



## Ein zentrales Wasserproblem dezentral lösen: Deutsche Kompetenzen bilden den Grundstein für neuen Abwassersektor am Beispiel Jordanien

Bewerbung an die  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Vorgeschlagen durch  
Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.

Bewerber  
Prof. Dr. Roland Arno Müller (Sprecher)  
Dr. Manfred van Afferden  
Dr. Mi-Yong Lee  
Dipl.-Ing. Wolf-Michael Hirschfeld

## INHALT

THEMA .....	2
KURZFASSUNG .....	3
INNOVATIONSGEHALT .....	4
MODELLCHARAKTER .....	10
UMWELTENTLASTUNG .....	12
HERAUSFORDERUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG IN JORDANIEN .....	16
BEWERBERTEAM .....	18
QUELLENVERZEICHNIS .....	19
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	20
ANLAGENVERZEICHNIS .....	20
EMPFEHLUNGSSCHREIBEN .....	21



## THEMA

Zukunftsfähige Abwassersystemlösungen als Baustein einer nachhaltigen Entwicklung: modellhafte Konzeption und Gestaltung des dezentralen Abwassersektors als Katalysator für die Erreichung des Ziels „Sauberes Wasser für alle“.

## DANKSAGUNG

*Diese Bewerbung wird von der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V. vorgelegt. Unser besonderer Dank gilt daher Herrn Prof. Dr. Otmar Wiestler für die Würdigung unserer Arbeit. Unser herzlicher Dank gilt des Weiteren der Geschäftsführung sowie den zahlreichen Kolleginnen und Kollegen am UFZ für die Motivation sowie die inhaltliche und administrative Unterstützung bei der Erstellung dieses Dokuments. Besonders bedanken wir uns außerdem bei Frau Prof. Angelika Zahrt (BUND e.V.), Herrn Dr. Karl Eugen Huthmacher (BMBF), Herrn Dr. Holzwarth (BDZ e.V.) und Herrn Roland Pöhl (Herstellervereinigung, BDZ e.V.) für die Empfehlung unserer Bewerbung bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.*





## KURZFASSUNG

**Eines der globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung ist es, die „Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser- und Sanitärversorgung für alle zu gewährleisten“. Dabei ist der Schutz der Wasserressourcen, insbesondere des Grundwassers als Haupt-Trinkwasserressource, zentral - gerade im ariden Raum.**

Ausgehend von eigenen grundlegenden Vorarbeiten im dezentralen Abwassermanagement in Deutschland ist das Bewerberteam seit 2006 in dieser Mission international unterwegs. In Jordanien ist es unter schwierigen Bedingungen (Arabischer Frühling, Flüchtlingskrise) beispielhaft gelungen, die Grundlagen eines dezentralen Abwassersektors als nationales Instrument des Wassermanagements zu schaffen. Durch die Entwicklung und Verbindung von Forschungs-, Kommunikations- und Bildungsmodulen hat es das Bewerberteam geschafft:

- den Bogen zu spannen von der Forschung bis zur Praxis,
- technologische, ökonomische und ökologische Sachverhalte zu integrieren und
- regionale und nationale Entscheidungsträger für die Umsetzung zu befähigen.

Der neue dezentrale Abwassersektor markiert einen Paradigmenwechsel: weg von primär zentralen kanalgebundenen Abwasserentsorgungsstrukturen, hin zu effizienten Systemlösungen – kanal- und nicht kanalgebundenen – auf allen Größenskalen.

Die wesentlichen Produkte des Bewerberteams sind:

- die Entwicklung neuer wartungsarmer Abwassertechnologien,
- die Entwicklung eines Erschließungsinstruments für die Investitionsplanung,
- die Entwicklung und Durchführung eines umfassenden Aus- und Weiterbildungsprogramms zur Sicherung der Nachhaltigkeit sowie
- die Mitwirkung bei Standortauswahl, Gestaltung von Erschließungsszenarien und Entscheidungsfindung in einem Investitionsvorhaben.

Zugleich ist in Jordanien ein neuer Abwassermarkt mit Ausstrahlung in die Region entstanden und zahlreiche Anlagenhersteller bereiten gemeinsam mit dem Bewerberteam die Markterschließung vor. Bei allen ihren Aktivitäten stellen die Bewerber die regionalen Entscheidungsträger und Stakeholder in den Mittelpunkt, die aktiv mitgestalten, um „ihre Lösung“ zu entwickeln und umzusetzen. Damit werden landesspezifische Leitplanken für die eigene Infrastrukturentwicklung geschaffen.

## INNOVATIONSGEHALT

### Dezentraler Abwassersektor als Instrument eines nationalen Wassermanagements und Umweltschutzes

Das Bewerberteam hat dezentralen Abwassersystemen in Deutschland und im Ausland zum Durchbruch verholfen und damit einen innovativen und modellhaften Beitrag zur Umsetzung wesentlicher Ziele der Agenda 2030 geleistet. Es besteht großer Bedarf an dezentralen Abwassersystemen, da weltweit nur 20 Prozent des anfallenden Abwassers überhaupt behandelt werden (UN Water, 2015). Dieser Markt ist in der Regel jedoch weder organisiert noch institutionell eingebettet, so dass eine Einführung von neuen Technologien erheblich erschwert ist und nur punktuell und wenig nachhaltig erfolgen kann. Ursachen hierfür sind typischerweise eine fehlende intersektorale Koordination, um Wasserressourcenprobleme zu lösen, fehlende Zuständigkeiten und Verwaltungsstrukturen, Unsicherheiten über die Leistung der Technologien und deren Kosten sowie fehlende Betreibermodelle (fit and forget) (vgl. *Herausforderungen und Problemstellung in Jordanien*, Seite 15).

Die Bildung eines neuen Abwassersektors basiert auf politischen Rahmenbedingungen, die den Einsatz neuer Systemlösungen regulieren; auf Herstellern, die für den lokalen Kontext adäquate Anlagen anbieten; auf Kommunen mit hinreichender Akzeptanz für Abwasserlösungen und der Befähigung entsprechende Investitionen zu realisieren sowie auf der ausreichenden Verfügbarkeit von Betreiber- und Wartungsfirmen mit ausgebildetem Fachpersonal, die eine sichere und nachhaltige Nutzung der Infrastruktur landesweit gewährleisten. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen an die Bildung eines neuen Marktsegments hat das Bewerberteam Pionierarbeit darin geleistet, eine zukunftsfähige Abwasserbehandlung in Deutschland, im Nahen Osten und in anderen Regionen als nachhaltigen Systemansatz zu entwickeln.

Das Bewerberteam sieht im dezentralen Abwassermanagement einen Schlüsselsektor für einen Paradigmenwechsel in der Wasserwirtschaft, der wesentlich beiträgt zur Erreichung des Sustainable Development Goals 6 (SDG 6):

- **Bekämpfung der Wasserknappheit**
- **erhöhte Nutzungseffizienz und**
- **Wasserressourcen-, Grundwasserschutz.**

Dezentrale Abwassersysteme sind weltweit ein Schlüssel der „Hilfe zur Selbsthilfe“ und entscheidend für die zügige Verbesserung der Lebensqualität in Entwicklungsländern mit virulentem Migrationsdruck. Denn sie können flexibel an die typischen Dynamiken von Wassermangelgebieten (Topographie, Bevölkerungsdynamik, Reuse-Optionen, Klima) angepasst werden. Ihre Flexibilität ist der ländlichen und suburbanen Entwicklung sehr zuträglich, da hohe Investitions- und Betriebskosten für lange Kanalnetze und Pumpwerke häufig den Anschluss an die nächste zentrale Kläranlage verhindern. Ein modularer Aufbau von Infrastruktur ermöglicht es dagegen, Abwasser am Entstehungsort zu behandeln (Crites und Tchobanoglous, 1998). Dadurch kann die ländliche Wasserverfügbarkeit signifikant verbessert werden, z.B. durch Frischwasser-substitution in der landwirtschaftlichen Bewässerung und den Schutz des Grundwassers vor ungereinigtem Abwasser. Das Bewerberteam tritt dafür ein, dezentrale Abwassersysteme nicht als Konkurrenz zu existierenden Kanalnetzen zu sehen. Vielmehr sind sie komplementäre Maßnahmen mit dem Ziel, eine flächendeckende Abwasserentsorgung bereitzustellen. Für den Kontext von Entwicklungs- und Schwellenländern sind dezentrale Systeme als kleinere kanalgebundene und nicht gebundene Klärwerke bis ca. 5000 Einwohnergleichwerte definiert, die im Verbund (geographische Cluster) durchaus bis zu mehrere 10.000 Einwohnergleichwerte erreichen können.

Auch wenn die Nachteile langer Kanalnetze, wie sehr hohe Investitions- und Betriebskosten sowie begrenzte Flexibilität, hinsichtlich des demographischen und klimatischen Wandels bekannt sind, kommen dezentrale Systemlösungen international vergleichsweise selten zum Einsatz. Grund hierfür sind oft Wissensdefizite und Unsicherheiten von Entscheidungsträgern und Bürgern über Technologiebewertungen, Betriebs- und Verwaltungsstrukturen sowie Kosten und Verwaltungsstrukturen.

