

# Sauberes Wasser für Millionen

## MIT SIMULATIONSMODELLEN LÄSST SICH DIE WASSERVERSORGUNG IN TROCKENGEBIETEN OPTIMIEREN

Wasser ist Leben.

Diese Erkenntnis ist  
so uralt wie die Menschheit.

Doch für Nordeuropäer,  
die immer sauberes Wasser  
gewohnt sind und in einem  
wasserreichen Gebiet leben,  
ist sie nicht immer so zwingend  
wie für die Menschen  
in Wasserkrisenregionen.

Viele Menschen in Trocken-  
gebieten leben mit ständigem

Wassermangel, oft ist  
das wenige Trinkwasser  
auch noch mit Pestiziden und  
Schwermetallen verseucht.  
Wassermenge und -qualität  
werden durch eine Vielzahl  
sich gegenseitig bedingender  
Faktoren beeinflusst.

Die Trinkwasserversorgung ist  
in den Trockengebieten welt-  
weit gefährdet.

Durch Wassermangel und  
Wasserverschmutzung drohen  
Krankheiten. Gewinnung und  
Aufbereitung des Wassers be-



anspruchen derzeit einen im-  
mensen finanziellen Aufwand.  
Wo die technischen und finan-  
ziellen Möglichkeiten nicht be-  
reitstehen, sind erhebliche  
volkswirtschaftliche Verluste  
durch Arbeitsausfälle und Fol-  
gekosten für das Gesundheitssy-  
stem zu erwarten.

Zur Lösung dieser Fragestel-  
lung wurden am Fachgebiet  
Gewässergütemodellierung in  
einer Reihe von Projekten um-  
fangreiche Forschungen be-  
trieben.

Die praktische Anwendung  
der Entwicklungen durch In-  
genieurbüros und Wasserwirt-  
schaftsverwaltungen wird  
hierbei dazu genutzt, neue  
Fragestellungen abzuleiten.

Traditionell werden die  
Speicher und Talsperren in  
der Regel nur nach Aspekten  
der Mengenbewirtschaftung  
gesteuert. Eine Bewirtschaftung,  
die Wassermenge und  
Wassergüte berücksichtigt,

trägt daher wesentlich dazu  
bei, den Verschmutzungsan-  
teil zu minimieren und so die  
nutzbare Wassermenge zu er-  
höhen.

Die Nutzung von Simula-  
tionsmodellen zur Prognose  
der Wassergüte in Speichern  
und Flüssen ermöglicht vor  
allem die Planung von wasser-  
verbessernden Maßnahmen.  
Planungsfehler in bisherigen  
Bewirtschaftungsstrategien  
können nachgewiesen und  
überarbeitet werden.

Abbildung 1

*Talsperre Sidi Salem, Nord-Tunesien: Die Talsperre Sidi Salem versorgt über 50% der gesamten tunesischen Bevölkerung mit Wasser. Die Anforderungen an eine optimale Bewirtschaftung sind daher besonders hoch.*

### Faktor Wasser

Die verfügbare Wassermenge  
der Trockenregionen ist durch  
Klima und hydrographische  
Verhältnisse bestimmt und  
lässt sich nicht beliebig er-  
höhen. Traditionell basiert die  
Wasserversorgung in den  
Trockengebieten auf einer aus-  
geklügelten Nutzung und  
Speicherung des sich ständig  
ändernden Wasserangebots in  
einem Flussgebiet. Mit der  
heutigen Industrialisierung  
wurden zusätzlich weltweit  
rund 40.000 Groß-Talsperren  
errichtet, die in der Regel auch  
zur Energieversorgung und  
zum Hochwasserschutz ge-  
nutzt werden.

Intensive landwirtschaft-  
liche Nutzung der Flussgebie-  
te, Bevölkerungswachstum,  
die Industrialisierung und die  
Ausdehnung der Städte führt  
in den Wasserkrisenregionen  
der Erde zu einer zunehmen-  
den Zerstörung der Wasser-  
vorräte durch Pestizide,  
Schwermetalle und Krank-  
heitserreger. Die ohnehin be-  
grenzten Wasservorräte wer-  
den hierdurch bedeutend  
verringert.

