

DEUTSCHES INSTITUT FÜR ENTWICKLUNGSPOLITIK

(DIE)

**Die Nutzung von Abwasser in der Landwirtschaft
aus der Perspektive verschiedener Akteure**

Umsetzungshemmnisse und mögliche Strategien in Tunesien

Susanne Neubert

Bonn, im August 2003



Deutsches Institut für Entwicklungspolitik
Tulpenfeld 4 · D-53113 Bonn
Telefon 0228 94927-0 · Telefax 0228 94927-130
DIE@die-gdi.de
www.die-gdi.de

Vorwort

Diese Studie entstand im Rahmen eines deutsch-tunesischen Kooperationsvorhabens zwischen Dr. Sihem Benabdallah (*Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis*, CITET) und Dr. Susanne Neubert (*Deutsches Institut für Entwicklungspolitik*, DIE).

Das Vorhaben wurde ursprünglich in zwei Teilen konzipiert, die gemeinsam in französischer Sprache publiziert werden, die aber auch eigenständig betrachtet werden können.

Im ersten, **regionalorientierten Teil** von Benabdallah werden die Rahmenbedingungen für die Nutzung gereinigter Abwässer in Tunesien dargelegt. Es werden eine Fülle von Daten über die Wasserressourcen und die Wasserqualität in Tunesien präsentiert und die rechtlichen Regelmechanismen und Qualitätsanforderungen für die Nutzung von Abwasser dargelegt. Auch werden hier der Stand der Abwasserreinigung in Tunesien erläutert und die einzelnen Projekte zur Nutzung von Abwasser aufgeführt.

Im zweiten, **problemorientierten Teil** von Neubert, der hier in seiner deutschen Fassung vorgestellt wird, werden nun die unterschiedlichen Perspektiven der einzelnen Akteure analysiert, die von der Nutzung gereinigter Abwässer (NgA) betroffen sind. Es wird untersucht, welche Chancen und Risiken mit der NgA für die einzelnen Akteure und insbesondere für die Landwirte verbunden sind. Auf diese Weise werden die Hemmnisse zur flächendeckenden Umsetzung der Nutzung von Abwasser erkannt und Empfehlungen zu ihrer Überwindung abgeleitet.

Im Rahmen der Erstellung dieser Studie diskutierte die Autorin mit zahlreichen Expertinnen und Experten sowie mit politischen Entscheidungsträgern in Tunesien und in Deutschland (Liste im Anhang). Zahlreiche der von ihnen genannten Aspekte und Einschätzungen werden in der Studie verarbeitet. Für ihre Gesprächsbereitschaft und ihr Interesse sei allen Gesprächspartnern an dieser Stelle herzlich gedankt.

Namentlich sei Klaus Wenzel (GTZ / CITET) gedankt für seine grundlegende organisatorische Hilfe in Tunesien. Ganz besonders danke ich außerdem Andreas Kuck, Thomas Ziegel-mayer und Jürgen Blanken für die kritische Durchsicht und Kommentierung des Manuskripts. Bei Alexandre Sessouma bedanke ich mich ferner für die französische Übersetzung.

Dr. Susanne Neubert

Bonn, im Juli 2003

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Zusammenfassung | I |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Entsorgungsstrategien und Klärkonzepte | 2 |
| 2.1 Grundsätzliche Überlegungen | 2 |
| 2.2 Divergierende Reinigungsziele je nach Nutzungsoption | 3 |
| 2.3 Bedarfsgerechte Klärkonzepte | 5 |
| 3 Methodik und Vorgehen | 7 |
| 4 Vor- und Nachteile der Nutzung gereinigter Abwässer aus Sicht unterschiedlicher Akteure | 9 |
| 4.1 Die Perspektive der Entsorger und Abwasserlieferanten im Überblick | 9 |
| 4.2 Die Perspektive der Landwirte | 11 |
| 4.2.1 Die Vor- und Nachteile im Überblick | 11 |
| 4.2.2 Vergleichende Deckungsbeitragsrechnung | 13 |
| 4.2.3 Wasserbedarf und Wasserkosten | 17 |
| 4.2.4 Zuverlässigkeit der Wasserbedarfsdeckung | 18 |
| 4.2.5 Hygienische Unbedenklichkeit des Abwassers | 19 |
| 4.2.6 Salzgehalt und Salzverträglichkeit | 21 |
| 4.2.6.1 Salzgehalt | 21 |
| 4.2.6.2 Salzverträglichkeit | 24 |
| 4.2.7 Nährstoffgehalt des Abwassers | 26 |
| 4.2.8 Landwirtschaftliche Managementfaktoren | 29 |
| 4.2.8.1 Leaching Requirement | 29 |
| 4.2.8.2 Weitere Managementfaktoren | 30 |
| 4.2.9 Soziokulturelle und sonstige Faktoren | 31 |
| 4.3 Die Perspektive der Gesamtgesellschaft und der Konsumenten | 32 |
| 4.4 Die Umweltperspektive im Überblick | 37 |
| 5 Zusammenführung der Perspektiven | 38 |
| 5.1 Anpassung der Reinigungstechnik an Qualitätskriterien für die Wiederverwendung | 38 |
| 5.2 Realisierung von Vorhaben | 39 |
| 5.3 Kostenzuschreibung bei einer bedarfsgerechten Abwasserreinigung | 43 |
| 5.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen | 44 |
| Literaturliste | 47 |
| Anhang | 49 |

Verzeichnis der Tabellen, Übersichten, Diagramme

| | | |
|-----------------------------------|--|-----------|
| Tabelle 1: | Deckungsbeiträge und Wasserkosten bei Nutzung von konventionellem Wasser und bei der Abwassernutzung | 14 |
| Tabelle 2: | Wasserbedarf und Kostenanteile von Wasser an den gesamten Betriebskosten bei unterschiedlichen Bewässerungsverfahren | 17 |
| Tabelle 3: | Durchschnittlicher Salzgehalt tunesischer Abwässer | 22 |
| Tabelle 4: | Richtwerte für die Klassifizierung der Qualität des Bewässerungswassers (festgelegt in Algerien) | 25 |
| Tabelle 5: | Richtwerte zur Beurteilung der Abwasserqualität für die landwirtschaftliche Bewässerung | 28 |
| Tabelle 6: | Wertschöpfung / m ³ Wasser bzw. Abwasser durch den Anbau landwirtschaftlicher Kulturarten | 33 |
| | | |
| Übersicht 1: | Reinigungskriterien für Abwasser je nach Nutzungsziel | 4 |
| Übersicht 2: | Betroffene Akteursgruppen bei der Nutzung gereinigter Abwässer (NgA) | 8 |
| Übersicht 3: | Salztoleranz verschiedener Kulturpflanzenarten in Tunesien | 23 |
| Übersicht 4: | Salztoleranz verschiedener Kulturpflanzenarten nach internationalen Richtwerten | 23 |
| Übersicht 5: | Verhältnis zwischen Salzgehalt und Salzverträglichkeit | 24 |
| | | |
| Diagramm 1: | Entsorgungssystem und Behandlungsoptionen für Abwasser | 40 |
| Diagramm 2: | Eignung des gereinigten Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung | 41 |
| Diagramm 3: | Reinigungsgrad und Einbau einer Desinfektionsstufe | 42 |
| | | |
| Tabellen im Anhang | | |
| Tabelle A 1: | Klassifizierungs- und Umrechnungstabelle | 49 |
| Tabelle A 2: | Einteilung für die relative Salztoleranz für Boden- und Bewässerungswasser | 49 |
| Tabelle A 3: | Kosten: Wert – Vergleich bei der konventionellen Bewässerung im Vergleich zur NgA | 50 |
| | | |
| Liste der Gesprächspartner | | 52 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------------------|--|
| AK | Arbeitskraft |
| BSB ₅ | Biologischer Sauerstoffbedarf |
| BMZ | Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung |
| BWP | Brackish Water Project, GTZ-Jordanien |
| CITET | Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis |
| CSB | Chemischer Sauerstoffbedarf |
| DB | Deckungsbeitrag |
| DS / m | deziSiemens pro Meter |
| DT | Dinar tunisien (1Euro ~ 1,4 DT) |
| EC | Elektrische Leitfähigkeit (Salzgehalt) |
| ECOSAN | Ecological Sanitation, GTZ |
| EW | Einwohner |
| EZ | Entwicklungszusammenarbeit |
| FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations (Erährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen) |
| FC | fäkale coliforme Bakterien |
| FZ | Finanzielle Zusammenarbeit |
| GTZ | Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit |
| ha | Hektar |
| KfW | Kreditanstalt für Wiederaufbau |
| LF | Leaching Fraktion |
| LR | Leaching Requirement |
| m ³ | Kubikmeter |
| μS | MikroSiemens |
| MNQ | Mittlerer Niedrigwasserabfluss |
| NgA | Nutzung gereinigter Abwässer |
| N | Stickstoff |
| NH ₄ | Ammonium |
| NO ₃ | Nitrat |
| NT | Tunesische Norm |
| ONAS | Office National de l'Assainissement |
| P ₂ O ₄ | Phosphat |
| RWP | Reclaimed Water Project, GTZ-Jordanien |
| TZ | Technische Zusammenarbeit |
| UV | Ultraviolettstrahlen |
| WHO | World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation) |
| WSP | Waste stabilization ponds |
| WSTR | Waste water storage and treatment reservoirs |

Zusammenfassung

Die Nutzung gereinigter Abwässer (NgA) in der Landwirtschaft ist eine gute Möglichkeit für wasserknappe Länder, Abwässer gewinnbringend zu verwerten und somit die Wasserressource insgesamt effizienter einzusetzen.

In Tunesien wurde die NgA zum nationalen Ziel erklärt und eine Verwendungsrate von 50 % in der Bewässerungslandwirtschaft wird angestrebt. Sowohl die gültigen rechtlichen Rahmenbedingungen als auch die vergleichsweise sehr weit fortgeschrittene Entsorgungswirtschaft, die differenzierte Tarifgestaltung und die bestehenden Projekte zur Abwassernutzung belegen den ernsthaften Willen der tunesischen Entscheidungsträger, dem Verfahren tatsächlich zum Durchbruch zu verhelfen.

Dennoch stagniert die Nutzungsrate von Abwasser seit etlichen Jahren und beträgt bei großen saisonalen Schwankungen höchstens 20 %. In dieser Studie werden die Umsetzungshemmnisse für das Erreichen der Zielmarke identifiziert und Empfehlungen zu ihrer Überwindung abgeleitet.

Als methodischer Ansatz wurde die Akteursanalyse gewählt, denn nur indem die Handlungsmotive der beteiligten Akteure verstanden werden, können auch Umsetzungshemmnisse identifiziert und gegebenenfalls überwunden werden. Da in der einschlägigen Diskussion die betriebswirtschaftliche Perspektive der Landwirte häufig nicht ausreichend behandelt wird, liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit bei den Abwassernutzern.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen zunächst, dass die Gesamtgesellschaft, der Umweltsektor und die Entsorger von der NgA gesamt gesehen profitieren würden. Die NgA erhöht nicht nur die Wassernutzungseffizienz der Ressource an sich und die Wertschöpfung pro Volumeneinheit Wasser, sondern die Gewässer werden hierdurch auch stofflich entlastet. Auch für die Entsorger ist das Verfahren eindeutig positiv. Für sie eröffnet sich hiermit die Möglichkeit, die Entsorgung nachhaltiger und einfacher zu gestalten, als es ansonsten in ariden Ländern oft möglich ist, wo Vorfluter häufig weit entfernt sind und wenig Wasser führen. Gleichzeitig können durch die NgA finanzielle Einnahmen auf Seiten der Abwasserlieferanten erzielt werden, die andernfalls nicht erzielt würden.

Wie sich die durch die NgA verursachten quantitativen Verschiebungen bei der Wasserverteilung auf die Umweltkompartimente auswirken, ist jedoch schwer zu bewerten – bisher profitierten die Vorfluter quantitativ von den Abwasserzuleitungen, bei der landwirtschaftlichen Nutzung wird das Abwasser stattdessen dem Boden, dem Grundwasser, dem Produkt und der Atmosphäre zugeführt. Von Fall zu Fall kann hierdurch ein relevantes Defizit entstehen, was demgemäß eher negativ zu bewerten wäre. Im Falle von küstennahen Städten – wie in Tunesien – mündet die Vorflut jedoch wenige Kilometer weiter ins Meer, so dass der Verlust zu vernachlässigen wäre.

Mit einem Fragezeichen muss auch der gesamtgesellschaftliche Gewinn versehen werden, der durch die Netto-Einsparung von konventionellen Wasserressourcen aufgrund des Einsatzes von Abwasser entsteht. Wie dieses eingesparte Wasser letztlich eingesetzt wird, ob es im

Umweltsektor verbleibt (z.B. durch eine geringere Förderung von Wasserressourcen aus Umweltkompartimenten), oder ob es der weiteren Ausweitung bzw. Intensivierung der Bewässerungslandwirtschaft dient, hängt von wasserpolitischen Entscheidungen ab, die in Tunesien noch nicht gefällt wurden. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen ist allerdings davon auszugehen, dass die eingesparten Wasserressourcen eher dem Landwirtschaftssektor zugute kommen würden. Aufgrund des optimierten Ausbaus der Wasserversorgungssysteme ist jedoch der Umweltsektor derjenige, der in Tunesien am stärksten unter dem Wassermangel leidet und dem das Wasser aus gesamtgesellschaftlichem Interesse heraus u.U. eher zuzuschreiben wäre. Dieses Problem könnte gelöst werden, indem der Anteil der Wasserressourcen begrenzt würde, der insgesamt in einem Land für den Landwirtschaftssektor zur Verfügung gestellt werden darf. Hier ist eine Interessensabwägung notwendig.

Die Abwassernutzer, d.h. die Landwirte, sind diejenige Akteursgruppe, die unter den gegebenen Rahmenbedingungen mehr Nach- als Vorteile durch die NgA erfahren. Diese Aussage gilt, wenn man die NgA mit der alternativen Option der konventionellen Bewässerung vergleicht. Sie bezieht sich demnach auf absolute Bewässerungsstandorte, an denen prinzipiell auch konventionelle Bewässerungsquellen zugänglich sind. Trotz der deutlichen Preisanreize überwiegen dann für die Landwirte die Opportunitätskosten und die höheren Produktionsrisiken bei weitem, wenn sie gereinigte Abwässer verwenden. Und dies ist der Grund, warum vielerorts in Tunesien Akzeptanzprobleme gegenüber der NgA bestehen.

Das Kernproblem liegt dabei darin, dass die Reinigungsziele der konventionellen Klärtechnik (also die stoffliche Beschaffenheit des Abwassers) zum Zeitpunkt der Errichtung der Entsorgungssysteme nicht an die Ansprüche der Landwirtschaft, sondern an die der Gewässer angepasst wurden, ganz nach dem Vorbild wasserreicher Länder. Diese Kompatibilitätslücke zu schließen ist für Tunesien der entscheidende Schritt, um die Akzeptanz der Landwirte zu erreichen und damit der NgA zum Durchbruch zu verhelfen.

Die geringe Übereinstimmung zwischen konventioneller Klärtechnik und den Ansprüchen der Landwirtschaft betrifft eine Reihe von Parametern. Zu nennen sind insbesondere die zu hohe Restbelastung des gereinigten Abwassers mit Krankheitserregern, die gegensätzliche Bewertung der Nährstoffkonzentrationen im Ablauf, die Form, in der Stickstoff im Ablauf vorliegt sowie die manchmal sehr hohen Salzgehalte. Da in einem fließenden Gewässer Krankheitskeime nach kurzer Zeit von selbst absterben und der Verdünnungseffekt auch die Salzkonzentrationen i.d.R. auf tolerierbare Werte absinken lässt, sind die Risiken bezüglich dieser Kriterien bei der Einleitung in Gewässer wesentlich geringer als bei der landwirtschaftlichen Nutzung. Daher konnte man bei der konventionellen Entsorgung mit den gegebenen Konzentrationen zumeist zufrieden sein, wohingegen die üblichen Ablaufwerte für die uneingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung bisher unzureichend sind.

Dementsprechend ist eine hygienische Unbedenklichkeit des Abwassers nach einer zweistufigen konventionellen Klärung für die landwirtschaftliche Nutzung zwar für Getreide, Baumkulturen, Mähfutter etc. geeignet, für roh verzehrbare Pflanzen (wie Gemüse und direkt beweidete Gräser) ist eine Unbedenklichkeit jedoch in aller Regel und auch in Tunesien nicht gegeben.

Die tunesische Regierung führte daher Anbaubeschränkungen für roh verzehrbare Pflanzen (insb. Gemüsekulturen) ein, wenn Abwasser zur Bewässerung eingesetzt wird. Diese Entscheidung war zwar richtig, für die Abwassernutzer hat sie jedoch negative betriebswirtschaftliche Folgen. Ihnen entstehen hierdurch hohe Opportunitätskosten, die hauptverantwortlich für die stagnierende Akzeptanz des Verfahrens sind. Denn um einen landwirtschaftlichen Betrieb rentabel zu bewirtschaften, müssen Landwirte nicht nur den Anbau der einzelnen Kulturart pro Flächeneinheit optimieren, sondern die einzelnen Kulturarten müssen auch optimal in einem Anbaumuster kombiniert werden (*cropping pattern*).

Auch wenn die NgA für die einzelne Kulturart rentabel ist – durch die Kostenvorteile können hierdurch Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden, die 200 – 300 DT / Hektar (100 – 150 \$ / ha) höher liegen, als wenn konventionell bewässert wird – müssen Landwirte bei der NgA aufgrund der Anbaubeschränkungen für Gemüsekulturen von dem optimalen Anbaumuster abweichen und weit weniger wertvolle Kulturarten anbauen. Bezogen auf einen Hektar entstehen Opportunitätskosten für den entgangenen Nutzen von bis zu 3 000 DT (1 500 \$). Selbst wenn ein Landwirt eines 10-Hektar-Betriebes aufgrund begrenzter Arbeitskapazität nur 2 Hektar mit Gemüsekulturen bebauen würde, wären seine Opportunitätskosten aufgrund dieser Anbaubeschränkungen doppelt so hoch wie die Zugewinne, die er wegen der Preisanreize und Kostenvorteile der NgA erwirtschaften könnte.

Darüber hinaus bestehen aber noch weitere gravierende Nachteile für die Abwassernutzer:

- Das Abwasserdargebot ist an einigen Standorten zu gering und zudem unzuverlässiger als konventionelle Wasserquellen, so dass für die Landwirte ein erhöhtes Produktionsrisiko entsteht.
- Das Abwasser ist häufig sehr salzhaltig, so dass mit Ertragseinbußen bei den angebauten Kulturarten gerechnet werden muss. Außerdem besteht ein Versalzungsrisko für die Böden, wenn keine speziellen Managementmaßnahmen ergriffen werden.
- Das gesundheitliche und agrarökologische Restrisiko ist für die Landwirte sehr schwer einzuschätzen, in Bezug auf die NgA werden die tunesischen Landwirte nicht beraten.

Hinzu kommt, dass die Landwirte den Düngewert des Abwassers und somit einen wichtigen Kostenvorteil faktisch nicht ausnützen. Sie erzielen daher nur suboptimale Deckungsbeiträge.

Unter den gegebenen Bedingungen in Tunesien würden die Landwirte daher einen Dienst an der Gesellschaft leisten, wenn sie trotz Zugangs zu konventionellen Bewässerungsquellen gereinigtes Abwasser verwendeten.

Für die Wasserpolitik heißt dies, dass gestaffelte Wasserpreise nicht ausreichen, um die Verbreitung des Verfahrens in Regionen zu erreichen, in denen optional auch Zugang zu konventionellem Bewässerungswasser besteht. Um dies zu erreichen, müsste die Abwasserklärung stärker auf den qualitativen und quantitativen Bedarf der Abwassernutzer ausgerichtet werden, so dass die NgA für sie auch gesamtbetrieblich rentabel würde.

Prinzipiell wäre es möglich, die hygienischen Anforderungen relativ kostengünstig mit Hilfe einer naturnahen Entsorgungsstrategie zu erreichen. Zum Beispiel kann eine ausreichende Entkeimung des Abwassers alleine durch einen rund dreiwöchigen Verbleib in Abwasserteichen erreicht werden. Ausgehend von den bestehenden Systemen kann demgegenüber aber auch der nachträgliche Einbau einer Desinfektionsstufe die richtige Lösung darstellen. Allerdings ist dies nur an für den Gemüseanbau geeigneten Standorten sinnvoll, an denen darüber hinaus auch die sonstige Qualität des gereinigten Abwassers (insb. der Salzgehalt) ausreicht, um damit Gemüsekulturen zu bewässern. Ob die Investition für die Desinfektionsstufe sinnvoll ist, kann daher nur fallweise entschieden werden.

Bei dieser Entscheidung müssen verschiedene Kriterien beachtet und untereinander gewichtet werden. Zu diesem Zweck werden in der vorliegenden Studie „Entscheidungsdiagramme“ entwickelt und aufgestellt, mit deren Hilfe alle wichtigen Einflussvariablen berücksichtigt werden können und eine zweckmäßige Gewichtung erfolgen kann. Diese Entscheidungsdiagramme können sowohl bei den tunesischen Behörden und Betreibern als auch bei der deutschen EZ Grundlage für eine schnelle und systematische Fall-zu-Fall-Entscheidung dienen.

In Tunesien wird die UV-Bestrahlung als Hygienisierungsverfahren bevorzugt, obwohl sie keine optimalen Ergebnisse erzielt. Zum einen gibt es verfahrenstechnische Hürden, zum anderen eine nicht immer ausreichende Wirksamkeit bei dieser Technik. Demgegenüber ist die Membrantechnik hoch wirksam für alle Mikroorganismen. Ein Nachteil stellen allerdings die höheren Kosten dar, vermutlich der Grund, warum die Präferenz in Tunesien die UV-Bestrahlung ist. In dieser Studie wird empfohlen, diese Vorentscheidung nochmals zu prüfen.

Grundsätzlich ist die Hygienisierung des Abwassers nur dann zu empfehlen, wenn die Anbaubeschränkungen für hygienisiertes Abwasser dann auch tatsächlich aufgehoben würden. Die Unterstützung durch die deutsche EZ kann an diese Bedingung geknüpft werden.

Es stellt sich jedoch auch dann noch die Frage, wer die Kosten einer solchen Desinfektionsstufe tragen soll, wenn der Standort geeignet ist. Da für die Landwirte die Vorteile einer Desinfektionsstufe sehr groß wären und diese speziell dem Zweck der uneingeschränkten Nutzung für die Landwirtschaft dient, erscheint eine Kostenbeteiligung (*cost-sharing*) durch die Landwirte angemessen.

Welcher Kostenanteil von den Landwirten getragen werden kann, hängt von folgenden Parametern ab:

- Anzahl der Betriebe, die mit dem Abwasser versorgt werden und auf die die Betriebskosten umgelegt werden können,
- Höhe der eingesparten Opportunitätskosten, d.h. Anteil der Flächen, die tatsächlich mit Gemüsekulturen bebaut werden würden,
- Lokales Vermarktungspotenzial für Gemüsekulturen und Preisentwicklung.

Wichtig ist, bei der Kostenbeteiligung darauf zu achten, dass ein deutlicher Nettogewinn für die landwirtschaftlichen Betriebe gewährleistet bleibt.

Neben den Betriebskosten müssen jedoch auch die Baukosten einer Desinfektionsstufe finanziert werden. Ein Engagement der deutschen FZ wird in dieser Studie grundsätzlich als sinnvoll angesehen. Für ein finanzielles Engagement sprechen folgende Argumente:

- Die NgA ist grundsätzlich eine sinnvolle Strategie, um Wasser effizienter und nachhaltiger zu nutzen.
- Die FZ (KfW) hat sich bisher stark im Aufbau und im Betrieb der Wasserver- und -entsorgung engagiert, so dass es nur konsequent ist, diese Unterstützung auch dann fortzuführen, wenn die bestehenden Einrichtungen an die sich wandelnden Ansprüche und Notwendigkeiten angepasst werden.
- Bisher sind die Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit Tunesien sehr positiv.