### Pionierarbeit in Deutschland

Das Bewerberteam hat in Deutschland maßgeblich daran mitgewirkt, eine neue Qualität von Abwassersystemlösungen zu realisieren. In Zusammenarbeit mit und mit Unterstützung von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt waren Dipl.-Ing. W.-M. Hirschfeld und Prof. Dr. R. A. Müller Gründer des Bildungs- und Demonstrationszentrums für dezentrale Abwasserbehandlung e.V. (BDZ). Der Verein, dem mittlerweile über 100 Mitglieder aus Verwaltung, Wissenschaft und Unternehmen angehören, hat die Integration dezentraler Abwassersysteme im Einklang mit Verwaltung, Technik und regionalen Erfordernissen vorangebracht und

umgesetzt. Für den Erfolg verantwortlich war im Wesentlichen der Aufbau effizienter Kommunikationsstrukturen über föderale Grenzen hinweg sowie die Gründung einer deutschen Herstellervereinigung für dezentrale Abwassertechnologien, die heute den Kern der branchenspezifischen Kommunikation darstellt. Bis heute ist das BDZ gemeinnützig geblieben. Es berät Bürger, Wissenschaftler, Nichtregierungsorganisationen und politische Entscheidungsträger über dezentrale Abwassertechnologien und bildet praxisnah Techniker unterschiedlicher Sparten aus.

### Pionierarbeit im Ausland

Auf Basis dieser Kompetenzen arbeiten das UFZ-Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum (UBZ)

### Transdisziplinäres Vorgehen bei der Gestaltung von Abwasser-Systemlösungen

Das Bewerberteam hat zur systematischen Entwicklung des dezentralen Abwassersektors ein wissenschafts-basiertes transdisziplinäres Vorgehen entwickelt. Dieses Vorgehen zeichnet sich dadurch aus, dass die Erzeugung und die Implementierung von Forschungsergebnissen ein integraler Bestandteil der Prozessgestaltung werden und zugleich in die realen Verwaltungsabläufe des jeweiligen Wassermanagements eingebettet sind.

Ein wesentliches Merkmal dieses Vorgehens ist das gleichrangige und simultane Zusammenspiel der vier Hauptbereiche: dezentrale Abwassertechnologien, Planungs- und Entscheidungshilfen (Erschließungswerkzeuge), institutionelle Rahmenbedingungen sowie Aus- und Weiterbildung (vgl. Abb. 1). Durch dieses Vorgehen konnte das Bewerberteam Rahmenbedingung für zukunftsfähige Abwasserkonzepte gestalten, hat durch Entwicklung eines innovativen Erschließungswerkzeugs Investitionen in dezentrale Abwasserinfrastrukturen vorbereitet, hat neue Abwassertechnologien entwickelt, erprobt und implementiert sowie durch neukonzipierte Bildungsmaßnahmen für verschiedene Adressatengruppen Wissen vermittelt und Zielgruppen sensibilisiert (vgl. Abb. 2).

Mit diesem Vorgehen überwinden sie die disziplinären Grenzen zwischen Natur-, Ingenieur- und Sozialwissenschaften und insbesondere jene zwischen Forschung und Praxis. Das Bewerberteam hat frühzeitig ein Netzwerk der Schlüsselakteure aufgebaut und verstetigt, so dass diese im ständigen Austausch stehen können.

und das Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung e.V. (BDZ) seit 2006 gemeinsam an dem Forschungsthema „Wasserinfrastrukturen für Wassermangelgebiete“. Ein besonderer Schwerpunkt der Arbeiten ist Jordanien. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) förderte und unterstützte das Bewerberteam in den Forschungsprojekten: SMART I, SMART II, SMAR Move, NICE I und NICE II. Diese Forschungsvorhaben haben entscheidend dazu beigetragen ein dezentrales Abwassermanagement zum nachhaltigen Schutz der Grundwasserressourcen zu entwickeln und modellhaft auch für andere Länder im ariden Raum umzusetzen.

Zu diesem Netzwerk gehören die für den neuen Sektor relevanten jordanischen Behörden und Ministerien, Universitäten, Unternehmen, lokale und internationale Nichtregierungsorganisationen, Geberorganisationen und Entwicklungsbanken.

Ziel des Vorgehens ist es, einen offenen und transparenten und über Fachjargons hinausgehenden Dialog zu ermöglichen, der die Schlüsselakteure in eine gemeinsame Arbeitssituation stellt mit dem Ziel, die Elemente und Aufgaben des dezentralen Sektors zu entwickeln. Dazu hat das Bewerberteam wissenschaftlich-technische Beiträge geleistet und vor Ort dauerhaft als Moderator und Mediator die Kommunikation als neutraler „Broker für den Wasserressourcenschutz“ angestoßen, gefördert und begleitet.



Abbildung 1: Transdisziplinäres Vorgehen



## Umsetzung des transdisziplinären Vorgehens

Die effektive Kombination der vier methodischen Hauptbereiche (vgl. Abb. 1) bildet die Grundlagen des neuen dezentralen Abwassersektors in Jordanien. Die Ergebnisse des Wettbewerbsteams sind chronologisch in der *Abbildung 2* zusammengestellt und farblich den Elementen des transdisziplinären Vorgehens zugeordnet. Ausgewählte Ergebnisse werden durch die „HIGHLIGHTS“ illustriert, die ausführliche Dokumentation ist den Anlagen 1 bis 21 zu entnehmen.



Abbildung 2: Chronologie der Ergebnisse des Wettbewerbsteams in Jordanien (Anlagen 1-21)

## Paradigmenwechsel

Dem Bewerberteam ist es damit erstmalig gelungen, die deutschen (BDZ) Vorarbeiten ins Ausland überführt und auch dort einen Paradigmenwechsel im Wasserressourcenmanagement erreicht zu haben: weg von primär zentralen kanalgebundenen Abwasserentsorgungsstrukturen, hin zu Systemlösungen, die kanalgebundene und nicht kanalgebundene Infrastrukturen auf allen Größenskalen effizient kombinieren. Damit hat das Bewerberteam auch siedlungswasserwirtschaftliche Pionierarbeit geleistet und auf gesamtstaatlicher Ebene die politischen Voraussetzungen für bezahlbare, sichere und territorial adaptierbare Systemlösungen gesetzt.

## Strukturwirkungen

Darüber hinaus hat der neue Abwassersektor weitreichende Strukturwirkungen auf das Wasserressourcenmanagement:

### 1) Intersektorale Kommunikation:

Das Rahmenwerk und die dezentrale Abwassermanagement-Policy wurden in einem dreijährigen Prozess in Jordanien entwickelt, an dem durchgehend sowohl die wesentlichen jordanischen Entscheidungsträger als auch Universitäten und Nichtregierungsorganisationen in über 40 Komiteesitzungen und Capacity-Development Workshops beteiligt waren. Zwischen den für Wasser relevanten Sektoren wurde erstmalig für Jordanien eine



Abbildung 3: Workshop des „National Implementation Committee for Effective Decentralized Wastewater Management in Jordan“

## Interministerielles Komitee

Initiiert vom jordanischen Wasserministerium und unterstützt vom UFZ und BMBF wurde in 2012 ein Implementierungsbüro im jordanischen Wasserministerium errichtet und mit der Entsendung von Frau Dr. Mi-Yong Lee als Büroleiterin durch das Bewerberteam dauerhaft besetzt. Die Aufgaben des Büros umfassen die Konzeption, Moderation und fachliche Unterstützung eines jordanischen runden Tisches für dezentrales Abwassermanagement. Der erste Meilenstein war die Gründung des „National Implementation Committee for Effective Decentralized Wastewater Management in Jordan“ (NICE). Mitglieder des Komitees sind die Ressorts Wasser, Planung, Landwirtschaft, Städtische Angelegenheiten, sozialer Wohnungsbau, Umwelt und Gesundheit, das UFZ sowie die Vertreter jordanischer Universitäten und NGOs. Als Beobachter sind Vertreter der deutschen Entwicklungszusammenarbeit (KfW, GIZ, BGR) beteiligt. NICE setzte sich zum Ziel, sektorenübergreifend

ein Rahmenwerk für dezentrales Abwassermanagement zu entwickeln. Hierfür richtete das Komitee technische Arbeitsgruppen ein: Raumplanung, Technologieauswahl, Partizipative Planung, Betriebsführung, Qualitätsstandards und Grundwasserschutz. Durch die tägliche Zusammenarbeit vor Ort konnte das Bewerberteam in seiner Rolle als unabhängiger Mediator „Anwalt für die Umwelt“ das Vertrauen der Entscheidungsträger gewinnen und somit aus einer neutralen Position heraus die Steuerungs- und Arbeitsgruppensitzungen des Komitees inhaltlich strukturieren, moderieren, administrativ unterstützen und bei strittigen Fragen mit Fachbeiträgen vermitteln. Damit hat es wesentlich beigetragen zur Erreichung des Komitee-Ziels, bis 2015 ein intersektoral abgestimmtes nationales Rahmenwerk vorzulegen. Motiviert durch ihre erfolgreiche Zusammenarbeit, beschlossen die NICE-Mitglieder, ihre Arbeit in Form einer Policy dem Kabinett vorzulegen. Der erste Entwurf der Policy für ein dezentrales Abwassermanagement, der der offiziellen Fassung entspricht, wurde vom Bewerberteam vorgelegt und im Februar 2016 vom jordanischen Kabinett angenommen. UNDP bewertet die jordanische Policy für dezentrales Abwassermanagement als „significant step“, hin zur Nutzung von Abwasser als Ressource (s. Anlage 21).

Seit 2017 hat das Komitee die Koordination von Investitionsvorhaben in dezentrale Abwasserinfrastrukturen übernommen. Im selben Jahr wurde das Bewerberteam gebeten, die Moderation und fachliche Begleitung von NICE fortzuführen. Die neuen Schwerpunkte sind die Zertifizierung dezentraler Abwassertechnologien, die Zertifizierung von Betreibern dezentraler Abwassersysteme sowie die Indikatorenentwicklung zur Messung des SDG 6-Erreichungsgrads in Jordanien.

mehrjährige kontinuierliche intersektorale Kooperation zur Lösung eines strukturellen Wassermanagementproblems (Abwasser und Reuse) realisiert und mit zwei von allen Beteiligten verabschiedeten Produkten (Rahmenwerk und Policy) konkretisiert (siehe Highlight 1).