In den südlichen Regionen des  
Aral-Sees leben beispielsweise  
drei Millionen Menschen ohne  
ausreichende Wasserversor-  
gung. Grundwasservorräte

sind durch Pestizide weitgehend verseucht. Kindersterblichkeit und Lungenkrebs erreichen hier eine im weltweiten Vergleich hohe Verbreitungsrate. Auch für den Nutzpflanzenanbau reicht das Wasser nicht. Ausfälle aus landwirtschaftlicher Produktion werden im Jahr 2000 auf bis zu 50.000 Millionen US-Dollar beziffert.

dort fallende Niederschlag einem gemeinsamen Punkt, z.B. der Mündung in das Meer, zufließt.

Eine optimierte tägliche Wassergütebewirtschaftung führt zu Abwendung von Defiziten und zur schnellen Reaktion auf Missstände, kann aber nur dann erfolgen, wenn die Einflüsse und Reaktionen der unterschiedlichen Be-

viel Wasser abgeleitet wird, nicht nur nach dem Angebot und Verbrauch, sondern auch nach der aktuellen Verschmutzung der Teilströme.

Die Problematik wird in Trockengebieten häufig dadurch verschärft, dass die Niederschläge nur während einer kurzen Zeit im Jahr fallen. Erosion und ausgeprägte Hochwasser sind Kennzeichen für die Dynamik.

Durch die stoßweise Abgabe für den Talsperren-Turbinenbetrieb werden künstliche, sehr extreme instationäre Fließzustände geschaffen.

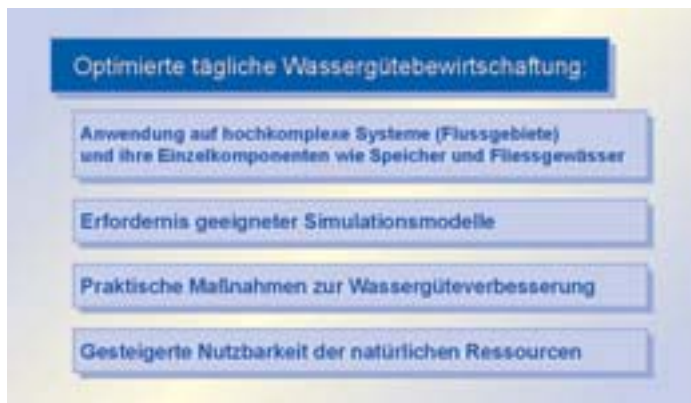
Die Belastungen aus Landwirtschaft und Kommunen sind ebenfalls sehr ungleichmäßig und von Klima, Vegetation und menschlichen Aktivitäten abhängig.

Zu den bedeutendsten Belastungen gehören neben den Salzen die Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe aus der Industrie sowie Pestizide aus der Landwirtschaft. Die Verteilung und der Transport dieser Substanzen ist wiederum sehr stark an das Vorkommen von Schwebstoffen und partikulären Substanzen geknüpft. Erosion als Quelle und Sedimentation in Speichern als Senke beeinflussen wiederum den Schwebstoffhaushalt in einem Einzugsgebiet und damit auch die Verfügbarkeit gesundheitlich unbedenklicher Wasserressourcen.

Verlandung von Speicherräumen ist ein weiteres Problem und führt in der Regel zu kostenintensiven Ausbaggerungen oder dem extrem teuren Neubau von Speichern.

Durch die hohe Verdunstung erhöht sich die Salzkonzentration in den Wasserkörpern. Zu dieser Konzentration tragen auch landwirtschaftliche Beregnungsflächen und der Austrag aus bestimmten geologischen Schichten bei.

Tabelle  
*Gruppen und Einflüsse ausgewählter Bestandteile eines Einzugsgebietes*



Die Kenntnisse dieser Vorgänge einschließlich der fachübergreifenden Zusammenhänge liefert den Ansatz zu abwendenden Maßnahmen gegen eine Gefährdung der Wasserversorgung.

**Systemkomponenten und Komplexität in Flussgebieten**

Flusseinzugsgebiete sind die räumlichen Einheiten der wasserwirtschaftlichen Planung und repräsentieren die gesamten Landflächen aus denen der

standteile in einem Einzugsgebiet berücksichtigt werden.