Der TZ (GTZ) wird empfohlen, sich ergänzend hierzu in folgenden Bereichen zu engagieren:

- Unterstützung bei der Formulierung wasserpolitischer Konzepte zur Durchsetzung und zur guten Praxis der NgA.

Hauptanliegen wäre es, die Perspektive der Abwassernutzer adäquat in das Entsorgungskonzept und in die Kostenverteilung zu integrieren. Weiteres Anliegen wäre es, zu diskutieren, inwieweit eine sektorbezogene Zuschreibung der durch die NgA eingesparten Wasserressourcen sinnvoll wäre.

- Erstellung von *Guidelines* für Landwirte (nach dem Vorbild des BWP und RWP, GTZ-Jordanien), mit deren Hilfe die gute Praxis der Abwassernutzung erarbeitet und verbreitet werden könnte. Schwerpunkt könnte neben dem richtigen Umgang mit salzhaltigem Wasser der optimale Einsatz der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe sein.

Die NgA sollte konzeptionell zwar dem Grundsatz „Vermeidung vor Wiederverwendung“ Rechnung tragen, jedoch sollte insgesamt mit dieser Grundsatzfrage pragmatisch umgegangen werden. Da, wo bereits Trinkwasser- und Sanitärsysteme bestehen, ist die Nutzung des Abwassers in jedem Falle ein Fortschritt gegenüber der konventionellen Entsorgung. Allerdings könnte überall dort ein potenzielles Beteiligungsfeld im Bereich „Vermeidungsstrategien“ für die deutsche EZ (FZ und TZ) bestehen, wo lokale Entsorgungsstrategien neu geplant werden. Chancen bieten sich immer dort, wo neue Stadtviertel oder neue Touristikzonen konzipiert werden. Hier könnten auch naturnahe Entsorgungskonzepte ernsthafter als bisher in die Überlegungen einfließen. Dies betrifft sowohl die Realisierung von neuen Strategien im Sanitärbereich (z.B. ECOSAN, GTZ) als auch den Bau von Abwasserteichen oder Pflanzenkläranlagen – wenn ein professionelles Management gewährleistet ist. Ein solches Engagement wäre für Tunesien und für die deutsche EZ nicht zuletzt auch deshalb interessant, weil es Modellcharakter für andere Länder haben könnte. Tunesien könnte somit als Beispiel für die Bewältigung von Anpassungsproblemen bei der breitenwirksamen Einführung der NgA dienen.

Zwischen den Konzepten für ärmere und für fortgeschrittene Entwicklungsländer sollte grundsätzlich unterschieden werden, da sich die Ausgangslage in ärmeren Ländern grundlegend von der in fortgeschrittenen Ländern unterscheidet. Denn mangels etablierter Entsorgungssysteme fällt in ärmeren Ländern das Abwasser zumeist in seiner rohen Form an und wird auch überwiegend nur als solches wiederverwendet. Zur Erreichung einer sicheren und nachhaltigen Nutzung von Abwässern sind daher in armen Ländern andere, d.h. wesentlich kostengünstigere Lösungswege notwendig, als es etwa in Tunesien möglich ist. Die Erstellung einer Studie, die die unterschiedlichen ökonomischen und entsorgungstechnischen Ausgangslagen der verschiedenen Ländergruppen berücksichtigt, wäre daher äußerst hilfreich.

1 Einleitung

Trotz seiner teilweise vorbildlichen Wasserpolitik werden auch in Tunesien die Wasserressourcen immer knapper, wenn das derzeitige Wassermanagement und die Entwicklung der aktuellen Bedarfszahlen fortgeschrieben werden. Ein wichtiges strategisches Ziel der tunesischen Wasserpolitik ist es daher, die Effizienz der Wassernutzung deutlich zu erhöhen.

Die **Nutzung gereinigter Abwässer (NgA)** zur landwirtschaftlichen Bewässerung ist eine zentrale Möglichkeit, diese Effizienzsteigerung der Wassernutzung herbeizuführen. Tunesien hat daher das nationale Ziel formuliert, die Nutzungsrate von Abwässern innerhalb der Landwirtschaft auf 50 % zu erhöhen. Trotz der Setzung ökonomischer Anreize und gestaffelter Tarife für verschiedene Wasserqualitäten ist jedoch dieses Ziel wesentlich schwieriger zu erreichen, als ursprünglich erwartet wurde.¹ So beträgt die Nutzungsrate von Abwasser seit vielen Jahren höchstens 20 % und stagniert bei diesem Wert.

In der vorliegenden Studie werden die Umsetzungshemmnisse für das Erreichen dieser Zielmarke identifiziert und Empfehlungen zu ihrer Überwindung abgeleitet.

Kernproblem ist, dass bei der konventionellen Abwasserklärung die Qualitätsansprüche der Abwassernutzer nicht berücksichtigt werden, sondern traditionell Abwasserqualitäten für die Einleitung in ein Gewässer produziert werden. Herauszufinden, wie dieser Umstand die Interessen von Akteuren beeinträchtigt, ist Hauptfokus dieser Studie. Insbesondere wird untersucht, welche Vor- und Nachteile hiermit für die Landwirte verbunden sind.

Darüber hinaus wird die Frage diskutiert, ob mit Hilfe des Einbaus einer Desinfektionsstufe in die vorhandenen Kläranlagen und einer Lockerung der bestehenden gesetzlichen Anbaubeschränkungen bei der Nutzung von Abwässern die Umsetzungshemmnisse beseitigt wären. Analysiert werden die Voraussetzungen für eine solche technische und gesetzliche Modifikation und die Frage, wer die Kosten dafür aufbringen soll. Da in der Studie gezeigt werden kann, dass eine pauschale Befürwortung der Desinfektionsstufe nicht angebracht ist, werden Entscheidungsdiagramme entwickelt, in denen Kriterien für eine Fall-zu-Fall-Entscheidung aufgestellt und priorisiert werden.

Insgesamt wird versucht, eine realistische Einschätzung des Potenzials der Abwassernutzung abzugeben und eine dezidierte Positionierung der deutschen EZ zu diesem Thema zu ermöglichen. Schließlich wird analysiert, wann und unter welchen Rahmenbedingungen es für die deutsche EZ sinnvoll ist, die NgA in der Landwirtschaft zu unterstützen und entsprechende Projekte zu finanzieren.

Neben Wasserexperten für integriertes Wassermanagement, die mit dieser Arbeit angesprochen werden, richtet sich die deutsche Fassung vornehmlich an die Entscheidungsträger im BMZ sowie an entwicklungspolitische Organisationen der finanziellen und technischen Zusammenarbeit, die im Umwelt- oder Wassersektor wasserknapper Länder tätig sind.

1 Vgl. Benabdallah (2003), Teil I.

2 Entsorgungsstrategien und Klärkonzepte

2.1 Grundsätzliche Überlegungen

Auch wenn alternative Entsorgungskonzepte bis heute nur lokale Bedeutung besitzen, ist es nicht zwingend, Entsorgungssysteme zentral auszurichten, häusliches Brauchwasser mit festen und flüssigen Exkrementen zu mischen, mit Hilfe des Transportmediums Wasser in einem Reinigungssystem zu klären und schließlich in ein Gewässer zu entsorgen. Gerade in ariden Ländern, in denen Wasser knapp ist, wäre es durchaus denkbar, Systeme zu etablieren, bei denen Wasser- und Nährstoffkreisläufe von vornherein getrennt würden, so dass nur geringe Mengen an wenig verschmutztem Grauwasser anfielen und die Exkremente als Trockensubstrat vorlägen. Auf diese Weise könnten die Nährstoffe genau dosiert und mit einem geringen Transportaufwand in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Das Grauwasser könnte zudem in einem Recyclingverfahren innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft genutzt werden. Die NgA, so wie sie in dieser Arbeit diskutiert wird, wäre dann keine vorrangige Option.

Gleichermaßen ist es nicht zwingend, Abwässer in konventionellen, biologischen Kläranlagen zu reinigen. Mit Hilfe naturnaher, dezentral angelegter Klärsysteme könnten ebenfalls hohe Reinigungsgrade von Abwasser erzielt werden, und zwar mit viel geringeren Kosten. Die Frage, wie weitgehend ein Abwasser gereinigt werden muss, um keine hygienischen Probleme bei der Nutzung zu verursachen, würde sich dann nicht in dieser Form stellen. Denn nach Durchlaufen eines Bodenkörpers bzw. nach einem rund dreiwöchigen Verbleib in Schönungs- teichen, könnten die geforderten Hygienisierungsgrade entsprechend WHO-Standard erreicht werden, um Abwasser uneingeschränkt zu nutzen.

Der Hauptnachteil dieser naturnahen Systeme ist allerdings, dass sie einen wesentlich höheren Platzbedarf als konventionelle Kläranlagen aufweisen (nämlich mind. 8 - 10 m² pro EW) und daher u.U. hohe Opportunitätskosten verursachen. Weitere Nachteile bestehen in einer hohen Verdunstungsquote, d.h. relativ hohen Verlusten von Bewässerungswasser in den relativ geringen Steuerungsmöglichkeiten (z.B. bei schwankender Zulaufkonzentration) und in der notwendigen und aufwändigen Schlammräumung der Teiche (ca. alle 5 Jahre). Bei einem hohen Anteil von schwer abbaubaren Stoffen im Abwasser (Industrie) sind außerdem sehr lange Aufenthaltszeiten erforderlich (d.h. die Teiche müssen dann noch größer konzipiert werden).

Nicht zuletzt hat die flächendeckende Umsetzung dezentraler Systeme keine Vorbilder in anderen Ländern, wie es für konventionelle Verfahren der Fall ist, so dass das consequente Einschlagen dieses Weges Pioniercharakter hätte und daher durchaus riskant wäre.

Welche Systeme idealtypisch auch zu bevorzugen sind, die reale Situation macht die breitenwirksame Umsetzung unkonventioneller Entsorgungskonzepte sehr schwierig. In den meisten Ländern – und insbesondere auch in Tunesien – wurden die Konzepte wasserreicher Länder vor vielen Jahren mehr oder minder übernommen, ohne ihre Eignung für wasserarme Regionen grundsätzlich zu hinterfragen. Mit dieser Entscheidung wurden (z.T. sicher unbewusst)

wichtige entsorgungspolitische Weichen gestellt. Diese heute umzuwerfen, wäre sehr teuer und zumeist wenig hilfreich. Ausgangsbasis dieser Studie ist daher die bestehende Situation.

Tunesien ist auch entsorgungstechnisch ein weit fortgeschrittenes Land, das mit seinen über 60 Kläranlagen und der Reinigung von rd. 80 % des in Städten anfallenden Abwassers eine in vieler Hinsicht vorbildliche Wasserpolitik betreibt. Mit einem weltweit einmaligen Wasserverbundsystem aus Talsperren, Flüssen, Rohrleitungen und Kanälen hat es Tunesien erreicht, dass die Bevölkerung und Bewässerungslandwirtschaft zu keinem Zeitpunkt unter absoluten Engpässen in der Wasserversorgung leiden mussten! Dies ist für ein Land, das zu den wasserärmsten der Welt gehört, eine sehr beachtliche Leistung. Deutschland hat mit zahlreichen Krediten und mit technischer Beratung einen wesentlichen Beitrag hierzu geleistet.²

Nachdem diese auf die Infrastruktur der Wasserversorgung und -entsorgung konzentrierte Arbeit in Tunesien erfolgreich geleistet wurde, verlagern sich nun die Problembereiche sukzessive in Richtung effiziente Wassernutzung und Umweltfragen.³ Es wäre nur konsequent, wenn auch bei der Bewältigung dieser Fragen die deutsche EZ eine bedeutende Rolle spielen würde. Hierzu ist teilweise die Ausarbeitung neuer, ergänzender Konzepte notwendig. Die systematische NgA ist ein solch neuer Bereich. Die bisher getrennt organisierten Sektoren Siedlungswasserwirtschaft und Bewässerungslandwirtschaft werden durch die NgA miteinander auf neue Weise verbunden.⁴ Wird Abwasser nicht in Gewässer entsorgt, sondern als Ressource für die Landwirtschaft verwendet, entstehen eine Reihe neuer technischer, finanzieller, sozialer, rechtlicher, ökologischer und betriebswirtschaftlicher Verbindungen und Fragen, deren Beantwortung notwendig ist, um das Verfahren in ein bestehendes Entsorgungssystem zu integrieren.

2.2 Divergierende Reinigungsziele je nach Nutzungsoption

Das Ziel des Betriebs von konventionellen Kläranlagen besteht üblicherweise darin, Abwasser so weitgehend zu reinigen, dass die Einleitung in ein Gewässer ökologisch unbedenklich ist. Bei häuslichen Abwässern besteht eine ökologische Unbedenklichkeit dann, wenn die sauerstoffzehrenden biologischen Abbauprozesse weitgehend abgeschlossen sind, und wenn keine Fischtoxizität des Abwassers besteht. Die Verringerung der organischen und der Nährstofffracht, vor allem des fischtoxischen Ammonium-Stickstoffs sind daher häufig vorrangige

2 Vgl. z.B. KfW (2001), BMZ (2001a), Fersi / Wunderlich (2002) *Coopération Allemande au Développement / Ministère de l'Agriculture / Coopération Technique Tuniso-Allemande* (2001).

3 République Tunisienne: Ministère de l'Agriculture (1999, 2000, 2002)

4 In vielen Ländern, in denen keine zentral organisierte Wasserver- und -entsorgung existiert, ist die Nutzung ungereinigter Abwässer seit jeher ein bewährtes, wenn auch gesundheitlich und ökologisch durchaus problematisches Verfahren. Erst mit der Etablierung moderner Entsorgungssysteme entstand eine systematische Trennung von Trinkwasser- und Bewässerungssystemen, bei denen die Verwendung der Abwässer in der Landwirtschaft ursprünglich gerade nicht vorgesehen war.

Ziele der konventionellen Klärung. Bei eutrophierungsgefährdeten Gewässern kann auch eine Elimination von P_2O_4 (Phosphat) oder NO_3-N (Nitrat) im Vordergrund stehen. Demgegenüber werden ein gewisser Salzgehalt und eine mikrobiologische Restbelastung des gereinigten Abwassers in Kauf genommen, da die Restgehalte für ein Gewässer normalerweise unproblematisch sind. Ist der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) des Gewässers zur Ablaufmenge der Kläranlage ausreichend groß, werden diese im Gewässer stark verdünnt, zum anderen sterben die Krankheitskeime unter diesen Bedingungen i.d.R. schnell und vollständig ab.

Soll das gereinigte Abwasser jedoch in der Landwirtschaft wiederverwendet werden, so stehen andere Qualitätsziele im Vordergrund. Diese sind die hygienische Unbedenklichkeit, ein ausreichender – wenn auch nicht zu hoher – Nährstoff-, d.h. Stickstoff- und Phosphatgehalt, ein möglichst geringer Salzgehalt und nur sehr geringe Mengen an Schwermetallen und schwer abbaubaren organischen Verbindungen.

Die fast vollständige Eliminierung der biologisch abbaubaren organischen Fracht (insb. BSB_5) ist dagegen nicht notwendig, wenn das Abwasser der Bewässerung dient. Ein gewisser restlicher Sauerstoffbedarf könnte aus rein sachlicher Perspektive problemlos auch nachträglich im Boden abgebaut werden, der ja selbst als „biologischer Reinigungskörper“ fungiert.

Auch im Hinblick auf die Nährstoffe bestehen gegenläufige Qualitätsansprüche. Stickstoff und Phosphat sollten wegen ihres Düngewerts möglichst im Abwasser verbleiben, wenn es wiederverwendet wird. Um jedoch eine Überdüngung und Auswaschung zu vermeiden, ist es von Vorteil, wenn Stickstoff nicht als Nitrat, sondern als Ammonium-Stickstoff vorliegt. Denn der langsam pflanzenverfügbare Ammonium-Stickstoff wird an Bodenbestandteile adsorbiert, so dass er weniger grundwassergefährdend ist als Nitrat. Von den Pflanzen wird der Ammonium-Stickstoff langsamer aufgenommen, so dass es weniger leicht zu Überdüngungseffekten kommt. Die nachstehende Übersicht zeigt die unterschiedlichen Reinigungsziele je nach Nutzungsoption des gereinigten Abwassers in zusammengefasster Form:

| Übersicht 1: Reinigungskriterien für Abwasser je nach Nutzungsziel | | | | |
|---|--|---|---|--|
| Kriterium | Reinigungsziel bei der Entsorgung in ein Gewässer | Geeignete biochemische Prozesse | Reinigungsziel bei der NgA in der Landwirtschaft | Geeignete biochemische Prozesse |
| Organische Fracht (BSB_5 und CSB) | Schlüsselkriterium: Möglichst stark herabsenken | Oxidation notwendig, ansonsten werden die Gewässer stark belastet (Sauerstoffentzug). | Abbau muss nicht ganz vollständig sein, da Abbauprozesse zusätzlich im Boden stattfinden. | Oxidation im Vorfeld der Bewässerung nicht in dem Ausmaß notwendig. |
| Ammonium-N (NH_4) | Schlüsselkriterium: Möglichst vollständig zu Nitrat oxidieren, wegen hoher Fischtoxizität. Falls Eutrophierungsgefahr: zusätzlich Denitrifikation erforderlich. | Oxidation notwendig, um NH_4 zu NO_3 zu nitrifizieren. | Anteil darf (relativ) hoch bleiben, denn NH_4 ist als langsam verfügbarer Dünger und wegen geringer Auswaschungsgefahr bevorzugte Form des Stickstoffs. | Anaerobe Bedingungen vorteilhaft, damit NH_4 nicht in Nitrat übergeht. |

| Fortsetzung Übersicht 1: Reinigungskriterien für Abwasser je nach Nutzungsziel | | | | |
|--|---|--|--|--|
| Kriterium | Reinigungsziel bei der Entsorgung in ein Gewässer | Geeignete biochemische Prozesse | Reinigungsziel bei der NgA in der Landwirtschaft | Geeignete biochemische Prozesse |
| Krankheitserreger (fäkale coliforme Bakterien; Nematodeneier) | Ein Restgehalt darf bleiben, da die Erreger in den Gewässern von selbst absterben. (gilt nicht bei Badegewässern). | Desinfektionsstufe i.d.R. nicht notwendig. | Schlüsselkriterium: Möglichst stark reduzieren, da bei der Nutzung ansonsten Abwassernutzer und Konsument gefährdet werden. | Desinfektionsstufe / Hygienisierung für uneingeschränkte Nutzung notwendig (Verfahren: Abwasserenteiche oder Einbau einer Desinfektionsstufe). |
| Salzgehalt | Salzgehalt wird während der konventionellen Klärung nicht verändert, da gereinigtes Abwasser mit großen Wassermengen in dem Gewässer verdünnt wird. | Entsalzung i.d.R. nicht notwendig, insb. auch nicht bei der Einleitung ins Meer. | Schlüsselkriterium: Gehalt möglichst gering halten, wegen Aufsalzungsgefahr des Bodens und Ertragsminderungen bei den Kulturpflanzen. | Entsalzung kann je nach Standort notwendig sein, ansonsten ist das Abwasser bei hohen Salzgehalten nicht oder nur eingeschränkt zur Bewässerung einsetzbar. Spezielles Bewässerungsmanagement notwendig (u.a. LR). |
| Gesamt-N und Nitrat | Möglichst eliminieren, zum Schutz der Gewässer. | Denitrifikation vorteilig. | Ausreichend hoch für optimales Pflanzenwachstum, nicht zu hoch wegen Auswaschungsgefahr und Nitrat/Nitrit-Gefahr im Grundwasser. | Denitrifikation nachteilig. |
| Phosphat | Möglichst eliminieren zum Schutz der Gewässer (ansonsten Eutrophierungsgefahr). | Phosphateliminiierung vorteilig. | Ausreichend hohe Konzentration erwünscht für optimales Pflanzenwachstum. Düngemittel. | Phosphateliminiierung nachteilig. |
| Schwermetalle und schwer abbaubare, toxische Substanzen | Konzentrationen möglichst gering halten, wird jedoch mit vergleichsweise großen Wassermengen verdünnt. | Trennung industrieller Abwässer vorteilig. | Möglichst gering halten, da Akkumulation in einem vergleichsweise kleinem Bodenkörper stattfindet. | Trennung industrieller Abwässer vorteilig. |
| Quelle: Eigene Arbeit | | | | |

2.3 Bedarfsgerechte Klärkonzepte

Die divergierenden Reinigungsziele je nach Nutzungsoption des Abwassers werden mit den einzelnen verfügbaren Klärtechniken zu einem unterschiedlichen Grad erreicht. Bei konventionellen Verfahren dominieren aerobe Bedingungen. Durch Oxidation werden der organische und der chemische Sauerstoffbedarf (BSB₅ / CSB) des Abwassers schnell minimiert. Ist die Kläranlage außerdem mit einer dritten Reinigungsstufe ausgestattet, wird auch das umweltbelastende Phosphat reduziert und die Stickstoffverbindungen zunächst nitrifiziert und anschlie-

End in die Luft abgeführt (Denitrifikation). Konventionelle Kläranlagen, insbesondere auch in Tunesien, arbeiten daher vorrangig mit dem Einsatz von Sauerstoff. Diese Verfahren sind in der Regel sehr wirksam und platzsparend, aber auch energie- und kostenaufwendig.

Soll das Abwasser landwirtschaftlich genutzt werden, ist eine bedarfsgerechte Abwasserqualität mit Hilfe von mehreren hintereinander geschalteten Abwasser- und Schönungsteichen (*waste stabilization ponds, WSP*) am einfachsten zu erreichen. In unbelüfteten Teichen laufen die Selbstreinigungsprozesse vornehmlich unter anaeroben Bedingungen ab und bei Bedarf können die Teiche auch gleichzeitig der Speicherung von Abwasser dienen (*waste water storage and treatment reservoirs, WSTR*), um die Bedarfsschwankungen bei den Abwassernutzern auszugleichen. Da die biochemische Prozessgeschwindigkeit proportional zur Temperatur erfolgt, sind diese Verfahren besonders für warme Länder geeignet. Nach einer Aufenthaltsdauer von 22 Tagen in den Teichen sollte das Abwasser von fäkalen coliformen Bakterien und Nematodeneiern befreit und damit für die uneingeschränkte Nutzung in der Landwirtschaft geeignet sein.⁵ Teichkläranlagen sind arbeitssparend, prozessstabil und sehr kostengünstig. Dennoch sind auch sie mit spezifischen Nachteilen verknüpft (siehe Abschnitt 2.1.), müssen professionell betrieben werden und sollten einem regelmäßigen Monitoring unterstehen. Teiche sind daher den technisierteren Verfahren nicht generell vorzuziehen, sondern es muss am konkreten Fall abgewogen werden..

Weitere naturnahe Optionen bestehen in der Errichtung von Pflanzenklär- und Wurzelraumanlagen, die auf fakultativ ablaufenden anaeroben und aeroben Prozessen basieren und weniger platzbeanspruchend sind. Die Klärung erfolgt je nachdem mit Hilfe bewachsener Bodenkörper oder Sandsubstrate, Wasserpflanzen dienen zum Teil als Sauerstofflieferanten, da über ihr charakteristisches Leitsystem (Aerenchym) Sauerstoff in den Wurzelraum gelangt. Ein häusliches Abwasser, das auf diese Weise sachgerecht gereinigt wurde, kann im Prinzip ebenfalls ohne Anwendungsbeschränkungen wiederverwendet werden.