## Technologieentwicklung

In Schwellen- und Entwicklungsländern müssen neue Abwassertechnologien vor deren Einführung besondere Qualitäten besitzen: Sie müssen robust und erschwinglich sein und bei einem niedrigen Wartungsaufwand einen möglichst störungsfreien Betrieb sowie eine effizienten Abwasserreinigung ermöglichen.

Im Jahr 2010 wurde die vom Bewerberteam geplante und gebaute Forschungs- und Demonstrationsinfrastruktur für dezentrale Abwassersysteme in Fuheis, Jordanien eröffnet (vgl. Abbildung 4). Auf dem Forschungsstandort wurden elf unterschiedliche dezentrale Abwasserbehandlungsverfahren mit realem Abwasser betrieben, weiterentwickelt und den jordanischen Erfordernissen angepasst. Die ingenieurwissenschaftlichen Verfahrensentwicklungen und Anpassungen sind in Kooperation mit der jordanischen Al-Balqa Applied University sowie lokalen und deutschen Firmen umgesetzt und in die Praxis überführt worden (Zreiqat, 2013; Abdallat, 2015; Klinger et al., 2015).

Das Bewerberteam hat eine besonders für den Einsatz in Schwellenländern geeignete, neue Generation an naturnahen Abwasserbehandlungsverfahren entwickelt: aktiv belüftete Horizontal- und Vertikalfiltersysteme (Nivala et al., 2013a; Nivala et al., 2013b; Headley et al., 2013; Boog et al., 2014; Avila et al., 2014; Button et al., 2015; Button et al., 2016). Diese ermöglichen es, Wasserverluste aufgrund hoher Außentemperaturen zu minimieren und durch eine räumlich und zeitlich gesteuerte Belüftung

## 2) Technologische Innovation

In enger Zusammenarbeit mit deutschen und jordanischen Unternehmen, Universitäten und Anwendern wurde eine repräsentative Auswahl an deutschen dezentralen Abwassertechnologien an die lokalen Gegebenheiten

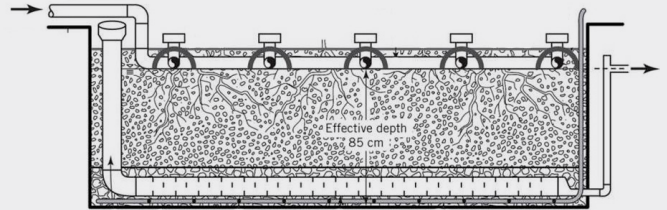


Abbildung 4: links: Bodenfilteranlage am Forschungs- und Demonstrationsstandort Fuheis, Jordanien / rechts: Schema Vertikalfilter

unterschiedliche Redoxzonen im Vertikalfilter einzustellen. Damit können gezielt biologische Reinigungsleistungen wie die Denitrifikation zur Stickstoffentfernung und die Eliminierung pathogener Keime gesteuert werden. Diese Technologien eignen sich daher besonders zum Einsatz in Grundwassereinzugsgebieten und können einen signifikanten Beitrag zu deren Schutz leisten.

Durch die Integration eines Belüftungssystems wurde ein großer Nachteil von Bodenfilteranlagen beseitigt: der hohe Flächenverbrauch. Die neuen Technologien sind kompakter und ihr Flächenverbrauch ist im Vergleich zu den herkömmlichen naturgebundenen Systemen um Faktor 2 bis 4 reduziert. Damit sind sie auch für den Einsatz in dichteren Bebauungen etwa in suburbanen Räumen geeignet.

Neben der sehr guten Reinigungsleistung sind die neuen Technologien energetisch hocheffizient, da ein Betrieb auch passiv, d.h. ohne Wasserpumpen möglich ist und das eingesetzte Belüftungssystem ohne Effizienz Nachteile einen sehr geringen Energiebedarf aufweist.

Aufgrund der überzeugenden Verfahrenscharakteristika wurden beide Technologien in das deutsche DWA-Regelwerk A 262 „Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit Bodenfiltern zur Reinigung kommunalen Abwassers“ aufgenommen (DWA, 2017). Dieser Schritt definiert beide Technologien als neuen deutschen Stand der Technik, der auch über die Grenzen Deutschlands hinweg von den zuständigen Behörden als Genehmigungsgrundlage herangezogen wird. Damit ist ein Transfer von der Forschung hin zu einem flächendeckenden Praxiseinsatz der entwickelten Verfahren gelungen.



angepasst, in der Praxis erprobt und am jordanischen Markt eingeführt. Die Arbeiten des Werbeteams führten zur Entwicklung neuer naturnaher Systeme, die für den Einsatz in Entwicklungs- und Schwellenländern besonders geeignet sind (siehe Highlight 2).

### 3) Neues Technologieverständnis:

Im intersektoralen Prozess hat ein Umdenken der Behörden stattgefunden: weg von ausschließlich technologiegetriebenen hin zu sachgemäßen Lösungen. Dies ist nachvollziehbar in den Protokollen der über 40 Komiteesitzungen und -workshops und ist dokumentiert durch die im nationalen Rahmenwerk und in der dezentralen Abwasserpolicy formulierten Anforderungen an Abwasseranlagen.

### 4) Grundwasserschutz priorisieren:

Durch die Benennung von konkreten „Hot Spots“ im jor-

danischen Rahmenwerk und der Policy für dezentrales Abwassermanagement werden Regionen für dezentrale Abwasserinfrastrukturen auf Grundwasserschutz bezogen priorisiert. Wo Grundwasser signifikant durch die Einleitung von unbehandeltem Abwasser belastet wird und zeitgemäß durch dezentrales Abwassermanagement geschützt werden kann (siehe Umweltentlastung, Seite 12), wurden „Hot Spots“ identifiziert mit dem Ziel, Planungssicherheit für entsprechende Investitionen zu schaffen (siehe Highlight 3 und 4).

### 5) Fokus auf ländliche Entwicklung:

Das dezentrale Abwassermanagement erzeugt naturgemäß einen Fokus auf ländliche und suburbane Entwicklung und ist somit ein Instrument, um die Lebensbedingungen der ländlichen Bevölkerung in den Bereichen Wasserverfügbarkeit und landwirtschaftliche Subs-

## Geodaten-basierte Entscheidungsunterstützung

*Das Werbeteam hat ein praktikables Entscheidungsunterstützungs- und Planungsinstrument für den Abwassersektor entwickelt, das „Assessment of Local Lowest-cost Wastewater Solutions“ (ALLOWS) (van Afferden et al., 2015). Mit diesem Instrument können Entscheidungsträger in Behörden, Stadtverwaltungen und Unternehmen verschiedene reale Szenarien – zentral und dezentral – für das Abwassermanagement entwickeln und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bewerten.*

*Wassermangelregionen weisen in der Regel eine unzureichende Datenlage auf, so dass die vorhandenen Planungsdaten für Abwasserinfrastrukturprojekte entweder sehr lückenhaft oder fehlerhaft, meistens jedoch beides sind. Entscheidungen, die auf unzureichenden Daten basieren, führen zu fehlerhafter Planung, Fehlinvestitionen und dysfunktionaler Infrastruktur und erfordern in der Folge nachträgliche Verbesserungen, für die in der Regel keine Budgets eingestellt sind. Angesichts einer unzureichenden Datenlage sehen sich Entscheidungsträger deshalb häufig nicht in der Lage, belastbare Entscheidungen zu treffen. Das wiederum verursacht einen dauerhaften Investitionsstau. Das Instrument ALLOWS wurde vom Werbeteam entwickelt und an den jordanischen Kontext angepasst, um planerische Investitionshindernisse auszuräumen. ALLOWS basiert auf einem Geo-Informationssystem (GIS) und betrachtet neben topographischen, hydrologischen und technischen auch sozio-ökonomische*

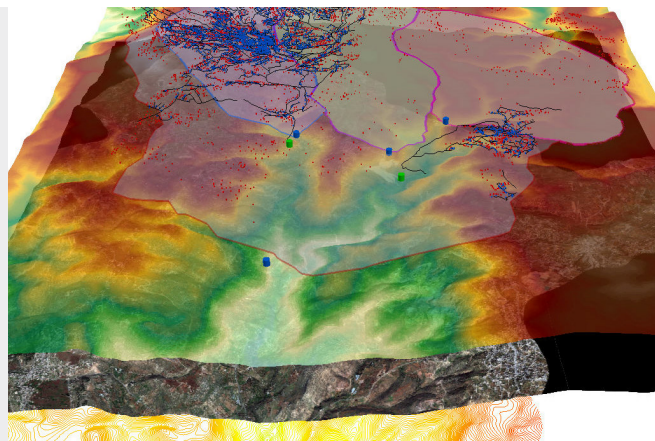


Abbildung 5 : ALLOWS-Abwasserinfrastrukturplanungskarte

*Daten. Mittels ALLOWS werden Datenlücken mithilfe von Satellitenbildern und digitalen Höhenmodellen mit Proxydaten gefüllt. Die Kombination der verschiedenen Datentypen ermöglicht Plausibilitätsbetrachtungen etwa hinsichtlich Abwasseraufkommen, bestehender Infrastruktur, Einwohnergleichwerten, Netzwerkverlusten und Wirtschaftlichkeit. Bei der Entwicklung von ALLOWS wurden außerdem Erfahrungen aus den Bereichen Technologieentwicklung, Erschließung und Öffentlichkeitsbeteiligung einbezogen (Lee et al., 2013; Lee et al., 2014).*

*Das Werbeteam hat ALLOWS entwickelt und dieses in Kooperation mit internationalen Ingenieurbüros erfolgreich in die kommerzielle Nutzung in Jordanien überführt (Anlage 7).*

tenzwirtschaft (Gemeindegärten) zu verbessern und der starken Abwanderung in die urbanen Zentren entgegenzuwirken. Eine zunehmende Relevanz entsteht durch die Integration der syrischen Flüchtlinge („Host Communities“).