Gerade in den Trockengebieten sind eine Vielzahl von Speichern durch das natürliche Flusssystem, aber auch durch künstliche Kanäle miteinander vernetzt. Aus den Speichern werden täglich unterschiedliche Mengen in die Flüsse und Kanäle abgeführt, um den Wasserbedarf der Bevölkerung und zur Bewässerung der Felder zu decken.

Zur Optimierung der Wassergütebewirtschaftung richtet sich die Frage, wann und wie-

Klimageschehen	Energieeintrag und Niederschlag
Flüsse und Kanäle	Transport und Stoffumwandlungen
Speicher und Talsperren	Speicherung und Stoffumwandlungen
Landwirtschaft	Erosion, Stoffausträge und Wasserbedarf
Städte, Siedlungen, Industrie und Tourismus	Wasserverbrauch und Wasserverschmutzung

Erst wenn das Zusammenwirken dieser komplexen Systeme verstanden worden ist, kann man die weitere Entwicklung mit der entsprechenden Software – je nach Gewässer mit unterschiedlichen Modellen – simulieren, um dann rechtzeitig eingzugreifen zu können. Die Wissenschaftler des Fachgebietes Gewässergütemodellierung haben es sich zur Aufgabe gemacht, Steuerungen für die Wasserversorgung in Trockengebieten zu entwickeln – auf der Grundlage von Simulationsmodellen.

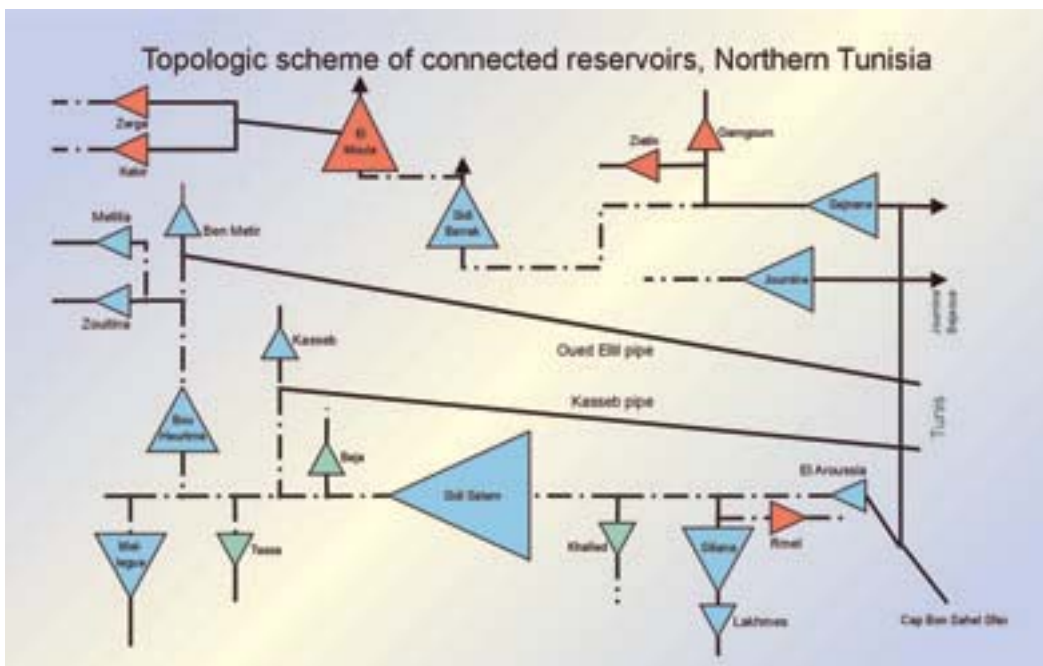


Abbildung 2  
Vernetztes Kanal- und Wasser-  
speichersystem in Nord-Tunesien

tägliche Planung und Beurteilung bereit.

Das Management der verschiedenen Wasserreserven erfordert zum einen eine langfristige Planung, um die ganzjährigen Bedürfnisse zu decken. Zum andern wird durch die spätere tägliche Bewirtschaftung eine flexible, den Witterungsbedingungen und sonstigen Einflüssen angepasste Planung möglich.