Die hygienische Unbedenklichkeit für die uneingeschränkte Bewässerung kann bei konventionellen Kläranlagen nur erreicht werden, wenn eine zusätzliche Desinfektionsstufe eingebaut wird. Auch hier gibt es wieder unterschiedliche Möglichkeiten. Durch eine Chlorung oder UV-Bestrahlung werden die Krankheitserreger direkt attackiert, die Verfahren wirken jedoch selektiv im Hinblick auf unterschiedliche Mikroorganismen und sind nicht immer ausreichend wirksam. Die Chlorung hat zudem negative Umweltwirkungen. In Tunesien wird die UV-Bestrahlung bevorzugt. Die Investitions- und Betriebskosten für den Einbau einer solchen Desinfektionsstufe erhöhen die Investitions- und auch die Betriebskosten einer konventionellen Kläranlage um rund 10 %.⁶

5 Vgl. WHO (1989); Blumenthal et al. (2000).

6 Vgl. Schüttrumpf / Mauderli (2002); Ministère de l'Environnement (MEAT) / Office National de l'Assainissement (ONAS) / (Kreditanstalt für Wiederaufbau) (KfW) (2002) .

Eine vielversprechende Hygienisierungstechnik mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad als die UV-Bestrahlung ist die Membrantechnik. Das Abwasser wird durch Poren mit extrem kleinen Durchmessern gepresst, so dass eine definitive Sperre für fäkale coliforme Bakterien, Nematodeneier und Viren besteht. Dementsprechend vollständig und unselektiv ist die Reinigungsleistung dieses Verfahrens.⁷ Ein positiver Nebeneffekt ist zudem, dass hierdurch restliche Schwebstoffe entfernt werden, d.h. das Abwasser somit fast vollständig enttrübt wird. Verstopfungen von Bewässerungsdüsen etc. würden daher kein Problem mehr bei der NgA darstellen. Die Membrantechnik ist allerdings aufgrund des geringeren Verbreitungsgrades noch teurer als die UV- Bestrahlung.

Unter günstigen pedo-geologischen Bedingungen kann gereinigtes Abwasser auch in entleerte Grundwasserleiter geleitet werden und wird hierbei durch den Versickerungsvorgang quasi als Nebeneffekt entkeimt. Diese natürliche Entkeimung reicht zumeist aus, um das Abwasser nach der erneuten Förderung uneingeschränkt wiederzuverwenden. Bis dahin erfüllt der Grundwasserleiter eine weitere wichtige Funktion als Speicherraum.

In den USA und in Israel ist diese Art der Speicherung und Entkeimung, die gleichzeitig der künstlichen Grundwasserneubildung dient, sehr verbreitet. Allerdings darf der Salzgehalt des Abwassers und auch des Grundwassers nicht zu hoch sein, so dass die Qualität des Wassers durch die Vermischung nicht weiter verschlechtert wird. Zudem darf der Grundwasserstand nicht zu flach sein, um eine ausreichende Infiltrationsstrecke und damit Entkeimung zu garantieren. Obwohl in Versuchen im Nordosten Tunesiens eine erfolgreiche Desinfektion erreicht werden konnte⁸ und auch andere erfolgreiche Versuche in Bezug auf diese Technik in Tunesien durchgeführt wurden⁹ sind längst nicht alle Standorte für die Realisierung geeignet. Hauptgründe sind der hohe Salzgehalt des Grundwassers, ungeeignete Bodenbedingungen oder zu flache Grundwasserstände.¹⁰

3 Methodik und Vorgehen

Die vorhandene Literatur über die NgA ist zumeist stark technisch oder ökonomisch orientiert, es fehlt aber eine akteursbezogene Bearbeitung dieses Themas. Ob eine Innovation in der Praxis adaptiert wird, hängt jedoch längst nicht nur von der technischen Machbarkeit ab, sondern wird ganz wesentlich davon beeinflusst, welche Vor- und Nachteile für einzelne Akteure bestehen und wer sich als Gewinner bzw. Verlierer der Innovation sieht.

7 Vgl. Dorau (1999, 2001).

8 Vgl. Rais / Xanthoulis (1999).

9 Vgl. Bahri (2002, S. 6).

10 Vgl. Benabdallah (2003), Teil I.

Je nachdem, in welcher Position die einzelnen Akteure sind, welche Funktionen sie ausüben und welche Macht sie besitzen, versuchen die (manchmal auch nur vermeintlichen) Verlierer, Innovationen zu verhindern oder jedenfalls nicht umzusetzen, soweit sie hierzu nicht gezwungen werden. Es ist daher naheliegend, dass Umsetzungshemmnisse ihre Ursache darin haben, dass eine oder mehrere Akteursgruppen negativ von der Innovation betroffen sind.

Eine wesentliche Voraussetzung, um Umsetzungshemmnisse zu überwinden, ist es daher, zunächst die jeweiligen Handlungsmotive der Akteure zu verstehen. Eine Wertung ist hiermit nicht verknüpft, auch wenn der Akteur trotz Anreizsetzung nicht das „Gewünschte“ tut. Stattdessen besteht das Ziel darin, auf der Grundlage der hinzugewonnenen Erkenntnisse politische Maßnahmen abzuleiten, die die Interessenlage so verändern, dass die gewünschten Veränderungen möglichst im eigenen Interesse erfolgen.

Solch eine Akteursanalyse ist bisher weder für Tunesien noch für ein anderes Land in Bezug auf das Thema durchgeführt worden. In vorliegender Studie wird hier somit ein erster Versuch unternommen, allerdings immer mit starkem Anwendungsbezug und ohne Ausarbeitung eines theoretisch fundierten methodischen Teils. Die einzelnen Akteursperspektiven werden hierbei nicht gleichgewichtig betrachtet, sondern der Schwerpunkt liegt auf der Analyse der Nutzerperspektive. Der Grund für dieses Vorgehen ist, dass diese Perspektive bisher zu wenig berücksichtigt wurde, hier aber die größten Umsetzungshemmnisse vermutet werden können. Die Arbeit deckt insofern nur einen Ausschnitt einer umfassenden Akteursanalyse ab. Mit Hilfe dieses Ausschnitts können jedoch die wesentlichen Umsetzungshemmnisse erkannt und somit das Ziel der Studie erreicht werden.

Die nachstehende Übersicht zeigt nun in grober Struktur die einzelnen, durch die NgA betroffenen Akteursgruppen und ihre jeweiligen Ziele und Interessen.¹¹ In der weiteren Arbeit dient dieses Schema als strukturierendes Element.

| Übersicht 2: Betroffene Akteursgruppen bei der Nutzung gereinigter Abwässer (NgA) | | |
|--|---|--|
| <i>Akteur</i> | <i>Ziel / Interesse</i> | <i>Untergruppen / Aspekte / Kompartimente</i> |
| Entsorger | <ul style="list-style-type: none"> • Abwasser so günstig wie möglich und gemäß Richtlinien reinigen • Abwasser problemlos in Gewässer oder an Abwassernutzer entsorgen bzw. abgeben | Öffentliche / private Betreiber der Kläranlagen (zumeist ONAS) |
| Abwasserlieferant | <ul style="list-style-type: none"> • Abwasser an Abwassernutzer für einen festen Preis abgeben • Bewässerungsanlagen möglichst kostengünstig betreiben | Bewässerungsbehörden (CRDA / MAERH) |

¹¹ Vgl. auch Neubert (2002).

| Fortsetzung Übersicht 2: Betroffene Akteursgruppen bei der Nutzung gereinigter Abwässer (NgA) | | |
|--|---|--|
| Akteur | Ziel / Interesse | Untergruppen / Aspekte / Kompartimente |
| Abwassernutzer | <ul style="list-style-type: none"> • Abwasser so günstig wie möglich einkaufen und so rentabel wie möglich einsetzen. • Ein möglichst geringes Produktionsrisiko eingehen und • einen möglichst nachhaltigen Ertrag erwirtschaften | Landwirte, u.U. Nutzergemeinschaften / Arbeiter / u.U. nicht landwirtschaftliche Abwassernutzer |
| Gesamtgesellschaft | <ul style="list-style-type: none"> • Wasserversorgung im Land insgesamt (Trinkwasser und Bewässerung) sicherstellen, • Abwasser kostengünstig und umweltgerecht entsorgen, • risikofreies Konsumieren von Wasser und Nahrungsmitteln ermöglichen | Nationale politische Ebene, Konsumenten von Trinkwasser und landwirtschaftlichen Produkten |
| Umwelt | <ul style="list-style-type: none"> • Erhaltung der Agrarökosysteme und der natürlichen Ökosysteme für Mensch und Tier | Mensch / Agrarökosysteme / natürliche Ökosysteme mit ihren für sie typischen Pflanzen und Tieren |
| Quelle: Eigene Entwicklung, Vgl. auch Benabdallah (2003), Teil I | | |

In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf die Perspektive der Entsorger und Lieferanten von Abwasser eingegangen.¹² Anschließend wird im Detail auf die Abwassernutzer eingegangen, und die gesamtgesellschaftliche Dimension, die Sicht der Konsumenten sowie Umweltaspekte werden beleuchtet. Die unterschiedlichen Perspektiven werden in einem darauffolgenden Abschnitt zusammengeführt und bewertet. Auf der Grundlage dieser Gesamtsicht werden nun die Entscheidungsdiagramme erarbeitet, die die Beurteilung der jeweils anzustrebenden Nutzung und des erwünschten Reinigungsgrades des Abwassers ermöglichen.

4 Vor- und Nachteile der Nutzung gereinigter Abwässer aus Sicht unterschiedlicher Akteure

4.1 Die Perspektive der Entsorger und Lieferanten von Abwasser im Überblick

Für die Entsorger und Lieferanten von Abwasser ist die NgA mit folgenden Vorteilen verknüpft:

- Es entsteht ein Preis für Abwasser (0,02 DT/m³) der bei der konventionellen Entsorgung in ein Gewässer nicht existiert.
- Es können im Einzelfall Kosten von durchschnittlich 0,03 bis 0,06 DT / m³ Abwasser eingespart werden,¹³ die entstehen würden, wenn das Abwasser bis zu einem Gewässer transportiert werden müsste.

¹² Diese beiden Akteursgruppen konnten nicht voneinander getrennt werden, da zu wenige Informationen aus Tunesien hierzu vorlagen.

¹³ Vgl. Bahri (2002), S.4.

- Die Abgabe des Abwassers an die Landwirtschaft stellt aus Sicht der Entsorger eine gute Möglichkeit dar, sich der Entsorgungslast und dem Restrisiko, das hiermit verknüpft ist, zu entledigen. In ariden Ländern ist die Entsorgung in ein Gewässer oft problematisch, da die Vorfluter zu wenig Wasser führen oder gar keine aufnehmenden Gewässer in der Nähe existieren.
- Kosten für eine dritte Reinigungsstufe können durch die landwirtschaftliche Nutzung eingespart werden.

Den genannten Vorteilen der NgA stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Es entstehen Transport- und Zustellungskosten vom Ablauf der Kläranlage zu den Bewässerungsflächen. Die zu bewältigenden Strecken können kürzer oder länger sein als bei der Einleitung in ein Gewässer. Die tunesischen Behörden beschlossen daher, die Bewässerungsflächen möglichst nah an Entsorgungsanlagen zu legen, so dass die Transportwege kurz gehalten werden können.¹⁴
- Es entstehen Kosten für den Bau und die Unterhaltung von oberirdischen oder unterirdischen Wasserspeichern, um die quantitativen Schwankungen insb. im Bedarf abzupuffern.
- Es entstehen Kosten für die Beratung der Landwirte, um Abwasser optimal zur Bewässerung zu nutzen.
- Eventuell entstehen Kosten für den Einbau einer Desinfektionsstufe.
- Für die regelmäßig durchzuführenden Kontrollen der biologischen und chemischen Qualität des gereinigten Abwassers entstehen zudem Kosten für die Kontrollorgane. Diese würden jedoch auch anfallen, wenn das Abwasser in Vorfluter entsorgt würde. Die Aufgabe der Kontrollorgane ist es auch, die Öffentlichkeit zu sensibilisieren und weitere Forschung im Bereich NgA zu betreiben.

Die Gesamthöhe der aufgeführten Kosten im Verhältnis zu alternativen Optionen variiert sehr stark je nach Standort. Die durchschnittlichen Betriebskosten für die konventionelle Abwasserklärung in Tunesien werden auf 0,34 DT / m³ geschätzt.¹⁵ Die Kosten überschreiten damit den Betrag, der über den Wasserpreis zum Zweck der Entsorgung von den Haushalten bezahlt wird.¹⁶

Entscheidend für die Finanzierbarkeit der NgA sind der zusätzliche Bedarf an lokaler Infrastruktur, an Speicherkapazität und das Verhältnis zwischen zusätzlichen bzw. eingesparten Transportkosten (Energiekosten für das Pumpen).

Wem die Kosten zuzuschreiben sind, die zusätzlich durch die NgA anfallen, ist bei einigen Kostenfaktoren nicht eindeutig. Aus Sicht der Entsorger müssten diese „Aufbereitungskosten“

14 Vgl. Benabdallah (2003), Teil I.

15 Eine vergleichende Analyse der Kosten der Abwasserklärung wurde von der GTZ (o.J.) durchgeführt.

16 Vgl. Benabdallah (2003), Teil I.

für die Abwassernutzung von den Landwirten übernommen werden. Im Anschluss an die Betrachtung der anderen Akteursperspektiven widmet sich Abschnitt 5.3. nochmals dieser Frage.

4.2 Die Perspektive der Landwirte

Für die Landwirte steht die Bewässerung mit Abwasser entweder der Option gegenüber, mit konventionellem Wasser zu bewässern oder aber, ansonsten gar keine Möglichkeit der Bewässerung zu haben.¹⁷ Beide Wasserqualitäten fakultativ einzusetzen oder zu mischen wäre ein Ideal aus der Perspektive des Landwirts, ist jedoch aus Umwelt- und Kostengründen nicht wünschenswert bzw. realisierbar.

In ärmeren wasserknappen Ländern, wie im Jemen, in Pakistan, in Syrien u.a. hat die Nutzung von Abwasser eine relativ hohe Akzeptanz bei Landwirten. Der Grund hierfür ist, dass in diesen Ländern vielfach keine konventionellen Bewässerungsquellen zur Verfügung stehen und somit die Existenz der Landwirte direkt von der Abwassernutzung abhängt.

In Tunesien ist jedoch die Situation anders. Landwirte werden dort in der Regel zuverlässig und ausreichend mit konventionellem Bewässerungswasser versorgt. Die NgA muss daher mit spezifischen Vorteilen einhergehen, damit eine Akzeptanz erwartet werden kann.

4.2.1 Die Vor- und Nachteile im Überblick

Folgende Vorteile sind für die tunesischen Landwirte mit der NgA verknüpft:

- Es besteht ein Preisvorteil für gereinigtes Abwasser im Vergleich zu konventionellem Wasser, der 0,02 DT / m³ Abwasser gegenüber 0,04 DT – 0,09 DT / m³ konventionelles Wasser beträgt.
- Es besteht ein Substitutionswert für Düngemittel in Höhe der gesamten Kosten für die mineralische Stickstoff- und Phosphatversorgung. Ca. 40 – 140 DT / ha beträgt alleine der Substitutionswert für Stickstoffdünger. Allerdings werden diese Vorteile in Tunesien von den Landwirten so gut wie gar nicht genutzt. Stattdessen werden i.d.R. die gleichen Mengen an Düngemitteln appliziert, die auch bei der konventionellen Bewässerung verabreicht werden.

¹⁷ In ariden Regionen würde dies bedeuten, dann keinerlei Landwirtschaft betreiben zu können, in der Trockenfeldbauzone könnte dies bedeuten, sich auf trockenresistente Subsistenzkulturen begrenzen zu müssen, wobei deren Anbau mit einem wachsenden Dürrierisiko einhergeht.

Die Nachteile der NgA stellen sich demgegenüber in folgender Weise dar:

- Die gesetzlichen Anbaubeschränkungen (insb. gegenüber Gemüsekulturen) schränken die Wahl der Anbaukulturen ein, so dass eine Optimierung der *cropping pattern* nicht möglich ist. Auch wenn dies für einen Betrieb nur heißt, dass auf einem Hektar Fläche statt Gemüsekulturen Futterpflanzen angebaut werden, beträgt der entgangene Nutzen bis zu 3 000 DT.
- Mangelnde Zuverlässigkeit des Abwasserdargebots: Abwasser fällt an vielen Standorten in zu geringen Mengen und ungleichmäßig an. Eine Befragung von tunesischen Landwirten auf sieben unterschiedlichen Bewässerungsanlagen für Abwasser ergab, dass die geringe Zuverlässigkeit des Dargebots ein wichtiger Grund für die Landwirte ist, konventionelles Wasser vorzuziehen.¹⁸ Bei der Planung von Bewässerungsanlagen muss daher der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die Nachfrageelastizität für Wasser in der Landwirtschaft gering ist.
- Gesundheitliche Restrisiken durch im Abwasser enthaltene Krankheitserreger. Die Risiken sind zwar gering, aber der Landwirt hat kaum Möglichkeiten, sich über die Unbedenklichkeit zu informieren. Es bleibt eine Restunsicherheit erhalten, die das Verfahren unattraktiver macht.
- Agrarökologische Restrisiken in Bezug auf eine langfristige Versalzung oder Kontamination der Böden und in Bezug auf Rückstände bei landwirtschaftlichen Produkten bestehen dann, wenn kein regelmäßiges Monitoring durchgeführt wird oder wenn die Anzahl der untersuchten Parameter zu gering und somit das Risiko groß ist, dass der Schaden unentdeckt bleibt. Insbesondere die Versalzungsgefahr hängt stark von Managementfaktoren und somit vom Know-how der Landwirte ab. In Tunesien werden Landwirte jedoch nicht eigens für die Verwendung von Abwasser geschult.
- Der Umgang mit Abwasser ist nicht immer angenehm (Geruchsbelästigung) und verursacht zusätzliche Arbeit im Vergleich zur Bewässerung mit konventionellem Wasser. Womöglich muss Unrat entfernt oder verstopfte Düsen mehrfach gereinigt werden. Häufigeres Unkrautjäten (das aufgrund des erhöhten Stickstoffangebots stärker sprießt), das Aufreißen der Bodenkruste (die sich aufgrund des Natriums verstärkt bildet) u.ä. sind zusätzliche Arbeiten, die aufgrund der NgA anfallen können.

Diese Aufzählung der Vor- und Nachteile macht die Zurückhaltung der Landwirte gegenüber der NgA unmittelbar plausibel. Dies trifft umso mehr zu, wenn man bedenkt, dass die theoretisch durchaus hohen Kostenvorteile der NgA in der Praxis nur zum Teil genutzt werden. Die einzelnen Faktoren werden nun abschnittsweise analysiert.

¹⁸ Vgl. Bahri (2002) und Schüttrumpf/ Mauderli (2002), S. 41.

4.2.2 Vergleichende Deckungsbeitragsrechnung

Um einen landwirtschaftlichen Betrieb rentabel zu bewirtschaften, müssen Landwirte nicht nur den Anbau der einzelnen Kulturart, d.h. das jeweilige Produktionsverfahren pro Flächeneinheit optimieren, sondern die einzelnen Produktionsverfahren müssen auch optimal in einem Anbaumuster (*cropping pattern*) kombiniert werden. Diese optimale Gestaltung entspricht auch dem optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren, wobei der Faktor Arbeit neben den Standortfaktoren eine wesentliche Rolle spielt. Da der Anbau von Gemüsekulturen wesentlich arbeitsaufwendiger ist als der Anbau von Getreide- oder Futterkulturen kann ein Landwirt, insbesondere wenn er einen Familienbetrieb führt, nicht seine gesamte Betriebsfläche mit Gemüsekulturen bebauen, sondern er kann nur eine begrenzte Anzahl Stunden investieren und die Arbeitsspitzen müssen möglichst gleichmäßig über das Jahr verteilt werden. Neben agrarökologischen Faktoren hängt es demnach von der Arbeitskapazität, dem Mechanisierungsgrad und der Organisationsstruktur eines Betriebes ab, welche Anbaumuster bevorzugt werden.

Zunächst ist es wichtig, die Kostenvor- und -nachteile zu quantifizieren, um festzustellen, ob für den landwirtschaftlichen Betrieb ein ökonomischer Nettonutzen besteht oder ob insgesamt mehr Kosten mit der NgA verbunden sind. Untersucht werden die Effekte des geringeren Preises für Abwasser und der Substitutionswert für Düngemittel. Diese Effekte wirken sich auf die Deckungsbeiträge der einzelnen Produktionsverfahren aus. Die Wirkungen, die aufgrund der Anbaubeschränkungen bei der Abwassernutzung entstehen, beziehen sich demgegenüber auf die dann eingeschränkte Kombinationsmöglichkeit der Produktionsverfahren, das Anbaumuster. Hierzu können nur hypothetische Aussagen auf der Grundlage der Deckungsbeitragsrechnungen gemacht werden, denn detaillierte empirische Untersuchungen zur Veränderung der Anbaumuster unter Abwasserbewässerung liegen bisher für Tunesien nicht vor.¹⁹

Tabelle 1 zeigt zunächst die Deckungsbeiträge (DB) der verschiedenen Kulturarten in Tunesien.²⁰

Gemüse- und Baumkulturen erbringen demnach weitaus höhere Deckungsbeiträge als Getreide- und Futterkulturen. Angenommen, ein landwirtschaftlicher Betrieb von 10 Hektar könnte es sich vom Standort her und arbeitsökonomisch leisten, 2 Hektar Gemüse anzubauen, müsste aber von der konventionellen Bewässerung auf die NgA umstellen, würden ihm demnach Opportunitätskosten von bis zu 6000 DT entstehen.

19 Vgl. aber Arbeiten von Doppler (2002); Wolff / Doppler (2002).

20 Die dort verwendeten Daten stammen aus einer Evaluierung eines Projekts im Medjerdatal (Tunesien), das zur Modernisierung von Bewässerungsanlagen durchgeführt wurde. Die Daten über Marktwert und Betriebskosten stammen von Blanken / Schüttrumpf (1997) und beziehen sich auf den verbesserten Anbau von Bewässerungskulturen und sind daher eher als Maximalwerte anzusehen. Teilweise haben im Zeitraum von 1997 – 2003 bei den Preisen und Kosten Veränderungen stattgefunden. Diese Veränderungen sind aber nur graduell und die Relationen zwischen den Kulturen sind etwa gleich geblieben, so dass die Daten nach wie vor Aussagekraft besitzen.

| Tabelle 1: Deckungsbeiträge ³ und Wasserkosten bei Nutzung von konventionellem Wasser und bei der Abwassernutzung | | | | | | | | | | |
|--|---|--|--|---|---|-----------------------|---|--|-------------------------------|---|
| Kulturart | Verfahren a und b: Bewässerung mit konventionellem Wasser (a: mit Grundwasser und b: mit Oberflächenwasser) | | | | | Verfahren c: Abwasser | | | | |
| | Betriebskosten / ha | Davon Wasserkosten / ha (Verfahren a: 0,091 DT/m ³) | Davon Wasserkosten / ha (Verfahren b: 0,040 DT/m ³) | Deckungsbeitrag Verfahren a (in DT/ha) | Deckungsbeitrag Verfahren b (in DT/ha) | Betriebskosten / ha | Abwasserkosten (DT/ha) (Preis: 0,020 DT/m ³) | Einsparung Stickstoffdünger (in DT/ha) ^b | Deckungsbeitrag (in DT/ha) | Steigerung der DB von Variante c gegenüber a und b ⁴ |
| Getreide | | | | | | | | | | |
| Hartweizen (bewässert) | 722 | 182 | 80 | 339,3 | 441 | 526 | 40 | 54 | 535 | |
| Weichweizen | 708 | 182 | 89 | 231,0 | 324 | 522 | 40 | 44 | 417 | |
| Durchschnitt Weizen | 715 | 182 (25,4%) | 89 | 285,2 | 382,5 | 524 | 40 (6,8%) | 49 (6,9%) | 476 | 34 - 66 % |
| Baumkulturen^e | | | | | | | | | | |
| Olivenschnitt | 1 228 | 136,5 | 60 | 1 272 | 1 348 | 990,0 | 30 | 132 | 1 510 | |
| Birnen | 3 090 | 318,5 | 140 | 10 410 | 10 629 | 2 669,5 | 70 | 132 | 10 831 | |
| Äpfel | 2 728 | 318,5 | 140 | 5 072 | 5 250 | 2 616,5 | 70 | 143 | 5 463 | |
| Pflirsiche | 2 223 | 227,5 | 100 | 4 927 | 5 055 | 1 891,5 | 50 | 154 | 5 259 | |
| Tafeltrauben | 3 017 | 273 | 120 | 5 983 | 6 101 | 2 685,5 | 60 | 176 | 6 315 | |
| Durchschnitt Baum- bzw. Dauerkulturen | 2 457 | 254,8 (10,4) | 112 (4,6) | 5 533 | 5 676 | 2 170,6 | 56 | 147,4 | 5 875,6 | 3 - 6 % |
| Olivenschnitt ^d | 1 082 | 182 (16,8) | 80 (7,4) | - 342 | - 230 | 864 | 40 | 66 | - 124 | 46 - 64 % |

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Datengrundlage von Blanken / Schüttrumpf (1997) und Benabdallah (2003), Teil I.

