

**Exportorientierte Forschung und
Entwicklung auf dem Gebiet der
Wasserver- und -entsorgung**

**Teilprojekt A0: "Vertiefende
Untersuchungen der
Randbedingungen der
Abwasserbehandlung und
Koordination Kernprojekt A"**



Schlussbericht

für das



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WA0734 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

RWTHAACHEN

Institut für Siedlungswasserwirtschaft
der RWTH Aachen

Mies-van-der-Rohe-Str. 1 • 52074 Aachen

Tel: 0241 80 25207 • Fax: 0241 80 22285 • isa@isa.rwth-aachen.de

Abschlussbericht

zum Forschungsvorhaben:

"Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung"

Teilprojekt A0:

„Vertiefende Untersuchungen der Randbedingungen und Koordination Kernprojekt A“

Kernprojekt A: Abwasserbehandlung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WA0734 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Aachen, im April 2010

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
(Projektleiter)

Projektbearbeiter

	<p>Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 80 25207 Fax: 0241 80 22285 Email: isa@isa.rwth-aachen.de www.isa.rwth-aachen.de</p>	<p>Dipl.-Ing. K. Haber Dipl.-Ing. N. Halft Dr.-Ing. D. Montag Dipl.-Ing. K. Tondera Dr.-Ing. G. Yao</p>
---	---	---

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Randbedingungen in anderen Ländern	4
2.1	Klima – Einflüsse von Niederschlag und Temperatur auf die Abwasserbeschaffenheit	4
2.2	Abwassermengen und -zusammensetzung.....	8
2.2.1	Abwassermengen.....	9
2.2.2	Abwasserzusammensetzung.....	11
2.3	Reinigungsziele	14
2.3.1	Wiederverwendung häuslichen und kommunalen Abwassers	15
2.3.2	Einleitung in Gewässer.....	17
3	Planung der Abwasserbehandlung unter anderen Rahmenbedingungen... ..	20
3.1	Grundlagenermittlung	20
3.2	Einsatz aerober Abwassertechnologien in anderen Ländern	21
3.2.1	Ergebnisse der Teilprojekte in Kernprojekt A	21
3.2.2	Membrantechnologie	24
3.2.3	Dezentrale Verfahren	25
4	Zielmarktanalyse	27
4.1	Erschließung internationaler Märkte	27
4.2	Finanzierung und Absicherung von Exportgeschäften	29
4.3	Länderstudien (Anhang)	31
5	Literatur.....	33

Anhang

Wasserwirtschaftliche Länderstudien

Verzeichnis der Bilder

Bild 1.1:	Struktur und Aufgabenverteilung des Forschungsverbundprojektes.....	1
Bild 1.2:	Struktur des Kernprojektes A „Abwasserbehandlung“	2
Bild 2.1:	Zugang zu geeigneten Sanitäranlagen 2002. Als geeignet werden der Anschluss an die öffentliche Kanalisation oder eine Absetzgrube und einige Latrinenformen betrachtet. (WHO, 2005).....	5
Bild 2.2:	Klimaklassifikation nach KÖPPEN und GEIGER (KOTTEK et al., 2006)	5
Bild 2.3:	Pro-Kopf-Wasserverbrauch als Funktion von Einkommen und der jährlichen Niederschlagsmenge (VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO, 2005).....	7

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1:	Spezifischer Pro-Kopf-Wasserverbrauch und Schmutzwasseranfall in Abhängigkeit von der Anzahl der Einwohner	9
Tabelle 2.2:	Veränderung des spezifischen Pro-Kopf-Wasserverbrauchs	10
Tabelle 2.3:	Länderspezifische Abwasserkonzentrationen.....	12
Tabelle 2.4:	Gegenüberstellung städtischer und ländlicher Abwasserkonzentrationen am Beispiel Ägypten (ORTH, 2005).....	13
Tabelle 2.5:	Einwohnerspezifische Frachten des häuslichen Abwassers	14
Tabelle 2.6:	Mit der Nutzung von Abwasser verbundene Krankheiten und deren Übertragungswege (WAGNER, 2005)	16
Tabelle 2.7:	Mögliche Ablaufgrenzwerte für Kläranlagen (VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO, 2005)	18
Tabelle 2.8:	Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen (Auszug aus: RICHTLINIE DES RATES 91/271/EWG, 1991)	19
Tabelle 4.1:	Organisationen zur Unterstützung einer außenwirtschaftlichen Tätigkeit.	28
Tabelle 4.2:	Möglichkeiten zur Finanzierung und Absicherung von Exportgeschäften	30

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung	Einheit
AFS	Abfiltrierbare Stoffe	[mg/l]
BSB ₍₅₎	Biochemischer Sauerstoffbedarf (in 5 Tagen)	[mg/l]
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	[mg/l]
E	Einwohner	
N _{ges}	Gesamtstickstoff	[mg/l]
N _{org}	Organischer Stickstoff	[mg/l]
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff	[mg/l]
P _{ges}	Gesamtphosphor	[mg/l]
T	Temperatur	[°C]

1 Einleitung

Das Forschungsverbundprojekt „Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und entsorgung“ ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in den Jahren 1998 und 1999 aufgestellten Aktionskonzepts „Nachhaltige und wettbewerbsfähige deutsche Wasserwirtschaft“. Das Ziel des Aktionskonzepts ist es, eine nachhaltige Wasserver- und -entsorgung insbesondere in Wachstums- und Entwicklungszonen der Welt zu konzipieren. Das Forschungsverbundprojekt unterstützt die internationale Positionierung der deutschen Wasserwirtschaft sowie die Anpassung und Optimierung der in der Bundesrepublik Deutschland eingesetzten (Ab-)Wassertechnik zur nachhaltigen Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation in anderen Ländern. Es ist in die beiden Teile Trinkwasser (Teil 1) und Abwasserbehandlung und Wasserwiedergewinnung (Teil 2) gegliedert. Teil 1 wurde bereits im Jahre 2005 abgeschlossen. Eine Vorstudie zum zweiten Teil „Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern“ wurde ebenfalls im Jahre 2005 veröffentlicht.

Die Struktur und Aufgabenverteilung dieses zweiten Teils des Forschungsverbundprojektes ist in Bild 1.1 aufgeführt.

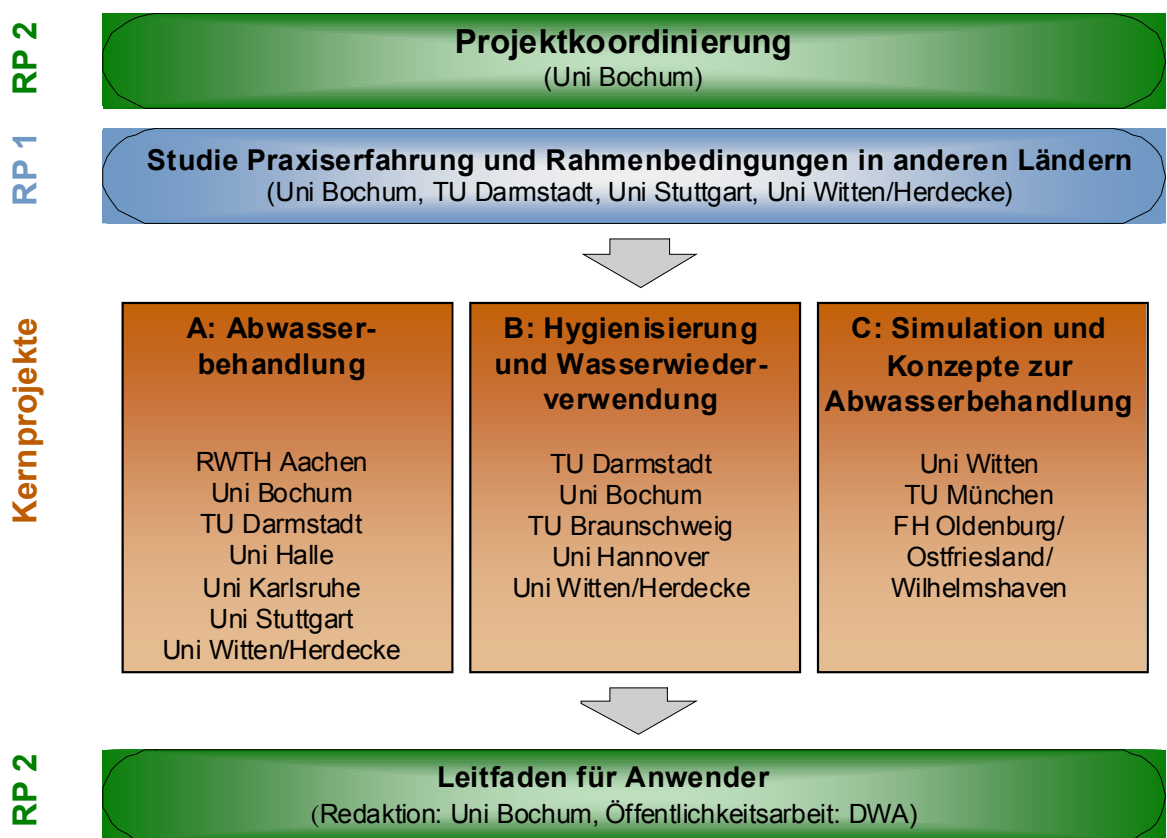


Bild 1.1: Struktur und Aufgabenverteilung des Forschungsverbundprojektes

Das Teilprojekt A0: „Vertiefende Untersuchungen der Randbedingungen der Abwasserbehandlung und Koordination Kernprojekt A“ ist Teil des Kernprojektes A „Abwasserbehandlung“. Es umfasst die Untersuchungen der Rahmenbedingungen für den Export deutscher Abwassertechnologien in andere Länder und die Koordinierung des Kernprojektes durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen. Die Struktur des Kernprojektes A wird in Bild 1.2 vorgestellt.

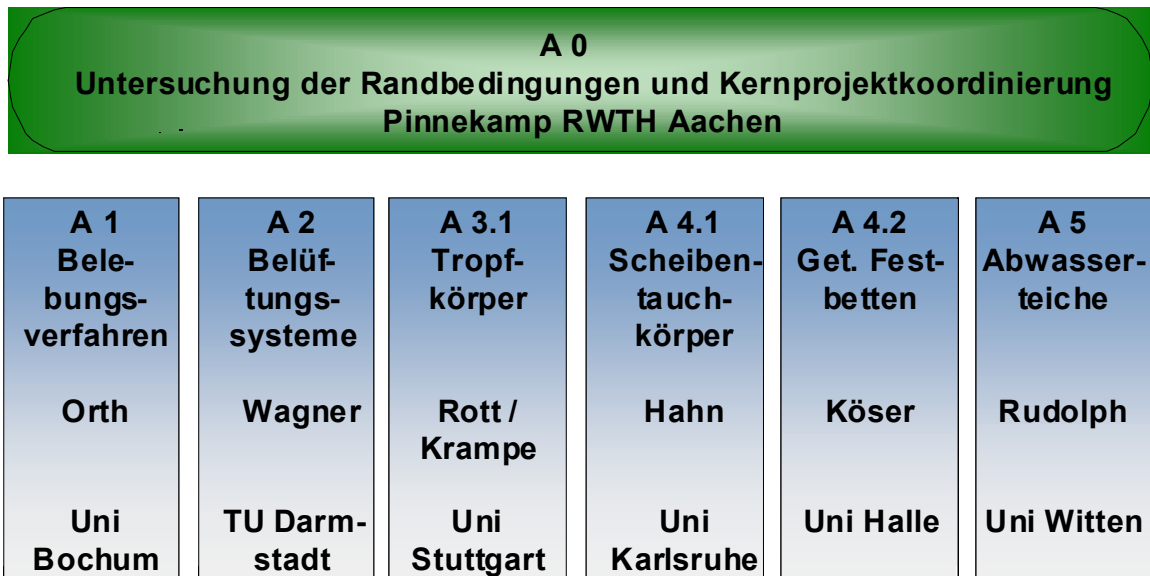


Bild 1.2: Struktur des Kernprojektes A „Abwasserbehandlung“

Die Bundesrepublik Deutschland gehört zu den führenden Staaten der Welt in Bezug auf Dimensionierung, Planung, Bau und Betrieb von kommunalen und industriellen Abwasserbehandlungsanlagen. Als Ergebnis weisen die Gewässer in Deutschland nahezu flächendeckend eine gute bis sehr gute Qualität auf. Daher existiert in deutschen Planungsbüros, Anlagenbauunternehmen und Hochschulen ein exzellenter Kenntnisstand über die Technologien zur Abwasserreinigung, die daher auch in zunehmendem Maße exportiert werden. Dem stehen jedoch spezifische Eigenarten der deutschen Abwassertechnologie gegenüber: sie ist in hohem Maße auf deutsche Verhältnisse zugeschnitten, was sowohl die Zulaufbedingungen als auch die Ablaufbedingungen betrifft. Die ausgefeilten und bewährten Regelwerke führen bei typisch deutscher Abwasserzusammensetzung und hiesigen Temperaturen dazu, dass die damit bemessenen Anlagen die deutschen Mindestanforderungen sicher einhalten. Eine Übertragbarkeit auf die häufig gänzlich andere Situation in anderen Ländern ist nur bedingt möglich. In einigen Regelwerken wird bspw. die Abwassertemperatur, die einen wesentlichen Einfluss auf die biochemisch ablaufenden Prozesse hat, nicht als Eingangsparameter berücksichtigt. Insbesondere Verfahren, die stark temperaturabhängig sind, wie bspw. das Tropfkörperverfahren, können daher für andere

Klimazonen nicht optimal bemessen werden. Aufgrund seiner Robustheit und seines geringen Energieverbrauches ist jedoch eine weitere Verbreitung zu wünschen.