Bei einer Planung kann der Koordinator die Entwicklung der Gewässerbeschaffenheit für die nächsten Tage, Wochen oder Monate unter verschiedenen Witterungsbedingungen ermitteln. Dadurch ist er in der Lage, Gewässerverslechterungen im Vorfeld zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Ohne die zentrale Verwaltung der täglichen Daten in der Datenbank wäre eine Ein-

**Systemverhalten nur mit Daten, Modellen und zugehöriger Software prognostizierbar**

Die Kombination von Simulationsmodellen für Flüsse und Seen wird durch vollkommen unterschiedliche Eigenschaften der Systeme und Fragestellungen erschwert.

Seen und Talsperren haben im Vergleich zu den mehr linienhaften, vernetzten Systemen der Flüsse den Charakter von Einzelsystemen. Hier findet relativ ortsfest vor allem eine jahreszeitliche Veränderung der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen statt.

Modelle müssen vor allem eine kontinuierliche Entwicklung der Wassergüte über die Zeit erfassen.

Bei Fließgewässern stehen häufig bestimmte Ereignisse zu einem charakteristischen Zeitpunkt im Vordergrund. Fragestellungen betreffen dann ihre räumliche Ausbreitung und die stofflichen Veränderungen entlang des Fließweges. Modelle müssen daher vor allem die korrekte Wiedergabe von signifikanten Einzelereignissen leisten.

Eine direkte Kopplung der Modelle ist daher nicht sinnvoll.

Am Fachgebiet Gewässergütemodellierung konzentrierten sich die bisherigen Forschungen vor allem darauf, Methoden zur Nutzung von Datenbankplattformen als »central management units« zu entwickeln.



Abbildung 3  
Entnahmestation für Bewässerungswasser in El Heri

Das zentrale Element in der optimierten täglichen Gewässergütebewirtschaftung bildet die Datenbank BADGE0.1.

Sie verwaltet sämtliche Mess- und Simulationsdaten. Alle täglich erhobenen Daten der Bewirtschaftung werden zentral erfasst. Diese stehen somit dem Koordinator für die

bindung dieser nur mit einem sehr hohen und unwirtschaftlichem personellen Aufwand möglich.



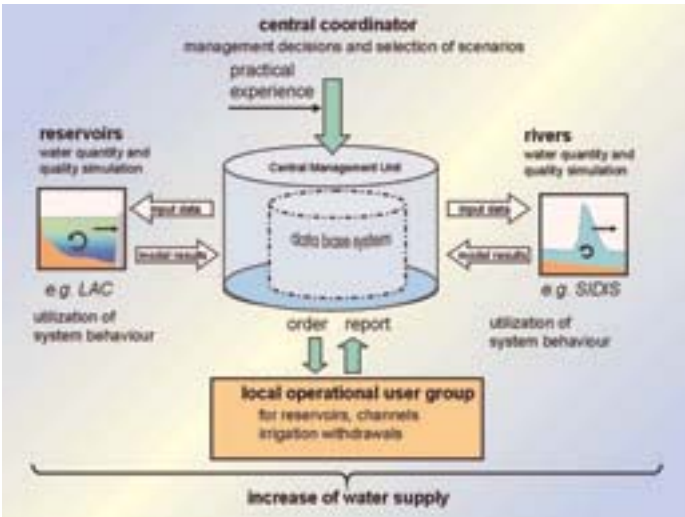
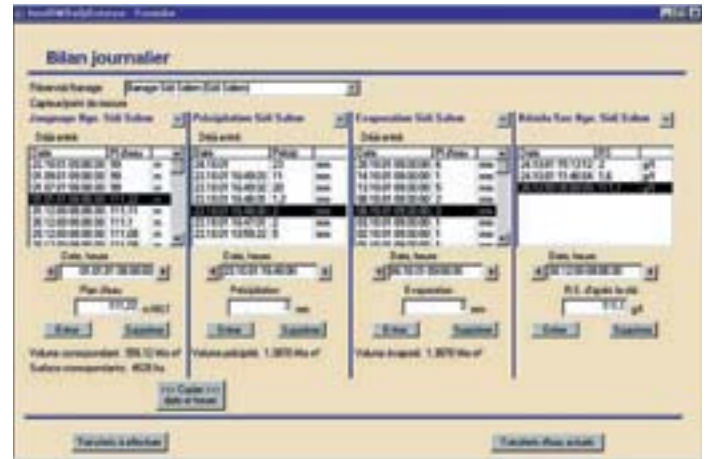


Abbildung 4 Konzept für eine modellgestützte optimierte tägliche Wassergütebewirtschaftung: Anhand der aktuellen Daten der Speicher und den daraus berechneten Simulationsergebnissen korrigiert der zentrale Planer die langfristigen Abgaben für die angepasste tägliche Bewirtschaftung. Diese wird dann durch die Operateure an den Speichern umgesetzt.