#### 6) Staat als Innovationstreiber:

Die Rolle des öffentlichen Sektors in Jordanien als wichtiger wirtschaftlicher Akteur und Innovationstreiber im ökologischen Strukturwandel hin zu nachhaltig gestalteten Infrastrukturen und zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung wurde gestärkt.

#### 7) Vorreiterrolle Jordanien:

Durch die dezentrale Abwassermanagement-Policy hat Jordanien eine Vorreiterrolle für das Abwassermanagement im ariden Raum eingenommen, die Modellcharakter für andere Länder mit vergleichbaren Umweltproblemen hat. Demzufolge wird auch das Bewerberteam zunehmend für die Prozessgestaltung hin zu einem dezentralen Abwassermanagement von anderen staatlichen Akteuren angefragt und beauftragt (*siehe Highlight 5*).

## MODELLCHARAKTER

### Übertragbarkeit

Das Bewerberteam beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Frage, wie Systemlösungen dezentraler Abwassersysteme im nationalen und internationalen Maßstab konzipiert und durch geeignete Instrumente territorial umgesetzt werden können. Dabei hatten die Entwicklung und neuartige Verbindung (transdisziplinäres Vorgehen) von Forschungs-, Kommunikations- und Bildungsmodulen sehr hohe Priorität. Durch ein Maßnahmenpaket, das geeignet ist, die wesentlichen Strukturen von Systemlösungen für dezentrales Abwassermanagement zu entwickeln, ist das Thema seiner Bedeutung entsprechend als übertragbares Modell auch für weitere Länder im ariden Raum realisierbar gemacht worden. Gerade für Regionen mit Wassermangel besteht eine erhebliche Handlungsrelevanz und somit Anwendungspotenzial zum Schutz des Grundwassers und der Bevölkerung vor nicht oder unzureichend behandeltem Abwasser. Alleine in Jordanien, Oman und Iran leben 23 Millionen Menschen im ländlichen Bereich ohne nennenswerte Abwasserinfrastrukturen. Der Anschlussgrad liegt z.B. unter fünf Prozent in Jordanien und sogar unter drei Prozent im Iran (van Afferden et al., 2010; Farrokhi et al., 2008).

#### a) Forschungsmodul

Das Modul „Forschungs-, Trainings- und Demonstrationsstandorte“ beinhaltet die Konzeption und Realisierung von wissenschaftlich-technischen Infrastrukturen, auf denen unter standort-spezifischen Bedingungen Technologien zur Marktreife entwickelt werden. Dem Bewerberteam ist die Entwicklung von zwei Verfahren gelungen, die in Deutschland als neuer Stand der Technik definiert wurden. Dadurch wurde der flächendeckende Praxiseinsatz vorbereitet (*siehe Highlight 2*).

Kooperationspartnern aus der Wirtschaft steht mit diesen Standorten eine technologische Entwicklungsplattform zur Verfügung, die es erlaubt, Prototypen zu testen oder vorhandene Technologien an die spezifischen Einsatzbedingungen vor Ort anzupassen und so eine gezielte Vermarktung vorzubereiten.

Die zentrale Rolle von „Forschungs-, Trainings- und Demonstrationsstandorten“ im Implementierungsprozess eines dezentralen Abwassersektors wird durch das große Interesse aus anderen Ländern der Region verdeutlicht. So wurde im Iran vom Bewerberteam der Bau einer wissenschaftlich-technischen Infrastruktur nach dem Vorbild des BDZ initiiert und realisiert. Ein weiterer Auftrag zur Konzeption und Planung eines Standortes erfolgte aus dem Oman (*siehe Highlight 5*).

#### b) Kommunikations- und Bildungsmodul

Eine zentrale Bedeutung besitzen „Forschungs-, Trainings- und Demonstrationsstandorte“ auch für Kommunikations- und Bildungsaktivitäten. Sie bilden eine Plattform den direkten Austausch und Kompetenzvermittlung an die Stakeholder und der Stakeholder untereinander, d.h. Bürger aller Altersklassen – beginnend mit Grundschulern –, lokale und regionale Entscheidungsträger, Studierende und Wissenschaftler sowie lokale Technologieanbieter und Wartungsfirmen. Der Besuch der Standorte und der Dialog mit den Betreibern bietet Raum, Technologien und Wiedernutzungsoptionen vorzustellen, sie konkret erfahrbar zu machen sowie offene Fragen der Bürger zu beantworten. Deutsche und lokale Unternehmen erhalten die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit ihrer technischen Systeme im realen Betrieb kontinuierlich zu prüfen und zu demonstrieren. Wichtige Ausbildungsarbeiten wie die von Wartungspersonal können an diesen Standorten realisiert werden. Solche Standorte sind zudem unabdinglich für den Erhalt und die Weiterentwicklung der nationalen Wissensbasis, denn sie gewährleisten, dass Studierende und Wissenschaftler eigenständige, praxisrelevante Forschung für den lokalen Kontext realisieren und weiterentwickeln können. Und schließlich können an solchen Standorten



Abbildung 6: Unterrichtseinheit zum dezentralen Abwassermanagement, Grundschülerinnen bauen eine Pflanzenkläranlage

## Water Fun

*Um zukünftige gesellschaftliche und politische Barrieren zu überwinden, welche die Implementierung von resilienten Abwasserinfrastrukturen behindern könnten, und um Impulse für eine nachhaltige Entwicklung des Sektors zu geben, hat das Bewerberteam für ausgewählte Stakeholder- und Zielgruppen frühzeitig Capacity Development-Aktivitäten umgesetzt (Abb. 6). Als Highlight und Beispiel ist die Entwicklung der Unterrichtsreihe "Water Fun – hands, minds and hearts on Water for Life" ([www.waterfunforlife.de](http://www.waterfunforlife.de)) zu nennen. Die Unterrichtsreihe für Grundschulen adressiert Kernaspekte von Wasserqualität, Wasserverbrauch, Abwasserbehandlung und Wiederverwendung in Jordanien und Palästina. Die Methodik, Materialien und Inhalte wurden in Weiterbildungsmaßnahmen an 118 Lehrer in Schulen aus Nord-, Mittel- und Süd-Jordanien und den Palästinensischen Gebieten für Schulprojekte vermittelt, welche in der Folge knapp 5.000 Grundschüler erreichte (Goedert, 2012).*

Lehr- und Bildungseinheiten zu zahlreichen Wasser- und Abwasser bezogenen Themen entwickelt und durchgeführt werden (siehe Highlight 4). In Jordanien wurde eine solche Forschungs-, Trainings- und Demonstrationsanlage vom Bewerberteam entworfen, gebaut und über sieben Jahre betrieben (vgl. Abb. 4).

## Strategische Partnerschaften

Für die Überführung der Arbeiten entscheidend ist die enge Zusammenarbeit der Wissenschaftler mit deutschen Herstellern und Experten. Diese ist im BDZ e.V. gegeben. Die Gründung des Vereins wurde vom Bewerberteam in Zusammenarbeit mit zwei weiteren deutschen Partnern geplant und realisiert. Mit dem BDZ wurde erstmals der Systemgedanke für dezentrale Abwassersysteme in der gesamten Breite diskutiert und in Deutschland eingeführt. Das BDZ besteht aus mehr als 100 Mitgliedern, aus Universitäten, Zertifizierungsinstituten sowie Behörden- und Ministerien. Darin eingebunden ist die deutsche Herstellervereinigung, mit der das Bewerberteam in den Zielregionen kooperiert. Derzeit sind darin 36 Hersteller von dezentralen Abwassertechnologien vereinsmäßig organisiert. Diese stellen etwa 85 Prozent des deutschen Marktes mit einem Jahresumsatz um 100 Millionen Euro. Sie sind zumeist kleine und mittlere Unternehmen und beschäftigen mehr als 1500 Mitarbeiter. Der entscheidende Vorteil dieser Partnerschaft besteht darin, dass die Unternehmen als Branche auftreten können und nicht „nur“ als einzelne Hersteller wahrgenommen werden. Die sehr effektiven Kommunikations- und Kooperationsstrukturen sind bewährt und bestehen bereits seit 15 Jahren.

## Verwertung der Ergebnisse

Der neue dezentrale Abwassersektor in Jordanien hat zu einer großen Sichtbarkeit besonders im Nahen und Mittleren Osten geführt. So wurde das Bewerberteam bereits während der Projektlaufzeit für Konsultationen mit Entscheidungsträgern anderer Länder angefragt. Sie informierten neutral und unabhängig bei Vor-Ort-Terminen und in Stakeholder-Workshops über Perspektiven und Möglichkeiten der Anwendung dezentraler Systeme. Forschungs- und Entwicklungsaufträge für das Sultanat Oman und im Iran sind in der Folge solcher Konsultationen an das Bewerberteam vergeben worden. In diesen Vorhaben ist es das Ziel, dezentrale Abwassersysteme nach dem entwickelten deutsch-jordanischen Konzept zu implementieren.