- a) Es wurde angenommen, dass die Erträge bei den Kulturarten für die Verfahren „konventionelles Wasser“ und „Abwasser“ gleich hoch sind.
- b) Es wurde der Aufwand für Stickstoffdünger (in Form von NO₃) berechnet.
- c) Bei einer bestehenden Plantage, d.h. ohne Berücksichtigung der Investitionskosten und Jahre des Aufwachsens, in denen noch keine Erträge erwirtschaftet werden.
- d) Die DB für Olivenbäume (für Öl) wurden getrennt berechnet, da die Ergebnisse zu stark von denen der sonstigen Baumkulturen abweichen.

| Fortsetzung Tabelle 1: Deckungsbeiträge ^a und Wasserkosten bei Nutzung von konventionellem Wasser versus der Nutzung von Abwasser | | | | | | | | | | |
|--|---|---|--|--|---|----------------------------|--|---|-----------------------------------|--|
| Kulturart | Verfahren a und b: Konventionelles Wasser | | | | | Verfahren c: Abwasser | | | | |
| | Betriebskosten / ha Gesamt | Davon Wasserkosten Verfahren a (0,091 DT / m ³ Wasser) | Davon Wasserkosten Verfahren b: (0,040 DT / m ³ Wasser) | Deckungsbeitrag / ha (in DT / ha) Variante a | Deckungsbeitrag / ha (DT / ha) Variante b | Betriebskosten / ha Gesamt | Davon Abwasserkosten (Preis: 0,020 DT / m ³) | Einsparung Stickstoffdünger (in DT / ha) ^b | Deckungsbeitrag / ha (in DT / ha) | Steigerung der DB von Variante c gegenüber a und b |
| Futterpflanzen | | | | | | | | | | |
| Luzerne | 1 321 | 637 | 280 | 659 | 1 016 | 774 | 140 | 50 | 1 206 | |
| Erbsen | 638,8 | 273 | 120 | 151 | 304 | 425 | 60 | - | 364 | |
| Futtermais | 1 164,5 | 318,5 | 140 | 291 | 470 | 860,5 | 70 | 55 | 595 | |
| Futtersorghum | 1 274 | 364 | 160 | 726 | 930 | 1 006 | 80 | 55 | 1 065 | |
| Futtergerste | 795 | 273 | 120 | 205 | 358 | 538 | 60 | 44 | 462 | |
| Durchschnitt Futterpflanzen | 1038 | 293,1(28%) | 136,6 | 406,4 | 616 | 720,7 | 68,3(9,2%) | 40,8(5,6%) | 738,4 | 51 - 81 % |
| Gemüsekulturen | | | | | | | | | | |
| Tomaten | 3 453 | 500,5 | 220 | 2 797 | 3 078 | 3 062 | 110 | 88 | 3 276 | |
| Kartoffeln | 5 593 | 546 | 180 | 1 907 | 2 273 | 5 094 | 90 | 66 | 2 429 | |
| Melone | 2 491 | 500,5 | 220 | 4 384 | 4 665 | 2 049 | 110 | 50,6 | 4 825 | |
| Paprika | 3 346 | 546 | 240 | 854 | 1 160 | 2 854 | 120 | 66 | 1 346 | |
| Zwiebeln | 2 133 | 409,5 | 180 | 8 175 | 8 404 | 1 613 | 90 | 200 | 8 695 | |
| Karotten | 1 409,8 | 273 | 120 | 2 588 | 2 741 | 1 163 | 60 | 33 | 2 834 | |
| Artischocken | 2 908 | 637 | 280 | 2 930 | 3 287 | 2 301 | 140 | 110 | 3 537 | |
| Fenchel | 2 190 | 364 | 160 | 1 710 | 1 914 | 1 851 | 80 | 55 | 2 049 | |
| Durchschnitt Gemüsekulturen | 2 940,4 | 472(16%) | 200 | 2 994,4 | 3 340,3 | 2 246 | 100(4,1%) | 83,6(3,7) | 3 623,9 | 11,5 - 21 % |

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Datengrundlage von Blanken / Schüttrumpf (1997) und Benabdallah, Teil I (2003).

a) Es wurde angenommen, dass die Erträge bei den Kulturarten für die Verfahren „konventionelles Wasser“ und „Abwasser“ gleich hoch sind.

b) Es wurde der Aufwand für Stickstoffdünger (in Form von NO₃) berechnet.

Demgegenüber ist die Optimierungsmöglichkeit aufgrund der Kostenvorteile des Abwassers bezogen auf die einzelnen Kulturarten wesentlich geringer. Mit Hilfe der NgA können die Deckungsbeiträge / Hektar um rund 200 – 300 DT gesteigert werden. Dies ist zwar ein beträchtlicher Wert, in der Summe macht dies für unseren Gesamtbetrieb jedoch höchstens 3 000 DT aus, d.h. er kann nur die Hälfte der Opportunitätskosten decken.

Im Einzelnen können noch weitere Erkenntnisse aus den Deckungsbeitragsrechnungen (DB) abgeleitet werden:

1. Gemüsekulturen erbringen 7 mal höhere DB als Futterkulturen und 10 mal höhere DB als Getreidekulturen. Nur Baumkulturen erbringen etwas höhere DB als Gemüsekulturen. Ausnahme sind die Olivenplantagen (für Öl), die unrentabel sind und sogar negative Deckungsbeiträge erbringen.

Der Anbau von Gemüse- und Baumkulturen hat für den Landwirt aus betriebswirtschaftlicher Sicht gegenüber anderen Kulturarten deutliche Priorität.²¹ Gegenüber Baumkulturen haben Gemüsekulturen den Vorteil, dass sie einjährig sind oder sogar mehrere Erträge im Jahr möglich sind. Sie erfordern keine hohen Investitionskosten, etwa wie das Anlegen von Plantagen, und Landwirte können bei einjährigen Kulturen wesentlich flexibler auf Marktschwankungen reagieren.²² Hat der Landwirt die Wahl und die Arbeitskapazität, wird er daher Gemüsekulturen deutlich den Baumkulturen vorziehen.

2. Die NgA hat als Verfahren (hier Verfahren c) gegenüber der Bewässerung mit konventionellem Wasser (Verfahren a und b) relevante Kostenvorteile, die sich in deutlich höheren DB bei jeder einzelnen Kulturart zeigen. Der wichtigste Kostenvorteil entsteht durch den geringeren Preis von Abwasser (140 – 370 DT / ha je nach Kulturart), der zweitwichtigste durch seinen Substitutionswert für Düngemittel (40 – 200 DT / ha je nach Kulturart)²³.

Bezogen auf die Kulturarten variiert die Höhe der Kostenvorteile durch die NgA sehr stark. Für Getreide- und Futterkulturen, für die insgesamt nur relativ niedrige DB erzielt werden, kann die Bewässerung mit Abwasser sehr rentabel sein, das heißt zu einer Steigerung des DB bei Futterkulturen von bis 81 % und bei Getreide (Hart- und Weichweizen) zu einer Steigerung bis 66 % führen, je nachdem welcher Wasserpreis für konventionelles Wasser zugrunde gelegt wird. Bei den ohnehin „wertvollen“ Gemüse- und Baumkulturen wird der Kostenvorteil im DB nicht ganz so deutlich, und die Steigerung des DB liegt bei Gemüsekulturen zwischen 11,5 – 21 % und bei Baumkulturen zwischen 3 – 6 %.

21 In den vorliegenden DB wird nicht berücksichtigt, dass in den ersten Jahren nach der Pflanzung einer Baumplantage keine Erträge erwirtschaftet werden können, sondern lediglich Kosten entstehen. Üblicherweise wird daher die Rentabilität von Dauerkulturen mit Hilfe des Cash-flows ermittelt. Um diesen zu berechnen, fehlen aber die Daten über Investitionskosten. Der Vergleich der DB der Baumkulturen mit den DB der anderen Kulturartengruppen muss daher vor diesem Hintergrund betrachtet werden.

22 Anders ist dies bei Gewächshauskulturen, bei denen das Glashaus bzw. die Folien ebenfalls einige Investitionen erfordern.

23 Es wurde hier nur der Substitutionswert für Stickstoff berücksichtigt.

4.2.3 Wasserbedarf und Wasserkosten

Wie Tabelle 2 verdeutlicht, benötigen die Kulturarten durchschnittlich zwischen 2 000 bis über 5 000 m³ Wasser pro Hektar. Gemüsekulturen benötigen pro Flächeneinheit rd. zweieinhalb mal so viel Wasser wie Getreidekulturen. Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ist jedoch für die Wahl der Kulturart der erzielbare DB entscheidend und nicht der Wasserverbrauch, solange Wasser grundsätzlich verfügbar ist.

| Tabelle 2: Wasserbedarf und Kostenanteile von Wasser an den gesamten Betriebskosten bei unterschiedlichen Bewässerungsverfahren | | | | | | |
|--|---|--|--|---|---|------------------------------------|
| Kulturart^a | Wasserbedarf in m³ / ha | Variante a: Konventionelles Wasser | | Variante c: Abwasser | | Vergleich des Wasserbedarfs |
| | | Wasserkosten / ha (Variante a: 0,091 DT / m ³) | Anteil Wasserkosten an den Betriebskosten Variante a (in %) | Kosten / ha (0,02 DT / m ³ Abwasser) | Anteil Wasserkosten an Betriebskosten (in %) | |
| Getreide (Weizen) | 2000 | 182 | 25 | 40 | 6,8 | 1 |
| Baumkulturen | 2670 | 243 | 11 | 53,3 | 2,6 | 1,3 |
| Futterkulturen | 4100 | 293 | 28 | 68,3 | 9,2 | 2,1 |
| Gemüsekulturen | 5190 | 472 | 16 | 100 | 4,1 | 2,6 |
| a: Es wurden jeweils Durchschnittswerte auf Grundlage der in den vorhergehenden Tabellen aufgeführten Kulturarten zugrunde gelegt. | | | | | | |
| Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von Blanken / Schüttrumpf (1997) und Benabdallah (2003), Teil I. | | | | | | |

Erst bei der Optimierung jedes einzelnen Produktionsverfahrens sind die Landwirte daran interessiert, auch die Wasserkosten so gering wie möglich zu halten. Denn wie die Tabelle zeigt, ist Wasser unter den gegebenen Rahmenbedingungen für künstlich bewässerte Kulturen in Tunesien ein sehr wichtiger Kostenfaktor. In vielen Fällen ist Wasser sogar der wichtigste Kostenfaktor, und der durchschnittliche Kostenanteil bei der Verwendung von konventionellem Bewässerungswasser beträgt 11 – 25 % der gesamten Betriebskosten pro Kulturart.

Die Gesamtkostenstruktur ist bei Gemüse und bei Baumkulturen wesentlich komplexer als bei Getreide und Futterkulturen, und es entstehen bei den wertvollen Kulturen wesentlich höhere Kosten für Pestizide, Düngemittel, Saatgut und Arbeit. Dies erklärt, warum die anteiligen Wasserkosten für Futter- und Getreidekulturen wesentlich höher sind (28 und 25 %) als für Baum- und Gemüsekulturen (11 % und 16 %), obwohl der absolute Verbrauch insbesondere bei Gemüsekulturen sehr viel höher ist.

Das Kosten : Wert – Verhältnis (in Bezug auf das Produkt) zeigt die Gewinnspanne eines Produktionsverfahrens (einer Kulturart) an und gibt somit Aufschluss über das jeweilige Produktionsrisiko (Tabelle A3). Je näher die Kosten und der Produktwert zusammenliegen, d.h. je höher der angegebene Zahlenwert ist, desto ungünstiger ist das Verhältnis. Es liegt hier für alle Kulturartengruppen bei der konventionellen Bewässerung zwischen 0,52 – 0,75.

Deutliche Unterschiede erbringt erst die differenziertere Betrachtung. Zum Beispiel bestehen bei Paprika, Erbsen, Futtermais sehr enge Kosten : Wert–Verhältnisse von über 0,8, während bei Birnen und Zwiebeln das Verhältnis mit unter 0,3 sehr weit ist. Birnen und Zwiebeln sowie Karotten, Äpfel und Pfirsich anzubauen ist daher mit einem geringen Risiko verknüpft. Insbesondere Futterpflanzen sind demgegenüber mit hohen Produktionsrisiken verbunden.

Durch die NgA kann das Kosten : Wert – Verhältnis für Getreide- und Futterkulturen deutlich verbessert werden, d.h. das Verhältnis wird im Durchschnitt um mehr als 0,2 weiter. Das Produktionsrisiko wird demnach für diese Kulturen deutlich geringer, wenn mit Abwasser bewässert wird, vorausgesetzt, dieses Wasser wird bedarfsgerecht bereitgestellt. Für Gemüse- und Baumkulturen bleibt das Risiko ungefähr gleich, bzw. wird nur wenig geringer (um 0,1 bzw. 1,6), wenn Abwasser eingesetzt wird.

4.2.4 Zuverlässigkeit der Wasserbedarfsdeckung

Die Zuverlässigkeit der Wasserbedarfsdeckung entscheidet als weiterer Faktor über das landwirtschaftliche Produktionsrisiko in Bezug auf jede Kulturart. Mit dem Kosten : Wert – Verhältnis wird dieser Faktor nicht erfasst, da hier von einer bedarfsgerechten Bereitstellung ausgegangen wird. In der Praxis ist jedoch für die Akzeptanz des Verfahrens die Zuverlässigkeit der Wasserbedarfsdeckung äußerst wichtig, insbesondere wenn „wertvolle“ Kulturarten unter einer intensiven Bewirtschaftung angebaut werden.

Zunächst muss eine bestimmte Mindestmenge an gereinigtem Abwasser dargeboten werden, damit eine ausreichend große Betriebsfläche mit dem Wasser versorgt werden kann, ansonsten können die Betriebe von vornherein nicht konkurrenzfähig wirtschaften. In Tunesien ist diese Fläche häufig zu klein bemessen, wie Landwirte angeben, so dass eine Konkurrenzfähigkeit mit konventionellen Betrieben schon aufgrund dessen nicht erreicht werden kann.²⁴

Weiterhin ist es wichtig, dass die Schwankungen zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf durch eine ausreichend große Speicherkapazität abgepuffert werden können. Der Bewässerungsbedarf schwankt sehr stark in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge, Kulturart und den jeweiligen Wachstumsphasen. Die Speicherkapazität für Wasser muss daher ausreichen, um den höchsten Bedarf zu jedem Zeitpunkt zu decken. Die tunesischen Landwirte klagen jedoch

24 Vgl. Schüttrumpf / Mauderli (2002).

über ein unzuverlässiges und unzureichendes Dargebot von Seiten der Lieferanten, das die Bedarfsschwankungen in keiner Weise auffangen kann.²⁵

4.2.5 Hygienische Unbedenklichkeit des Abwassers

Hygienebedingte Krankheiten sind in Entwicklungsländern bis heute sehr verbreitet. Es handelt sich dabei um rd. 30 Krankheitserreger, die die öffentliche Gesundheit gefährden. Viele von diesen Krankheitserregern sind im Abwasser enthalten. Die hygienische Unbedenklichkeit des Abwassers ist daher die wichtigste Voraussetzung für die Institutionalisierung der NgA.

Nachdem in den 70er und zu Beginn der 80er Jahre in vielen Ländern überzogene hygienische Standards für die NgA galten und die Verbreitung der NgA in vielen Ländern hierdurch behindert wurde,²⁶ trafen sich 1985 Fachleute der WHO, der Weltbank und des *International Reference Centre for Waste Disposal* in Engelberg, Schweiz. Sie schlugen neue Standards vor, die auf den neuesten epidemiologischen Erkenntnissen beruhen (Engelberg Report). Auf dieser Grundlage wurden internationale Richtlinien aufgestellt, die seither eine wichtige Orientierung bei der Erstellung nationaler Gesetzgebungen sind.²⁷

Der Engelberg-Report geht nicht von starren Grenzwerten für einzelne Krankheitserreger aus, sondern es werden hierin die neuesten epidemiologischen Erkenntnisse umgesetzt. Demnach müssen mehrere Faktoren zusammentreffen, damit Krankheitserreger auch Krankheiten bei den betroffenen Bevölkerungsgruppen auslösen.

Bei der NgA in der Landwirtschaft sind zwei Bevölkerungsgruppen potenziell betroffen. Dies sind die Abwassernutzer und deren Familien, die in direkten Kontakt mit dem Abwasser kommen und die Konsumenten, die indirekt über das Produkt in Kontakt mit Abwasser kommen können.

Ein tatsächliches Risiko besteht für beide Risikogruppen dann, wenn alle der folgenden Bedingungen gegeben sind:

- eine infektiöse Dosis wird auf dem Feld erreicht (der Krankheitserreger stirbt dort nicht ab oder vermehrt sich sogar dort),
- eine infektiöse Dosis erreicht einen menschlichen Wirt,

25 Vgl. zum Beispiel Kairouan in Schüttrumpf / Mauderli (2002), S. 47. Die tunesischen Landwirte bewässern derzeit mit dem gereinigten Abwasser vornehmlich Wintergetreide und Winterfutter. Der höchste Verbrauch besteht hierbei zwischen November und April. In den Sommermonaten sinkt die Zuverlässigkeit des Dargebots nach Angaben der Landwirte drastisch ab und reicht dann nur noch aus, um damit die Felder sporadisch zu bewässern. Vgl. auch Bahri (2002), S.4.

26 Vgl. Neubert (2002).

27 Vgl. WHO (1989).

- Der Mensch wird infiziert,
- Die Infektion verursacht eine Krankheit.

Wenn die Kette dieser Bedingungen nur an einer Stelle unterbrochen wird, kann nur noch von einem hypothetischen, nicht aber von einem tatsächlich bestehenden Risiko gesprochen werden. Dies heißt, dass es prinzipiell Möglichkeiten gibt, Abwasser in der Landwirtschaft risikofrei einzusetzen, ohne dass für die entsprechenden Krankheitserreger Nullwerte erreicht werden müssen. Es können daher auch Standards formuliert werden, die das Erreichen beider Ziele möglich machen: die systematische Nutzung der gereinigten Abwässer und den sicheren Schutz der Anwender und Konsumenten.

Eine realistische Risikoabschätzung für die öffentliche Gesundheit der NgA kann folgerichtig nur über epidemiologische Studien erfolgen. Um den Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Krankheiten und der jeweiligen Praxis der Nutzung von Abwasser zu belegen und zu gewichten, ist ein systematischer Vergleich der Erkrankungen von Bevölkerungsgruppen mit bzw. ohne Kontakt zu Abwasser notwendig.

Eine Weltbankstudie, bei der sämtliche bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführten epidemiologischen Studien ausgewertet wurden, ergab u.a. folgende Ergebnisse:

- Die Bewässerung mit unbehandeltem Abwasser verursacht ein signifikant erhöhtes Auftreten von Nematodeninfektionen und Bakterieninfektionen bei den Konsumenten und bei den Abwassernutzern. Das Risiko gegenüber Vireninfektionen ist nicht erhöht.
- Die Bewässerung mit behandeltem Abwasser verursacht kein erhöhtes Auftreten dieser Infektionen.

Wird eine uneingeschränkte Abwassernutzung angestrebt, sollte behandeltes Abwasser demnach folgende Hygienestandards aufweisen:

- < 1 lebende intestinale Nematodeneier / l .
- < 1000 fäkale coliforme Bakterien (FC) / 100 ml.

Die Indikatoren *Nematodeneier* und *fäkale coliforme Bakterien* reichen aus, um die hygienische Belastung eines kommunalen Abwassers zu bewerten.

Für die Abwasserreinigung bedeutet dies, dass im Durchschnitt ca. 99 % der im Abwasser enthaltenen Nematodeneier während der Behandlung beseitigt werden müssen, um die geforderten Werte zu erreichen. In Bezug auf die Bakterien muss außerdem die Abwasserqualität eines durchschnittlichen kommunalen Abwassers bei der Reinigung um mindestens vier logarithmische Einheiten reduziert werden. Eine geringere Reinigungsleistung kann in Kauf genommen werden, wenn ein längerer Transportweg oder eine längere Speicherung nach der Reinigung natürlicherweise zur weiteren Abnahme der Bakterienkonzentration im Abwasser führt. Ohne zusätzliche Hygienisierung des Abwassers werden diese Werte bei der konventionellen Ab-

wasserreinigung nicht erreicht.²⁸ Dies bestätigen auch die tatsächlich gefundenen Belastungen, die in Tunesien gemessen werden.²⁹

Seit 1989 wurden weitere epidemiologische Studien durchgeführt.³⁰ In Bezug auf das Vorkommen von fäkalen coliformen Bakterien weisen all diese Studien keine Evidenzen auf, die die in Engelberg gewonnenen Erkenntnisse in Frage stellen. Für Nematodeneier werden inzwischen jedoch einige einschränkende Angaben gemacht. Demnach besteht ein feststellbares Risiko, wenn im Umkreis der Bewässerungsanlagen kontaminierte Wildpflanzen verzehrt werden. Das gleiche gilt für Gemüsesorten, die vor dem Verzehr lange Zeit gelagert wurden. Für diese Gemüsesorten und in Ländern, in denen Wildpflanzen gesammelt und roh gegessen werden, wird daher in den Studien vorgeschlagen, einen Richtwert festzusetzen, der eine weitere Zehnerpotenz niedriger liegt (0,1 Nematodeneier pro Liter). Gleiches gilt, wenn die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann, dass Kinder von Landwirten oder Arbeitern, die Abwasser einsetzen, einen direkten Kontakt zu diesem Wasser haben.

Gelten Anwendungsbeschränkungen beim Einsatz für Abwasser – wie in Tunesien – wird in den WHO-Richtlinien kein Richtwert für die tolerierbare Bakterienbelastung angegeben, da bis dato kein Risiko gesehen worden war. Auch dieser Erkenntnisstand wird in den neueren Studien leicht eingeschränkt, denn in Mexiko wurde ein gewisses Risiko für Durchfallerkrankungen bei Kindern mit direktem Kontakt zu teilgereinigten Abwässern ermittelt. Auch bei geltenden Anwendungsbeschränkungen sollten daher Richtwerte zwischen ca. 10^5 FC Bakterien bis 10^3 FC Bakterien gelten, um diese Kinder vollends zu schützen. Um diese Werte zu erreichen, müssen allerdings i.d.R. keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden.