Abbildung 5 BADGE0.1-Eingabemaske für die an den Stauseen täglich erhobenen Parameter: Wasserstand, Verdunstung, Niederschlag und Trockenrückstand. Nützliche Hilfsmittel unterstützen eine schnelle Auswertung. So wird beispielsweise aus der Angabe des Wasserstandes direkt das vorhandene Wasservolumen berechnet.



Reservoirmodelle

Das Gütemodell Lac wurde für die zielgerichtete Erfassung wassergüterrelevanter Prozesse in Seen und Talsperren gemeinsam am Fachgebiet Gewässergütemodellierung der Universität Hannover und am Institut für Wassergüte und Umweltschutz, Hannover, entwickelt (Lehmann & Lehmann, 2000, Froebrich, 2000).

In dem Modell werden auf die Umsatzvorgänge der in einen See eingetragenen und gebildeten Schwebstoffe sowie die Dynamik der Planktonbiomassen-Entwicklung und deren Folgen für die Wassergüte erfasst.

Der Ansatz des Modells Lac zur Erfassung der zeitlichen Konzentrationsänderung gelöster und partikulärer Substanzen (z.B. Salze, Sauerstoff, Nährstoffe, Plankton und Detritus) beruht auf dem Prinzip des Massenerhaltes in einem Kontrollvolumen.

Die Simulationsergebnisse des Modells Lac können genutzt werden, um die Auswirkungen von technischen Maßnahmen zu identifizieren.

Während der Hochwasserperiode wird beispielsweise die Talsperre Sidi Salem mit gering versalztenem Wasser gefüllt. Eine nachfolgende mehrjährige Aufkonzentration wird vor allem durch sehr

salzhaltige Zuflüsse hervorgerufen. Unterschiedliche Modellszenarien, wie der Rückhalt von salzhaltigen Zuflüssen in anderen Speichern des Systems, wurden zur Optimierung der Bewirtschaftung getestet. Die so erreichbare Verbesserung der Wassergüte beeinflusst unmittelbar die Verfügbarkeit von Bewässerungswasser im Unterlauf, da hier die Qualität in erster Linie von dem abgegebenen Talsperrenwasser beeinflusst wird.

Abbildung 6 Diskretisierung des Modellgebietes in übereinander angeordnete, horizontal volldurchmischte Schichten: In dem seartigen, inneren Bereich von Stauseen dominieren vertikale Stoff- und Energiegradienten. Ein detaillierter vertikaler Modellansatz ist daher eine Mindestvoraussetzung für die Gütesimulation. Anzahl und Lage der Zu- und Abflüsse sind frei wählbar. Verdunstung und Strahlungsbilanz berechnen sich allein aus vorgegebenen Klimadaten.