Modellhaft sind dabei nicht nur die dargestellten Ergebnisse auf der politischen Ebene. Auch die in Jordanien eingesetzten Forschungs-, Kommunikations- und Bildungsmodulare können an die jeweiligen nationalen Rahmenbedingungen angepasst und angewendet werden. Besonders zuträglich ist die engagierte Bereitschaft jordanischer Umweltpolitiker, als „Botschafter“ des jordanischen Modells im Ausland zu fungieren: So werden



nicht nur ausländische Interessenten in Jordanien empfangen, sondern auch aktiv Entwicklungen dezentraler Strukturen im Ausland beratend unterstützt (*siehe Highlight 5*).

### Abwassersysteme der Zukunft

Zukunftsfähige Abwassersysteme werden auch in Europa benötigt. Großskalige Abwasserinfrastrukturen stehen im Kontext Stadtentwicklung unter zunehmendem Anpassungsdruck an dynamische, klimatische und demographische Faktoren. Die Bewerber bearbeiten derzeit einen Forschungsauftrag des Umweltbundesamts zur Urbanen Transformation. Dabei geht es um folgende Herausforderungen:

- Die Anpassung an den demographischen Wandel sowohl in Wachstums- als auch in Schrumpfungskon-

stellationen mit wasserwirtschaftlichen Folgefragen der Nachverdichtung und Brachflächennutzung sowie die kapitalbindende Entscheidung, wie damit umgegangen werden soll: im Rahmen des Bestands und/oder durch die Integration dezentraler Optionen.

- Die steigenden Anforderungen an die Gewässerqualität hinsichtlich der Nährstoff- und Schadstoffeinträge und die Beiträge, welche die Siedlungswasserwirtschaft dazu zu leisten hat und mit welchen Technikoptionen.
- Die hohe Energieintensität der Abwasserbehandlung: wie diese gesenkt und wie das energetische Potenzial des Abwassers aus Wärme und Organik optimal auch dezentral genutzt werden kann.
- Der vielerorts eklatante Erneuerungsbedarf in der Kanalisation, der einer Modifizierung oder Neuausrichtung von Abwassersystemen zusätzliches Gewicht verleiht.

## UMWELTENTLASTUNG

Die Weltbevölkerung wird bis 2050 neun Milliarden übersteigen. Der größte Anteil des Bevölkerungswachstums findet in den Entwicklungsländern statt, die mehrheitlich bereits heute mit inadäquater Abwasserentsorgungsinfrastruktur ausgestattet sind. Weltweit sind 2,5 Milliarden Menschen nicht oder nur unzureichend an eine Abwasserentsorgung angeschlossen (EIB, 2010). Gegenwärtig werden nur 20 Prozent des Abwassers sachgemäß gereinigt (UN Water, 2015). Dabei korreliert die Klärkapazität mit dem Einkommensniveau. So stehen 70 Prozent der globalen Kapazität in Ländern mit hohem und nur acht Prozent in Ländern mit niedrigem Einkommen gegenüber (UN Water, 2015). Folglich werden die finanziellen, ökologischen und sozialen Kosten weltweit dramatisch ansteigen (UNEP, 2010). Allein in Deutschland etwa beträgt der aktuelle Investitionsstau im Abwassersektor 45 Milliar-

den Euro. Er steigt jährlich um ein Prozent (Berger, et al. 2003). Das hat verheerende Folgen. Die unbehandelten Abwässer gefährden die Ökosysteme und den Menschen. Mehr als 50 Prozent der Weltbevölkerung entnimmt ihr Trinkwasser dem Grundwasser. 750 Millionen Menschen haben derzeit keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Die Kontamination von Trinkwasserquellen durch ungereinigte Abwässer ist die Hauptursache für durch Wasser übertragene Krankheiten. Jährlich leidet weltweit eine Milliarde Menschen an schweren Erkrankungen, darunter über 1,5 Millionen Kinder unter fünf Jahren, die an den Folgen der Erkrankungen sterben (UNEP 2010). Armut, wirtschaftliche Perspektivlosigkeit und mangelnde politische Teilhabe sind häufige Fluchtursachen. Dabei spielen Lebensbedingungen, einschließlich des Wassermangels, eine entscheidende Rolle. Innerhalb der Länder und auch zwischen

Staaten können Wasserkonflikte zunehmen und gewaltsame Auseinandersetzungen und Migrationsbewegungen begünstigen.

Die Umweltauswirkungen sind dramatisch. Schätzungsweise werden 90 Prozent des Abwassers in den Entwicklungsländern direkt und unbehandelt in Flüsse, Seen und Meere eingeleitet. Folgen davon sind insbesondere akuter Sauerstoffmangel und eine starke Zunahme sogenannter Dead Zones. Gegenwärtig sind etwa 245 000 km<sup>2</sup> marine Ökosysteme betroffen – mit irreversiblen Auswirkungen auf Lebensräume und die Nahrungskette. Durch Abwasser bedingte Methan- und Stickstoff-Emissionen steigen schätzungsweise um 50 beziehungsweise 25 Prozent im Zeitraum 1990 bis 2020 an (UNEP, 2010).



Abbildung 7: Entwurf der „National Platform for Advanced Integration of Water Reclamation and Resource Recovery Technologies“ (Quelle: Nicholas Wetzlar, UFZ)

## Diffusion des dezentralen Lösungsansatzes in der Region

Durch seine Aktivitäten, Forschungsergebnisse und Planungswerkzeuge hat das Bewerberteam in mehreren Ländern des Nahen und Mittleren Ostens die Bereitschaft zur Implementierung dezentraler Systemlösungen geschaffen und konkrete Maßnahmen zur Umsetzung initiiert. Im Oman werden Mittel der omanischen Forschungsbehörde (The Research Council of Oman, TRC) zum Bau einer Forschungs-, Demonstrations- und Prüfanlage bereitgestellt, für die das Bewerberteam die Konzeption, Detailplanung, den Stakeholderdialog sowie das Betriebs- und Forschungskonzept entwickelt und umsetzt (siehe Abb. 7).

Für diese Anlage hat der nationale omanische Wasserbetrieb HAYA Water ein eigenes Grundstück auf dem Gelände der Firmenzentrale in Al-Ansab bei Muskat zur Verfügung gestellt. Zudem bildet das Bewerberteam am UFZ und BDZ das omanische TRC-Forschungs- und Managementteam für den Anlagenbetrieb in Al-Ansab aus. Zugleich kooperiert HAYA Water mit dem Bewerberteam bei der Überführung des Planungswerkzeugs ALLOWS (siehe Highlight 3) in den Oman. Derzeit wird ALLOWS auf von HAYA Water ausgewählte Regionen im Oman zur Priorisierung von Investitionsentscheidungen angewendet.

Im Iran wurde mit dem Bau einer Forschungs- und Demonstrationsanlage nach dem Vorbild der BDZ-Anlage in Leipzig begonnen. Für die Konzeption der Anlage haben die Teheraner Wasserbetriebe das BDZ e.V. beauftragt. Involviert sind hier neben den Teheraner Wasserbetrieben mehrere Unternehmen aus der Herstellervereinigung des BDZ e.V., die hier dezentrale Anlagentechnologie bereitstellen.

In Jordanien ist der öffentliche Sektor wirtschaftlicher Akteur und Innovationstreiber für Infrastruktur. Im Jahr 2017 wurde in Abstimmung mit der jordanischen Regierung und der „Swiss Agency for Development and Cooperation“ die Entscheidung getroffen, in größerem Umfang in den dezentralen Abwassersektor zu investieren. Bis 2027 will die Schweizer Regierung das Entwicklungsprojekt „Innovative Sanitation Solutions and Reuse in Arid Regions, ISSRAR“ mit einem Gesamtvolumen von 16.250.000 CHF unterstützen. Das Projekt konzentriert sich insbesondere auf Gemeinden, die Geflüchtete aufgenommen haben und die nicht mit einer hinreichend sicheren Abwasserentsorgung ausgestattet sind und somit Grundwasserressourcen gefährden können. Das Projekt wird von deutscher Seite vom Borda e.V. (Bremen Overseas Research and Development Association) koordiniert, wobei die Steuerung auf jordanischer Seite dem „National Implementation Committee for Effective Decentralized Wastewater Management in Jordan“ (vgl. Highlight 1) obliegt. Das Bewerberteam ist Teil des Projektkonsortiums für die Phasen 1 und 2 und ist insbesondere in die Standortauswahl und Erstellung von Erschließungsszenarien unter Einsatz seines Planungsinstruments ALLOWS eingebunden.



Abbildung 8: Bau der Testanlage für dezentrales Abwassermanagement in Teheran, Dezember 2017 (Foto: Dr. Gabi Stich, BDZ e.V.)

Gemäß dem Sustainable Development Goal 6, das direkt auf die Verminderung der Wasserknappheit, die Verbesserung der Wassernutzungseffizienz und den Grundwasserschutz zielt, soll auch der Anteil des unbehandelten Abwassers bis zum Jahr 2030 um 50 Prozent reduziert werden, insbesondere um eine signifikante Erhöhung der Wiedernutzung (Goal 6.3) zu erreichen. Zugleich sind alternative Wasserressourcen wie behandeltes Abwasser, etwa in der Landwirtschaft, wesentlich für die Substitution von Trinkwasserressourcen (Grundwasser) (Goal 6.4) und für den Schutz der damit verbundenen Ökosysteme (Goal 6.6).