4.2.6 Salzgehalt und Salzverträglichkeit

4.2.6.1 Salzgehalt

Die NgA ist lediglich eine akzeptable Option für die Landwirte, wenn die Qualität des Abwassers auch im Hinblick auf weitere Parameter für die Bewässerung geeignet ist. In Tunesien – wie auch in vielen anderen Ländern der Region – ist der hohe Salzgehalt des Abwassers der wichtigste limitierende Faktor.³¹

Der Salzgehalt der tunesischen Wasserressourcen und insbesondere des Grundwassers übersteigt vielfach bereits vor der häuslichen Nutzung die für eine Bewässerung unproblematische

28 Vgl. WHO (1989).

29 Vgl. Benabdallah (2003), Teil I.

30 Zum Beispiel von der *London School of Hygiene and Tropical Medicine* und von der *Leeds University*. Vgl. Blumenthal et al. (2000).

31 Vgl. u.a. Benabdallah (2003), Teil I.

Qualität,³² und in den Haushalten findet eine weitere Aufsalzung statt. Die andernorts häufig praktizierte Methode, den Salzgehalt von Abwasser durch Vermischung mit konventionellem Wasser zu senken (*blending*), ist somit in Tunesien zumeist nicht praktikierbar.

Im Rahmen der konventionellen Klärtechnik werden Salze im Abwasser nicht eliminiert. Die tunesische Norm (NT 106.03, 1989) setzt einen Grenzwert für einen noch tolerierbaren Salzgehalt von Bewässerungswasser von $< 7000 \mu\text{S} / \text{cm}$ ($< 7 \text{ dS} / \text{m}$) fest. Dieser Wert liegt nach internationalen Orientierungswerten bereits über der Verträglichkeit fast aller Kulturarten und wird nur noch von Zuckerrüben, Baumwolle, Dattelpalmen und Gerste (mit Ertragsminderungen) toleriert.

Nach klassischen Bewässerungsstandards gilt ein Salzgehalt von $0,48 - 1,44 \text{ g} / \text{l}$ (= bis $2,55 \text{ dS} / \text{m}$) bereits als mäßig bis hoch und ist nur für gut salzverträgliche Pflanzen als Bewässerungswasser geeignet. Ab $1,44 \text{ g} / \text{l}$ wird in Bewässerungshandbüchern bereits von einem stark salzhaltigem Wasser gesprochen.³³ Wie Tabelle 3 zeigt, liegen die Salzgehalte tunesischer Abwässer weit über diesen Werten. Die Bewertung der Salzgehalte ist in Tunesien selbst deutlich weniger streng als im internationalen Kontext. Vermutlich wird dort bereits in Kauf genommen, dass gewisse Ertragsverluste aufgrund der hohen Salzgehalte unvermeidbar sind bzw. die Ertragserwartungen haben sich im Laufe der Zeit an diese hohen Salzgehalte angepasst.

| dS / m | Bewertung nach Bahri (2002) / Tunesien | Bewertung nach Achtnich (1980) (Standardwerk zum Bewässerungslandbau) (dS/m) | Jährlich anfallende Abwassermenge in Tunesien (m³) | Prozent des Abwassers (%) | Anbaueinschränkungen nach FAO (1994) |
|---------------|---|---|--|----------------------------------|---|
| 0,7 – 3,0 | Leicht salzhaltig | Mittel bis stark salzhaltig (0,7 – 1,5 = mittel, 1,5 – 3,0 = stark) | 14 006 664 | 12 | Leichte bis mittlere Beschränkungen |
| 3,0 – 6,0 | Mittelstark salzhaltig | Sehr stark salzhaltig (> 3,0) | 92 740 287 | 80 | Starke Beschränkungen |
| 6,0 – 14,0 | Stark salzhaltig | Nicht mehr klassifiziert | 9 231 807 | 8 | Nicht klassifiziert |
| Gesamt | | | 115 978 758 | 100 | |

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Grundlage von Bahri (2002), Achtnich (1980) und FAO (1994)

Die Salzverträglichkeit der Kulturpflanzenarten ist variabel und hängt sehr stark von Kovariablen ab (Bodenverhältnisse, Klima, Managementfaktoren, Bewässerungstechnik). Lang-

32 Vgl. u.a. Benabdallah (2003), Teil I.

33 Vgl. auch Achtnich (1980), S.111.

jährige Versuche unter den Bedingungen in Tunesien zeigen, dass viele Kulturarten trotz sehr hoher Salzgehalte dort akzeptable Erträge erbringen können (siehe Übersicht 3).³⁴

| Übersicht 3: Salztoleranz verschiedener Kulturpflanzenarten in Tunesien | |
|---|--|
| Kulturarten | Salzverträglichkeit ohne Ertragseinbußen in dS/m (g/l) unter tunesischen Bedingungen (Klassifizierung nach Aboaziz, 1997) |
| Alle Pflanzen | < 1,1 Nicht klassifiziert |
| Bohnen, Soja, Zwiebeln, Karotten, Citrus-, Mandel-, Pfirsich-, Pflaumen-, Apfel-, Birnbäume | bis 1,1 (0,7) (hohe Empfindlichkeit) |
| Mais, Alfalfa, Pfeffer, Tomaten, Kartoffeln, Wassermelone, Trauben, Gurken, Pampelmuse | bis 3,1 (2,0) (mäßige Empfindlichkeit) |
| Gerste, Alfalfa, Kohl, Sonnenblumen, Oliven, Granatapfel | bis 4,7 (3,0) (mittlere Salztoleranz) |
| Baumwolle, Zuckerrüben, Gerste, Palmkulturen | Bis 7,8 (5,0) (hohe Salztoleranz) |
| Quelle: Aboaziz (1997) in BWP/GTZ (2001), S. 29 | |

Der gebräuchlichste Maßstab für die Erfassung der kulturartenspezifischen Salztoleranz sind die Richtwerte der FAO (1994). Folgende Angaben können für die wichtigsten Kulturarten Tunesiens gemacht werden:

| Übersicht 4: Salztoleranz verschiedener Kulturpflanzenarten nach internationalen Richtwerten | |
|---|--|
| Salztoleranz | Kulturarten |
| hohe Salztoleranz | Gerste, Baumwolle, Zuckerrüben, Gräser und manche Futterkulturen Asparagus (z.B.: Spargel) |
| mittlere Salztoleranz | Weizen, manche Futterkulturen, Artischocke, Zucchini, Rote Rüben, Oliven, Mais, Hirse, |
| mäßig salzempfindlich | Bohnen, Sonnenblumen, Alfalfa, Pampelmuse Brokkoli, Kohl, Blumenkohl, Gurken, Melonen, Pfeffer, Tomaten, Spinat |
| (hoch) salzempfindlich | Bohnen, Karotten, Zwiebeln, Paprika, Mandeln, Aprikosen, Citrus, Pfirsich |
| Quelle: Zusammengefasst nach FAO (1994), Tabelle 6, S. 21. | |

Der Vergleich von Tabelle 3 mit den Übersichten 3 und 4 zeigt, dass der Hauptteil, d.h. rd. 80 % des anfallenden Abwassers in Tunesien so stark salzhaltig ist, dass bei einer Vielzahl von Kulturarten, insbesondere auch bei vielen Gemüsekulturen, mit Ertragsminderungen gerechnet werden muss.

34 Die Durchschnittswerte für die elektrische Leitfähigkeit des Abwassers aus den KfW-finanzierten Kläranlagen STEP Teboursouk und STEP Bou Salem mit 1.526 $\mu\text{S} / \text{cm}$ bzw. 2.430 $\mu\text{S} / \text{cm}$ sind somit für Tunesien als eher niedrig zu bewerten, d.h. diese Abläufe sind von daher für die Bewässerung vieler verschiedener Kulturarten geeignet.

Wie schon erwähnt, ist jedoch die Salztoleranz von Kulturpflanzen ein relativer Wert, der nicht nur von den Salzgehalten im Wasser, sondern stark von Ko-Variablen abhängt. Die Angaben in der Literatur beziehen sich üblicherweise auf mittlere Bodenverhältnisse, oberhalb derer mit linear ansteigenden Ertragsverlusten zu rechnen ist. Zur endgültigen Bewertung der Salzverträglichkeit ist es notwendig, die Standortfaktoren einzubeziehen, die in den nächsten Abschnitten erläutert werden.

4.2.6.2 Salzverträglichkeit

Von den Standortfaktoren spielen die Bodenbedingungen die ausschlaggebende Rolle für die Salzverträglichkeit der Kulturpflanzen. Zunächst ist eine ausreichende Durchlässigkeit und Dränbarkeit des Bodens eine wichtige Voraussetzung, um einer Bodenversalzung auch langfristig entgegenzuwirken. Sandböden sind dementsprechend wesentlich salzverträglicher als Tonböden, Lehm Böden weisen eine mittlere Salzverträglichkeit auf.

Übersicht 5 zeigt das relative Ertragsniveau von empfindlichen bis salztoleranten Kulturpflanzen in Abhängigkeit der Salinität des Bewässerungswassers und des Bodenwasserextrakts. Der Salzgehalt des Bodenwasserextrakts liegt bei einer sachgerechten Bewässerung ca. um den Faktor 1,5 höher als der des Bewässerungswassers. Bei einem guten Management pendelt sich dieser Gehalt dann aber auf diesen Wert ein, d.h. er steigt nicht weiter an.³⁵

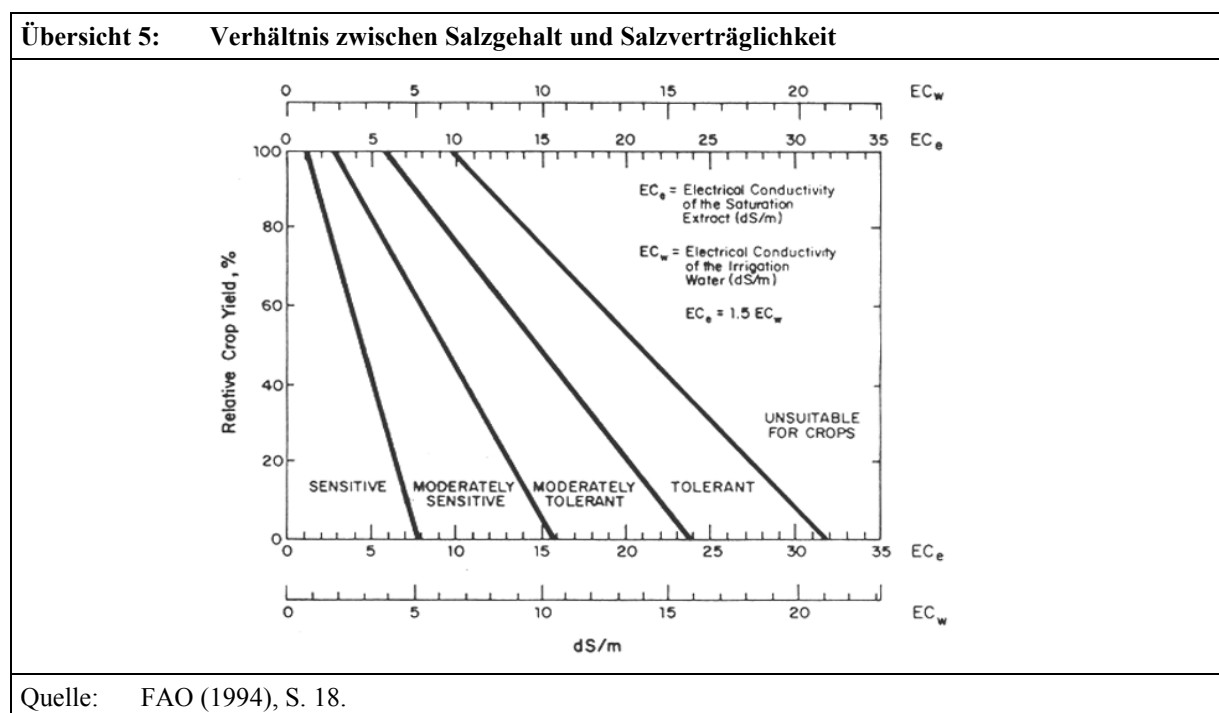


Tabelle 4 zeigt, dass insgesamt die Verträglichkeit der Pflanzenarten für Salz je nach Bodenart um den Faktor 6 variiert.

³⁵ Vgl. auch Tabelle A2 (ANHANG).

Die Kenntnis des Salzgehalts eines Wassers reicht demnach nicht aus, um seine Eignung für die Bewässerung zu beurteilen. Die Berücksichtigung der Bodeneigenschaften des Standorts und der einzelnen Kulturart ist maßgeblich.

| Tabelle 4: Richtwerte für die Klassifizierung der Qualität des Bewässerungswassers (festgelegt in Algerien) | | | | | | |
|---|---|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Bodenart | Salzverträglichkeit der Pflanzen $\mu\text{S/cm}$ bei 25°C im Sättigungsextrakt des Bodens | | | | | |
| | < 4 000 | 4 000 bis 10 000 | >10 000 | | | |
| Höchstwerte für das Bewässerungswasser $\mu\text{S/cm}$ bei 25°C bzw. (in Klammern) mg/l Gesamtsalzgehalt | | | | | | |
| | Alle Pflanzen | Alle Pflanzen | Gemüse | Ackerfrüchte | Futterpflanzen | Dattelpalme |
| Sand | 2500 (1 600) | 6500 (4 160) | 8000 (5 120) | 10 000 (6 400) | 12 000 (7 680) | 15 000 – 20 000 (9 600 – 12 800) |
| Lehmiger Sand | 1 600 (1 024) | 4 000 (2 560) | 4 500 (2 880) | 6 000 (3 840) | 7 000 (4 480) | 6 000 – 10 000 (3 840 – 6 400) |
| Lehm | 1 000 (640) | 3 000 (1 920) | 3 500 (2 240) | 4 500 (2 880) | 5 000 (3 200) | 8 000 (5 120) |
| Lehmiger Ton | 800 (512) | 2 000 (1 280) | 2 400 (1 536) | 3 500 (2 240) | 3 500 (2 240) | 4 000 (2 560) |
| Ton | 400 (256) | 1 000 (640) | 1 600 (1 024) | 1 800 (1 152) | 1 800 (1 152) | 3 000 (1 920) |

Quelle: Achtnich (1980), S. 113

Für die Höhe der Salzverträglichkeit spielt außerdem die Zusammensetzung der Kationen – die gemeinsam den Salzgehalt ausmachen – eine Rolle, denn diese haben unterschiedliche Wirkungen auf die Pflanzen und den Boden. Natrium wird im Abwasser besonders stark angereichert, und ihm kommt daher besondere Bedeutung zu. Natriumhaltiger Boden neigt zur Verschlammung und bildet beim Abtrocknen dichte, das Pflanzenwachstum erschwerende Krusten. Aber auch zu hohe Mengen an Magnesium können die Pflanzenerträge beeinträchtigen, und höhere Konzentrationen von Chlorid wirken sich schädigend auf bestimmte Sträucher und Obstbäume aus. Um die Eignung einer Wasserqualität für die Bewässerung bestimmter Kulturarten an einem Standort zu bewerten, ist demnach die Analyse der einzelnen Ionen wichtig.

Insgesamt muss bei der Bewertung eines Bodens für die Eignung zur Abwasserbewässerung berücksichtigt werden, dass neben dem Salzgehalt noch weitere Schadstoffe in den Boden gelangen, die ebenfalls auf unterschiedliche Bodenverhältnisse spezifisch reagieren. Hier bestehen zum Teil gegenläufige Ansprüche an die gewünschten Bodeneigenschaften.

So ist eine hohe Durchlässigkeit des Bodens zwar positiv für die Salzverträglichkeit, jedoch geht diese häufig mit einer geringen Adsorptionskapazität des Bodens für Schad- und Nährstoffe einher. Dies ist negativ zu bewerten, da hierdurch ein Abbau der Schadstoffe erschwert wird und die Auswaschungsgefahr von Nährstoffen ansteigt. Eine gewisse Wasserhaltekapazität des Bodens ist zudem wichtig, damit Pflanzen das Wasser effizient für ihr Wachstum nutzen können.

Da auch bei gereinigten Abwässern das Redoxpotenzial (Sauerstoffgehalt) geringer ist als bei konventionellem Wasser ist außerdem eine gute Bodendurchlüftung wichtig, langfristig können sich ansonsten die biochemischen Verhältnisse des Bodens verändern und sein Ertragspotenzial vermindern.³⁶

In der Summe erfüllen leicht tonige Sandböden mit ausreichendem Humusanteil am ehesten die genannten Ansprüche. Zu schwere Böden und reine Sandböden eignen sich nicht für die Beschickung mit Abwasser.

4.2.7 Nährstoffgehalt des Abwassers

Die Nährstoffe, die mit dem Abwasser in den Boden gelangen, sind insbesondere Stickstoffverbindungen in Form von Ammonium (NH_4) und Nitrat (NO_3) sowie Phosphat (P_2O_4). Der Gehalt ist zumeist so hoch, dass er den gesamten Stickstoff- und Phosphatbedarf der Pflanzen decken kann. Anhand der Deckungsbeitragsrechnungen wurde bereits gezeigt, dass dies ein deutlicher Kostenvorteil für den Landwirt sein kann. In Abhängigkeit zur Kulturart können Düngemittelkosten zwischen 45 – 200 DT / ha eingespart werden, das sind 3,7 – 6,9 % der gesamten Betriebskosten pro Hektar (vgl. Tabelle 1).³⁷

Ein Problem ist allerdings, dass der Bedarf an Nährstoffen bei den Pflanzen nicht gleichmäßig anfällt. Während er in der ersten Wachstumsphase hoch ist, ist er in späteren Wachstumsphasen wesentlich niedriger, so dass es bei der Bewässerung mit Abwasser zu einer Überversorgung, insbesondere mit Stickstoff kommen kann. Dies führt je nach Kulturart zu einem mehr oder minder ausgeprägten exzessiven vegetativen Wachstum. In der Folge treten Ertragsminderungen auf, denn die Fruchtausbildung wird hierdurch behindert.

Empfindliche Pflanzen reagieren schon bei einer Konzentration von 5 mg / l Gesamtstickstoff negativ. Die meisten Kulturpflanzen sind jedoch relativ unempfindlich und reagieren erst ab einer Schwelle von ca. 30 mg / l Gesamtstickstoff negativ. In den vorhandenen Richtlinien über geeignete Ablaufwerte sind daher Höchstwerte für die Nährstoffgehalte angegeben. Der tunesischen Norm NT 106.02 entsprechend darf Abwasser im Ablauf bis zu 50 mg / l NO_3 ent-

36 Vgl. Horn et al (1980).

37 Hier wurden nur die möglichen Kosteneinsparungen für Nitrat-Stickstoff berechnet. Dies bedeutet, die tatsächlichen Einsparmöglichkeiten sind sogar noch höher.

halten, ein Wert, der bereits bei den meisten Kulturpflanzen Ertragsminderungen hervorrufen dürfte. Demgegenüber enthält die Norm NT 106.03 für Abwasser, das wiederverwendet wird, keinen Werte für NO_3 .³⁸ Welche Werte in Tunesien üblicherweise vorliegen und ob die Grenzwerte überschritten werden, ist der Autorin für die bestehenden Anlagen nicht bekannt.

Über die Stickstoffgehalte des Abwassers und die Gefahr der Überdüngung ist in der einschlägigen Literatur nur sehr wenig zu finden. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass hier zwar kein Schlüsselproblem liegt, dass es im Einzelfall aber dennoch zu Ertragsminderungen aufgrund von Überdüngung kommt. Da Abwasser üblicherweise 10 – 50 mg / l Gesamtstickstoff (1 mg / l $\text{NO}_3\text{-N}$ = 1 kg N / 1000 m³ Wasser) enthält, ist die Wahrscheinlichkeit, dass hin und wieder negative Effekte auftreten, durchaus hoch. Dies gilt insbesondere für das zumeist konzentrierte Abwasser arider Länder.

Abgesehen von Ertragsminderungen können zu hohe Stickstoffgehalte außerdem zu einem übermäßigen Algenwachstum in Abwasserkanälen und zu einem erhöhten Unkrautwachstum führen. Bei der Bewertung eines Abwassers und der Auswahl der für die Bewässerung geeigneten Kulturpflanzenarten ist es daher notwendig, den Nährstoffgehalt des Abwassers und die Nährstofftoleranz der einzelnen Pflanzen im Blick zu behalten.

Insbesondere, wenn Stickstoff als Nitrat (NO_3) anfällt, besteht neben dem Risiko der Überdüngung außerdem ein Umweltrisiko, denn schon geringe Nitrat- und Nitritkonzentrationen sind für die Trinkwassergewinnung sehr problematisch. Die Höhe des Risikos hängt von pedo-geologischen Faktoren und vom Grundwasserstand ab und ist daher ebenfalls hochgradig standortabhängig. Sandböden sind gefährdeter als lehmige Böden.

Dass die Landwirte in Tunesien den Substitutionswert des Abwassers für Düngemittel in aller Regel nicht nutzen, ist ihrem risikoaversen Verhalten zuzuschreiben. Dieses risikoaverse Verhalten ist weltweit bekannt, es wird immer dann wirksam, wenn Landwirte am Rande der Wirtschaftlichkeit arbeiten und gleichzeitig das Know-how zu gering ist, um eine genaue Einschätzung der Mengenverhältnisse zu ermöglichen. In diesem Falle bedeutet risikoaverses Verhalten, dass Landwirte es vorziehen, zuviel zu düngen, als dass sie das Risiko eingehen, aufgrund einer mangelhaften Düngung Ertragsverluste zu erleiden. Dieses Verhalten ist nachvollziehbar. Dass jedoch auch durch eine Überdüngung Ertragsverluste eintreten können, ist vermutlich für die Landwirte eine zu fein differenzierte Messlatte, die sie in ihr Kalkül nicht auch noch einbeziehen können.

Tabelle 5 zeigt internationale Orientierungswerte der FAO für Salz- und Nährstoffgehalte zur Beurteilung der Abwasserqualität für die landwirtschaftliche Bewässerung.

38 Vgl. Benabdallah (2003), Teil I.

| Tabelle 5: Richtwerte zur Beurteilung der Abwasserqualität für die landwirtschaftliche Bewässerung | | | | |
|---|---------------------------------|--|--------------------------|--------------|
| Potenzielles Bewässerungsproblem | Einheiten | Grad der notwendigen Beschränkung | | |
| | | Keine | Leicht bis mittel | Stark |
| Salzgehalt | | | | |
| EC _w ¹ | dS/m | < 0.7 | 0.7 – 3.0 | > 3.0 |
| TDS | mg/l | < 450 | 450 – 2 000 | > 2000 |
| Infiltration | | | | |
| SAR ² = 0 - 3 and EC _w | | > 0.7 | 0.7 – 0.2 | < 0.2 |
| 3 -6 | | > 1.2 | 1.2 – 0.3 | < 0.3 |
| 6-12 | | > 1.9 | 1.9 – 0.5 | < 0.5 |
| 12-20 | | > 2.9 | 2.9 – 1.3 | < 1.3 |
| 20-40 | | > 5.0 | 5.0 – 2.9 | < 2.9 |
| Toxizität einzelner Ionen | | | | |
| Natrium (Na) | | | | |
| Oberflächenbewässerung | SAR | < 3 | 3 – 9 | > 9 |
| Beregnung | me/l | < 3 | > 3 | |
| Chlorid (Cl) | | | | |
| Oberflächenbewässerung | Me/l | < 4 | 4 – 10 | > 10 |
| Beregnung | m ³ /l | < 3 | > 3 | |
| Bor (B) | mg/l | < 0.7 | 0.7 – 3.0 | > 3.0 |
| Spurenelemente (hier nicht berücksichtigt) | | | | |
| Sonstiges | | | | |
| Stickstoff (NO ₃ -N) ³ | mg/l | < 5 | 5 – 30 | > 30 |
| Bikarbonat (HCO ₃) | me/l | < 1.5 | 1.5 – 8.5 | > 8.5 |
| pH | normale Schwankungsbreite 6.5–8 | | | |
| ¹ EC _w durchschnittliche Elektrische Leitfähigkeit in dS / m bei 25°C | | | | |
| ² SAR durchschnittliche Adsorptionsrate | | | | |
| ³ NO ₃ -N durchschnittlicher Nitrat-Stickstoff | | | | |
| Quelle: FAO (1985) | | | | |

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass auch die Bewässerungstechnik einen Einfluss auf die Verträglichkeit der Kulturpflanzen für Abwasser ausübt. Aber nicht jede Bewässerungstechnik kann für jede Kulturart gleichermaßen eingesetzt werden. Es wird hier auf die einschlägige Literatur verwiesen.³⁹

Im folgenden Abschnitt werden noch einige der wichtigsten Managementfaktoren erläutert, die im Umgang mit salzhaltigen Abwässern beachtet werden müssen.