Neben Anpassungen der Prozessleistung und spezieller Anforderungen für klimatisch bedingte Umstände, bilden die Betriebsführung und die modulartige Ausbaufähigkeit der Anlagen für einen höheren Wirkungsgrad auf Basis der vorhandenen Einrichtungen weitere Schwerpunkte der Arbeiten der einzelnen Projekte.

Wesentliche Schwerpunkte des Vorhabens A0 sind Untersuchungen der Randbedingungen für den Export deutscher Abwassertechnologien zur Identifizierung optimaler Märkte und Einsatzfelder für deutsche Abwassertechnologien sowie die Durchführung einer Zielmarktanalyse. Die vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen vorgenommenen Recherchen erstrecken sich dabei auf technische, wirtschaftliche, politische, sozioökonomische, institutionelle und kulturelle Randbedingungen.

Der internationale Abwassermarkt hat starke Wachstumsraten und stellt insbesondere für Anlagenbauer und Kläranlagenausrüster ein vielversprechendes Betätigungsfeld mit zahlreichen Exportmöglichkeiten dar. Voraussetzung ist, dass die Technologien den Marktbedürfnissen vor Ort angepasst und entsprechend mit lokalen Mitteln finanzierbar sind. Insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern ist eine Nachfrage nach einfachen und kostengünstigen Technologien vorhanden. Aufgrund des zunehmenden Bedarfs an Wasserwiederverwendung und der in vielen Schwellenländern expandierenden Industrien wächst auch dort die Nachfrage nach weitergehenden Reinigungstechnologien, wie das Membranverfahren und die Anwendung von Aktivkohle.

Im Rahmen des Vorhabens wurden potenzielle Zielregionen identifiziert und Länderstudien erstellt. In die Betrachtungen fließen Finanzierungsmöglichkeiten der Ziel- und Geberländer, Betriebs- und Managementenerfahrungen sowie die rechtlichen Strukturen des Projektumfeldes mit ein, um das wissenschaftliche und wirtschaftliche Potenzial eines immer komplexer werdenden Abwassermarktes zu beleuchten.

Das ISA koordinierte die Arbeiten im Kernprojekt A „Abwasserbehandlung“. Die der koordinierenden Stelle übermittelten Ergebnisse wurden redaktionell überarbeitet sowie aggregiert. Die Zusammenarbeit innerhalb des Kernprojektes wurde durch regelmäßige Projekttreffen gefördert, bei denen die Zwischenergebnisse der Teilprojekte und deren Annahmen diskutiert wurden.

2 Randbedingungen in anderen Ländern

Der global zunehmende Wasserbedarf, verbunden mit einer immer stärker werdenden Verschmutzung der Gewässer dieser Erde, erfordert einen weltweiten Aufbau von Abwasserbehandlungstechnologien und deren Weiterentwicklung (UNEP, 2007). Aufgrund anderer abwassertechnischer Rahmenbedingungen werden an die Anwendung dieser Technologien in anderen Ländern besondere Anforderungen gestellt. Zusätzlich sind die Einflüsse des Klimas zu ermitteln und Besonderheiten bzgl. der Abwasserzusammensetzung im Zulauf von Abwasserbehandlungsanlagen sowie spezielle Anforderungen an das Reinigungsziel zu bestimmen.

2.1 Klima – Einflüsse von Niederschlag und Temperatur auf die Abwasserbeschaffenheit

Die im Kernprojekt A0 untersuchten Parameter sollen insbesondere die Klimaverhältnisse zukünftig potenzieller Exportländer abbilden. Hier sind insbesondere warme und tropische Klimazonen von Bedeutung, da überwiegend in den Ländern dieser Zonen der Anschluss an geeignete Sanitäranlagen gemäß Definition der Vereinten Nationen weniger als 50% beträgt und die Millenniumsziele noch nicht erreicht sind, wie in Bild 2.1 dargestellt. In der Regel findet in diesen Ländern ein vermehrtes Bevölkerungswachstum, gekoppelt mit einem industriellen Aufschwung statt und die Bedeutung der Wasserwiederverwendung nimmt bereits heute eine entscheidende Rolle ein. Seit dem Erhebungsjahr 2002 haben sich nur geringfügige Änderungen bei den jeweiligen Zuordnungen ergeben. Herauszustellen ist lediglich Brasilien, das einen Wechsel von der Kategorie 50-75% zu 76-90% im Jahr 2006 erreicht hat.

Wird diese Verteilung zusammen mit der effektiven Klimaklassifikation nach KÖPPEN und GEIGER (Bild 2.2) betrachtet, die die Einteilung der Klimazonen durch das Verhältnis von Temperatur und Niederschlagsmenge vornimmt, wird ersichtlich, dass eine Mehrheit der Schwellen- und Entwicklungsländer in der ariden, tropischen und subtropischen Klimazone liegt.

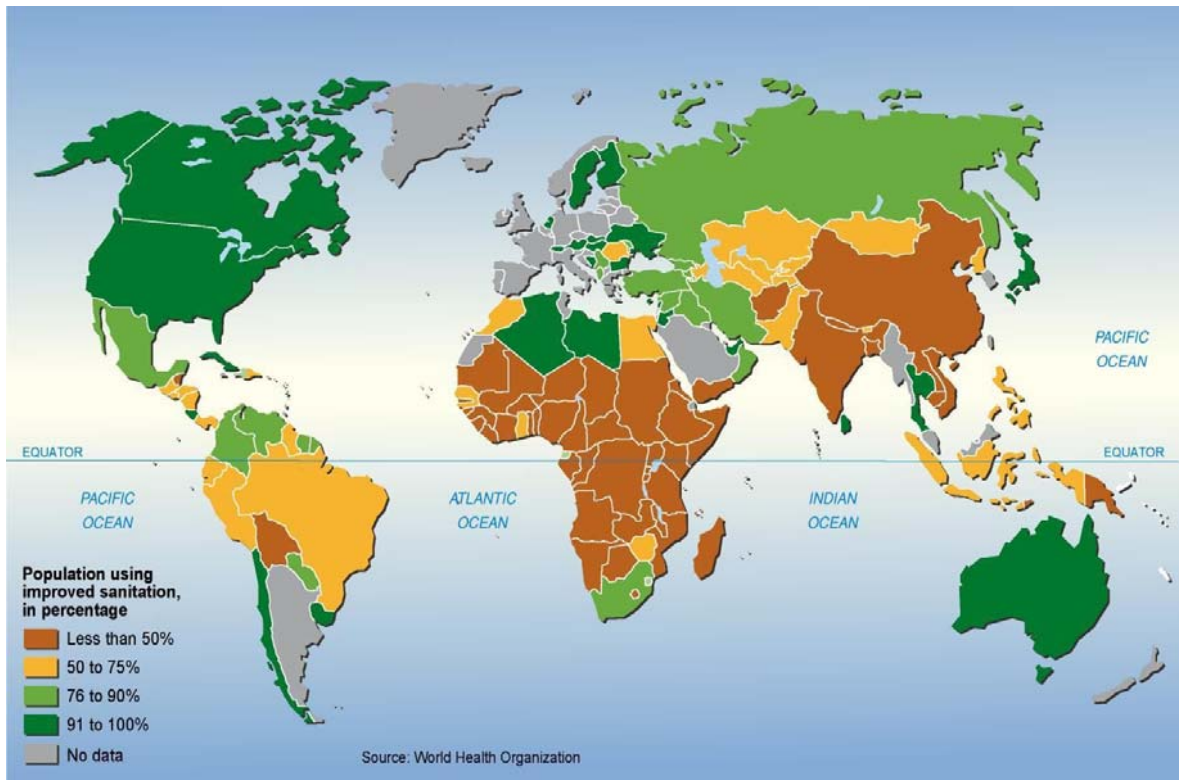


Bild 2.1: Zugang zu geeigneten Sanitäranlagen 2002. Als geeignet werden der Anschluss an die öffentliche Kanalisation oder eine Absetzgrube und einige Latrinenformen betrachtet. (WHO, 2005)

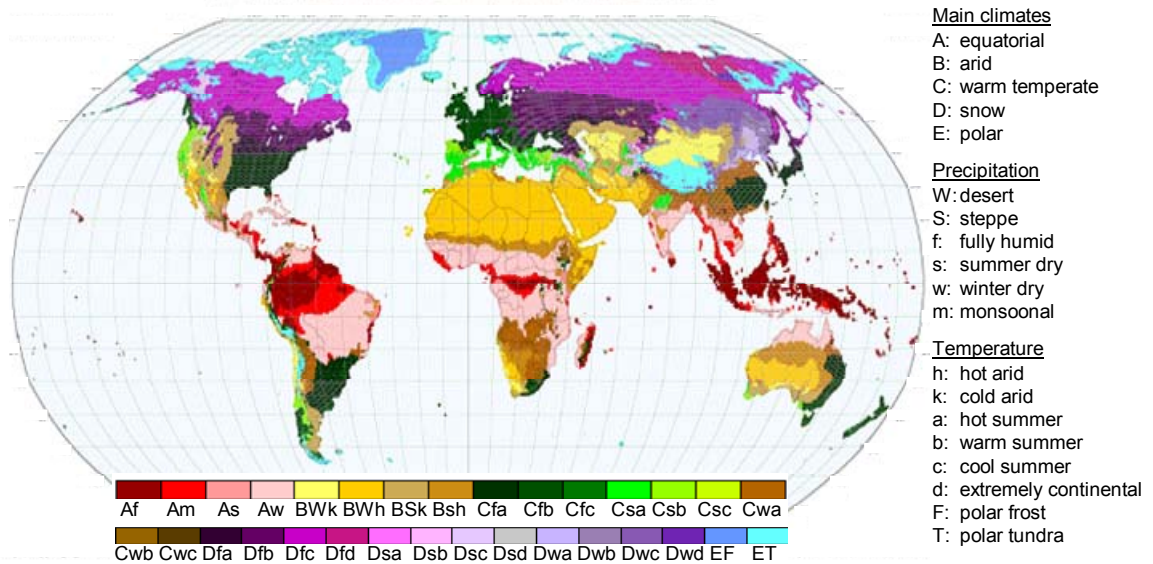


Bild 2.2: Klimaklassifikation nach KÖPPEN und GEIGER (KOTTEK et al., 2006)

Nach dem System von KÖPPEN und GEIGER werden die Klimazonen der Erde durch Buchstabenkombinationen abgebildet. Sie werden mit Schwellenwerten und Perioden von Temperatur und Niederschlag definiert und in Zonen von A bis F eingeteilt. Diese

Klimazonen werden weiter in einen Klimatyp und gegebenenfalls einen Klimauntertyp unterteilt (KOTTEK ET AL., 2006). Niederschlag und Temperatur beeinflussen als wesentliche Bestandteile des Klimas die Abwasserbeschaffenheit.