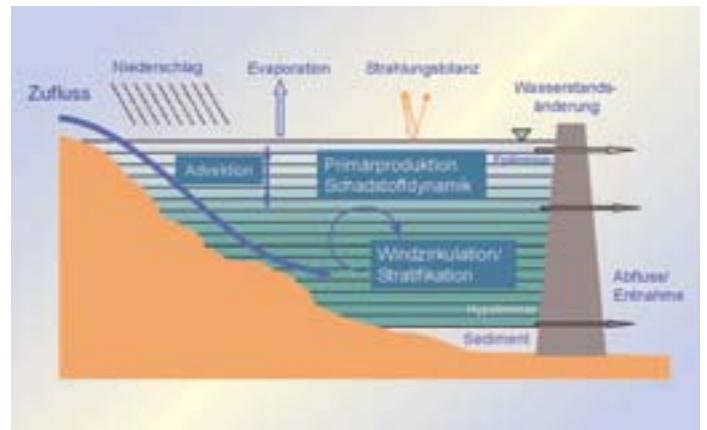
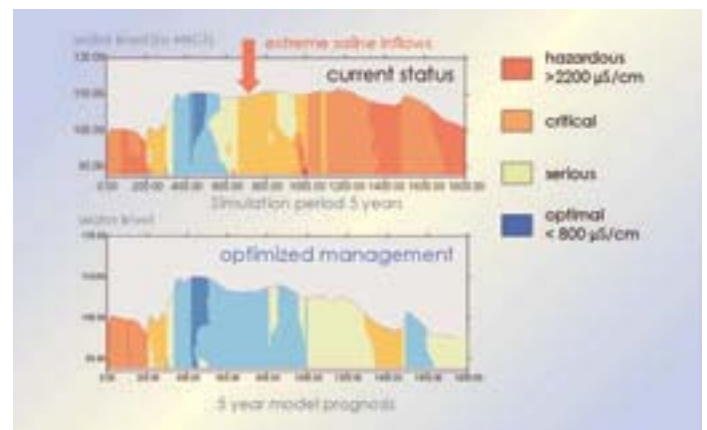


Abbildung 7 Simulationsergebnisse zur Optimierung der Talsperrensteuerung, mit der eine Verringerung des Salzgehaltes erreicht werden kann: Ergebnisse zur Simulation der Leitfähigkeit für die Talsperre Sidi Salem, Tunesien.



Flussmodelle

Die Gewässerfließstrecken können mit so genannten Flussmodellen simuliert wer-

Mit Flächeneintragsmodellen wie z.B. dem Programm SIDIS lassen sich die Einflüsse infor-

wegs stattfindenden Um- und Abbauvorgänge der Nährstoffe. Während das Vorgän-

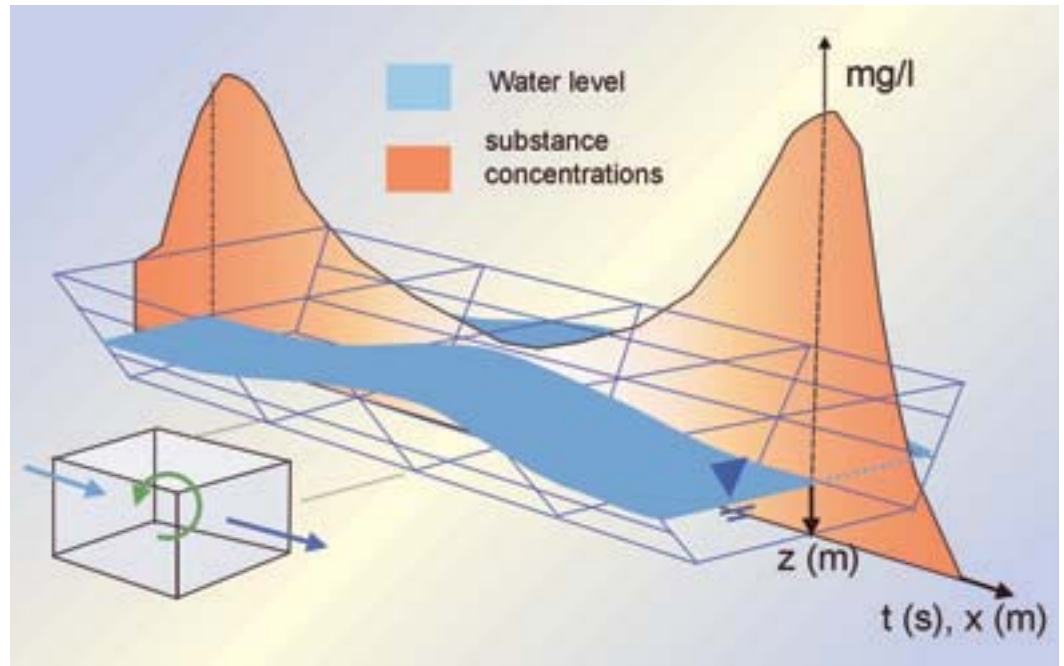


Abbildung 8  
Prinzip eines Flussmodells: Der Flussverlauf wird entsprechend der Eigenschaften in charakteristische Abschnitte aufgeteilt. Für die betrachteten Volumenelemente werden der Durchfluss, die ein- und ausgetragenen Stofffrachten und die internen Umsatzvorgänge berechnet.