³⁹ Vgl. FAO (1994).

4.2.8 Landwirtschaftliche Managementfaktoren

4.2.8.1 Leaching Requirement

Mit Hilfe eines angepassten landwirtschaftlichen Managements können viele Nachteile, die Abwasser gegenüber konventionellem Wasser aufgrund seiner stofflichen Zusammensetzung aufweist, auch langfristig in Grenzen gehalten werden.

Der wichtigste Faktor zur Berücksichtigung des Salzgehalts ist die Gabe einer sogenannten *Leaching*-Fraktion (LF) (auch *Leaching Requirement*, LR). Diese über den eigentlichen Wasserbedarf der Pflanze hinausgehende Wassermenge führt die Salze aus der Wurzelzone ab in tiefere Bodenschichten, um anschließend über ein Entwässerungssystem abgeleitet zu werden. Durch die Einhaltung der LF wird verhindert, dass Salze über die Verdunstung des Wassers an die Bodenoberfläche gelangen und dort den Boden verkrusten und versalzen. Eine richtig bemessene LF kann auch langfristig eine Aufsalzung der Böden verhindern. Die Notwendigkeit einer anschließenden Drainage (Entwässerung) ist allerdings an vielen Standorten zu beachten.

Zumeist wird die LF als prozentualer Anteil der Bewässerungsmenge angegeben, die über den Nettobedarf der Pflanzen hinausgeht. Eine LF von 0,2 bedeutet somit, dass 20 % der gesamten Bewässerungsmenge der Entsalzung der Wurzelzone dient. Die Effektivität dieser Technik hängt von den physikalischen Bodenbedingungen ab und ist bei Sandböden deutlich höher als bei Tonböden (100 % versus 30 – 60 %). Weitere wichtige Faktoren für die Wirksamkeit der LF sind die Zeitpunkte der *Leaching*-Gaben und das jeweilige Bewässerungssystem.⁴⁰ Die Höhe des LR hängt von der Salzempfindlichkeit der Pflanzen und dem Salzgehalt des Wassers ab und kann für Furchen- und Oberflächenbewässerung nach folgender, empirisch ermittelter Formel berechnet werden:⁴¹

Die Höhe des LR hängt von der Salzempfindlichkeit der Pflanzen und dem Salzgehalt des Wassers ab und kann für Furchen- und Oberflächenbewässerung nach folgender, empirisch ermittelter Formel berechnet werden:⁴²

$$LF = \frac{EC_{iw}}{5 (EC_e) - EC_{iw}}$$

EC_e = durchschnittliche, von den angebauten Kulturarten tolerierte Salinität des Bodenextrakts (Elektrische Leitfähigkeit).

EC_{iw} = Salinität des Bewässerungswassers (irrigation water)

40 Vgl. BWP / GTZ (2003), hier werden weitergehende Erläuterungen zum Thema LF gemacht.

41 FAO (1992).

42 FAO (1992).

Für die Tröpfchenbewässerung gilt demgegenüber folgende Formel:

$$LF = \frac{EC_{iw}}{2 (\max EC_e)}$$

Der Ausdruck $2 (\max EC_e)$ ist empirisch ermittelt und bezieht sich auf die in kürzeren Intervallen stattfindende Tröpfchenbewässerung, bei der das LR zumeist geringer ist als bei weniger effizienten Verfahren.

Haben Landwirte keine spezielle Schulung im Hinblick auf das Management salzhaltigen Bewässerungswassers erhalten, wird das LR von ihnen zumeist intuitiv und dabei in der Regel zu hoch angesetzt. Auch hier verhalten sich Landwirte ihrer betriebswirtschaftlichen Situation entsprechend, eher risikoavers, d.h. sie bewässern lieber etwas mehr, als das Risiko einzugehen, wegen einer zu restriktiven Bewässerung Ertragsverluste hinnehmen zu müssen.

In der Praxis ist es daher wichtig, lokal angepasste, leicht verständliche und durch den Landwirt selbst schnell ermittelbare LF als Empfehlung auszusprechen. So wird z.B. in Jordanien im Rahmen des von der GTZ unterstützten *Brackish Water Projects* den Landwirten des Jordantals empfohlen, bei Salzgehalten von ca. 2 g / l ein LR von 10 % und bei Salzgehalten von über 3 g / l ein LR von rund 30 % zu veranschlagen. Grundlage für diese, im Rahmen des Projekts eigens für Wasser ab Salzgehalten von 1,5 g / l entwickelte Empfehlung, ist die leicht handhabbare Formel:

$$LR (\%) = (EC_{iw} - 2) \times 10$$

EC_{iw} = Elektrische Leitfähigkeit des Bewässerungswassers in dS/m

Mit dieser Empfehlung wird ein für die Landwirte akzeptabler Wert angegeben, der das risikoaverse Verhalten von Landwirten durchaus als rational einbezieht, aber gleichzeitig der Tendenz einer übertriebenen Überbewässerung entgegensteuert.⁴³

Ein kontinuierliches Monitoring der Salzgehalte im Boden ist nichtsdestotrotz notwendig, wenn mit hohen Salzgehalten operiert wird, um eine beginnende Akkumulation rechtzeitig zu erkennen.

4.2.8.2 Weitere Managementfaktoren

Weitere Managementfaktoren, die einer Aufsalzung des Bodens entgegenwirken, die Wassernutzungseffizienz erhöhen und die Kosten insgesamt senken, sind vor allem eine ausreichende organische Düngung und die Anwendung der richtigen Bewässerungsstrategie und -technik.

Die organische Düngung erhöht den Humusgehalt des Bodens und damit die Pufferkapazität. Sie sorgt außerdem für ein reiches Bodenleben und erhöht damit die Abbaukapazität des Bodens für die restliche organische Fracht des Abwassers. Auch wenn in Tunesien eine ver-

43 Vgl. BWP / GTZ (2003).

gleichsweisse fortschrittliche Wasserpolitik betrieben wird, gilt dies nicht in Bezug auf die Effizienz der am häufigsten eingesetzten Bewässerungsverfahren. In Tunesien werden 57 % des wiederverwendeten Abwassers mit Hilfe der Sprinklerbewässerung und 48 % mit Hilfe der Oberflächenbewässerung eingesetzt,⁴⁴ und beide Verfahren weisen eine geringe Wassernutzungseffizienz auf (insbesondere das zweitgenannte). Bei der Sprinklerbewässerung ist zusätzlich mit hohen Verdunstungsraten, Versalzungsgefährdung des Bodens und womöglich mit einer Verstopfung der Düsen zu rechnen, wenn die Trübung des Wassers hoch ist.

In Israel ist die Unterbodenbewässerung weit fortgeschritten, bei der durch genaue Dosierung des Wassers das LR möglichst niedrig gehalten und dennoch verhindert wird, dass eine Verdunstung zur Versalzung der Bodenoberfläche führt. Solch eine hohe Inwertsetzung von Wasser verlangt nicht nur eine ausgefeilte Bewässerungstechnik, sondern ein insgesamt hoch effizientes landwirtschaftliches Management. Moderne Bewässerungssysteme wie die Tröpfchenbewässerung erfordern hohe Investitionen und daher auch den Anbau hochwertiger Kulturarten.

Für die Bewässerung mit Abwasser ist der Aufbau solcher moderner Systeme aufgrund des niedrigen Abwasserpreises problematisch. Die Modernisierung der Bewässerungssysteme sollte zunächst für Bewässerungssysteme erfolgen, die teureres konventionelles Wasser verwenden. Dort amortisieren sich die Anlagen am schnellsten und tragen am ehesten zum Sparen der wertvollsten Ressourcen bei (Grundwasser).

4.2.9 Soziokulturelle und sonstige Faktoren

Insbesondere innerhalb der Geberländer wird immer wieder die Vermutung geäußert, dass soziokulturelle oder religiöse Faktoren die Akzeptanz der NgA in islamisch geprägten Ländern maßgeblich verhindern.

Um dies zu belegen, gibt es jedoch bis heute weder eine plausible Argumentation noch empirische Hinweise. Zwar kann beobachtet werden, dass in islamischen Ländern ganz allgemein eine größere Zurückhaltung der Menschen gegenüber Themen wie „Ausscheidung und Fäkalien“ besteht als in manchen christlich geprägten Kulturen. Selbst diese Aussage erscheint jedoch sehr vage.

Zahlreiche praktische Beispiele der Nutzung von Abwasser gerade auch in stark islamisch geprägten Ländern wie Saudi Arabien belegen jedoch, dass diese Zurückhaltung gegenüber der NgA – falls sie tatsächlich besteht – nur eine nachgeordnete Rolle spielen kann.⁴⁵

44 Vgl. Bahri (2002).

45 Zu einer gleichen Bewertung gelangen die Fachleute, die sich zu einem Workshop on Water Reuse in Kairo am 2. – 5. Juli 2001 trafen. Vgl. World Bank / Swiss Agency for Development Cooperation (2001), S. 5.

Von offiziellen religiösen Führern wurde die NgA bereits in vielen islamischen Ländern legitimiert, und in Saudi Arabien, den Vereinigten Arabischen Emiraten und Oman wurde in religiösen Deklarationen die NgA als eine akzeptable Möglichkeit zur Bewässerung ausgerufen.

Insgesamt wird beobachtet, dass die Akzeptanz der NgA mit dem Reinigungsgrad des Abwassers ansteigt. Auch wenn Abwasser bereits eine längere Transportstrecke zurückgelegt hat und daher nicht unmittelbar als Ablauf aus einer Kläranlage erkennbar ist, wird das Verfahren von Landwirten positiver angenommen.⁴⁶ Diese Beobachtungen belegen jedoch in keiner Weise soziokulturelle Zusammenhänge oder einen religiösen Hintergrund, denn ähnliche Beobachtungen könnten auch in christlichen Ländern gemacht werden. Zurückhaltung kann zudem aus hygienischer Sicht durchaus rational sein, wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt wurde.

Das eigentliche Problem liegt in der zu geringen Aufklärung der Landwirte, und darin, dass diese die Restrisiken nicht wirklich abschätzen können. Um das Verfahren erfolgreicher umzusetzen erscheint es daher sinnvoll, der Unsicherheit von Landwirten bezüglich möglicher gefährlicher Inhaltsstoffe im Abwasser zu begegnen, indem sie besser über die hiermit verbundenen Vorteile und Risiken informiert werden.

Darüber hinaus ist auch der Wunsch nach größerer „Annehmlichkeit“ ein verständliches Anliegen von Landwirten. Tatsache ist, dass der Umgang mit Abwasser unangenehm ist, wenn damit zusätzliche Arbeit, Geruchsbelästigung und der Anblick von Unrat verknüpft ist. Dies nachzuvollziehen ist, unabhängig von Religion und Kultur, ohne weiteres möglich.

4.3 Die Perspektive der Gesamtgesellschaft und der Konsumenten

Trinkwasserressourcen werden üblicherweise nur einmal genutzt, anschließend gereinigt und in Gewässer geleitet. Gleiches gilt für den Bewässerungssektor, auch dort wird Wasser mit Trinkwasserqualität in der Regel nur einmal genutzt, bevor es verdunstet (Evapotranspiration), versickert oder in das Produkt übergeht.

Bei der Bewertung der Effizienzsteigerung durch die NgA kann daher die einmalige Nutzung des Wassers als Referenzwert herangezogen werden.⁴⁷ Die Tatsache, dass das gleiche Wasser bei der Wiederverwendung zweimal statt einmal verwendet wird, erhöht die potenzielle Wassernutzungseffizienz für jeden wiederverwendeten Liter dementsprechend um 100 %. Da bei der Trinkwassernutzung rd. 25 bis 50 % des bereitgestellten Wassers im System „verloren“ gehen (sie werden getrunken / verkocht / nicht abgerechnet bzw. verschwinden über Leckagen), entspricht eine 50 %ige Nutzung des Abwassers daher einer Steigerung der Nutzungs-

46 Vgl. auch Schüttrumpf (1999) und Schüttrumpf / Mauderli (2002, S. 41).

47 Ein Vergleich mit der Effizienz bei anderen Nutzungsoptionen (Forstwirtschaft, Golfplätze, städtische Grünanlagen) wäre ebenfalls sinnvoll, soweit diese Optionen tatsächlich vor Ort bestehen. Vgl. z.B. GTZ (2001).

effizienz von bis zu 35 % der ins System geleiteten Trinkwassermenge. Dies ist eine sehr relevante Größenordnung.

Ausgehend von der Wassermenge, die für die Bewässerung zur Verfügung gestellt wird, ist dieser Anteil freilich wesentlich geringer. Bei einer Nutzung von 50 % des Abwassers für die Bewässerung könnte höchstens 7,5 % des Bewässerungswassers eingespart werden, wenn man davon ausgeht (wie es für Tunesien zutrifft), dass 80 % der insgesamt geförderten Wasserressourcen für die Bewässerung eingesetzt werden. Nichtsdestotrotz ist auch dieser Anteil als ein wichtiger Beitrag zum Wassersparen anzusehen und daher eindeutig von gesamtgesellschaftlichem Interesse für wasserknappe Länder.

Auch die Betrachtung der Wasserproduktivität bzw. der Wertschöpfung pro Volumeneinheit Bewässerungswasser ist eine Möglichkeit, die Bedeutung der NgA zu erfassen. Wie nachfolgende Tabelle zeigt, ist die Wertschöpfung / l Wasser deutlich erhöht, wenn Abwasser eingesetzt wird. Für die einzelnen Kulturarten ist diese Steigerung in Abhängigkeit zum Marktwert der Kulturen sehr unterschiedlich und beträgt zwischen 1 % (Tafeltrauben) – 58 % (Erbsen).⁴⁸

| Tabelle 6: Wertschöpfung / m³ Wasser bzw. Abwasser durch den Anbau landwirtschaftlicher Kulturarten | | | | | | | |
|---|--|----------------------------|---|---|--|--|--|
| | | | Verfahren a : Konventionelles Wasser | | Verfahren c: Abwasser | | |
| Kulturart (alle mit künstlicher Bewässerung) | Wasserbedarf (in m ³ pro ha) | Erzielter Marktwert | Kosten für Inputs (ohne Arbeit) | Wertschöpfung (in DT/ m ³ Wasser) Verfahren a | Kosten für Inputs (ohne Arbeit) | Wertschöpfung (in DT/m ³ Verf. c | Steigerung der Wertschöpfung zwischen Verfahren a und c |
| Getreide | | | | | | | |
| Hartweizen | 2000 | 1 061,5 | 387,6 | 0,34 | 190,6 | 0,53 | 56 |
| Weichweizen | 2000 | 939,0 | 374,6 | 0,28 | 188,6 | 0,38 | 36 |
| <i>Durchschnitt Weizen</i> | | | | 0,31 | | 0,46 | 46 % |
| Baumkulturen^c | | | | | | | |
| Oliven (Tafel) | 1 500 | 2 500 | 432,5 | 1,38 | 194 | 1,67 | 21 |
| Birnen | 3 500 | 13 500 | 1 353 | 3,47 | 973 | 3,58 | 3 |

48 Die Gewinne bei der Wertschöpfung durch die NgA schwanken je nach Kulturart sehr stark. Während sie für die Getreide- und Futterkulturen bei 46 % liegen, liegen sie bei den wertvolleren Gemüse- und Baum- bzw. Dauerkulturen bei rd. 15 %. Besonders hoch sind die Gewinne bei den „weniger wertvollen“ Kulturarten mit relativ hohem Wasserverbrauch (Futterpflanzen) und am geringsten sind sie bei den ohnehin wertvollen Kulturarten, in deren Kostenstruktur nicht Wasser, sondern Arbeit oder andere Inputs die größten Kostenfaktoren sind (Tafeltrauben, Birnen, Zwiebeln, Karotten).

| Fortsetzung Tabelle 6: Wertschöpfung / m ³ Wasser bzw. Abwasser durch den Anbau landwirtschaftlicher Kulturarten | | | | | | | |
|---|---|---------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------|---|---|
| | | | Verfahren a : Konventionelles Wasser | | Verfahren c: Abwasser | | |
| Kulturart (alle mit künstlicher Bewässerung) | Wasserbedarf (in m ³ pro ha) | Erzielter Marktwert | Kosten für Inputs (ohne Arbeit) | Wertschöpfung (in DT/ m ³ Wasser) Verfahren a | Kosten für Inputs (ohne Arbeit) | Wertschöpfung (in DT/m ³ Verf. c | Steigerung der Wertschöpfung zwischen Verfahren a und c |
| Äpfel | 3 500 | 7 800 | 1 229 | 1,88 | 838 | 2,23 | 19 |
| Pfirsiche | 2 500 | 7 150 | 705 | 2,58 | 292 | 2,74 | 6 |
| Tafeltrauben | 3 000 | 9 000 | 1 223 | 2,59 | 1142 | 2,62 | 1 |
| <i>Durchschnitt Baumkulturen (ohne Öl-Oliven)</i> | <i>2 800</i> | | | 1,51 | | 2,21 | 14,3 % |
| Oliven (Öl) | 2 000 | 740 | 383,5 | 0,18 | 176 | 0,28 | 55 |
| Futterpflanzen | | | | | | | |
| Luzerne | 7 000 | 1 980 | 876 | 0,15 | 359 | 0,23 | 53 |
| Erbsen | 3 000 | 847 | 485 | 0,12 | 273 | 0,19 | 58 |
| Futtermais | 3 500 | 1 560 | 805 | 0,22 | 502 | 0,30 | 36 |
| Futtersorghum | 4 000 | 2 000 | 722 | 0,32 | 384 | 0,40 | 25 |
| Futtergerste | 3 000 | 1 000 | 438 | 0,19 | 105 | 0,30 | 57 |
| <i>Durchschnitt Futterpflanzen</i> | <i>4 100</i> | <i>1477,4</i> | <i>665,2</i> | 0,20 | | 0,28 | 40 % |
| Gemüsekulturen | | | | | | | |
| Tomaten | 5 500 | 6 250 | 1 531,5 | 0,86 | 1 053 | 0,94 | 9 |
| Kartoffeln | 6 000 | 7 500 | 3 831 | 0,61 | 3 309 | 0,70 | 15 |
| Melonen | 5 500 | 6 875 | 1 131,4 | 1,04 | 690 | 1,25 | 20 |
| Paprika | 6 000 | 4 200 | 1 644 | 0,43 | 2 115 | 0,54 | 26 |
| Zwiebeln | 4 500 | 10 500 | 1 318 | 2,00 | 955 | 2,12 | 6 |
| Karotten | 3 000 | 4 125 | 777,5 | 1,12 | 532 | 1,20 | 7 |
| Artischocken | 7 000 | 6 100 | 1 967 | 0,59 | 1 360 | 0,81 | 37 |
| Fenchel | 4 000 | 3 900 | 860 | 0,76 | 521 | 0,84 | 11 |
| <i>Durchschnitt Gemüsekulturen</i> | <i>4 512,5</i> | | | 0,99 | | 1,05 | 16 % |

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Daten von Blanken / Schüttrumpf (1997)

Aus der Tabelle lassen sich zwei Schlussfolgerungen ziehen

- Die Wertschöpfung pro Volumeneinheit Wasser ist zwischen den Kulturarten sehr unterschiedlich und variiert bezogen auf die Gruppen zwischen 0,2 – 0,31 DT/ m³ für Futterpflanzen bzw. Weizen und 0,99 – 1,51 DT / m³ für Gemüse- bzw. Baumkulturen (ohne Olivenbäume für Öl). Damit ist der Wassereinsatz für die Marktkulturen um den Faktor 3 bis 7 produktiver als für die Subsistenzkulturen.

- Durch den Einsatz von Abwasser wird die Wertschöpfung bzw. Wasserproduktivität bei allen Kulturartengruppen um 14 – 46 % erhöht. Insbesondere für Futterpflanzen und Getreide, aber auch für Olivenbäume ist die Steigerung der Wertschöpfung pro Wassereinheit sehr ausgeprägt.
- Insgesamt darf dieser Vergleich jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass Gemüsekulturen und Futterpflanzen mit einem durchschnittlichen Wasserbedarf von über 4 000 m³ Wasser / ha rd. doppelt so viel Wasser konsumieren wie Baum- und Getreidekulturen.

Aus der Perspektive der Gesamtgesellschaft geht es daher weniger darum, den Anbau der wasserproduktivsten Kulturart gut zu heißen, sondern zu bewerten,

- ob das Wasserdargebot unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit am Standort zur Deckung des Wasserbedarfs der konsumtivsten Kulturarten ausreicht,
- ob es alternative Optionen gibt, das Wasser außerhalb der Landwirtschaft mit einer noch höheren Produktivität zu nutzen,
- ob die durch den Einsatz von Abwasser gegenüber dem Einsatz konventionellen Wassers eingesparten Wasserressourcen der Gesamtgesellschaft oder der Landwirtschaft als Sektor zugute kommen.

In Jordanien, wo eine ausgeprägte Wasserkonkurrenz zwischen den Wassersektoren besteht, wird eingespartes Wasser dem Landwirtschaftssektor entzogen und dem Trinkwassersektor zugeordnet. Solch eine Verlagerung käme demgemäß direkt der städtischen Bevölkerung zugute.

In Tunesien tritt Wasserknappheit in Zukunft stattdessen vermutlich in erster Linie als Mangel in der Umwelt auf. Es existiert dort keine vergleichbare Konkurrenzsituation zwischen den Wassersektoren wie in Jordanien, da die Wasserversorgungssysteme so weitgehend optimiert wurden, dass eine absolute Versorgungsnot bisher nicht aufgetreten und auch nicht zu befürchten ist. Stattdessen wird Gewässern und Grundwasserreservoirs immer mehr Wasser entzogen, ohne dass dies von der Bevölkerung aktuell wahrgenommen werden kann, denn die Grundwasserstände sinken unsichtbar.⁴⁹

Um ein nachhaltigeres Wassermanagement zu erreichen, müssten daher die eingesparten Wasserressourcen eigentlich dem Umweltsektor zugute kommen. Dieses Umweltinteresse kann nur institutionell durch eine Umweltbehörde oder durch eine Umweltlobby vertreten werden. Da das Umweltministerium seit 2002 in Tunesien kein eigenständiges Ressort mehr ist, sondern dem Landwirtschaftsministerium unterstellt wurde, ist eine Entwicklung in dieser Richtung jedoch unwahrscheinlich.