Der Klimatyp berücksichtigt das Mengenverhältnis von Verdunstung und Niederschlag. So bedeutet „f“ beispielsweise, dass es in dieser Region immer feucht ist und keine Trockenzeiten existieren. Der tropische Regenwald ist ganzjährig humid, d.h. die potenzielle Verdunstung ist stets kleiner als der Niederschlag. Die Wüstengebiete hingegen haben aufgrund der hohen potenziellen Verdunstungsrate ganzjährig oder mit Ausnahme weniger Monate ein Niederschlagsdefizit, d.h. die potenzielle Verdunstung ist größer als der Niederschlag. Zwischen diesen beiden Niederschlagsextremen bewegen sich die Regionen der Tropen. Die jährliche Niederschlagsmenge in den Tropen reicht von 23 mm in der tropischen Wüste bis zu 5.131 mm im tropischen Regenwald (LAUER und RAFIQPOOR, 2002). Deutschland hat im Vergleich eine jährliche Niederschlagsmenge von 500 bis 1.000 mm.

Der Klimauntertyp beschreibt die Sommerwärme bzw. Winterkälte. Er verweist auf die Temperatur und deren jährliche Verteilung, so bedeutet „h“ beispielsweise trockenheiß. Die Temperaturen liegen in den Tropen ganzjährig über 18°C, wodurch sich keine ausgeprägten und differenzierten Jahreszeiten einstellen. Die an den Bereich der Tropen angrenzenden Trockenklimate (Klimatyp: Steppen- und Wüstenklimate) sind ebenfalls ganzjährig trockenheiß bei einer Jahrestemperatur über 18°C. Auch hier sind keine ausgeprägten Jahreszeiten zu verzeichnen.

In den Teilprojekten A1, A2 und A4.2 (Belebungsverfahren, Belüftungssysteme und getauchte Festbetten) wurden auch kalte Klimazonen durch Versuche mit geringen Abwassertemperaturen von 5°C untersucht, da auch Länder mit zeitweise derart geringen Abwassertemperaturen wie z.B. Russland, die Slowakei, Korea und Japan ein stabiles Wirtschaftswachstum verzeichnen und für wasserwirtschaftliche Exporte in Frage kommen (BMW, 2007). Die Abwasserreinigung in Abwasserteichen (Teilprojekt A5) eignet sich überwiegend in warmen Klimaregionen, da die biologischen Prozesse von der Strahlungsintensität der Sonne beeinflusst werden.

Die Niederschlagsmenge und deren saisonale Verteilung spielt bei Planungsfragen von Abwasserableitungssystemen und Abwasserbehandlungsanlagen eine entscheidende Rolle. In tropischen und subtropischen Regionen unterliegt die saisonale Verteilung des Niederschlags einer großen Schwankungsbreite mit ausgeprägten Regenzeiten, innerhalb derer der gesamte Jahresniederschlag auf wenige Monate verteilt fällt. Extreme Regenereignisse sind meist von kurzer Dauer geprägt und können sehr hohe Intensitäten von bis zu 100 mm/h aufweisen. Insbesondere kleine Einzugsgebiete mit zeitlich begrenzten Abflussspitzen sind hierbei eine Herausforderung für Planungsarbeiten. (PARKINSON und MARK, 2006)

Abgesehen von der Niederschlagswassermenge, die über das Entwässerungssystem der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt wird, ist in diesen Gebieten mit einem höheren Abwasseranfall zu rechnen. Gebiete mit hohen Niederschlägen verfügen in der Regel über einen höheren Wasserverbrauch und einen dadurch bedingten höheren Abwasseranfall. So stellen z. B. VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005) eine Abhängigkeit des täglichen Pro-Kopf-Wasserverbrauchs von der Niederschlagshöhe und dem Einkommen im Staat Minas Gerais in Brasilien fest, wie in Bild 2.3 dargestellt.

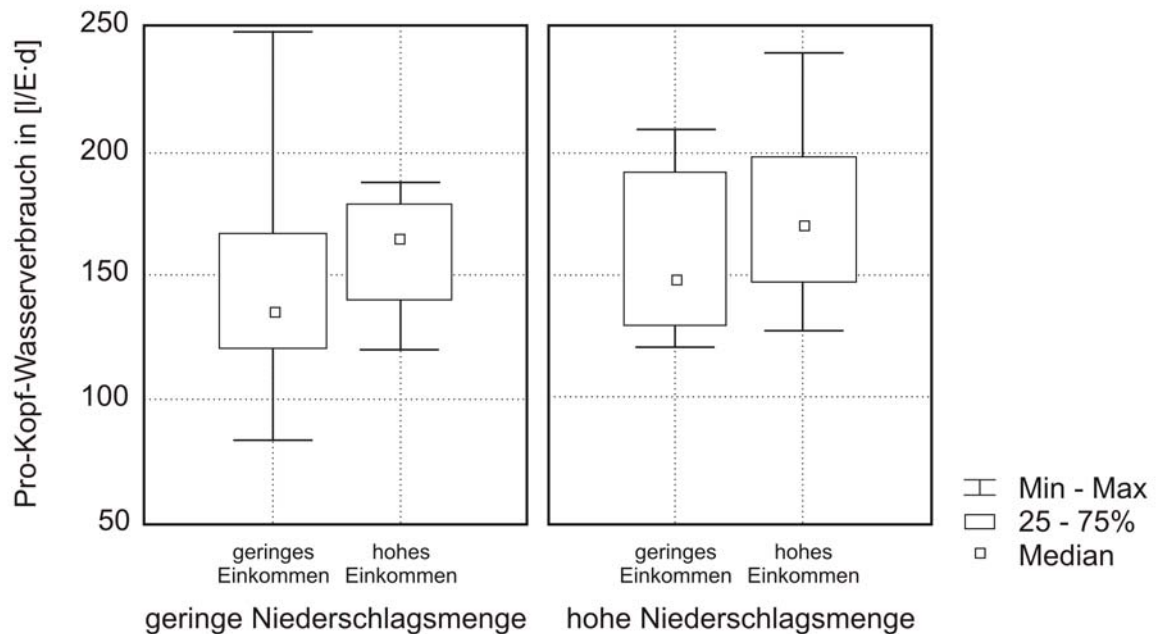


Bild 2.3: Pro-Kopf-Wasserverbrauch als Funktion von Einkommen und der jährlichen Niederschlagsmenge (VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO, 2005)

Die saisonale Verteilung des Niederschlages kann je nach Art des vorhandenen Abwasserableitungssystems zu hohen Konzentrationsschwankungen im Zulauf der Abwasserbehandlungsanlage führen. In der Regenzeit sind geringe Zulaufkonzentrationen zu verzeichnen, die oftmals unter den einzuhaltenden Ablaufwerten liegen, während zur trockenen Jahreszeit das Abwasser im Vergleich zu Deutschland höhere Stoffkonzentrationen aufweist. Große Abwassermengen mit geringen Substratkonzentrationen stellen für die Biologie ein großes Problem dar, da die Mikroorganismen sich nicht vermehren können und die Gefahr der Auswaschung von Biomasse besteht. Hier haben sessile Mikroorganismen gegenüber der suspendierten Biomasse des Belebungsverfahrens erhebliche Vorteile.

Ein weiterer entscheidender Parameter für die Abwasserreinigung ist die Temperatur. Hohe Temperaturen führen zu einem höheren Wasserverbrauch, einer erhöhten Verdunstungsrate und wirken sich direkt auf die Prozesse der Abwasserableitung und -behandlung aus. Bei langen Transportwegen, verbunden mit hohen Temperaturen, kann bereits im Kanalnetz das Abwasser aufgrund einer intensiven Schwefelwasserstoffbildung zur Korrosion des Kanals führen (ORTH, 2005; METCALF & EDDY, 2003). In offenen Entwässerungssystemen kann das Abwasser bei geringen Mengen auch auf dem Weg zur Kläranlage bereits vollständig verdunsten. In manchen Ländern liegt die Abwassertemperatur über das ganze Jahr verteilt bei 30°C (ORTH, 2005). Dies führt zu einer höheren biologischen Aktivität und die biologische Stufe einer Abwasserbehandlungsanlage kann kleiner ausgelegt werden. Der Einsatz bestimmter Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen wird somit erst möglich. Naturnahe Verfahren wie Teichanlagen, die stark temperaturabhängig sind, eignen sich besonders für heiße Regionen.

2.2 Abwassermengen und -zusammensetzung

Eine eindeutige und allgemeingültige Charakterisierung von Abwasser lässt sich natürlich nicht vornehmen, da die relevanten Faktoren ortsabhängig sind und bereits innerhalb eines Landes oft stark schwanken. Es ist somit stets eine lokale Betrachtung für die Auswahl von Abwasserbehandlungstechnologien erforderlich, in der soziale, wirtschaftliche, kulturelle, gesetzliche, umwelt- und ausbildungsbezogene Aspekte berücksichtigt werden.

Die zunehmende Urbanisierung führt in vielen Ländern nicht nur zu einer Verknappung von Ressourcen, sondern stellt auch die bestehende Infrastruktur vor neue Herausforderungen. Für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen wird die innerstädtische Wasserwiederverwendung zukünftig vielerorts unverzichtbar sein. Damit werden dezentrale Behandlungstechnologien nahe am Ort des Abwasseranfalls bzw. des Brauchwasserbedarfs erforderlich, die die Investitions- und Betriebskosten für die Abwasserableitung und Brauchwasserverteilung minimieren (CORNEL, 2008; MAHMOUDIAN, 2004). Insbesondere die Länder, die über keine bestehende Infrastruktur verfügen, bieten eine hervorragende Voraussetzung gegenüber Deutschland neuartige Systeme mit veränderten Grundstrukturen zu schaffen (UJANG und HENZE, 2006).

Für zentrale Lösungssysteme haben die Art der Ableitung (Trenn- oder Mischsystem) und der Zustand der Kanalnetze einen erheblichen Einfluss auf die Charakteristik und Menge des Abwassers (Verdünnungseffekte, Abbauprozesse etc.). Die Zusammensetzung von kommunalem Abwasser wird direkt über einwohnerspezifische Abwassermengen und Frachten, Fremdstoffeinträge, Infiltrationen in das Kanalnetz sowie die erhöhte bzw. geringere Abwassertemperatur bestimmt. Die Rahmenparameter sind für urbane und

ländliche Räume insbesondere in Entwicklungsländern stark unterschiedlich und auch im Hinblick auf die Auswahl der Technologien getrennt voneinander zu betrachten. Im Folgenden wurden die in der Vorstudie ermittelten Rahmenparameter bzgl. der Abwassereigenschaft in anderen Ländern mit anderen recherchierten Daten verglichen.

2.2.1 Abwassermengen

Die mit der Urbanisierung zunehmende Versiegelung von Flächen verändert die Abflussbildung und Abflusskonzentration, sodass allgemein die Abflussmengen pro Zeiteinheit wesentlich größer sind als in weniger dicht besiedelten Gebieten. Der Zuflussvolumenstrom zur Kläranlage setzt sich (je nach Ableitungssystem) aus der häuslich anfallenden Abwassermenge, dem Niederschlagswasser und der Infiltration in das Kanalnetz zusammen. Gewerbliches und industrielles Abwasser sind von der Infrastruktur vor Ort abhängig. Viele Entwicklungs- und Schwellenländer mit ansässiger Lebensmittelindustrie behandeln ihre Industrieabwässer zusammen mit dem kommunalen Abwasser, da diese Abwässer i.d.R. gut biologisch abbaubar sind. Die Anlagen sind hierfür jedoch oft nicht ausgelegt und in den Betriebsmonaten stark überlastet.

Der Wasserverbrauch pro Kopf ist in städtischen Regionen höher als in ländlichen. VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005) geben aus verschiedenen Literaturquellen und unter Berücksichtigung von Faktoren wie Wasserverfügbarkeit, Klima, Urbanisierung und vorhandener Infrastruktur die in Tabelle 2.1 aufgeführte Spannbreite für warme Klimaregionen an.

Tabelle 2.1: Spezifischer Pro-Kopf-Wasserverbrauch und Schmutzwasseranfall in Abhängigkeit von der Anzahl der Einwohner

Einwohnerzahl	Pro-Kopf-Wasserverbrauch in warmen Regionen [l/(E·d)] (VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO, 2005)	Pro-Kopf-Schmutzwasseranfall in warmen Regionen¹⁾ [l/(E·d)] (VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO, 2005)	Schmutzwasseranfall in Deutschland [l/(E·d)] (nach ATV-A 118, 2006)
< 5.000	90 - 140	72 - 112	110
5.000 - 10.000	100 - 160	80 - 128	140
10.000 - 50.000	110 - 180	88 - 144	170
50.000 - 250.0000	120 - 220	96 - 176	200
> 250.000	150 - 300	120 - 240	230

¹⁾ Der Pro-Kopf-Schmutzwasseranfall wurde mit einem Rückföhrfaktor von 0,8 bestimmt.