**Der Aufbau und die nationale Verankerung des dezentralen Abwassersektors in Jordanien unterstützen die Umsetzung wesentlicher Ziele der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Für Jordanien sind insbesondere die Verbesserung der Grundwasserqualität als wesentliche Trinkwasserressource des Landes, die Steigerung der Wasserressourceneffizienz und die Verminderung der Wasserknappheit von existenzieller Bedeutung.**

### Primäreffekt Grundwasserschutz

Um die Übernutzung der Grundwasserressourcen zu vermindern, soll die Wiederverwendung gereinigten Abwassers in Jordanien bis 2025 von heute 140 Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr auf jährlich 235 Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr gesteigert werden. Dies bedeutet einen 80-prozentigen Anschluss der jordanischen Bevölkerung an Abwasserreinigungs- und Wiederverwendungssysteme (MWI, 2016). Das darin enthaltene Potenzial für dezentrale Abwasserbehandlung wurde für das Jahr 2007 im ländlichen und suburbanen Bereich mit ca. 29 Millionen m<sup>3</sup> mit einer jährlichen Steigerung von 0,23 Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr geschätzt (van Afferden et al., 2010). Bezogen auf die gesamten zur Verfügung stehenden Wasserressourcen Jordaniens von ca. 992 Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr entspricht dies einem Anteil von ca. drei Prozent. Aufgrund der dynamischen Bevölkerungsentwicklung in den letzten Jahren kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die reale Steigerungsrate wesentlich höher liegt.

Erscheint der mengenmäßige Beitrag der dezentralen Abwasserreinigung zur Verminderung der Wasserknappheit auf den ersten Blick gering, so potenziert sich die Umweltentlastung bei Betrachtung des Einflusses auf die Grundwasserqualität. Jordanien bestreitet mit 430 Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr etwa 43 Prozent seines Wasser-



Abbildung 9: Illegale Abwasserverbringung in Jordanien (www.ECODIT.com)

bedarfs mit Grundwasser (MWI, 2016). Die Grundwassereinzugsgebiete sind meist landwirtschaftlich genutzt und mit wachsenden dörflichen oder kleinstädtischen Siedlungsstrukturen überbaut. Die Mehrzahl dieser Siedlungen verfügt nicht über ein modernes Sanitärsystem, so dass die Infiltration ungereinigten Abwassers zu schwerwiegenden Beeinträchtigungen der Grundwasserqualität führt. Aufgrund überhöhter Gehalte an Nitrat und pathogenen Keimen im Grundwasser müssen einige Trinkwasserquellen temporär von der Trinkwassererzeugung abgekoppelt werden oder sind bereits wegen der permanent schlechten Wasserqualität gänzlich für die Trinkwassergewinnung verloren (Zemann et al., 2015).

Diesem dringlichsten Umweltproblem Jordaniens wird durch die Benennung von konkreten Hot Spots im jordanischen Rahmenwerk und der Policy für dezentrales Abwassermanagement Rechnung getragen. Die durch acht Ministerien festgelegten Hot-Spots definieren die Gebiete für den priorisierten Einsatz dezentraler Abwassermanagementsysteme. Diese stellen oft die einzige machbare Alternative zur Lösung dieser virulenten Problematik dar. Denn das gesamte anfallende Abwasser außerhalb der Grundwassereinzugsgebiete über Druckkanalsysteme oder Abwassertanker zu sammeln und zu verbringen bzw. zu entsorgen, ist mit einem extrem hohen Energieverbrauch (Strom, Diesel) verbunden. Der Energieverbrauch im Wassersektor ist bereits jetzt schon recht hoch. Derzeit entfallen etwa 15 Prozent des nationalen jordanischen Energieverbrauchs auf den Wassersektor und davon der größte Anteil auf Brunnenfelder und Pumpstationen (WAJ, 2013).





Abbildung 10: Trinkwassertanks im Wadi Rum, Jordanien

## Sekundäreffekte für den Umweltschutz

Neben diesen Primäreffekten zur Umweltentlastung wirkt die Einführung eines dezentralen Abwassermanagements auf nationaler Ebene auch über sekundäre Effekte positiv auf die Umweltsituation. So kann erwartet werden, dass die Steigerung der Wassernutzungseffizienz durch Wiederverwendung gereinigten Abwassers dazu führt, dass dezentrale Strategien und Technologien vermehrt eingesetzt werden. Das beinhaltet die nachhaltige Wasserwiederverwendung für die Grundwasserneubildung, die landwirtschaftliche Bewässerung sowie die Düngung und Rehabilitation versalzener Böden. Dezentrale Wiederverwendungskonzepte ermöglichen darüber hinaus, dass sich Ökosysteme, die durch intensive Landnutzung auf lokaler Ebene gestresst oder verloren gegangen sind, wieder regenerieren können. So werden im jordanischen Dana Nationalpark bereits 19 dezentrale Anlagen der vom Wettbewerbsteam entwickelten Vertikalbodenfilter geplant (Al Khalafat, 2016). Auch im suburbanen Raum wurden ca. 15 Anlagen für mehrere 1.000 Einwohner errichtet (Al Nuimat, 2014; Klinger et al., 2015). Die lokale Wasserwiederverwendung reicht hier von der Gartengestaltung über den Anbau von Obst bis zur Bewässerung von innerstädtischen Waldflächen. Diese Maßnahmen lassen auch einen positiven Effekt auf das Mikroklima im städtischen Umfeld erwarten.

Bei der Wiederverwendung behandelten Abwassers müssen agronomische Aspekte, Boden- und Grundwasserschutz sowie der Schutz der öffentlichen Gesundheit berücksichtigt werden. Dies hat in Jordanien und in an-

deren Schwellenländern dazu geführt, dass ausgehend von US-Richtlinien (EPA, 2012) sehr strenge Vorschriften (Grenzwerte) für die Wasserwiederverwendung definiert wurden (FAO, 2010). Um diese strengen Grenzwerte einzuhalten, sind komplexe Technologien für eine tertiäre Abwasserbehandlung mit Denitrifikation und Hygienisierung und ein entsprechend kostenintensiver Bau und Betrieb erforderlich. Diese Technologien sind aus ökonomischen und institutionellen Gründen oft nicht nachhaltig zu betreiben und auch nicht notwendig. Für viele Länder bleiben daher nur zwei Optionen: 1) keine oder 2) eine vorschriftswidrige Wasserwiederverwendung praktizieren (Hussain et al., 2002). Inadäquate Grenzwerte verhindern die Umsetzung von umweltentlastenden Maßnahmen und stellen ein Investitionshindernis für den gesamten Sanitätssektor dar.

Dezentrale Systeme ermöglichen die Bereitstellung spezifischer bedarfsgerechter Wasserqualitäten durch geeignete und kosteneffiziente Behandlungstechnologien. Der vom Wettbewerbsteam initiierte und im Rahmenwerk für ein dezentrales Abwassermanagement festgelegte Vorschlag neuer Grenzwerte für den dezentralen Abwassersektor trägt diesem Sachverhalt Rechnung. Er berücksichtigt die Bodenpassage und die Verbringungs-technologie und soll die Einführung dezentraler Systeme erleichtern und damit die notwendigen Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltsituation ermöglichen.

# HERAUSFORDERUNGEN UND PROBLEMSTELLUNG IN JORDANIEN

## Herausforderungen bei der Entwicklung eines dezentralen Abwassersektors:

- Fehlende intersektorale Kooperation zur Lösung von (strukturellen) Wasserproblemen insbesondere zwischen den Sektoren Wasser, Gesundheit, Umwelt, Raumplanung und Landwirtschaft
- Unklarheit der Zuständigkeiten für Raumplanung, Erschließung, Infrastrukturplanung, Gesundheits- und Umweltschutz
- Unkenntnis über die spezifischen Vor- und Nachteile dezentraler Abwassersysteme (Anschlusspotenzial, Kosten, Grundwasserschutz und -anreicherung, Frischwassersubstitution durch Reuse, Abwasser als Ressource, etc.)
- Unzureichende Akzeptanz von Abwasserinfrastruktur in der Bevölkerung
- Fehlende administrative Zuständigkeiten und Strukturen für die Regulierung, Überwachung und den Betrieb von dezentralen Abwassersystemen
- Unangemessene Ablaufwerte für behandeltes Abwasser durch Orientierung an den Werten westlicher Industrienationen
- Fehlende Planungsinstrumente für die räumliche Erschließung und Investitionsplanung
- Unzureichende oder keine Anpassung von Technologien an lokale Gegebenheiten (Abwasserqualität und -quantität)
- Fehlende technische Standards für Technologien und Qualitätsmaßstäbe für O&M Leistungen
- Fehlende Anbieter von dezentralen Abwassertechnologien und entsprechender O&M Leistungen

## Abwassersektor Jordanien

Jordanien ist idealtypisch für die Wasserressourcenproblematik im ariden Raum. Als eines der wasserärmsten Länder der Welt deckt es seinen Trinkwasserbedarf zum überwiegenden Anteil durch Grundwasser und steht vor großen Herausforderungen bezüglich der Sicherung seiner knappen Wasserressourcen. Die jährliche pro Kopf Wasserverfügbarkeit ist von 3600 m<sup>3</sup> pro Jahr im Jahr 1946 auf heute 90 m<sup>3</sup> pro Jahr gesunken. Seit den späten 1980er Jahren übersteigt der aus Grundwasser gedeckte Wasserverbrauch die Grundwasserneubildung (MWI, 2009). Einer jährlichen Grundwasserentnahme von ca. 430 Millionen m<sup>3</sup> steht eine durchschnittliche jährliche Erneuerung von nur ca. 275 Millionen m<sup>3</sup> gegenüber. Der Grundwasserspiegel sinkt im Durchschnitt um einen Meter pro Jahr (MWI, 2015).