49 Vgl. Benabdallah (2003), Teil I.

Wahrscheinlicher ist, dass das eingesparte Wasser im Landwirtschaftssektor verbleibt und dort entweder der Ausdehnung weiterer Bewässerungsflächen dient oder der Intensivierung von landwirtschaftlichen Nutzflächen: Anbau wasserintensiverer Kulturarten. Eine solche Entwicklung ist nicht nachhaltig und daher gesamtgesellschaftlich zweifelhaft.

Die Problemlage zeigt, dass es notwendig ist, neben dem Ziel der größtmöglichen Wertschöpfung pro Volumeneinheit Wasser ein zweites Ziel zu formulieren. Dieses müsste die Gesamtmenge bzw. den Anteil an konventionellem Wasser begrenzen, das von einer Gesellschaft für die landwirtschaftliche Nutzung bereitgestellt wird. Ist dieser Anteil begrenzt, wird die Wasserknappheit für den Landwirtschaftssektor und für die Gesamtgesellschaft spürbarer und die NgA dadurch auch interessanter.

Eine weitere gesamtgesellschaftliche Dimension der NgA bezieht sich auf die Akzeptanz der mit Abwasser bewässerten Nahrungsmittel durch die Verbraucher oder Konsumenten. Wie die Erfahrungen über das Konsumentenverhalten zeigen, ist dieses im hohen Maße von subjektiver Wahrnehmung und von Befürchtungen abhängig, nur in zweiter Linie spielen Kenntnisse der Konsumenten über tatsächliche Risiken eine Rolle.

Empirische Untersuchungen zeigen, dass die Kaufbereitschaft von Produkten, die mit Abwasser bewässert wurden, mit der räumlichen Distanz zwischen Konsument und Produzenten abnimmt. Während auf lokalen Märkten die Akzeptanz der Produkte hoch ist, auch wenn der Konsument über die Produktionsweise informiert ist, ist sie auf städtischen Märkten deutlich geringer. Der Konsument hat daher auch eine größere innere Distanz zur Landwirtschaft und seine Befürchtungen gegenüber schädlichen Produktionsweisen sind höher. Dementsprechend fällt die Zahlungsbereitschaft auf städtischen Märkten für Produkte, die mit Abwasser bewässert wurden, geringer aus.⁵⁰ Noch größer sind die Befürchtungen, wenn die Produkte aus anderen Ländern importiert werden, wie die geringe Akzeptanz jordanischer Produkte in Saudi Arabien und den Golfstaaten zeigt.

Das Thema der Akzeptanz beim Konsumenten hat in Tunesien bislang insgesamt nur eine geringe Bedeutung. Tunesische Landwirte geben an, keinerlei Vermarktungsprobleme zu haben, selbst wenn die Konsumenten über die Produktionsweise informiert sind.⁵¹ In Jordanien haben die Landwirte und die Vermarktungsgesellschaften dagegen große Befürchtungen, ihre Produkte vor allem nicht international vermarkten zu können, wenn sie mit Abwasser bewässert wurden.⁵² Entsprechend der oben erwähnten Zusammenhänge liegt der Grund für die unterschiedliche Wahrnehmung darin, dass die Gemüseproduktion in Tunesien ausschließlich dem Binnenmarkt dient, während Jordanien Gemüsekulturen exportorientiert produziert. Ein weiterer Grund liegt sicherlich im Vertrauen der Menschen im Hinblick auf die Funktionstüchtigkeit der Abwasserreinigungssysteme. Während in Jordanien die Reinigung der Abwässer und die

50 Vgl. Majdalawi (2001).

51 Vgl. Benabdallah (2002), Bahri (2002), Schüttrumpf / Mauderli (2002), S. 41.

52 Vgl. BMZ (2001b).

Qualitätskontrolle größere Lücken aufweisen, kann Tunesien hier wesentlich bessere Ergebnisse vorweisen, und dies ist auch Konsumenten bekannt.

Neben der subjektiven Risikowahrnehmung, die nicht unbedingt mit dem tatsächlich bestehenden Risiko einhergeht, haben die dargestellten Kaufpräferenzen jedoch auch einen durchaus rationalen Hintergrund. Da Krankheitserreger nur Krankheiten auslösen können, wenn sie auf einen sensiblen Wirt treffen und dieser andererseits nur eine Immunität ausbilden kann, wenn er häufig mit dem Erreger in Kontakt kommt, ist eine städtische Bevölkerung in der Tat gefährdeter als eine ländliche. Auch Touristen sind gegenüber Krankheitserregern in einer neuen Umgebung wesentlich sensibler als die Lokalbevölkerung. Das Kriterium „räumliche Nähe“ entspricht daher durchaus dem Grad der tatsächlichen Gefährdung.

4.4 Die Umweltperspektive im Überblick

Neben den im vorigen Abschnitt genannten indirekten quantitativen Umweltwirkungen, die positiv oder negativ sein können, je nachdem, wie mit den ersparten Wassermengen umgegangen wird, hat die NgA außerdem qualitative Umweltwirkungen, die positiv für die Umwelt sind, da sie die Gewässer stofflich entlasten. Je höher der Reinigungsgrad des Abwassers jedoch vor der Einleitung in das Gewässer bereits ist, desto geringer wiegen die qualitativen Vorteile der NgA und umso stärker treten die quantitativen Aspekte hervor.

Folgende Vorteile der NgA können für die Umwelt bzw. für die Gewässer genannt werden:

- Stoffliche Entlastung der Gewässer durch Verminderung der Abwassereinleitung, dadurch Vermeidung der Versalzung und Eutrophierung der Gewässer (Vermeidung der Überfrachtung mit Nährstoffen und organischer Fracht).
- Indirekt kann die NgA zur Einsparung von Energie und Vermeidung von industrieller Verschmutzung bei der Düngemittelproduktion beitragen (soweit der Düngewert des Abwassers genutzt wird).
- Die Bestandteile im Abwasser können den Boden konservieren und die Bodenstruktur verbessern. Hierdurch wird ein gewisser Erosionsschutz erzielt (soweit der Landwirt die NgA nach guter Praxis durchführt).

Diesen ökologischen Vorteilen stehen folgende Risiken der NgA gegenüber:

- Es besteht ein Risiko der Versalzung landwirtschaftlicher Böden, wenn Abwasser pauschal wiederverwendet wird, ohne auf den Salzgehalt und die Salzverträglichkeit des Bodens zu achten. Wie hoch dieses Risiko im einzelnen ist, hängt vom Management des Landwirts ab.

- Bei zu hohen Nährstoffgehalten und zusätzlicher Mineraldüngung besteht das Risiko der Überdüngung des Bodens und der Auswaschung von überschüssigem Nitrat in das Grundwasser. Die Höhe des Risikos hängt vom Management des Landwirts ab.
- Es besteht u.U. ein Restrisiko der Akkumulation schwer abbaubarer und toxischer Substanzen im Boden (Schwermetalle, Dioxine u.a.). Das Risiko besteht nur, wenn diese Substanzen in das Abwasser gelangen (also nicht vorher abgetrennt werden) und gleichzeitig ein unzureichendes Monitoring von Seiten der Betreiber Grenzwertüberschreitungen nicht aufdecken bzw. darauf nicht reagieren.
- Toxische Substanzen können über die mit Abwasser bewässerten Produkte in die Nahrungskette gelangen. Das Risiko bei der Verwendung kommunaler Abwässer ist jedoch extrem klein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Umweltrisiken, die bei der konventionellen Entsorgung für die aufnehmenden Gewässer bestanden, bei der NgA auf die landwirtschaftlichen Böden übergehen. Da im Umweltkompartiment Boden jedoch eine vielfach größere Adsorptions- und Abbaukapazität für Problemstoffe besteht, ist der Boden als Abwassersenke wesentlich besser geeignet, als ein Gewässer. Insofern ist die qualitative Bilanz bei der NgA in jedem Fall positiv zu sehen.

Wie die quantitative Bilanz ausfällt, hängt jedoch von übergeordneten wasserpolitischen Entscheidungen ab. Wird diesbezüglich keine explizite Entscheidung getroffen, ist die Bilanz vermutlich negativ, denn die eingesparte Wassermenge wird im Landwirtschaftssektor verbleiben, d.h. nicht mehr den Gewässern „zurück erstattet“. Zwar kommt ein Teil des genutzten Abwassers stattdessen den Grundwasserleitern zugute. Allerdings sind diese Ressourcen schwerer förderbar und bei der NgA gehen größere Mengen durch Verdunstung verloren, als es bei der Einleitung in ein Gewässer der Fall ist.

5 Zusammenführung der Perspektiven

5.1 Anpassung der Reinigungstechnik an Qualitätskriterien für die Wiederverwendung

Wie die Akteursanalyse zeigt, ist die Nutzung gereinigter Abwässer gegenüber der konventionellen Entsorgung für die meisten Akteure mit mehr Vorteilen als Nachteilen verknüpft. Für die Gesamtgesellschaft ist das Verfahren mit deutlich mehr Vorteilen verbunden, denn durch die Mehrfachnutzung von Wasser können bei einer Nutzungsrate von 50 % bis zu 7,5 % der gesamten zur Verfügung gestellten konventionellen Wassermengen eingespart werden. Für ein wasserarmes Land wie Tunesien ist es daher sinnvoll, einen möglichst hohen Anteil der NgA in der Landwirtschaft anzusteuern.

Um einen landwirtschaftlichen Betrieb rentabel zu bewirtschaften, müssen Landwirte nicht nur den Anbau der einzelnen Kulturart, sondern auch die Kombination der einzelnen Kulturarten,

das Anbaumuster, optimieren. Auch wenn die NgA für einzelne Kulturen rentabel ist, müssen Landwirte bei der NgA aufgrund der Anbaubeschränkungen von dem betriebswirtschaftlich optimalen Anbaumuster abweichen. Der entgangene Nutzen überschreitet hierbei bei weitem den für die einzelnen Kulturen erzielten Zugewinn.

Zudem übernehmen Landwirte mit der NgA auch die ökologischen und hygienischen Restrisiken, die ansonsten, d.h. bei der Einleitung in ein Gewässer, die Gesamtgesellschaft tragen müsste. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen leisten Landwirte daher der Gesellschaft einen Dienst, wenn sie Abwasser verwenden, sofern für sie auch andere Bewässerungsoptionen beständen. Es ist somit vollkommen plausibel, dass sie in aller Regel trotz der Preisanreize konventionelles Wasser vorziehen.

Um das nationale Ziel bezüglich der Ausweitung der NgA dennoch zu erreichen, müssen daher zusätzliche Anreize geschaffen werden, und diese müssten es für die Landwirte gesamtbetrieblich rentabel machen, Abwasser zu verwenden.

Dies ist möglich, wenn die Klärtechnik der landwirtschaftlichen Abwassernutzung so angepasst wird, dass die Anbaubeschränkungen aufgehoben werden können. Bei den bestehenden Systemen erscheint es daher sinnvoll, Desinfektionsstufen einzubauen, um eine ausreichende Hygienisierung des Abwassers zu erreichen.

Unter folgenden Bedingungen sollten diese Kosten investiert werden:

1. Die Anbaubeschränkungen werden für die Bewässerung mit hygienisiertem Abwasser dann tatsächlich aufgehoben,
2. die Qualität des gereinigten Abwasser eignet sich auch hinsichtlich der übrigen Qualitätskriterien für die uneingeschränkte Nutzung (insbesondere Salzgehalt),
3. der Standort ist grundsätzlich für den Gemüseanbau und den Absatz von Gemüse geeignet.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die NgA ohne Einschränkungen von Landwirten akzeptiert wird, wenn das Abwasser hygienisiert wird und die Anbaubeschränkungen aufgehoben werden. Da längst nicht alle Abwässer und Standorte für den Gemüseanbau geeignet sind, ist eine pauschale Entscheidung für den Einbau einer Desinfektionsstufe jedoch nicht angezeigt. Stattdessen sollte die Entscheidung fallweise getroffen werden.

5.2 Realisierung von Vorhaben

Auf den folgenden Seiten zeigen Diagramme, welche Schritte notwendig sind, um gut fundierte Entscheidungen über die beste Nutzung und den wünschenswerten Reinigungsgrad von Abwasser zu treffen:

Diagramm 1: Entsorgungssystem und Behandlungsoptionen für Abwasser

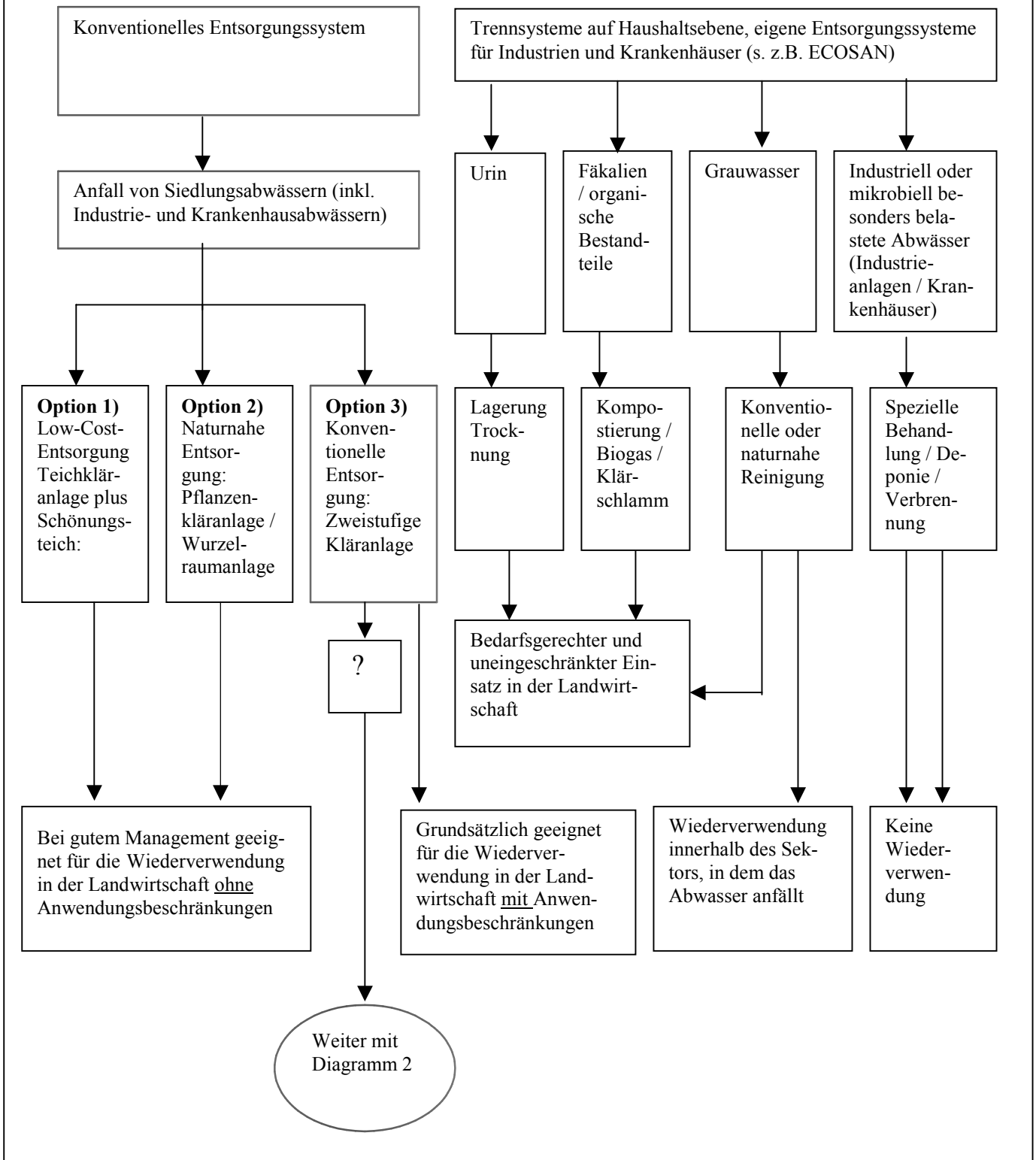


Diagramm 2: Eignung des gereinigten Abwassers für die landwirtschaftliche Bewässerung

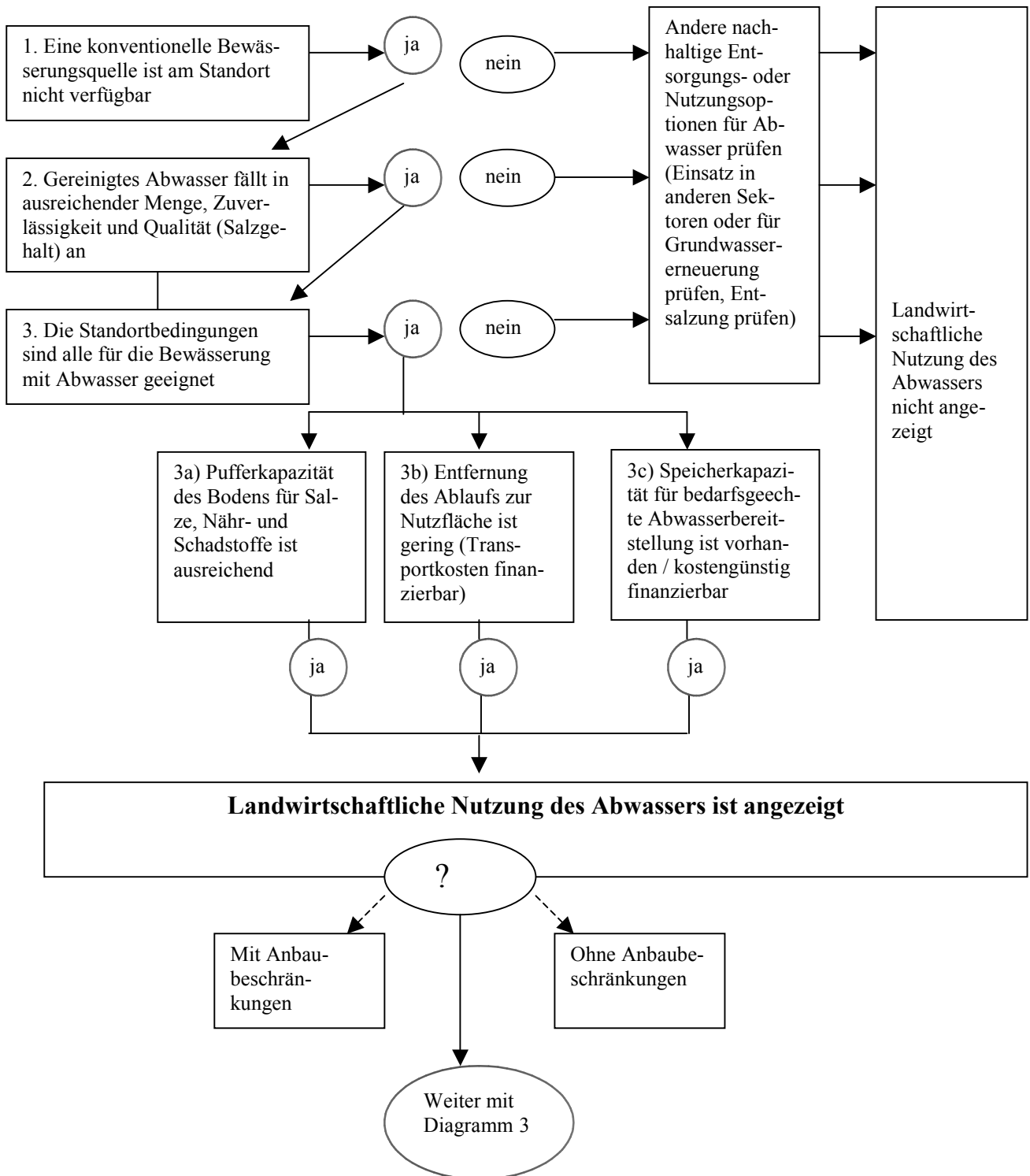
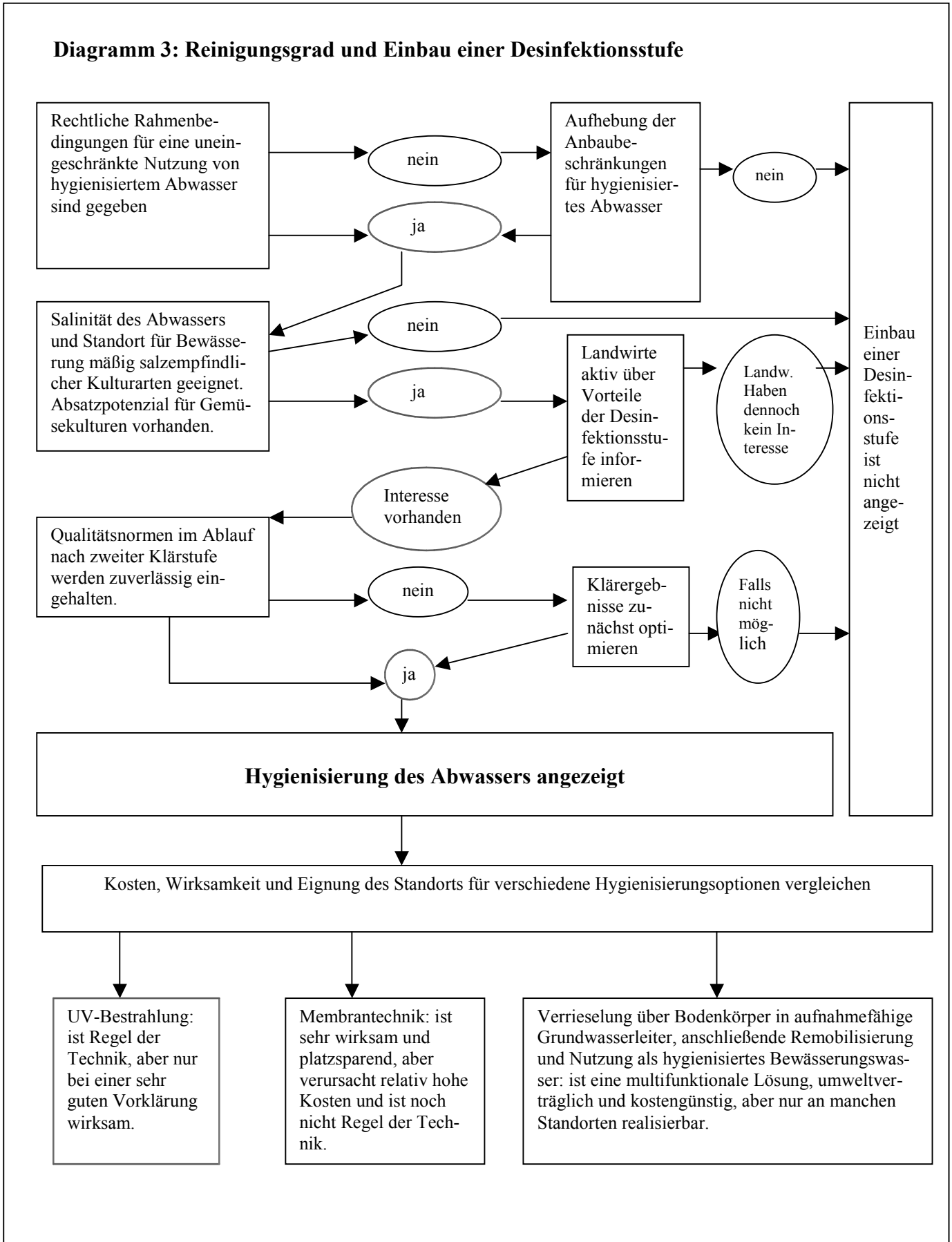


Diagramm 3: Reinigungsgrad und Einbau einer Desinfektionsstufe



Dementsprechend zeigt:

- Diagramm (1) die Vorentscheidungen, die implizit mit der Etablierung eines konventionellen Entsorgungssystems bereits gefällt worden sind (grau markierte Felder). Relevanz hat das Durchgehen dieses Diagramms für Standorte, an denen neue Entsorgungskonzepte realisiert werden sollen.
- Diagramm (2) die Entscheidungsschritte, die zur Bewertung der Eignung des Abwassers bzw. des Standorts für die NgA in der Landwirtschaft getroffen werden müssen.
- Diagramm (3) schließlich die Schritte und Bedingungen, die notwendig sind, um eine fundierte Entscheidung bezüglich des Einbaus einer Desinfektionsstufe zu treffen.