Für die Berechnung des maximalen stündlichen Abwasseranfalls wird der 1,8 fache Wert des mittleren täglichen Schmutzwasserabflusses und für den minimalen Schmutz-

wasserabfluss der 0,5-fache Wert berechnet (VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO, 2005). METCALF & EDDY (2003) geben für den durchschnittlichen Wasserverbrauch einzelner Länder wesentlich geringere Werte an. Diese Werte basieren mitunter auf Quellen aus dem Jahre 1992 und sind für den Einzelfall zu überprüfen. Die vom ISA durchgeführten Marktstudien und Literaturrecherchen zeigen, dass der Pro-Kopf-Wasserverbrauch in einigen Ländern und Regionen in den letzten Jahren stark angestiegen ist und insbesondere für Planungsvorhaben in Entwicklungsländern nicht auf ältere Werte zurückgegriffen werden kann, bzw. bei Ländern mit sehr unterschiedlichen Siedlungsstrukturen, wie bspw. China, nicht auf nationale Mittelwerte zurückgegriffen werden darf. Die Spannweite der Werte spiegelt den Wasserverbrauch der unterschiedlichen Siedlungsstrukturen wieder. Eine umfangreiche Grundlagenermittlung ist somit dringend erforderlich. Für einige ausgewählte Länder kann auf die Länderstudien vom ISA (s. Anhang) bzw. auf Band 1 des Verbundprojektes „Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern“ (ORTH, 2005) zurückgegriffen werden.

Tabelle 2.2: Veränderung des spezifischen Pro-Kopf-Wasserverbrauchs

Länder / Regionen	Pro-Kopf-Wasserverbrauch nach METCALF & EDDY (2003) [l/(E·d)]	Pro-Kopf-Wasserverbrauch nach Länderstudien des ISA (2010) [l/(E·d)]
China	80	94 – 219 (QING, 2004)
Algerien	20 – 65	65 – 220 (MRE, 2006)
Marokko	20 – 65	50 – 200 (ORTH, 2005)

Die Anzahl der an ein Abwasserableitungssystem angeschlossenen Einwohner sowie die tatsächlich anfallende Abwassermenge sind für jede Region im Einzelfall zu ermitteln. In den meisten Regionen ist der Anschlussgrad an eine Kanalisation in Stadtgebieten größer als auf dem Land. In Jordanien beispielsweise liegt die Anschlussquote in der Stadt bei ca. 90 % und auf dem Land bei ca. 70 %. Eine Zusammenstellung der Weltbank, die sich auf Grundlage von Daten der PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION bezieht, ergab, dass in Lateinamerika 52 % aller städtischen und 39 % aller ländlichen Haushalte an eine Kanalisation angeschlossen sind (IDELOVITCH und RINGSKOG, 1997). Hieran wird der stark unterschiedliche Entwicklungsstand verschiedener Regionen deutlich. Anschlussgrade und typische Werte für Abwassermengen sind für die ausgewählten Zielmarktländer den entsprechenden Länderstudien zu entnehmen.

Die Abwasserableitung zur Kläranlage geschieht im urbanen Sektor meist mittels Schwemmkanalisation im Trenn- oder Mischsystem. Viele Gebiete mit ausgeprägter Regenzeit und trockener Jahreszeit leiten bereits im Trennsystem ab. Hierdurch werden Ablagerungen, die in einem Mischsystem während der Trockenzeit auftreten, und

Überlastungen in der Regenzeit verhindert (ORTH, 2005). In dicht bebauten Stadtzentren ist eine Mischwasserkanalisation in Kombination mit offenen Gräben für das Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen jedoch oftmals die einzige Möglichkeit der geordneten Ableitung. So sind vorzugsweise in Ballungszentren vereinzelt auch Mischwassersysteme vorzufinden, wie z. B. in Marokko, Südafrika und im Iran (ORTH, 2005). Beide Systeme verzeichnen oft einen erhöhten Feststoffeintrag aufgrund unbefestigter Straßen, der sowohl zu einer erhöhten Verstopfungsgefahr des Kanals als auch zu einer Verschlammung der biologischen Reaktoren führen kann. Die mechanischen Reinigungsstufen, wie der Sandfang, sind dafür oft nicht ausreichend dimensioniert. Derartige Probleme wurden auch in den Teilprojekten festgestellt. So berichten SCHWEITZER und BLANK (2008) von Verstopfungsproblemen bei den Pumpen und dem Scheibentauchkörper aufgrund einer nicht ausreichenden mechanischen Abtrennung von Feststoffen, die auf einen erheblichen Eintrag von Abfällen in die Anlage zurückzuführen ist. In ländlichen Gebieten ist die Entwässerung oft unregelmäßig, Kanäle enden offen an den Rändern der Siedlungen, ländliche Flächen versumpfen und Krankheitserreger können sich ausbreiten. Ist die Entwässerung geregelt, wird das Abwasser meist dezentral in Absetzgruben mit anschließender Versickerung behandelt (ORTH, 2005).

2.2.2 Abwasserzusammensetzung

Wie in Kapitel 2.1 erläutert, bewegen sich warme und tropische Regionen in einer Bandbreite zwischen den Extremen „ganzjährig arid“ und „ganzjährig humid“. Aufgrund der saisonalen Niederschlagsverteilung sind starke Schwankungen in den Abwasserkonzentrationen zu verzeichnen. In ariden und semi-ariden Gebieten sowie zur Trockenperiode können die Stoffkonzentrationen im Abwasser wesentlich größer als in gemäßigten Regionen sein, da der Wasserverbrauch geringer ist und das Wasser teilweise während der Ableitung und Behandlung verdunstet (WHO, 2006; METCALF & EDDY, 2003). In manchen Fällen ist der organische Anteil sehr hoch und geht mit einer geringen Alkalinität einher, sodass eine vollständige Nitrifikation ausgeschlossen ist. So sind beispielsweise die Konzentrationen von BSB₅ und AFS im Westjordanland und im Gaza-Streifen mit 1.000 mg/l bis zu 4-mal größer als in den USA (METCALF & EDDY, 2003). Ein gegenteiliges Beispiel bilden BSB₅-Konzentrationen in Saigon (Vietnam) mit einer minimalen BSB₅-Konzentration von nur 22 mg/l und einer maximalen Konzentration von 290 mg BSB₅/l (ORTH, 2005). Diese Konzentrationen sind in einem offenen Kanalsystem gemessen worden und verdeutlichen die Konzentrationsschwankungen, die je nach Ableitungssystem zu erwarten sind.

In Tabelle 2.3 sind für Entwicklungsländer und Länder der warmen Klimazone typische Konzentrationen im Vergleich zu den Industrieländern USA und Deutschland aufgeführt.

Tabelle 2.3: Länderspezifische Abwasserkonzentrationen

Länder	USA ¹⁾		Warme Länder ²⁾	Entwicklungs- länder ³⁾	Deutsch- land ⁴⁾
	Intervall [mg/l]	Mittel [mg/l]			
Stoffe gesamt	390 - 1.230	720	220 - 1.120	1.100	950
Gelöste Stoffe	270 - 860	500	–	700	600 - 800
AFS	120 - 400	210	109 - 450	350	150 - 300
Absetzbare Stoffe	5 - 20	10	–	15	4,5
BSB ₅	110 - 350	190	22 - 808	300	200 - 400
CSB	250 - 800	430	30 - 750	600	250 - 500
CSB / BSB	–	2,3	1,5 - 2,3	2,0	2,0
N _{ges}	20 - 70	40	–	45	55
N _{org}	8,0 - 25	15	–	20	23
NH ₄ -N	12 - 45	25	11,6 - 35	25	32
P _{ges}	4,0 - 12	7,0	4,3 - 22,2	7,0	10
Koliforme Keime ⁵⁾	10 ⁶ - 10 ¹⁰	10 ⁷ - 10 ⁸	1,8·10 ⁵ - 5·10 ⁸	10 ⁷ - 10 ¹⁰	–
Alkalinität	50 - 200	100	–	200	–
pH [–]	6,5 - 8,5	–	6,7 - 7,6	6,7 - 8,0	6,5 - 8,0
T [°C]	3 - 27	–	10 - 33	–	12

¹⁾ Die Werte von METCALF & EDDY (2003) basieren auf einem minimalen Abfluss von 240 l/(E·d), einem mittleren von 460 l/(E·d) und einem maximalen von 750 l/(E·d). Sie beziehen sich auf das Kanalnetz.

²⁾ Die Werte wurden im Rahmen des Projektes des ORTH (2005) (Bundesministerium für Bildung und Forschung), Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, in verschiedenen bereisten Ländern erhoben. Für die Erstellung dieser Tabelle wurden Werte aus Ländern der Klimazone A und B verwendet. Es handelt sich hierbei überwiegend um Werte im Zulauf zu Abwasserbehandlungsanlagen.

³⁾ VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005)

⁴⁾ HOSANG und BISCHOF (1998); GUJER (2007); PÖPPINGHAUS et al. (1994)

⁵⁾ Anzahl pro 100 ml

Tabelle 2.3 verdeutlicht, dass die Stoffkonzentrationen in tropischen und warmen Ländern relativ hoch sind. Die Konzentrationen von VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005) liegen zwar im üblichen Intervall der Werte aus den USA und Deutschland, doch liegen sie meist oberhalb des arithmetischen Mittels. Die Konzentrationen von ORTH (2005) verdeutlichen die starken Schwankungen, die sowohl von Land zu Land als auch innerhalb eines Landes zu erwarten sind. Besonders auffällig sind diesbezüglich die BSB₅-Konzentrationen. Es handelt sich hierbei um Extremwerte, die nur bei genauer Betrachtung der örtlichen Gegebenheiten und der Niederschlagsverteilung analysierbar sind. Die Abwässer in Thailand werden in *Septic-Tanks* vor der Einleitung in die Kanalisation vorbehandelt, wodurch ein großer Anteil des BSB₅ bereits abgebaut wird und die zulaufenden BSB₅-Konzentrationen mitunter geringer sind als die Ablaufanforderung vorsieht. In einem Klärwerk in Thailand beispielsweise liegen die BSB₅-Konzentrationen bei Mischwasserzufluss mit 15 mg BSB₅/l unter der geforderten Ablaufkonzentration von

20 mg BSB₅/l (ORTH, 2005). In Südafrika ist die Nutzung von Trockentoiletten Grund für die geringen BSB₅-Konzentrationen im Abwasser (BMBF, 2005). Diese beiden Länder dienen hier nur als Beispiel für die zahlreichen unterschiedlichen Bedingungen in warmen Ländern.

In ländlichen Gebieten sind die Konzentrationen in der Regel wesentlich höher als in städtischen. So sind beispielsweise in Ägypten die BSB₅-Konzentrationen in ländlichen Regionen 10-mal größer als in städtischen (ORTH, 2005). Tabelle 2.4 zeigt hierzu beispielhaft eine Gegenüberstellung verschiedener Stoffkonzentrationen.

Tabelle 2.4: Gegenüberstellung städtischer und ländlicher Abwasserkonzentrationen am Beispiel Ägypten (ORTH, 2005)

Parameter	Einheit	städtisch	ländlich
Wasserverbrauch	[l/(E·d)]	250	100
pH-Wert	[-]	–	6,5 - 9,2
Gelöste Stoffe	[mg/l]	730	2.038
AFS	[mg/l]	390	2.000
CSB	[mg/l]	610	6.461
BSB ₅	[mg/l]	400	4.007
NH ₄ -N	[mg/l]	20	19
P _{ges}	[mg/l]	6 - 10	1,5
CSB : BSB ₅	[-]	1,5	1,6

In gemäßigten Klimazonen beträgt nach METCALF & EDDY (2003) und PÖPPINGHAUS et al. (1994) der Wasserverbrauch im ländlichen Raum ungefähr 40 % des städtischen Wasserverbrauchs.