Hinzu kommt eine zunehmende Verschlechterung der Wasserqualität, verursacht vor allem durch Übernutzung sowie unsachgemäßes Verbringen von Abwasser (Goode et al., 2013). So sind die vier größten Trinkwasserquellen (acht Millionen m<sup>3</sup> pro Jahr) alle mit pathogenen Keimen (bis 104 cfu/100 mL) und zeitweise mit Nitraten (bis 70 mg/L) belastet (Zemann et al., 2015). Das Bewerterteam begann seine Arbeiten in Jordanien im Jahr 2006. Im selben Jahr betrug der Anschlussgrad der jordanischen Bevölkerung an die Kanalisation 75 Prozent im städtischen und fünf Prozent im ländlichen Raum. Das Abwasser städtischer Gebiete wurde seinerzeit über 21 zentrale Kläranlagen entsorgt (van Afferden et al., 2010) und das gereinigte Wasser zu etwa 70 Prozent in der Landwirtschaft wiederverwendet (MWI, 2009).

Die nicht an das Kanalnetz gebundene Abwasserentsorgung im ländlichen Bereich basiert auf Sickergruben (vgl. Abb. 11). Durch diese unzureichende Entsorgungstechnologie versickerten bis 2006 jährlich ca. 45 Millionen m<sup>3</sup> Abwasser ohne Behandlung in den Untergrund (van Afferden et al., 2010).

## Handlungsrelevanz

Entgegen moderater demographischer Prognosen zu Beginn der Arbeiten ist die Bevölkerung Jordaniens nicht zuletzt durch die regionale Migrationsdynamik (Flüchtlinge aus Syrien) von 5,6 Millionen im Jahr 2006 auf 9,5 Millionen (2016) extrem angestiegen (vgl. Abb. 12). Der damit einhergehende zusätzliche Druck auf die knappen Wasserressourcen stellt heute eine ernsthafte nationale Bedrohung dar, die sich auf alle Sektoren Jordaniens auswirkt.

Zusätzliche Wasserressourcen und der Schutz des Trinkwassers sind essenziell für die Stabilität des Landes. Der Agrarsektor ist weiterhin die Stütze der jordanischen Wirtschaft, allerdings mit 53 Prozent noch der größte Wasser-

konsument. Die Stabilisierung des Sektors ist nur durch zusätzliche Wassermengen – z.B. durch behandeltes Abwasser – möglich. Die jordanische Wasserstrategie sieht daher eine Steigerung von 87 Millionen m<sup>3</sup> im Jahr 2006 auf 235 Millionen für das Jahr 2025 vor (MWI, 2013; MWI, 2016).

Dies bedingt hohe Investitionen in die Abwasserinfrastrukturen des Landes. Allerdings ist aufgrund der demographischen Dynamik und der zerklüfteten Topographie Jordaniens der Anschluss der Bevölkerung allein an existierende oder neue zentrale kanalgebundene Abwasserentsorgung nicht umzusetzen. Diese erfordert lange Planungshorizonte und macht vor allem im jordanischen Hochland viele Pumpstationen notwendig. Besonders ländliche und suburbane Räume werden durch zentrale Ansätze, welche typischerweise auf Ballungsräume fokussieren, gar nicht bzw. nicht adäquat ver- und entsorgt. Solche Entsorgungssysteme sind im Allgemeinen auch wenig resilient, denn aufgrund ihrer Größe und damit Trägheit bieten sie wenig Flexibilität für eine effiziente und kontinuierliche Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen.

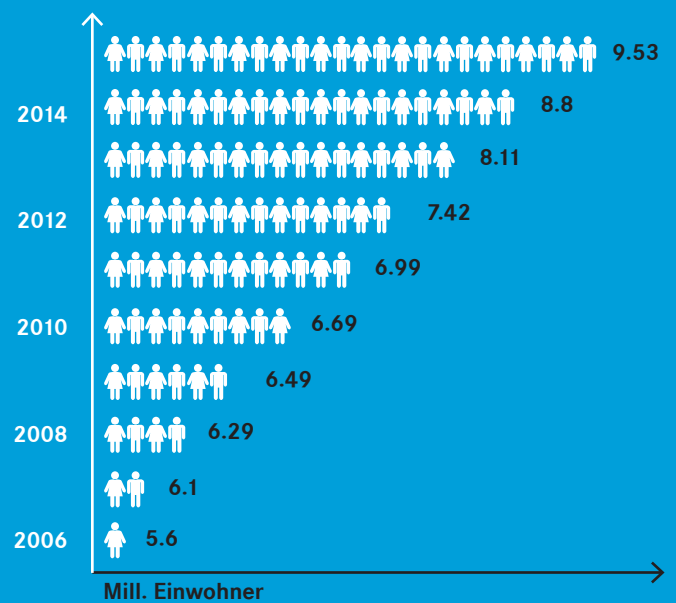
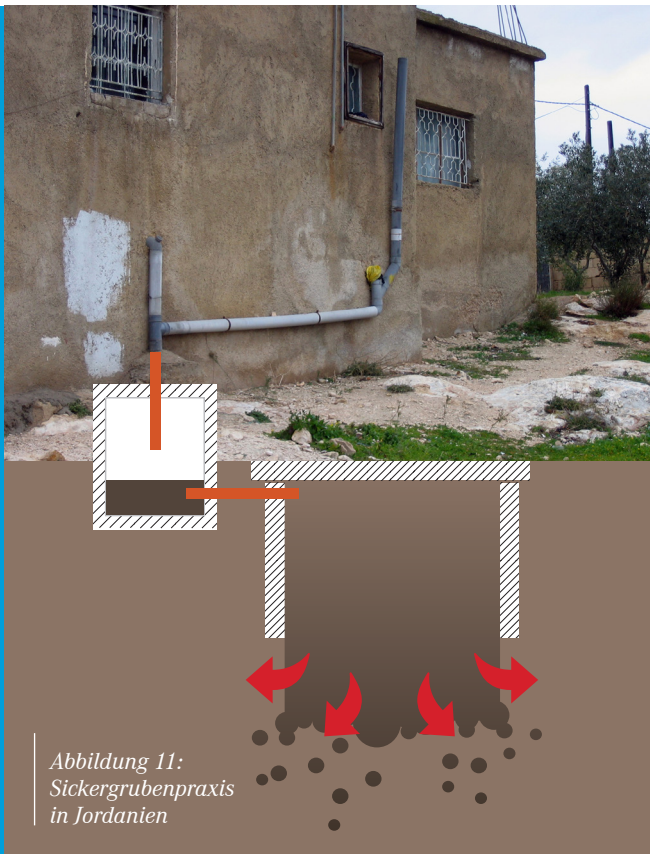


Abbildung 12:  
Bevölkerungsentwicklung Jordanien seit 2006  
(Tradingeconomics 2017)



## BEWERBERTEAM



**Prof. Dr. Roland Arno Müller** (\* 1963)

Leiter des Departments „Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum (UBZ)“  
am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ

Projektleitung des DBU-Verbundvorhabens „Umsetzung und Realisierung des  
BDZ - Bildung- und Demonstrationszentrums für dezentrale Abwasserbehandlung“

Projektleitung SMART II & SMART Move: Teilprojekte i) Abwasserwiederverwendung  
und Sozioökonomie & ii) Implementierung eines dezentralen Abwassermanagements  
in Jordanien

Mitglied im “National Implementation Committee for Effective Decentralized  
Wastewater Management in Jordan (NICE)”

Stellv. Vorsitzender des Vorstandes und Gründer des BDZ e.V.



**Dr. Manfred van Afferden** (\* 1960)

Leiter der Arbeitsgruppe „Dezentrales Abwassermanagement“  
des Departments „Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum (UBZ)“ am UFZ

Wissenschaftliche Leitung der UBZ-Forschungs-, Trainings- und Demonstrationsstandorte  
in Deutschland und Jordanien

Mitglied der technischen NICE-Arbeitsgruppen: „Technology Selection“ und „Standards  
and Monitoring“ sowie der DWA-Arbeitsgruppe „Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen“



**Dr. Mi-Yong Lee** (\* 1970)

Leiterin der Arbeitsgruppe „Steuerung und Innovation“  
des Departments „Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum (UBZ)“ am UFZ

2012–2019 Koordinatorin des “National Implementation Committee for Effective  
Decentralized Wastewater Management in Jordan” (NICE) und  
Leitung des Implementierungs-Büros im jordanischen Wasserministerium.

2014 Auszeichnung des jordanischen Wasserministeriums für die Beiträge des  
Implementierungs-Büros Amman zum Fortschritt des Wassersektors



**Dipl.-Ing. Wolf-Michael Hirschfeld** (\* 1948)

Gründer und geschäftsführender Vorstandsvorsitzender (2007-2013) des Bildungs- und  
Demonstrationszentrums für dezentrale Abwasserbehandlung e.V. (BDZ)