5.3 Kostenzuschreibung bei einer bedarfsgerechten Abwasserreinigung

Solange die Reinigungsziele für Abwässer nicht an den Bedarf der landwirtschaftlichen Betriebe angepasst sind und somit deren Einsatz bezogen auf den Gesamtbetrieb unrentabel ist, ist es auch weiterhin sinnvoll, die Entsorgungskosten – gemäß des Verursacherprinzips – den Haushalten zuzuordnen, selbst wenn das gereinigte Abwasser in der Landwirtschaft verwendet wird.

Stellt es sich gemäß der Entscheidungsdiagramme als sinnvoll heraus, einen Klärstandort mit einer Desinfektionsstufe auszustatten und werden die Anwendungsbeschränkungen für hygienisiertes Abwasser daraufhin gelockert, dann entsteht jedoch eine gänzlich andere Situation. Je nachdem, wie sich die landwirtschaftlichen Betriebssysteme verändern, können den Landwirten hierdurch so deutliche Vorteile entstehen, dass eine Kostenbeteiligung durch die Landwirte gerechtfertigt ist.

Wie für Tunesien bereits errechnet wurde, betragen sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten einer Desinfektionsstufe rund 10 % der Kosten des Baus und des Betriebs einer herkömmlichen zweistufigen Kläranlage.⁵³ Diese Aufwendungen können vollends dem Verfahren der NgA zugerechnet werden (Spezialkosten), da sie nur diesem Zweck dienen.

In welcher Höhe weitere Spezialkosten anfallen, ist an jedem Standort unterschiedlich. Hauptkostenfaktoren sind ein möglicherweise verlängerter Transportweg vom Ablauf zur Bewässerungsanlage und die Schaffung eines zusätzlich benötigten Speichervolumens, um quantitative Schwankungen aufzufangen. Ist die Bewässerungsanlage sehr nah am Standort der Kläranlage gelegen und sind Speicherkapazitäten vorhanden oder leicht aufbaubar (oberirdisch oder unterirdisch), können die Kosten insgesamt gering gehalten werden.

53 Schüttrumpf / Mauderli (2002).

Zu welchem Anteil die Spezialkosten auf die landwirtschaftlichen Betriebe umgelegt werden können, hängt von folgenden Parametern ab:

- Anzahl der Betriebe, die mit dem gereinigten Abwasser versorgt werden können, d.h. auf die die Kosten umgelegt werden können.
- Anteil der Flächen, die mit Gemüsekulturen bebaut werden, d.h. Höhe der eingesparten Opportunitätskosten für den landwirtschaftlichen Betrieb.
- Abschätzung des lokalen Vermarktungspotenzials für Gemüsekulturen und der Preisentwicklung.

Konkrete Empfehlungen in Zahlen können nur fallweise errechnet werden. Zur Veränderung des Anbaumusters in den landwirtschaftlichen Betrieben aufgrund unterschiedlicher Qualitäten von Bewässerungswasser gibt es bisher keine Arbeiten für Tunesien.

Wichtig ist bei der Festlegung des Kostenanteils, dass ein Nettonutzen der NgA auch dann noch für die Landwirte erhalten bleibt.

5.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Mehrfachnutzung von Wasser ist für aride Entwicklungsländer eine zukunftsweisende Technik, die von der Deutschen Entwicklungszusammenarbeit (FZ und TZ) unterstützt werden sollte.

Die tunesische Regierung hat mit Unterstützung der deutschen EZ eine beeindruckende und funktionstüchtige Wasserversorgung und -entsorgung aufgebaut, die es lohnt, mit deutscher Unterstützung weiter zu optimieren.

Damit gereinigte Abwässer in der Landwirtschaft zu einem hohen Prozentsatz wiederverwendet werden, sind technische Anpassungen der Kläranlagen notwendig, um die Ansprüche der Abwassernutzer zu erfüllen. Unter der Voraussetzung, dass die gesetzlichen Anbaubeschränkungen für hygienisiertes Abwasser (Desinfektionsstufe) aufgehoben werden, kann mit einer umfassenden Akzeptanz des Verfahrens durch Landwirte gerechnet werden.

Es wird empfohlen, dass die KfW und die GTZ die tunesischen Partner bei der technischen Anpassung ihrer Systeme finanziell und beratend unterstützen. Entsprechend dem Vorgehen entlang der in der Studie entwickelten Entscheidungsdiagramme sollten die Institutionen fallweise über ihre Unterstützung entscheiden, eine pauschale Entscheidung wäre nicht sachgerecht.

Im Einzelfall und gerade bei der Planung von Touristikstandorten wäre es sinnvoll, naturnahen Entsorgungsstrategien mehr in Betracht zu ziehen als bisher und solche Projekte ggf. zu fördern. Werden Abwasserteiche professionell betrieben, sind die resultierenden Abwasser-

qualitäten von vornherein besser für die anschließende Nutzung in der Landwirtschaft geeignet. Abwasserteiche sind zudem kostengünstig, soweit die Bodenpreise nicht zu hoch sind. Zu denken ist außerdem an die Einrichtung von Trennsystemen (vgl. ECOSAN), durch die die anfallenden Abwassermengen verringert und die Nährstoffe bedarfsgerechter für die Landwirtschaft appliziert werden können.

Das Vorhaben Tunesiens, die Desinfektion mit Hilfe der UV-Bestrahlung durchzuführen, kann in dieser Studie mangels detaillierter Informationen nicht vollends nachvollzogen werden. Es wird vorgeschlagen nochmals zu prüfen, ob die Membrantechnik nicht größere Vorteile hat, die womöglich auch die etwas höheren Kosten rechtfertigen könnten. Wird dennoch die UV-Bestrahlung gewählt, muss damit gerechnet werden, dass der erwünschte Wirkungsgrad nicht immer erreicht wird.

Die deutsche EZ sollte sich im Bereich der NgA auch gezielt an die Abwassernutzer wenden, denn die Landwirte brauchen dringend Beratung im Hinblick auf den optimalen Einsatz von Abwasser, aber auch, um die ökologischen Restrisiken zu eliminieren. Bei der Beratung sollte der Umgang mit hohen Salzgehalten, aber auch der Substitutionswert von Abwasser für Düngemittel im Zentrum stehen.

Die Erstellung von *Guidelines* zur „guten Praxis der Nutzung von Abwasser“ erscheint sinnvoll. Diese *Guidelines* sollten einerseits auf internationalem Know-how und andererseits auf den Erfahrungen im Umgang mit Wasser marginaler Qualität vor Ort beruhen. Als Vorbild könnten bereits bestehende Projekte in Jordanien dienen (*Brackish Water Project, BWP, Reclaimed Water Project, RWP, GTZ-Jordanien*).

Ein weiteres wichtiges Ziel ist das Erreichen von Zuverlässigkeit in Bezug auf das Abwasserdargebot, da diese das Produktionsrisiko der Landwirte maßgeblich mitbestimmt und somit auch die Akzeptanz der NgA. Dies gilt in noch höherem Maße, wenn wertvolle und weniger trockenresistente Kulturarten mit Hilfe von Abwasser angebaut werden sollen.

Das hier diskutierte Konzept bezieht sich auf ein Schwellenland mit einem bereits weit fortgeschrittenem kostenaufwendigen Wasserver- und -entsorgungssystem. Dementsprechend kann das Beispiel Tunesien auch nur für andere Schwellenländer mit ähnlicher Ausstattung an Entsorgungsinfrastruktur ein Modell darstellen. Für ärmere Entwicklungsländer, in denen Kläranlagen noch kaum existieren, müssen andere Formen der Entsorgung und der Nutzung von Abwässern diskutiert werden.

Generell ist zu empfehlen, dass die deutsche EZ eine eigene Position zur Förderung der NgA in Entwicklungsländern erarbeitet. Diese sollte die bestehenden Entsorgungssysteme in den Ländern als Ausgangspunkt heranziehen und zwischen ärmeren und fortgeschrittenen Entwicklungsländern konzeptionell unterscheiden.

Literaturliste

- Achtnich, W.** (1980): Bewässerungslandbau, Eugen Ulmer (Verlag), Stuttgart
- Bahri, A.** (2002): Water Reclamation and Reuse in Tunisia. Manuskript. National Institute for Research on Agricultural Engineering, Water, and Forestry, Tunis
- Benabdallah, S.** (2002): Mündliche Mitteilung, Tunis
- (2002): La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie – point de départ, conditions-cadres et stratégie politique d'eau, Teil I, CITET / GDI, Tunis / Bonn:
- / **R.-B. Ammar** (2001): Projet: Maîtrise de la qualité des eaux de la Medjerda. Manuskript. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire / Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis
- Blanken, J. / R. Schüttrumpf** (1997): Projet de Modernisation des Périmètres Publics Irrigués dans la Basse Vallée de la Medjerda. Mission pour la rédaction de dossiers supplémentaires d'évaluation de projet. Rapport Provisoire pour la Ministère de l'Agriculture, République Tunisienne
- Blumenthal, U. J. et al.** (2000): Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence, WELL Study, London
- BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)** (2001a): Länderbericht Tunesien, Bonn
- (2001b): Länderprogrammevaluierung Jordanien, Bonn
- BWP/GTZ (Brackish Water Project / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit)** (2001): Review of Experiences of Other Countries in Agricultural Irrigation with Marginal Water, Amman
- (2003): Guidelines for Use of Brackish Water in Irrigation, Amman
- Coopération Allemande au développement, Ministère de l'Agriculture, Coopération Technique Tuniso-Allemande, GTZ** (2001): Plan guide relatif à la mise en œuvre de gestion en temps réel des ressources en Tunisie, Tunis
- GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit)** (2001): Rentabilité de l'utilisation des Eaux usées traitées (EUT) dans les secteurs autres que l'agriculture
- (o. J.): Treatment and Reuse of Sewage and Sludge in Tunisia, Tunis
- Doppler, W. et al.** (2002): The Impact of Water Price Strategies on the Allocation of Irrigation Water: The Case of the Jordan Valley, in: *Agricultural Water Management* Bd. 55, S. 171-182
- Dorau, W.** (1999): Fragen zur Abwasserhygiene – Lösungsmöglichkeiten mit der Bio-Membran-Technik, in: *Wasser & Boden*, Jahrg. 51/10, S. 7-10
- (2001): Abwasserhygienisierung und Leistungssteigerung der biologischen Abwasserreinigung mittels Bio-Membran-Technik. Methodische Grundsatzüberlegungen zur Bio-Membran-Technik. Manuskript. Umweltbundesamt Berlin
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)** (1992): Wastewater Treatment and Use in Agriculture – FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rom
- (1994): Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, 2. Auflage, Rom
- Fersi, S. / K. Wunderlich** (2002): Die deutsch-tunesische Zusammenarbeit in der Wasserwirtschaft, in: *Partenaire & Développement*, 1 / 2002, S. 26-30
- Günder, B. / Kh. Krauth / K.-H. Rosenwinkel** (1999): Das Membranbelebungsverfahren in der kommunalen Abwasserreinigung, in: *Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft*, Bd. 153, München
- Horn, R. et al.** (1980): The Ecological Effects of Long-term Waste Water Irrigation. Vortrag zum "Second European Ecological Symposium" in Berlin, 8. – 12. September 1980, Boston / Edinburgh, S. 217 - 229

- KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau)** (2001): Finanzielle Zusammenarbeit mit Tunesien, Frankfurt
- Madjalawi, M. (2001):** Consumer's View on Agricultural Products Produced with Low Quality Water: A Case from Jordan. Vortrag zum "Fifth IFSA European Symposium": Farming and Rural Systems Research and Extension, 8. – 11. April, Florenz
- MEAT (Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement) / ONAS (Office National de l'Assainissement) / KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau)** (2002): Etude d'exécution pour l'assainissement des villes, Traitement tertiaire des eaux usées à la station d'épuration d'Aousja, avant projet détaillé, Consulting Engineers GmbH, Salzgitter, Tunis
- Ministère de l'Agriculture** (2002): Stratégie de réutilisation des eaux usées traitées, Garmmath
- Neubert, S.:** (2002): Wastewater Reuse in Agriculture – A Challenge for Administration Coordination and Implementation, in: S. Neubert / W. Scheumann / A. van Edig (eds.) *Reforming Institutions for Sustainable Water Management*, GDI Bonn
- Office National de l'Assainissement (ONAS)** (2002): Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture
- / **Kreditanstalt für Wiederaufbau** (2002): Etude d'exécution pour l'assainissement des villes de mateur, Ras Jebel, Raf Raf et El Alia. Avant Projet Détaillé (AOD). Rapport Définitif, Tunis / Frankfurt
- Rais, M.-T. / D. Xanthoulis** (1999): Amélioration de la qualité microbiologique des effluents secondaires par stockage en bassins, in : *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3 (3), S. 149-157
- République Tunisienne / Ministère de l'Agriculture** (2000): Stratégie à long terme du secteur de l'eau, Tunis
- (1999): Etude du secteur de l'eau : *Orientations stratégiques*
- Rowe, D. R. / Abdel-Magid I. M.** (1995): Wastewater Reclamation and Reuse, London, New York
- Schüttertrumpf, R.** (1999): Wiederverwendung von Abwässern in islamischen Ländern: Beispiele und kulturelle Akzeptanz. Gutachten für die GTZ (1999), Themenblock Ökologische Abwasserentsorgungskonzepte, Eschborn / Seesen.
- / **A. Mauderli** (2002): Stations d'épuration de Kairouan, Aousja et Sousse – Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, Rapport d'expertise. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire / Office National de l'Assainissement (ONAS), Tunis
- Wolff, H.-P. / W. Doppler** (2002): Potentials and Limits of Incorporating Low-quality Water Resources in Concepts for the Intersectoral and Cross-border Water Allocation in the Near East – First Results from a Joint Research Programme. The 12th Stockholm Water Symposium, 12. – 15. August, Stuttgart
- WHO (World Health Organisation)** (1989): Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection http://www.who.int/water_sanitation_health/Water_quality/wastwat.htm.
- World Bank / Swiss Agency for Development Cooperation** (2001): Proceedings of the Regional Workshop on Water Reuse in the Middle East and North Africa, Draft Summary Report. Workshop on Water Reuse in Cairo, 2.- 5. Juli (2001), Kairo / Washington.

ANHANG

| Tabelle A1: Klassifizierungs- und Umrechnungstabelle von $\mu\text{s} / \text{l}$ in g / l nach Taylor und Ashcroft (1972) aus Achtnich (1980) | | | |
|---|---|---------------|--|
| Versalzungsgrad des Wassers | Elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{s} / \text{cm}$) | dS / m | Etwa entsprechender Gesamtsalzgehalt (g / l) |
| Schwach salzig | 0 – 250 | 0 – 0,25 | Bis 0,2 |
| Mäßig salzig | 250 – 750 | 0,2 – 0,75 | 0,2 - 0,5 |
| Stark salzig | 750 – 2 250 | 0,75 – 2,25 | 0,5 - 1,5 |
| Sehr stark salzig | 2 250 – 5000 | 2,25 – 5,0 | 1,5 - 3,3 |

| Tabelle A2: Einteilung für die relative Salztoleranz für Bodenwasser (ECe) bzw. Bewässerungswasser ECw | | |
|---|---|--|
| Relative Salztoleranz | Bodenwasserextrakt ECe in dS / m | Salzgehalt im Bewässerungswasser ECw (dS / m) |
| Empfindlich | < 1,4 | < 0,9 |
| Mäßig empfindlich | 1,4 – 3,0 | 0,9 – 2,0 |
| Mittlere Salztoleranz | 3,0 – 6,0 | 2,0 – 4,0 |
| Hohe Salztoleranz | 6,0 – 10,0 | 4,0 – 6,7 |
| Ungeeignet für die meisten Kulturarten (oder Ertragsverluste müssen hingenommen werden) | > 10 | > 6,7 |
| Quelle: FAO (1994), S. 21 | | |

| Tabelle A3: Kosten: Wert – Vergleich bei der konventionellen Bewässerung im Vergleich zur NgA | | | | | |
|---|--|--------------------|---------------|---|---|
| Kulturart | Verfahren a) Konventionelles Wasser DB / ha (in DT / ha) | DB brutto / AK-Tag | Kosten : Wert | Verfahren c) Abwasser Kosten : Wert | Vergleich Kosten : Wert Verfahren a: Verfahren c |
| Getreide | | | | | |
| Hartweizen (bewässert) | 339,3 | 38 | 0,68 | 0,49 | |
| Weichweizen | 231,0 | 26 | 0,75 | 0,49 | |
| <i>Durchschnitt Weizen</i> | 285,2 | 32 | 0,71 | 0,49 | 0,22 |
| Futterpflanzen | | | | | |
| Luzerne | 659,0 | 94 | 0,67 | 0,43 | |
| Erbsen | 151,0 | 22 | 0,82 | 0,50 | |
| Futtermais | 291,0 | 7 | 0,81 | 0,55 | |
| Futtersorghum | 726,0 | 13 | 0,64 | 0,50 | |
| Futtergerste | 205,0 | 4 | 0,79 | 0,54 | |
| <i>Durchschnitt Futterpflanzen</i> | 406,4 | 28 | 0,75 | 0,50 | 0,25 |
| Gemüseulturen | | | | | |
| Tomaten | 2 797 | 19 | 0,55 | 0,48 | |
| Kartoffeln | 1 907 | 16 | 0,75 | 0,67 | |
| Melone | 4 384 | 40 | 0,36 | 0,30 | |
| Paprika | 854 | 4 | 0,80 | 0,68 | |
| Zwiebel | 8 175 | 160 | 0,22 | 0,27 | |
| Karotten | 2 588 | 76 | 0,37 | 0,28 | |
| Artischocken | 2 930 | 16 | 0,52 | 0,37 | |
| Fenchel | 1 710 | 16 | 0,56 | 0,47 | |
| <i>Durchschnitt Gemüseulturen</i> | 2 994 | 44 | 0,52 | 0,44 | 0,08 |

a) Es wurde angenommen, dass die Erträge bei den Kulturarten für die Verfahren „konventionelles Wasser“ und „Abwasser“ gleich hoch sind.

| Fortsetzung der Tabelle A3: Deckungsbeiträge pro Hektar und pro Arbeitstag sowie Nutzen-Kosten-Vergleich | | | | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|---|---|
| | Verfahren a) Konventionelles Wasser | | | Verfahren c) Abwasser | | Vergleich konventionelles Verfahren <> Verfahren Abwasser |
| Kulturart | DB / ha (in DT) | DB brutto / AK-Tag | Kosten : Wert | Kosten : Wert | Durchschnittliche Kosten : Wertsteigerung des Wassers | |
| Baumkulturen | | | | | | |
| Oliven (für Tafel) | 1 272 | 17 | 0,49 | 0,40 | | |
| Birnen | 10 410 | 65 | 0,23 | 0,20 | | |
| Apfel | 5 072 | 36 | 0,35 | 0,34 | | |
| Pfirsich | 4 927 | 37 | 0,31 | 0,26 | | |
| Tafeltrauben | 5 983 | 53 | 0,34 | 0,30 | | |
| <i>Durchschnitt Baumkulturen (ohne Oliven für Öl)</i> | 5 533 | 41,6 | 0,46 ^b | 0,30 ^b | | 0,16 ^b |
| Oliven, für Öl | -342 | -5 | 1,46 | 1,16 | | |

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Grundlage von Blanken / Schüttumpf (1997)

| Liste der Gesprächspartner (Teil II) | |
|--|---|
| Zur Wasserpolitik und institutionelle Fragen | |
| Le Secrétaire d'Etat Ameur Horchani | Ministère de l'Agriculture |
| Mohamed Ennabli | Ministre de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire / MEAT |
| Zahar Yadt | MEAT |
| Laroui Mustapha | MEAT |
| Bech Houcin Essaid und weitere Fachleute aus der Direction | Chef de Département Central / Office National de l'Assainissement, ONAS |
| Haykel Nejlaoui / Herr Lausmann | PSEMA-Projekt GTZ / Ministère de l'Agriculture |
| Le DG Jebali | DGBGTH, Ministère de l'Agriculture |
| Le DG Hamdane Mme Boutiti | DGGRHA, Ministère de l'Agriculture |
| Mongia Ouled Ali | SO.N.E.D.E |
| Le PDG Naceur Zehri | SECADENORD |
| Mama Karim | SECADENORD |
| Deutsch-tunesische EZ und Koordination | |
| Dr. Armin Kössler | Deutsche Botschaft Tunis |
| Amel Benzarti | DG / CITET Tunis |
| Dr. Salow | Büroleitung GTZ, Tunis |
| Dr. Annette Trux | GTZ / OSS, Tunis |
| Klaus Wenzel | CITET / GTZ, Tunis |
| MinR Horst Posselt | BMZ / Mittelmeer Maghreb (Ref. 324), Bonn |
| Uwe Wolff | BMZ, Bonn |
| Georg Schüller | BMZ, Bonn |
| Hans Prestele | Kreditanstalt für Wiederaufbau, KfW, Direktion Maghreb, Frankfurt |
| Uwe Hansen | KfW Frankfurt |
| Jochen Hechler | igip-Ingenieure / KfW / Ministère de l'Agriculture, Tunis |
| Dr. Matthias Schlund | KfW, Frankfurt |
| Piet Kleffmann | KfW, Frankfurt |
| Silke Stadtmann | KfW, Frankfurt |
| Yasmin Tawfik | KfW, Frankfurt |
| Anja Bentlage | KfW, Frankfurt |
| Spezielle Fragen zur NgA | |
| Dr.-Ing. Sihem Chairat Benabdallah | CITET, Tunis |
| Dr.-Ing. Rolf Schüttrumpf | Ingenieur Conseil Seesen |
| Dr. Akica Bahri | National Research Institute for Agriculture Engineering Water and Forestry (INGREF) |
| Le DG Ben Rejeb | INRGREF |
| Mounir Majdoub | Projet Gestion l'Environnement GTZ / CITET |
| Amel Jrad | Direction Laboratoire CITET |
| Mohammed El Hedi Louati | Ministère de l'Agriculture |

| | |
|----------------------------------|--|
| Le DG El Djemili Batti | DGRE, Ministère de l'Agriculture |
| Khalid Abdelhamid | Directeur de l'Institut National des Recherches en Génie Rural Eau et Forêts, Ministère de l'Agriculture |
| Le DG Mallek, M. Lajili | Ministère de l'Agriculture |
| Le DG Mejib Trabelbi | DGEQV / Projet PISEAU Weltbank |
| Zahar Yadh | Consultant Eau Tunis Aménagement Environnement |
| Fa. Möller | Fa. Möller und Darmer (NgA in Deutschland / Berlin) |
| Prof. Dr. Martin Jekel | FG Wasserreinhaltung, TU- Berlin |
| Wolfgang Dorau / Bettina Uhlmann | Abt. Hygiene und Abwasserreinigung, Umweltbundesamt (UBA), Berlin |
| Prof. Dr. Wolfgang Allaili | FG Bodenkunde, TU-Berlin |
| Christine Werner | ECOSAN, GTZ, Eschborn |
| Dr. Heinz-Peter Wolff | FG Agroökonomie der Tropen und Subtropen, Universität Hohenheim |
| Thomas Ziegelmayr | RWP / GTZ, Amman / Bonn |