Die Frachten sind in Entwicklungsländern geringer. Die in Tabelle 2.5 von UJANG und HENZE (2006) aufgeführten Intervalle verzeichnen starke Schwankungen. Sie sind auf ein unterschiedliches Konsumverhalten zwischen ländlichen und städtischen Gebieten zurückzuführen. Unter der Annahme, dass das Einkommen und der Wohlstand in ländlichen Gebieten geringer ist, sind auch der Konsum und somit die BSB₅-Fracht geringer. Eine Korrelation zwischen dem familiären Einkommen und der BSB₅-Fracht stellten CAMPOS und VON SPERLING (1996) in Brasilien fest. Werte aus Tunesien bestätigen, dass die einwohnerspezifische BSB₅-Fracht in ländlichen Regionen mit 25 g/(E·d) ein Drittel geringer ist, als in der Stadt mit 40 g/(E·d) (ONAS, 2004).

Die von VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005) für Entwicklungsländer aufgeführten Werte liegen hingegen für den BSB₅ näher an den Werten für Deutschland.

In Industrieländern sind die Frachten im ländlichen und urbanen Bereich aufgrund des nahezu gleichen Konsumverhaltens ebenfalls gleich (METCALF & EDDY, 2003).

Tabelle 2.5: Einwohnerspezifische Frachten des häuslichen Abwassers

Quelle	VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005)	UJANG und HENZE (2006)	HOSANG und BISCHOF (1998); GUJER (2007); PÖPPINGHAUS et al. (1994)
Verseuchende Stoffe	Typische Werte für Entwicklungsländer [g/(E·d)]	Typische Werte für Entwicklungsländer [g/(E·d)]	Typische Werte für Deutschland [g/(E·d)]
AFS	60	–	70
BSB ₅	50	15 - 80	60
CSB	100	25 - 200	120
N _{ges}	8	–	11
N _{org}	3,5	–	4
NH ₄ -N	4,5	–	7
P _{ges}	1,0	1 - 3	1,8

In ländlichen Regionen sind die BSB₅-Frachten verglichen mit den städtischen wesentlich kleiner, die BSB₅-Konzentrationen jedoch aufgrund des geringen Wasserverbrauchs höher. Mit dem Wasserverbrauch ist an dieser Stelle der häusliche Pro-Kopf-Wasserverbrauch gemeint. Wird ein sehr hoher Wasserverbrauch verzeichnet, so liegt dies meist in der Beregnung landwirtschaftlich genutzter Flächen begründet.

Für die Dimensionierung von Abwasserbehandlungsanlagen muss die Situation vor Ort im Einzelfall betrachtet werden. Literaturangaben sind kritisch zu hinterfragen und müssen aufgrund der infrastrukturellen Veränderung neu recherchiert werden. In städtischen Räumen und Ballungszentren mit relativ hohem Einkommen können jedoch ähnliche Wasserverbräuche und Frachten wie in Industrieländern der gemäßigten Klimazone angenommen werden.

2.3 Reinigungsziele

Eine weitere Rahmenbedingung bilden die an den Ablauf einer Kläranlage gestellten Anforderungen. Während in Deutschland neben der Kohlenstoff- auch die Nährstoffentfernung im Vordergrund steht, ist in den meisten betrachteten Ländern die BSB₅-Reduktion, die Entfernung von pathogenen Keimen und der nahezu vollständige Rückhalt von Wurmeiern entscheidendes Ziel der Reinigung. Unterschieden wird, ob das gereinigte Abwasser wiederverwendet wird, versickert wird oder der Ablauf in ein Gewässer eingeleitet wird. Dementsprechend sind unterschiedliche Parameter und deren Konzentrationen ausschlaggebend. So ist beispielsweise die Entfernung von Nährstoffen saisonal nicht unbedingt erforderlich, da diese als Dünger in der Landwirtschaft wieder verwendet werden können (WHO, 2006).

Auch für industrielle Zwecke wird gereinigtes Abwasser wieder verwendet, doch steht die Nutzung zur Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen und die Fischzucht in Abwasserteichen im Mittelpunkt. Die Nutzung der Gewässer in warmen Regionen ist aufgrund der begrenzten Wasserressourcen vielseitiger. Das Wasser wird zum Kochen, Waschen, Baden und teilweise sogar zum Trinken genutzt. 80 % der Krankheiten in Entwicklungsländern entstehen aus der Nutzung kontaminierten Wassers; eine ausreichende Entfernung pathogener Organismen ist daher für die Gesundheit der Bevölkerung obligatorisch.

2.3.1 Wiederverwendung häuslichen und kommunalen Abwassers

Es wird erwartet, dass in 50 Jahren mehr als 40 % der Bevölkerung in Ländern mit Wasserknappheit leben werden (WHO, 2006). Durch die Zuwachsrate der Städte wird der Bedarf an Trinkwasser dort größer und es zeichnet sich ein zukünftiger Wettbewerb zwischen den Städten und der Landwirtschaft bezüglich der Wassernutzung ab. Die Wasserknappheit, die hohen Kosten für die Entwicklung neuer Wasserversorgungstechnologien und der Gehalt an Nährstoffen sind die Hauptgründe für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung und somit die Wiederverwendung von Wasser (MARA, 1976). So gewinnen die Bewässerung in der Landwirtschaft und von öffentlichen Grünflächen, sowie die Nutzung von Abwasser in der Fischzucht, besonders in Ländern mit ariden Klimaten, zunehmend an Bedeutung. In Israel werden beispielsweise zwei Drittel des wieder verwendeten kommunalen Abwassers (70%) zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen genutzt (WEBER und JUANICÓ, 2004; WHO, 2006; STRUMINSKI, 2007).

Aufgrund der zunehmenden Wasserknappheit werden im Hinblick auf eine Wasserwiederverwendung besondere Anforderungen an die Reinigungsleistung von Abwasserbehandlungsanlagen gestellt. So ist beispielsweise die weitgehende Entfernung pathogener Organismen in vielen Ländern obligatorisch, während eine Stickstoffentfernung hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzung nicht erwünscht ist. Wird das behandelte Abwasser hingegen in ein Gewässer eingeleitet, werden auch Anforderungen bezüglich einer weitgehenden Stickstoffelimination gestellt.

Mit der Nutzung von Abwasser sind zahlreiche Risiken verbunden. Eine Vielzahl pathogener Organismen überlebt im Abwasser, im Boden und in der Saat, sodass sie später vom Menschen aufgenommen werden. In Tabelle 2.6 sind die wichtigsten Krankheiten und deren Übertragungswege nach WAGNER (2005) aufgeführt.

Tabelle 2.6: Mit der Nutzung von Abwasser verbundene Krankheiten und deren Übertragungswege (WAGNER, 2005)

Pathogene Organismen	Krankheit	Übertragungsweg
Viren	Rotavirus Hepatitis A	Im Haus, von Person zu Person
Bakterien	Salmonellen Cholera	Im Haus, von Person zu Person, Wasser, Fäkalien, Feldfrüchte
Protozoen	Entamoeba histolytica	Im Haus, von Person zu Person
Helminthen	Ascaeris lumbricoides	Felder, Böden, Feldfrüchte

Der Gehalt an Wurmeiern (Helminthen) im Abwasser beträgt normalerweise 10 - 10² Eier/l, bei schlechten sanitären Verhältnissen 10 bis 1000 Eier je Liter. Nach WHO (2006) darf der Ablauf nicht mehr als 1 Wurmei bei punktueller Bewässerung enthalten. Sind Kinder unter 15 Jahren an der Feldarbeit beteiligt, so ist dieser Wert auf 0,1 Wurmei herabzusetzen.

In vielen Ländern, insbesondere in Entwicklungsländern, wird das Abwasser zur Bewässerung unzureichend gereinigt. Nach WHO (2006) liegt der Prozentsatz des wirkungsvoll gereinigten Abwassers in Lateinamerika bei nur 14 % und in Europa bei 66 %. Um dieses potenzielle Gesundheitsrisiko zu senken, werden Richt- und Grenzwerte für die Wiederverwendung von Abwasser festgesetzt.

Die Nutzung zur Bewässerung in der Landwirtschaft bildet einen besonderen Aspekt bei der Wahl eines geeigneten Behandlungsverfahrens. Der gesundheitliche Schutz von Arbeitern, Verbrauchern und der Öffentlichkeit soll stets gewährleistet sein. Es ist daher zu überprüfen, wie gut sich die jeweilige Technologie als Vorstufe zur Wiederverwendung eignet. Pathogene Organismen werden durch Desinfektion, Sedimentation und Filtration entfernt, weshalb konventionelle Belebungsanlagen mit einer Filtrations- und Desinfektionsanlage zu kombinieren sind. Die Entfernung mikrobiologischer Parameter wird thematisch im Kernprojekt B behandelt. Im Kernprojekt A wurden im Teilprojekt A5 (Abwasserteiche) Versuche zur Abwasserdesinfektion mittels UV-Bestrahlung durchgeführt und mit dem Verbundprojekt „Dezentrale Verwertung von Rohabwasser aus der Kanalisation zur Grünflächenentwicklung in ariden Stadtgebieten“ zusammengearbeitet.

Richt- und Grenzwerte für die Wiederverwendung von Abwasser

Viele Länder orientieren sich an den Regelwerken der USA und den Empfehlungen der WHO. Diese können jedoch nur als Basis dienen, da sie nicht die lokalen Umweltbedingungen dieser Regionen repräsentieren. Um diese zu berücksichtigen, müsste jedes Land seine eigenen Standards herausarbeiten. Da die Erforschung dieser aber für Entwicklungsländer zu kosten- und zeitintensiv ist, werden oft Richtlinien von Ländern mit ähnlichen Klimaten und Umweltbedingungen übernommen. Dies führt häufig zur Nutzung unpassender Technologien. Die Anpassung der Standards sollte daher schrittweise anhand der örtlichen Gegebenheiten erfolgen (UJANG und HENZE, 2006).

Die neue Richtlinie der WHO (2006) *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 2* gibt für unterschiedliche Anwendungen und Bewässerungstechniken Orientierungswerte vor und ist für viele Länder wegweisend. Die Richtwerte sind so festgelegt, dass sie gut mit unbelüfteten Teichen in lateinamerikanischen und mediterranen Ländern erreicht werden können. Strengere Anforderungen stellt beispielsweise die *US-EPA (US-Environmental Protection Agency)* auf, an denen sich ebenfalls zahlreiche Länder orientieren (ORTH, 2005; WAGNER, 2005); noch strengere legen die *California Water Recycling Criteria* fest (METCALF & EDDY, 2003). Während sich weniger entwickelte Länder an den Richtwerten der WHO orientieren, werden in einigen Staaten an der Golfküste, wie den Vereinigten Arabischen Emiraten, strengere Grenzwerte, z.B. die der *California Water Recycling Criteria* festgelegt. Weiterentwickelte Länder haben meist konventionelle Abwasserbehandlungsanlagen, wie Belebungsanlagen mit Filtern oder Membranen, die relativ hohe Eliminationsraten erzielen und somit strengere Grenzwerte einhalten können. Grenzwerte sind also ebenfalls im Hinblick auf die möglichen Technologien sinnvoll festzulegen.

Detaillierte Ausführungen zur „Wasserwiederverwendung und Desinfektion“ sind Kernprojekt B zu entnehmen.

2.3.2 Einleitung in Gewässer

Die zunehmende Bevölkerung und die wachsende Wirtschaft in den Ballungszentren verschlechtern zunehmend den Zustand der Gewässer in anderen Ländern. Viele Städte beispielsweise an der Küste Südamerikas leiten ungeklärte Abwässer direkt in die Meere. Es wird geschätzt, dass 250 m³/s Abwasser von den Ländern Lateinamerikas und der Karibik ohne Reinigung eingeleitet werden (WAGNER, 2005). Dies führt zu einer starken Belastung der Umwelt, besonders der Strände, und birgt hohe Risiken für deren Nutzer. Auch in Marokko sind die Flüsse durch direkte Abwassereinleitungen derart verschmutzt, dass dieses Wasser nicht zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen genutzt werden kann (BMZ, 2007; FIW, 2006; KFW Entwicklungsbank, 2008). Heute kann und wird die

Situation zunehmend durch den Bau von Abwasserbehandlungsanlagen und die Einführung von Ablaufgrenzwerten verbessert.