Träger des B.A.U.M.-Umweltpreises

2002–2013 Inhaber des BioLog Abwasserservice e.K. Leipzig

## QUELLENVERZEICHNIS

- Abdallat G. (2015) PhD Thesis: Optimization of nitrogen removal in various vertical flow constructed wetland designs and application of treated wastewater for reuse in irrigation in Jordan. Brandenburg University of Technology, Department of Environmental Sciences: Cottbus, Germany.
- Afferden van M.**, Cardona J.A., **Lee M.Y.**, Subah A., **Müller R.A.** (2015) A New Approach to Implementing Decentralized Wastewater Treatment Concepts. *Water Science and Technology* 72(11) 1923-30.
- Afferden van M.**, Cardona J.A., Rahman K.Z., Daoud R., Headley T., Kilani Z., Subah A., **Müller R.A.** (2010) A step towards Decentralized Wastewater Management in the Lower Jordan Rift Valley. *Water Science and Technology*. 61(12): 3117-3128.
- Al Khalafat H. (2016) The environment directorate of Tafeileh studying the establishment of decentralized treatment plants. 22nd March 2016, Al Ghad newspaper. [www.alghad.com/articles/927624](http://www.alghad.com/articles/927624)
- Al Nuimat S. (2014) The Opening of a Decentralized Wastewater Treatment Plant in Muqablaine, [www.iucn.org/content/opening-decentralized-wastewater-treatment-plant-muqablaine](http://www.iucn.org/content/opening-decentralized-wastewater-treatment-plant-muqablaine)
- Avila C., Nivala J., Olsson L., Kassa K., Headley T., **Müller R.A.**, Bayona J.M., Garcia J. (2014). Emerging organic contaminants in vertical subsurface flow constructed wetlands: Influence of media size, loading frequency, and use of active aeration. *Science of the Total Environment* (494-495), 211-217.
- Berger C., Lohaus J., Wittner A., Schäfer R. (2002) Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001. KA 3/2004, S. 302-311
- Boog J., Nivala J., Aubron T., Wallace S., van Afferden M., Müller R.A. (2014). Hydraulic characterization and optimization of total nitrogen removal in an aerated vertical subsurface flow treatment wetland. *Bioresource Technology* 162, 166-174.
- Button M., Nivala J., Weber K., Aubron T., **Müller R.A.** (2015). Comparison of microbial community metabolic function in different subsurface-flow constructed wetland designs. *Ecological Engineering* 80, 162-171.
- Button M., Weber K., Nivala J., Aubron T., **Müller R.A.** (2016). Community-level physiological profiling of constructed wetland microbial communities: Effects of sample preparation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178(5): 960-973.
- Crites R.W. & Tchobanoglous G. (1998): Small and decentralized wastewater management systems. WCB/McGraw-Hill.
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2017) – REGELWERK Arbeitsblatt DWA-A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit Bodenfiltern zur Reinigung kommunalen Abwassers, DWA, Hennef, Germany.
- EIB (European Investment Bank) (2010) The European Investment Bank and sanitation (waste water collection and treatment), 10/2010, [www.eib.org/attachments/thematic/water\\_sanitation\\_en.pdf](http://www.eib.org/attachments/thematic/water_sanitation_en.pdf)
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2012) Guidelines for Water Reuse. EPA/600/R-12/618
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations ) (2010) The wealth of waste. The economics of wastewater use in agriculture. FAO – Water reports 35
- Farrokhi M., Hajrasoliha M., Meemari G., Fahiminia M., Talebi M., Kohansal M. (2008) The creation of management systems for funding priorities in wastewater project in rural communities in the Islamic Republic of Iran. *Water Science and Technology* 58(6): 1181–1186
- Goedert R. (2012). Capacity Development in IWRM: experiences and lessons learned. World Water Week 2012: Water and Food Security. 27-31 August 2012. Stockholm, Sweden.
- Goode D.J., Senior L.A., Subah A., Jaber A. (2013) Groundwater-level trends and forecasts, and salinity trends, in the Azraq, Dead Sea, Hammad, Jordan Side Valleys, Yarmouk, and Zarqa groundwater basins, Jordan: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1061, 80.
- Headley T., Nivala J., Kassa K., Olsson L., Wallace S., Brix H., **van Afferden M.**, **Müller R.A.** (2013) Escherichia coli removal and internal dynamics in subsurface flow ecotechnologies: Effects of design and vegetation. *Ecological Engineering* 61P, 564-574.
- Klinger J., Goldscheider N., Hoetzl H. (eds.)(2015) Integrated Water Resources Management in the Lower Jordan Rift Valley: SMART-IWRM Final Report Phase II. Karlsruhe Institute of Technology Scientific Report 7659, KIT Scientific Publishing. ISBN 978-3-7315-0393-4.
- Lee M.Y.**, Lienhoop N., **Afferden van M.**, Subah A., Rawashdeh M., Abbassi B., Wakileh N. (2013) SMART 2 IWRM Project Report: Deliverable 7–10, Project Task 7.12 ‘Participatory Planning’.
- Lee M.Y.**, **van Afferden M.**, **Müller R.A.**, Pogade F., Deininger P., Ditzel P., Kugler S., Maayteh R., Awamleh A., Awawdeh M. (2014) Feasibility Study on Decentralized Wastewater Treatment and Reuse Clusters on Regional Scale in Jordan.
- MWI (Jordanian Ministry of Water and Irrigation) (2009) Water for Life, Jordan's Water Strategy 2008-2022. [www.emwis.org/documents/database/water-life-jordans-water-strategy-2008-2022](http://www.emwis.org/documents/database/water-life-jordans-water-strategy-2008-2022)
- MWI (Jordanian Ministry of Water and Irrigation) (2015) Jordan Water Sector Facts and Figures 2013
- MWI (Jordanian Ministry of Water and Irrigation) (2016) National Water Strategy 2016 – 2025, [www.mwi.gov.jo](http://www.mwi.gov.jo)
- Nivala J., Headley T., Wallace S.D., Bernhard K., Brix H., **van Afferden M.**, **Müller R.A.** (2013a) Comparative analysis of constructed wetlands: Design and construction of the eco-technology research facility in Langenreichenbach, Germany. *Ecological Engineering* 61P, 527-543.
- Nivala J., Wallace S.D., Headley T., Kassa K., Brix H., **van Afferden M.**, **Müller R.A.** (2013b) Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands. *Ecological Engineering* 61P, 544-554.
- Tradingeconomics (2017) Jordan Population 1960-2017, [www.tradingeconomics.com/jordan/population](http://www.tradingeconomics.com/jordan/population)
- UN Water (2015) Wastewater Management- A UN-Water Analytical Brief, [www.unwater.org/fileadmin/user\\_upload/unwater\\_new/docs/UN-Water\\_Analytical\\_Brief\\_Wastewater\\_Management.pdf](http://www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/UN-Water_Analytical_Brief_Wastewater_Management.pdf)

UNEP (United Nation Environmental Program) (2010) Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal. www.grida.no

Zemann M., Wolf L., Grimmeisen F., Tiehm A., Klinger J., Hötzl H., Goldscheider N. (2015) Tracking changing X-ray contrast media application to an urban-influenced karst aquifer in the Wadi

Shueib, Jordan, Environmental Pollution, 198: 133-143  
Zreiqat I.N. (2013) MSc Thesis: Optimization of the recirculating vertical flow constructed wetland for total nitrogen removal. Al-Balqa Applied University: Al-Salt, Jordan.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ALLOWS	Assessment of Local Lowest-cost Wastewater Solutions	ISSRAR	Innovative Sanitation Solutions and Reuse in Arid Regions
B.A.U.M.	Bundesdeutsche Arbeitskreis für Umweltbewusstes Management e.V.	MWI	Jordanian Ministry of Water and Irrigation
BDZ	Bildungs- und Demonstrationszentrums für dezentrale Abwasserbehandlung e.V.	NICE	National Implementation Committee for Effective Decentralized Wastewater Management in Jordan
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften & Rohstoffe	O&M	Operation & Maintenance (dt. Betrieb und Wartung)
BORDA	Bremen Overseas Research and Development Association e.V.	SDG	Sustainable Development Goals
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.	SMART	Sustainable Management of Available Water Resources with Innovative Technologies
cfu	colony forming unit (dt. Kolonie bildende Einheit)	Move	Management Of Highly Variable Water REsources in semi-arid Regions
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.	UBZ	UFZ-Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum
EIB	Europäische Investitionsbank	UN Water	United Nations Water
EPA	United States Environmental Protection Agency	UNEP	United Nations Environment Programme (Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	WAJ	Water Authority of Jordan
GIS	Geo-Informationssystem		
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH		

## ANLAGENVERZEICHNIS

Anl. 1:	Dankschreiben des jordanischen Wasserministers	Anl. 11:	Pressemitteilung „BMBF-Ministerin eröffnet Implementierungs-Büro Amman“
Anl. 2:	Jordanische Policy Dezentrales Abwassermanagement	Anl. 12:	Lehrerhandbuch Water_Fun_English
Anl. 3:	Jordanisches Rahmenwerk Dezentrales Abwassermanagement	Anl. 13:	Schülerhandbuch Water_Fun_Arabic
Anl. 4:	DWA-Regelwerk A 262 Weißdruck	Anl. 14:	Pressemitteilung „BMBF eröffnet dezentrale Abwasseranlage in Jordanien“
Anl. 5:	Belüftete Filter zur Abwasserbehandlung; Nivala et al., 2013	Anl. 15:	SMART Status Report_WP 3-1
Anl. 6:	Dankschreiben des jordanischen Wasserministeriums zur Machbarkeitsstudie	Anl. 16:	Schreiben der BDZ-Herstellervereinigung
Anl. 7:	Machbarkeitsstudie Dezentrales Abwassermanagement in Jordanien	Anl. 17:	Jordanische Wasserstrategie 2009–2022
Anl. 8:	Satzung NICE (Nationales Implementierungskomitee für Effektives Dezentrales Abwassermanagement in Jordanien)	Anl. 18:	Potenzialanalyse dezentrales Abwassermanagement in Jordanien; van Afferden et al., 2010
Anl. 9:	Studie Technologieauswahl von dezentralen Abwassertechnologien in Jordanien	Anl. 19:	Pressemitteilung zur Eröffnung Forschungs- und Demonstrationsanlage in Jordanien
Anl. 10:	Studie Betrieb und Wartung von dezentralen Abwassertechnologien in Jordanien	Anl. 20:	Pressemitteilung zum Launch des Projekts „Innovative Sanitation Solutions and Reuse in Arid Region (ISSRAR)“ in Jordanien, BORDA e.V., 2018
		Anl. 21:	UN World Water Development Report 2017, „Wastewater the Untapped Resource“, S. 94