscheidungsunterstützung bzw. der Umsetzung der Projektergebnisse ließe sich aus Sicht der Projektleitung durch Intensivierung der Schulungsmaßnahmen, die Einrichtung von Pilotanlagen zur Demonstration innovativer technologischer Lösungen sowie die Installation von Implementierungsbüros weiter verbessern. Die Umsetzung nachhaltiger IWRM-Strategien bedarf damit der Kontinuität der laufenden multi-lateralen Aktivitäten.

## 6. Schlussfolgerungen

Im Rahmen der BMBF-Verbundprojekte wurde Entscheidungsunterstützung im IWRM sehr verschieden umgesetzt. In Abhängigkeit von den gesetzlichen Grundlagen, wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen, räumlichen und zeitlichen Rahmenbedingungen sowie sozialen, ökologischen und ökonomischen Aspekten muss Entscheidungsunterstützung für das jeweilige Flusseinzugsgebiet spezifisch geplant sein. Für eine erfolgreiche Entscheidungsunterstützung ist eine abgestimmte und interdisziplinäre Zusammenarbeit mit den relevanten Akteuren auf allen Ebenen notwendig. Insbesondere auf Fach- und Entscheidungsebene ist ein intensiver Austausch erforderlich, um gemeinsame Kompromisslösungen mit hohem Akzeptanzgrad für die anstehenden Herausforderungen, unter Berücksichtigung der häufig gegenläufigen Interessenlagen, zu erarbeiten. Dies setzt Partizipation in allen Phasen des Entscheidungsprozesses voraus. Auch die Durchführung intensiver Schulungsmaßnahmen ist zu empfehlen, um Fachkräfte und Entscheidungsberater vor Ort auf die effiziente Nutzung der entwickelten Systeme vorzubereiten und den Entscheidungsprozess transparent zu gestalten. Dabei ist die Entwicklung komplexer, vollkommen integrierter EUS nicht immer zwingend notwendig. Unabhängig von einem zentralen Hauptsystem kann der Einsatz von Stand-Alone-Tools durchaus sinnvoll sein. Vorteile sind hierbei der gezielte Einsatz der Einzelsysteme für spezifische Aufgabenstellungen im Kontext des IWRM, der verminderte Schulungsaufwand, die leichtere Übertrag- bzw. Anwendbarkeit auf ähnliche Aufgabenstellungen anderer Regionen, der verminderte Entwicklungsaufwand und die schnellere Bereitstellung. Die Akzeptanz der direkt am Entscheidungsprozess beteiligten Akteure kann bspw. durch webbasierte Systeme verbessert werden. Der leichte Zugriff auf entscheidungsrelevante Informationen und Systeme verbessern die Partizipation und erhöhen das Verständnis hinsichtlich der methodischen Vorgehensweise. Dies betrifft insbesondere die datenbasierten und geographischen Informationssysteme, Wissensplattformen sowie Entscheidungswerkzeuge.

## 7. Literatur

- BMBF – Bundesministerium für Forschung und Bildung (2012):** IWRM – Integriertes Wasserressourcen-Management: Von der Forschung zur Umsetzung, 4. überarbeitete Auflage. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig.
- DWA (2011):** Entscheidungsunterstützungssysteme für die nachhaltige Flussgebietsbewirtschaftung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Ganoulis, J. (2005):** Integrated Decision Support Systems(DSS)or integrating multiple objectives to help decision making? Position Paper for the International Workshop on Success and failure of DSS for Integrated Water Resources Management. Venice, Italy, Oct 6–7, 2005.
- Giupponi, C., Mysiak, J., Fassio, A. and Cogan, V. (2004):** MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. *Mathematics and Computers in Simulation* 64 (2004) 13–24.
- Hahn, B. and Engelen, G. (2000):** Concepts of DSS systems. *Decision Support Systems (DSS)*, International Workshop 6 April 2000.
- Hajkowicz, S. and Collins, K. (2007):** A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resources Management* 21 (2004) 1553–1566.
- Hättenschwiler, P. (1999):** Neue Konzepte der Entscheidungsunterstützung. Interne Publikation Nr.99–4, Institut für Informatik, Universität Freiburg.
- Hättenschwiler, P. and Gachet, A. (2000):** Einführung. Konzepte der Entscheidungsunterstützung. Vorlesungsunterlagen, Universität Freiburg.
- Kaden, S., Kaltofen, M. (2004):** Wasserbewirtschaftungsmodelle als Instrument für die Planung eines nachhaltigen Niedrigwassermanagements, Niedrigwassermanagement, Beiträge zum Seminar am 11./12. November 2004 in Koblenz, in *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, Heft 07.04, S. 75–94
- Keeney, R.L. & H. Raiffa (1976):** *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. J. Wiley & Sons.
- Klauer, Bernd; Drechsler, Martin, Messner, Frank (2006):** Multicriteria analysis under uncertainty with IANUS – method and empirical results. *Environment and Planning C: Government and Policy* 24(2), Special Issue: Participatory multi-criteria decision aid for river basin management – methodological challenges and solution approaches, 235–256.
- Klauer, Bernd; Rode, Michael; Franko, Uwe; Mewes, Melanie; Schiller, Johannes (2012):** Decision support for the selection of measures according to the requirements of the EU Water Framework Directive. *Water Resources Management* 26: 775–798.
- Pinheiro & Böhl (2007):** *Development of a Knowledge Based Decision Support System for Private Sector Participation in Water and Sanitation Utilities*. Kommissionsverlag Oldenbourg, Industrieverlag GmbH, München 2007.
- Power, J.D. (2002):** *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. ISBN 1-56720-497-X, Quorum Books, London.
- Rahman, M. A., Rusteberg, B., Gogu, R.C, Ferreira, J.P.L., and Sauter, M., (2012):** A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. *Journal of Environmental Management*. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.01.003
- Renaud, F. & Künzer, C. (Hrsg.):** *The Mekong Delta System. Interdisciplinary Analyses of a River Delta*. Springer, 463 S.
- Riepl, D., Wolf, L., Kaempgen, B., Hoetzel, H. (2010):** Making informed decisions – a collaborative and knowledge based IWRM planning exercise in WadiShueib, Jordan, *Proceedings IWRM 2010 Karlsruhe, Germany*.
- Saaty, T. L. (2008):** Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 2008.

**Sigel, K., Klauer, B., Pahl-Wostl, C. (2010):** Conceptualising uncertainty in environmental decision-making: the example of the EU Water Framework Directive. *Ecological Economics* 69, 502–510

**Simonovic, S.P. (1996):** Decision Support Systems for Sustainable Management of Water Resources: 1. General Principles. *Water International* 21 (4), 223–232.

**UNESCO (2000):** Water Resources Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications. *Studies and Reports in Hydrology*, UNESCO Publishing, p.680.

**Venohr, M., Behrendt, H., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Scherer, U., Fuchs, S., Wander, R. (2008):** Modellierung von Einträgen, Retention und Frachten in Flusssystemen mit MONERIS. Teil II: Datengrundlage und Methodik. In: Fuchs, S.; Fach, S.; Hahn, H. (Hrsg.) *Stoffströme in Flussgebieten – Von der Bilanzierung zur Bewirtschaftung*. Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, Karlsruhe, S. 35–64.

**Werner, P.C., Gerstengarbe, F.-W. (1997):** The development of climate scenarios. PIK Report No. 25, Potsdam.

**Zarghami, M. and Szidarovszky, F. (2011):** *Multicriteria Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.