Standardwerte für das Einleiten in ein Gewässer

Anforderungen und Richtlinien für die Einleitung in ein Gewässer variieren von Land zu Land. Es ist nach dem Immissionsprinzip vorzugehen, damit die Qualität des jeweiligen Gewässers berücksichtigt wird. Die einzuhaltenden Grenzwerte für den Ablauf dienen lediglich der Praktikabilität und Kontrolle. Obwohl sich viele Entwicklungs- und Schwellenländer an Empfehlungen (Standards, Grenzwerte oder Meßmethoden) internationaler Organisationen (z. B. US-EPA, WHO etc.) orientieren, wird in vielen dieser Länder bisher lediglich die Forderung nach einer Kohlenstoffelimination mit eventuell zusätzlicher Desinfektion erhoben (ORTH, 2005). Die Grenzwerte können bei den zuständigen Behörden ermittelt werden. Für die vom ISA ausgewählten Länder sind diese den jeweiligen Länderstudien zu entnehmen, falls gesetzliche Vorgaben existieren.

Tabelle 2.7 zeigt mögliche Ablaufgrenzwerte, die in der Untersuchung VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005) zusammengestellt sind.

Tabelle 2.7: Mögliche Ablaufgrenzwerte für Kläranlagen (VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO, 2005)

Parameter	Einleitung in:	Anforderung an den Kläranlagenablauf in [mg/l]		
		Weniger streng	Streng	Sehr streng
BSB ₅	Jedes Gewässer	60	20 - 30	10
CSB	Jedes Gewässer	200	100 - 150	50
AFS	Jedes Gewässer	60	20 - 30	10
N _{ges}	Empfindliche Gewässer	–	10 - 15	10
P _{ges}	Empfindliche Gewässer	–	1 - 2	1

Zum Vergleich werden die Werte der Richtlinie des Europäischen Rates vom 21. Mai für die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) L135 vom 30.5.1991, S. 40 in Tabelle 2.8 herangezogen.

Tabelle 2.8: Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen (Auszug aus: RICHTLINIE DES RATES 91/271/EWG, 1991)

Parameter	Konzentration ²⁾	Prozentuale Mindestverringierung ²⁾	Anmerkung
	[mg/l]	[%]	
BSB ₅ ¹⁾	25	70 - 90	–
CSB	125	75	–
AFS	35	90	> 10.000 EW
	60	70	2.000 - 10.000 EW
	150	–	ungefilterte Probe aus Abwasserteichen
N _{ges}	10	70 - 80	> 100.000 EW
	15	–	10.000 - 100.000 EW
P _{ges}	1	80	> 100.000 EW
	2	–	10.000 - 100.000 EW

¹⁾ Die Referenzmessverfahren sind der Richtlinie zu entnehmen; die Analysen von Einleitungen aus Abwasserteichen sind an gefilterten Proben auszuführen

²⁾ Anzuwenden sind die Konzentrationsgrenzwerte oder die prozentuale Mindestverringierung

In Europa werden die Ablaufanforderungen in Abhängigkeit der Einwohnerwerte der jeweiligen Kläranlage bestimmt. Je größer der Einwohnerwert ist, desto größer ist die organisch-biologisch abbaubare Belastung und desto schärfer sind die Anforderungen an Ablaufgrenzwerte.

3 Planung der Abwasserbehandlung unter anderen Rahmenbedingungen

3.1 Grundlagenermittlung

Allgemein ist es schwierig, plausible Informationen zu Bemessungsgrundlagen zu bekommen. Häufig existieren hierzu keine oder nur wenige Angaben, die sich in vielen Fällen als falsch herausstellen. Als Informationsgrundlage können Informationen von Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen in den betrachteten Ländern dienen, ebenso wie Ergebnisse aus Forschungsprojekten. In Deutschland sind zudem Berichte von regierungsnahen Institutionen zur Wirtschaftsförderung verfügbar, die sich den örtlichen Gegebenheiten in möglichen Exportländern widmen (vgl. Tabelle 4.1, Seite 28).

Für die Dimensionierung von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen müssen zunächst die klimatischen Gegebenheiten berücksichtigt werden, da die Abwassertechnik sowohl für gemäßigte Temperaturen als auch für tropische Temperaturen angepasst werden muss. Hierzu lassen sich aus KALAGO und VERSTRAETE (2001), LETTINGA (2001) und VON SPERLING UND DE LEMOS CHERNICHARO (2005) Beispiele und Bemessungsgrundlagen entnehmen. Die Abwasserzusammensetzung variiert mit dem Wasserverbrauch, dem Niederschlag, der Region, dem Anschlussgrad, den einwohnerspezifischen Frachten im Abwasser und der Ausbauart des Kanalsystems. Typische Werte für die Komponenten unterschiedlicher Abwassertypen finden sich in HENZE und LEDIN (2001).

Zu den entscheidenden Bemessungsgrößen gehört auch die Siedlungsgröße. Für sehr kleine Gemeinden gelten verständlicherweise andere Bemessungsgrundlagen als für Agglomerationen mit mehreren Millionen Einwohnern. Zur Implementierung eines Abwasserbehandlungssystems sollte auch die Berücksichtigung der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung und der Entwicklung der ansässigen Industrie gehören. Es muss evaluiert werden, wie viel Land zur Verfügung steht und wie die Klärschlamm Entsorgung organisiert werden kann. Bei der Auswahl des geeigneten Abwasserbehandlungssystems sollte berücksichtigt werden, ob die Abwasserqualität, die unter den lokalen Bedingungen mit den gewählten Parametern zu erreichen ist, den Anforderungen an die Qualität des gereinigten Abwassers übereinstimmt. Bei der Installation eines Abwasserbehandlungssystems sollte in erster Linie die Verbesserung der Gesundheit der Bevölkerung und der Schutz der aquatischen Umwelt vor Verschmutzung stehen. Außerdem sollte evaluiert werden, welche finanziellen Möglichkeiten für die Abwasserreinigung zur Verfügung stehen. (HORAN, 2001)

Die Stoffgruppen, die sich aus Abwasser entfernen lassen, sind nach HORAN (2001) typischerweise:

1. Organisches Material (angegeben als CSB oder BSB)
2. Schwebstoffe
3. Ammonium
4. Nitrat
5. Phosphat
6. Schwermetalle
7. Fäkalkoliforme
8. Wurmeier

In jedem Fall sollten die Stoffe der Kategorie 1 und 2 entfernt werden, beim Einsatz des Abwassers zur Bewässerung auch die von 6, 7 und 8. Bei Einleitung in Gewässer, die zu Eutrophierung neigen, sollten ebenfalls die Stoffe aus Kategorie 3, 4 und 5 reduziert werden (HORAN, 2001). Natürlich müssen die rechtlichen Grundlagen hinsichtlich der Einleitgrenzwerte der betreffenden Länder einbezogen werden. Für neu anzuschließende Gebiete ist eine Optionsanalyse erforderlich, ob eine zentrale oder dezentrale Lösung im Vordergrund stehen sollte. Gerade in Entwicklungsländern ist es häufig nicht möglich, alle Siedlungsstrukturen in zentrale Entwässerungssysteme einzubinden. Hier sind Anbieter dezentraler Lösungen mit möglichst einfacher Technik im Vorteil (ANGELAKIS, 2001). Ein Ziel sollte sein, nicht nur die in gemäßigten Klimaregionen zum Einsatz kommenden Abwasserbehandlungsverfahren anzupassen, sondern besonders neue Techniken bzw. die Erweiterung bestehender Techniken vor Ort voranzutreiben.

3.2 Einsatz aerober Abwassertechnologien in anderen Ländern

3.2.1 Ergebnisse der Teilprojekte in Kernprojekt A

Im Rahmen der einzelnen Teilprojekte in Kernprojekt A sind verschiedene Techniken zur Abwasserbehandlung intensiven wissenschaftlichen Untersuchungen unterzogen worden. Im Fokus stand beispielsweise die Frage, wie sich in Deutschland bewährte Technologien in anderen Ländern unter veränderten klimatischen und technischen Randbedingungen implementieren lassen.

Ein Parameter, der naturgemäß großen Einfluss auf die Bemessung bzw. den Betrieb von Kläranlagen hat, ist die Abwassertemperatur. Die hierzu durchgeführten Untersuchungen bei Belebungsanlagen in Teilprojekt A1 haben beispielsweise aufgezeigt, wie sich das Bemessungsschlammalter unterhalb von 12°C bzw. oberhalb von 20°C verhält. Die resultierenden Werte weichen deutlich von denen ab, die sich bei einer Extrapolation der Empfehlungen des DWA-Arbeitsblattes A 131 ergeben würden. Durch die Zugabe von Aufwuchskörpern kann das aerobe Mindestschlammalter sehr stark gesenkt werden. Für

den Schlammindex wird die Beibehaltung der Erfahrungswerte aus dem mittleren Temperaturbereich vorgeschlagen. Die Zudosierung von externem Kohlenstoff ist für eine gute Denitrifikationsleistung bei hohen Abwassertemperaturen ggf. notwendig. Hohe Salzgehalte verringern den Abbau für CSB und Ammonium, so dass ab Salzgehalten von 3 g/l Abbauversuche durchgeführt werden sollten.

Von zentraler Bedeutung für ein funktionsfähiges Abwasserreinigungsverfahren ist der Eintrag von Sauerstoff, der in Teilprojekt A2 untersucht wurde. Zur Berechnung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr bei Belebungsanlagen sollte der Ansatz nach Pöpel/Wagner gewählt werden, da hier die Wassertemperatur sowie die Druckverhältnisse berücksichtigt werden. Hinsichtlich der Anzahl der benötigten Belüftungselemente muss bei niedrigen Wassertemperaturen darauf geachtet werden, dass es bei niedriger erforderlicher Sauerstoffzufuhr nicht zu Durchmischungsproblemen kommt. Bei hohen Wassertemperaturen (hohen Luftvolumenströme) muss hingegen geprüft werden, ob die notwendige Anzahl an Belüftungselementen technisch sinnvoll im Belebungsbecken untergebracht werden kann. Herstellerangaben sind zu beachten bzw. idealerweise sind Hersteller von Belüftungssystemen frühzeitig in Planungen einzubeziehen.

Bei Tropfkörperverfahren (Teilprojekt A3.1) dürfen die bisherigen mathematischen Modellansätze zur Einschätzung des Temperatureffekts nur bedingt verwendet werden. Eine falsche Dimensionierung ist nicht auszuschließen. Ein langfristiger Betrieb des Tropfkörpers unter hohen Raumbelastungen führt mit den relativ niedrigen vorgegebenen Spülkräften des DWA-Arbeitsblattes A 281 zu Verstopfungen und Beeinträchtigung der Belüftung. Da die Überschussschlammproduktion mit steigender Raumbelastung zunimmt, ist es empfehlenswert, die Bemessung der Nachklärung in Bezug auf die Schlammvolumenbeschickung vorzunehmen. Obwohl Tropfkörper i.d.R. keine Energie für die Belüftung benötigen, kann der Energieaufwand für die Rezirkulation und für die Wasserhebung bei Schwachlasttropfkörpern im Einzelfall relativ hoch sein. Hochlasttropfkörper erfordern eine kleinere Menge an Rezirkulation bzw. können ggf. ohne Rezirkulation betrieben werden, so dass ein geringerer Energieverbrauch zu erwarten ist.

Auch auf die Reinigungsleistung von Scheibentauchkörpersystemen haben Abwassertemperaturen über 12°C einen gravierenden Einfluss. Es konnte in Teilprojekt A4.1 gezeigt werden, dass bei Abwassertemperaturen zwischen 20 und 30°C deutlich höhere flächenbezogene Umsatzleistungen erzielt werden können als bei einer Abwassertemperatur von 12°C, die in europäischen Richtlinien als Bemessungstemperatur herangezogen wird. Somit kann die Scheibenfläche, dem Reinigungsziel entsprechend, reduziert bzw. bei modular vorgefertigten Scheibentauchkörpern die Scheibenbelastung entsprechend erhöht werden. Es wurde eine Bemessungsempfehlung erarbeitet, die sich

auf drei-kaskadige Scheibentauchkörper bezieht. Bei Scheibentauchkörpersystemen ist eine zuverlässige Vorbehandlung und Vorklärung des zufließenden Abwassers unerlässlich, um die Gefahr von Verstopfungen zu vermeiden. Die Dimensionierung der Nachklärung von Scheibentauchkörpern sollte in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 281 erfolgen. In außereuropäischen Ländern existieren keine Vorbehalte gegenüber dem alleinigen Einsatz von Lamellenseparatoren.