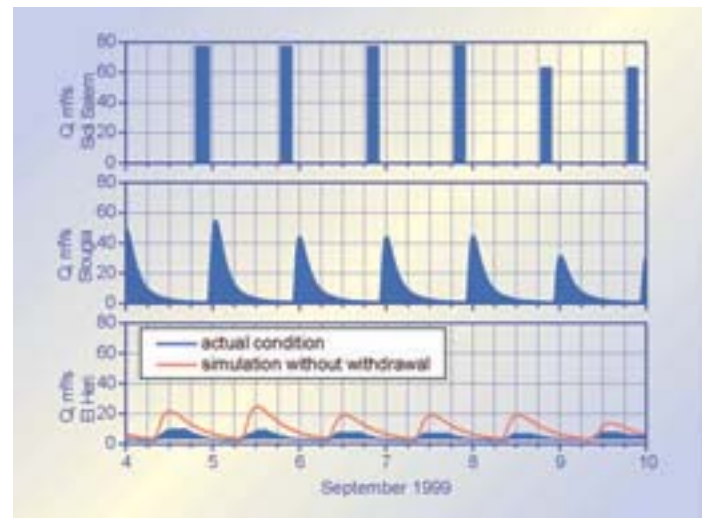
den. Entscheidend ist dabei die Auswahl eines Modells, welches die erforderlichen Merkmale und Charakteristiken darstellen kann. Prinzipiell ist das Managementkonzept offen für die Anwendung verschiedener Flussmodelle.

Abbildung 9  
Beispielhafte Darstellung der Abgabewellen im Flusslauf der Medjerda zwischen dem Stausee Sidi Salem und der Flussstauhaltung El Aroussia an den Stationen Slougia und El Heri: An der Station El Heri ist der Wasserstand ohne Bewässerungsentnahmen zum Vergleich dargestellt.

Da die Fließbedingungen einen sehr starken Einfluss auf die Gewässergüte haben, ist eine möglichst genaue Darstellung dieser im Modell erforderlich.

Um die stark instationären Fließverhältnisse dieses Systems abzubilden, wurden verschiedene Abflussmodelle angewendet.

Mit derartigen Programmen können die sich im System ausbreitenden Wellen nachgebildet werden. Im Fall einer Wasserknappheit kann eine Simulation unter Berücksichtigung der Entnahmen und Verluste (z.B. Verdunstung und Versickerung) Aufschluss über mögliche Sparmaßnahmen geben.



ge der unterschiedlichen landwirtschaftlichen Flächennutzungen auf die Gewässergüte darstellen.

Dieses am Institut für Wassergüte und Umweltschutz zusammen mit dem Fachgebiet Gewässergütemodellierung entwickelte Modell erfasst punktförmige Belastungen, die diffusen Einträge in Flüsse und die entlang des Fließ-

germodell an der Hunte erfolgreich eingesetzt wurde (Lehmann, 1993, 1992), konnte mit dem Modell SIDIS unter anderem des gesamte länderübergreifende Einzugsgebiet der Vechte bearbeitet werden (Lehmann, 1994).



**Prof. Dr.-Ing. habil.  
Herwig Lehmann**

Jahrgang 1940, Leiter des Fachgebietes Gewässergütemodellierung am Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen



**Dr.-Ing. Jochen Froebrich**

Jahrgang 1966, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Gewässergütemodellierung



**Felix Lehmann**

Jahrgang 1967, Mitarbeiter am Fachgebiet Gewässergütemodellierung



**Dipl.-Ing. Wilfried Seemann**

Jahrgang 1971, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Gewässergütemodellierung

### Sauberes Wasser durch Computernutzung!

Hydrosecurity, die nachhaltige Sicherung der Wasserversorgung, braucht in Wasserkrisenregionen vor allem eins: Wasser! Wasser kann offensichtlich nicht im Computer erzeugt werden. Aber die Sicherheit der Bereitstellung kann heute mit Softwareunterstützung geprüft und erhöht werden.