Bei getauchten Festbetten (Teilprojekt A4.2) nimmt die Umsatzgeschwindigkeit der für den Kohlenstoff-Abbau verantwortlichen heterotrophen Mikroorganismenbiofilme mit der Abwassertemperatur zu. Allerdings kann die Nutzung dieses Potentials über die von der DWA vorgeschlagene Beladung hinaus im Regelfall nicht empfohlen werden, da dann die Verstopfungsanfälligkeit der Aufwuchskörper deutlich zunimmt. Ist eine Stickstoff-elimination größer 50% notwendig, sollte dem getauchten Festbett ein anoxisches Schwebebett als Denitrifikationsstufe vorgeschaltet werden. Eine zuverlässige Phosphorelimination kann durch chemische Fällung erreicht werden, die nachgeschaltet erfolgen sollte, um den Festbettreaktor nicht unnötig mit Feststoff zu belasten. Zu beachten ist weiterhin, dass sich der Biofilm für den heterotrophen Kohlenstoff-Abbau deutlich schneller entwickelt als der Nitrifikantenbiofilm. Da es keine genormten Verfahren zur Berechnung der Oberflächen gibt, kann jeder Hersteller seine individuelle Methode anwenden. Bewertungsfehler können somit nur vermieden werden, wenn nicht nur die Flächenangaben sondern auch die Methodik der Berechnung geprüft wird und vergleichbar ist.

Vor allem in Schwellen- und Entwicklungsländern stellen Abwasserteiche einen sehr großen Anteil aller Abwasserreinigungsanlagen dar (Teilprojekt A5). Ein Veto-Kriterium für die Errichtung eines Teiches bildet allerdings die Außentemperatur: Sind eine Nitrifikation oder hohe Abbauraten gefordert, darf die Abwassertemperatur über längere Zeiträume nicht unter 12°C absinken. In Umgebungen mit hohen Temperaturen würde der konstante empirische Bemessungsansatz des DWA-Arbeitsblattes A 201 zu einer signifikanten Überbemessung führen. Grundsätzlich gilt, dass die Berechnung von Abwasserteichanlagen schwieriger durchzuführen ist als Technologien, die unter kontrollierten Randbedingungen arbeiten. Demzufolge sind höhere Bemessungsreserven anzusetzen. Weiterhin haben regionale Randbedingungen (z.B. Monsun, längere Unterbrechung der Stromversorgung) einen größeren Einfluss auf Bemessung und Gestaltung von Abwasserteichanlagen als die Frage, welche Flächenbelastung o.Ä. genau gewählt wird. Es darf dabei aber nicht unterschätzt werden, dass auch bei Teichanlagen ein Mindestmaß an Schulung der Mitarbeiter und Kontrolle erforderlich ist.

Von den in Deutschland bewährten Bemessungsansätzen muss in anderen Ländern zum Teil deutlich abgewichen werden. Welches Verfahren vor Ort zur Abwasserreinigung eingesetzt wird, ist im Einzelfall zu prüfen und auf die spezifischen Anforderungen

abzustimmen. Hierzu gehören z. B. die Forderung der Nährstoffelimination oder die Reduzierung der mikrobiologischen Belastung. Aber auch die verfügbaren personellen, materiellen und finanziellen Ressourcen sind in die Bewertung einer Verfahrensauswahl mit einzubeziehen.

3.2.2 Membrantechnologie

Der Einsatz von Membrantechnik dient vor allem in asiatischen Ländern in vielen Fällen der Aufbereitung von Wasser zu Trinkwasser. Es gibt kaum Trinkwasserversorgungsnetze wie in Europa, so dass dezentrale Aufbereitungssysteme gebraucht werden, die sich vor allem durch eine gute Wasserqualität, eine hohe Versorgungsstabilität und niedrige laufende Kosten auszeichnen (SARTOR ET AL., 2008).

Das Trinkwasser wird in vielen Fällen aus Oberflächenwasser oder Regenwasser gewonnen. Insbesondere in die Oberflächengewässer wird wegen mangelnder Abwasserbehandlungskapazitäten häufig ungereinigtes Abwasser eingeleitet, so dass keine scharfe Trennung zwischen Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung gemacht werden kann, wie dies in Deutschland bzw. Europa der Fall ist. (SARTOR ET AL., 2008)

Gleichermaßen für Trinkwasser und Abwasser gilt, dass die biologische Aktivität insbesondere in tropischen Ländern höher als in gemäßigten Klimazonen ist. Dadurch kommt es zu erhöhtem Wachstum von Algen und Mikroorganismen. Der Gesamtkohlenstoff in Oberflächengewässern beträgt bis zum Doppelten des Wertes, der in europäischen Gewässern gemessen wird. Die hohe biologische Aktivität führt zu verstärkten Problemen mit Fouling an Membranoberflächen, was in verschiedenen Studien sowohl für die Trinkwasseraufbereitung als auch die Abwasserreinigung beobachtet wurde. Dem verstärkten Fouling muss durch die Herabsetzung des Membranflux, durch regelmäßige Reinigung der Membranoberfläche oder Ozonierung des zulaufenden Wassers entgegen gewirkt werden. (JEFFERSON ET AL., 2001; SARTOR ET AL., 2008)

Der Aufbau einer Membrananlage muss im Einzelfall genau an die klimatischen Rahmenbedingungen, die Zusammensetzung des Abwassers und die zu erzielenden Reinigungsgrade angepasst werden. Verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Membrantechnik insgesamt beschreibt und bewertet UNEP (2008).

Ein Beispiel für eine gelungene Umsetzung zur Aufbereitung von überwiegend kommunalem Abwasser zu industriellem Brauchwasser unter tropischen Bedingungen in Singapur liefert QIN et al. (2009). In einer Pilotanlage wurde ein Belebtschlammverfahren mit einem Durchfluss von 23.000 m³/d und nachgeschaltetem Membranbioreaktor getestet. Die Versuchsanlage wurde kontinuierlich 24 Stunden am Tag betrieben. Nach einigen Wochen Betrieb musste die Membranoberfläche mechanisch von Verblockungen

befreit werden. Es ergaben sich Betriebsprobleme durch verstärktes Fouling in Folge des Ausfalls von Sauerstoffeinblasung. Insgesamt zeigten sich die biologischen Prozesse aber als stabil. Die angestrebten Werte für eine industrielle Wiedernutzung des gereinigten Abwassers konnten eingehalten werden.

3.2.3 Dezentrale Verfahren

Der überwiegende Anteil des anfallenden Abwassers weltweit wird unbehandelt in die Umwelt abgeleitet. Dies liegt unter anderem an den hohen Kosten, die für die zentrale Abwasserbehandlung anfallen, die vor allem in den Industrieländern installiert ist. Selbst für den Fall, dass die Investition vollständig aus dritter Hand getätigt würde, kann sich die Bevölkerung bei einem Bruttosozialprodukt von 1.000 US-\$ pro Kopf und Jahr die laufenden Kosten für die Anlagen nicht leisten (GRAU, 1994). Die Funktionsfähigkeit der Systeme ist nur gewährleistet, wenn genügend Energie, Steuerungstechnik und geschultes Personal zur Verfügung stehen. Außerdem bieten große, zentrale Ver- und Entsorgungssysteme Angriffsflächen für Sabotageakte oder eignen sich als militärische Angriffsziele. (LETTINGA ET AL., 2001)

In den vergangenen Jahren wurde daher der Fokus für die Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung insbesondere in Entwicklungsländern auf dezentrale Systeme gelegt. Diese berücksichtigen oftmals nicht nur die Abwasser-, sondern auch die Abfallentsorgung. Häufig werden bei dezentralen Konzepten Verfahren kombiniert, die eine Kreislaufführung oder (Teil-)Wiederverwendung von Stoffströmen ermöglichen. Hierzu gibt es eine Vielzahl von Projekten unterschiedlicher technologischer Entwicklungsstufen. Auch der Umgang mit Nebenprodukten wie nährstoffhaltigen Stoffströmen ist in die Planungen einzubeziehen. Hierzu liefern CLEMENS und ARNOLD (2008) einige Ansätze. Wichtig ist ebenfalls die Anpassung an örtliche Gegebenheiten, sowohl klimatischer, wirtschaftlicher als auch kultureller Art. Der Vorteil dezentraler Systeme für den Exporteur ist, dass sie häufig in vielen Regionen anwendbar sind und je nach Dimensionierung in großen Stückzahlen abgesetzt werden können. Es gibt derart vielfältige, bereits erprobte Konzepte, dass an dieser Stelle nur eine Auswahl erwähnt werden kann. In jedem Fall muss der Anwendungszweck klar definiert und die örtlichen Gegebenheiten genau untersucht werden.

Einen Ansatz für extrem wasserarme Regionen liefert das "Kommunale Wasserhaus", das in Südafrika umgesetzt wurde. Es ist für bis zu 800 Bewohner einer ganzen Siedlungseinheit ausgelegt. Wasser wird hier nutzungsbezogen eingesetzt: Nur zum Trinken und Kochen wird Trinkwasser verwendet, für alle anderen Zwecke Brauchwasser, z.B. für Waschmaschinen und Duschen. Brauchwasser, das nicht ausreichend aufbereitet werden kann, wird für die Toilettenspülung eingesetzt. Auf diese Weise wird das pro Kopf zur Verfügung stehende Wasservolumen doppelt genutzt. An der Konzeption und

Umsetzung des Wasserhauses waren auch deutsche Unternehmen beteiligt. Sie haben hierfür Solarmodule zur Wasserförderung und -erwärmung, Anlagen zur Grauwasserbehandlung und Trinkwasserreinigung sowie Komposttoiletten exportiert. (SOYEZ, 2008)

Vor einer besonderen Situation stehen touristisch stark erschlossene Gebiete. Insbesondere Luxusferienanlagen passen sich nicht in die örtliche Infrastruktur ein. KRANERT et al. (2006) stellen ein geschlossenes System für Ferienanlagen vor, das Abwasser- und Abfallmanagement nachhaltig ermöglicht. Zu diesem Zweck wurde eine Membranbelebungsanlage installiert, über die das Abwasser des Hotels gereinigt wird (40 m³/d). Das Permeat wird mit organischem Abfall aus der Küche und Grünschnitt vergoren, die dabei entstehende Wärme und elektrische Energie wird vor Ort genutzt.

Eine Vielzahl von dezentralen Konzepten und Umsetzungsbeispielen insbesondere in Entwicklungsländern findet sich in LENS et al. (2001).

Nach einer ausführlichen Bestandsaufnahme der örtlichen Gegebenheiten steht die Auswahl des zu installierenden Systems. Auf die Schwierigkeit der Implementierung von dezentralen Verfahren insbesondere in Megacitys und die Abgrenzung von zentralen, semizentralen und dezentralen Anlagen weist CORNEL (2008) hin. Vor der Installation eines Systems sollten die verschiedenen Alternativen erwogen werden. Dabei sollten Umsetzbarkeit, die dauerhafte Einhaltung hygienischer Standards und die Kosten im Vordergrund stehen. Zu den Kosten zählen insbesondere auch die Aufwendungen für den Energiebedarf eines Systems.

4 Zielmarktanalyse

4.1 Erschließung internationaler Märkte

Bei der Erschließung neuer Märkte sollte eine umfassende Informationsbeschaffung am Anfang stehen. Hierbei sollten sowohl klimatische Gegebenheiten als auch die rechtliche, politische und wirtschaftliche Situation in einem potenziellen Exportland recherchiert werden. Die Mentalität von Kunden und Handelspartnern muss ebenfalls in die Planungen einbezogen werden, was im Abwassersektor insbesondere bei der Wiedernutzung von Abwasser wichtig ist, da hygienisches Empfinden kulturell geprägt ist. Ebenso wichtig sind soziale Aspekte, wie die Akzeptanz von Entwässerungssystemen und das Verständnis der Bedeutung von Abwasserreinigung. Auch die soziale Struktur und Organisation der Bevölkerung kann von zentraler Bedeutung bei der Errichtung eines Abwassersystems sein. (WEGELIN-SCHURINGA, 2001)

Als Informationsquelle können die Berichte von Germany Trade & Invest, iXPOS und des Auswärtigen Amtes genutzt werden (vgl. Tabelle 4.1). Zur Datenrecherche eignen sich ebenso einheimische Quellen von Regierungen und Nichtregierungsorganisationen, die u.a. über das Internet verfügbar sind, und Quellen von supranationalen Organisationen wie den Vereinten Nationen. Insbesondere sollten die laufend erfassten Daten des "Millennium Development Goal-Indicators" ausgewertet werden. Hier werden unter anderem Hinweise darauf gegeben, wie hoch der Anteil der Menschen ist, die einen Zugang zu sauberem Trinkwasser haben, sowie der Anteil derjenigen, die einen Zugang zu geeigneten Sanitäranlagen haben. Zur Analyse von Auslandsmärkten kann auch auf zahlreiche Dienstleistungsanbieter zurückgegriffen werden, die unter anderem über die Auslandshandelskammern gefunden werden können (vgl. Tabelle 4.1). Bei eigenen Recherchen sind Mitarbeiter mit den entsprechenden Sprachkenntnissen hilfreich, insbesondere, wenn sie aus dem betreffenden Land stammen.