Die Kombination von Fluss- und Reservoirgütemodellen in Verbindung mit einer zentralen Datenbank kann insgesamt aber als Schlüssel für die Prognose wirkungsvoller Entschlammungsstrategien und für die erhöhte Nutzbarmachung der natürlichen Wasservorräte aufgefasst werden. Unabhängig von begrenztem Fachspezialistentum werden fachübergreifende Zusammenhänge deutlich.

Für die Unterstützung durch die Verantwortlichen des Projektes in Tunis, Mohamed El-Hédi Louati und Dr. Ubald Koch, der DG.E.T.H. für die Anregungen und Bereitstellung der Felddaten sowie der GTZ für die Förderung des Vorhabens sei ausdrücklich gedankt.

Die praktische Anwendung der entwickelten Methodik im Rahmen des GE.O.R.E Projektes im Einzugsgebiet der Talsperre Sidi Salem verdeutlicht, dass durch die optimierte tägliche Gewässergütebewirtschaftung

- die Salzkonzentration in Talsperren und im Bewässerungswasser wesentlich reduziert werden kann,
- sich Optionen zur Beeinflussung der Schwebstoffdynamik und der Verlandung von Speicherräumen ableiten lassen,
- sich die Gewässergüte in Speichern um mehr als eine Klasse verbessern lässt,
- gerade Spülstoßereignisse von wesentlicher Auswirkung auf den Gewässergütezustand sind,
- beispielsweise die Kosten für eine Sauerstoffanreicherung in Talsperren durch die Kalkulation kritischer Zufuhrfrachten wesentlich gesenkt werden können.

Die Forschungsergebnisse fließen derzeit in ein DFG-EU Verbundvorhabens zur Optimierung der Wassermengen- und -gütebewirtschaftung des Tuyamuyn Reservoirs im Einzugsgebiet des Aral-Sees ein. Für die Bewilligung des Verbundvorhabens sollen bereits an dieser Stelle INTAS und die DFG dankend hervorgehoben werden.

### Literatur

- Lehmann, H.; Lehmann, F.: Retenue de Sidi Salem (2000): Modélisation du bilan d'oxygène. Continuation, complément et intégration de la modélisation. Rapport final on behalf of GTZ, project »Optimal water resources management North Tunisia«. Institut für Wassergüte und Umweltschutz (IFWU), Hannover.
- Louati, Med. H., Lehmann, H., Lehmann, F. (1998): Qualité de l'eau des réservoirs du Nord de la Tunisie – Stratégies de quantification et modification, Tagung »Les jours scientifiques de l'INRGRF«, Hammamet, Tunesien, 29.–30.10.1998.
- Lehmann, H. (1994): »Ursachen und Beeinflussung der Verschmutzung aus diffusen Quellen der Vechter«, im Auftrag des Staatlichen Amt für Wasser und Abfall Meppen, Provincie Overijssel Milieu en Waterstaat, Zwolle, Staatliches Amt für Wasser und Abfall Münster, IFWU Prof. Lehmann, Hannover.
- Lehmann, et al.(1992): »Modellhafte Erarbeitung eines ökologisch begründeten Sanierungskonzeptes kleiner Fließgewässer am Beispiel der Hunte, Gewässergüteprognosen« FKZ BMFT 0339310E, Universität Hannover, 1992.
- Lehmann, H., Zintz, H.-O.(1993): Modellierung diffuser Nährstoffeinträge und deren Rückhalt; in: Wasser + Boden, 1993, Heft 8.
- Froebrich, J. (2001): Use of reservoir modelling tools for an integrated water management, First Chinese-Japanese-German Symposium on international river basin management, October, 2001, Hannover, Germany.
- Froebrich, J. (2001): Einfluss allochthoner organischer Schwebstoffe auf die Wasserbeschaffenheit von Stauseen in semiariden Gebieten am Beispiel der Talsperre Sidi Salem, Tunesien, gwfwasser/abwasser 142, H. 11, 2001.
- Froebrich, J. (2000): Vorhersage der mehrjährigen Wassergüteeentwicklung in Speichern mittels eines deterministischen Modells, Cuvillier Verlag Göttingen.
- Froebrich, J., Lehmann, F. (2000): Gewässergütemodellierung der Tagebaurestseen, in: Wasserwirtschaftliche Sanierung von Bergbaukippen, Halden und Deponien, Freiburger Forschungshefte: C; 482.