Die zusammengestellten Informationen sollten frühzeitig auf ihre Plausibilität hin überprüft und mit den zuständigen Behörden abgesprochen werden. Es ist wichtig, diese Absprachen schriftlich festzuhalten, da die Finanzierungsbehörde die Eingangsparameter für ein Vorhaben überprüft. Obwohl die Finanzierungsbehörde nicht der Auftraggeber ist, obliegt es ihrer Kontrolle, dass sinnvolle Planungen entstehen. Es ist daher wichtig, sie frühzeitig in den Planungsprozess einzubeziehen und ihre Erwartungen und Anforderungen genau zu analysieren.

Beim Export von Produkten müssen die technischen Voraussetzungen im Hinblick auf die landesspezifischen Vorgaben sowie Einfuhrbestimmungen geprüft werden. Informationen hierzu können über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle und die Market Access Database der EU-Kommission bezogen werden. Die Kommunikation sollte mindestens auf Englisch, im besten Fall in der Landessprache erfolgen. In vielen Ländern

sind Englischkenntnisse nicht ausreichend. Die Zusammenarbeit mit einheimischen Handelsvertretern ist hier besonders hilfreich. Für die Geschäfts- und Vertriebspartnersuche eignen sich unter anderem das Online-Portal e-trade-center und die Auslandshandelskammern (vgl. Tabelle 4.1).

Innerbetrieblich sollte vor Beginn des Auslandsgeschäfts geklärt werden, welche Ressourcen dafür zur Verfügung stehen. Dabei sind zentrale Fragen, ob genügend Zeit für die systematische Beschäftigung vorhanden ist, die Bereitschaft zu Auslandsreisen und -aufenthalten besteht und ob im Falle einer erhöhten Nachfrage ausreichend Kapazitäten in der Produktion, Planungsabteilung etc. zur Verfügung stehen. Ebenso muss geklärt werden, in welcher Form das Geschäft gestaltet werden soll: Als Kooperation mit einem weiteren Unternehmen, in Form einer Handelsvertretung, als Franchising oder Direktinvestition. (IHK BAYERN, 2009)

Es empfiehlt sich der Besuch von oder die Teilnahme an Auslandsmessen. Vom Bund und den Ländern geförderte Messen finden sich im "Auslandsmesseprogramm der Bundesregierung" des Ausstellungs- und Messeausschusses der Deutschen Wirtschaft (vgl. Tabelle 4.1).

Weitere Unterstützung kann vom Deutschen Industrie- und Handelskammertag (DIHK) und den Deutschen Auslandshandelskammern weltweit (AHK) angefordert werden. Für den Fall, dass Mitarbeiter ins Ausland gehen, liefert das Bundesverwaltungsamt die notwendigen Informationen für eine Auswanderung in Bezug auf Arbeits-, Sozial-, Ehe-, Familien- und Steuerrecht (vgl. Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Organisationen zur Unterstützung einer außenwirtschaftlichen Tätigkeit

Organisation	Aufgaben und Ziele	Kontakt
AUMA – Ausstellungs- und Messeausschuss der Deutschen Wirtschaft e.V.	Information zu ausländischen Messen Koordiniert deutsche Messeaktivitäten im Ausland	www.auma.de
Auswärtiges Amt	Aktuelle Landes- und Sicherheitsinformationen Kontaktadressen der Botschaften und Vertretungen der Bundesrepublik Deutschland weltweit	www.auswaertiges-amt.de
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	Zuständig für Ausfuhrkontrolle Klärt Fragen zu Exportgenehmigungen und eventuellen Exportbeschränkungen	www.bafa.de
Bundesverwaltungsamt	Klärt Fragen zum Arbeits-, Sozial-, Ehe-, Familien- und Steuerrecht	www.bva.bund.de

	Herausgabe von Informationsschriften	
Deutsche Auslandshandelskammern weltweit	Bieten Dienstleistungen an, die deutsche und einheimische Unternehmen in ihrem Engagement gezielt unterstützen	www.ahk.de
DIHK – Deutscher Industrie- und Handelskammertag	Dachorganisation der 80 deutschen IHKs Informationen zu Außenhandel und Export	www.dihk.de
e-trade-center	Geschäfts- und Vertriebspartnersuche international	www.e-trade-center.com
Germany Trade & Invest	Wirtschaftsförderungsgesellschaft der BRD liefert Außenwirtschaftsinformationen	www.gtai.de
Inwent – Internationale Weiterbildung und Entwicklung gGmbH	Weltweit tätig für Personalentwicklung, Weiterbildung und Dialog Auftraggeber: EU, Weltbank, Internationaler Währungsfonds, Welthandelsorganisation, Vereinte Nationen	www.inwent.org
iXPOS – Das Außenwirtschaftsportal	Zusammenschluss von über 70 Organisationen zur Außenwirtschaftsförderung (Bundes- und Landesministerien, Wirtschaftsverbände, Kammern, Ländervereine etc.)	www.ixpos.de
Market Access Database	Informationstool der EU-Kommission	madb.europa.eu
Millennium Development Goals Indicators	Informationen zum Stand der Umsetzung der Millenniumsziele der Vereinten Nationen	http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Data.aspx

4.2 Finanzierung und Absicherung von Exportgeschäften

Bei Auslandsgeschäften müssen die finanziellen Mittel geschätzt werden, die für Gewinn-, Verlust- und Umsatzentwicklung benötigt werden. Zudem ist die Entwicklung der Hauptaufwandsposten, des Cash-Flows, der Liquidität und des zur Verfügung stehenden Eigenkapitalanteils zu berücksichtigen. Die zusätzlichen Kosten, die das Auslandsgeschäft auch am deutschen Standort mit sich bringt, sollten sinnvoll kalkuliert werden. Demgegenüber stehen wirtschaftliche, rechtliche und politische Risiken in den Absatzländern, unter anderem Absatz-, Preis- und Wechselkursrisiken. Rechtliche Risiken können bei der Durchsetzung von Ansprüchen bei Vertragsbrüchen auftreten oder durch Gesetzesänderungen entstehen. Politische Risiken sind unter anderem Krieg, Streik, Zerstörung der Ware oder Entzug von Rechten oder Vermögen. (IHK BAYERN, 2009; NELLE, 2009)

Exportverträge sollten schriftlich fixiert und stets durch juristischen Beistand abgesichert werden. Zusätzlich zum Vertragswerk mit einem ausländischen Kunden müssen Zoll-, Steuer- und Abgabefragen geklärt werden.

Die Bundesregierung bietet Exportkreditgarantien an, die sogenannten Hermesdeckungen. Über das Portal zur Auslandsgeschäftsabsicherung des Bundes (AGA-Portal) stehen diese und weitere Möglichkeiten zur Risikoabsicherung zur Verfügung (vgl. Tabelle 4.2).

Weitere Finanzierungsmöglichkeiten bietet die KfW Bankengruppe. Unter anderem werden Konzessionsprojekte der Wasserwirtschaft in Entwicklungsländern finanziert. Für den Wassersektor interessant sind auch die Hilfen zur Umsetzung der Millenniumsziele, insbesondere bei Projekten in Entwicklungsländern. Die Deutsche Entwicklungsgesellschaft (DEG) finanziert Investitionen privater Unternehmen in Schwellen- und Entwicklungsländern. Einige Projekte in diesen Ländern werden auch durch die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit unterstützt. Zudem gibt es auf internationaler Ebene Möglichkeiten, Kredite oder Projektfinanzierungen zu beantragen. Die Voraussetzungen dafür sind ganz unterschiedlich, so dass dies im Einzelfall geprüft werden muss. Im Bezug auf die Umsetzung der Millenniumsziele sind hier die Weltbank zu nennen sowie die Afrikanische und die Asiatische Entwicklungsbank.

Tabelle 4.2: Möglichkeiten zur Finanzierung und Absicherung von Exportgeschäften

Organisation	Aufgaben und Ziele	Kontakt
Afrikanische Entwicklungsbank	Unterstützt die wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit in Afrika	www.afdb.org
Asiatische Entwicklungsbank	Unterstützt die wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit in Asien und der Pazifikregion	http://www.adb.org/
Auslands-Geschäfts-Absicherung der Bundesregierung	Vergabe von Hermesdeckungen Außenwirtschaftsförderung (AGA-Portal)	www.agaportal.de
Deutsche Entwicklungsgesellschaft (DEG)	Finanziert Investitionen privater Unternehmen in Entwicklungs- und Transformationsländern Will privatwirtschaftliche Strukturen in Entwicklungs- und Reformländern etablieren und aufbauen	www.deginvest.de
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ)	Unterstützt nachhaltige Entwicklung weltweit	www.gtz.de
Weltbank	Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung von Entwicklungsländern	www.worldbank.org

4.3 Länderstudien (Anhang)

Bei der Auswahl der Länder für die Länderstudien wurden verschiedene Kriterien angelegt. Im Band "Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern" des ersten Teil des Forschungsprojektes "Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung" wurde bereits die Situation in zwölf Staaten untersucht, nämlich Ägypten, Brasilien, China, Indonesien, Iran, Jordanien, Marokko, Russland, Südafrika, Thailand, USA und Vietnam. Bis auf Marokko und Thailand wurden diese Staaten nicht erneut bearbeitet. Außerdem wurden im Rahmen der Wasserwirtschaftsinitiative Nordrhein-Westfalen bereits die osteuropäischen Staaten Bulgarien, Polen, Rumänien, Slowakei, Tschechien und Ungarn sowie die Türkei und Russland behandelt. Deshalb wurde der osteuropäische Raum in diesem Projekt ausgeklammert. Die Struktur der Berichte ist an die der Wasserwirtschaftsinitiative angelehnt.

Ausgewählt wurden Algerien, Indien, Israel, Libyen, Marokko, Sudan und Thailand. Diese Staaten weisen klimatisch, wirtschaftlich und politisch eine große Bandbreite auf. Sie stehen exemplarisch für die unterschiedliche Situation weltweit, wobei selbstredend eine direkte Übertragung der Situation in diesen Ländern auf die in ähnlich strukturierten Staaten nicht ohne Weiteres möglich ist. Auch bei benachbarten Staaten kann die wirtschaftliche und politische Lage und damit die Situation der Abwasserreinigung stark abweichen, wie an den Beispielen Marokko, Algerien, Libyen und Sudan nachvollzogen werden kann.

Unter den betrachteten Staaten sind die Bevölkerungszahlen stark unterschiedlich, von 6 Mio. in Libyen bis 1,1 Mrd. in Indien. Das jährliche Pro Kopf-Bruttoinlandsprodukt reicht von 828 US-Dollar in Indien bis 16.500 US-Dollar in Israel. Allen Ländern ist aber ein potenziell hohes Wachstum im Wasser- und Abwassersektor gemein, wenn auch von gänzlich unterschiedlichen Ausgangslagen. Während in Israel Fragen wie die Erhöhung der Wasserwiedernutzungsquote oder die Senkung des Neutralsalzgehaltes im geklärten Abwasser im Vordergrund stehen, besteht in den anderen Staaten überwiegend kein oder nur ein rudimentäres Abwassernetz und unzureichende Behandlungskapazitäten. Hier steht der Auf- und Ausbau eines Abwassernetzes und von Abwasserreinigungsanlagen im Vordergrund. In allen Fällen ist wegen der knappen Wasservorkommen die Wiedernutzung des Abwassers mit einzubeziehen, z.B. im Rahmen von Trennkzepten. Insgesamt werden in den ausgewählten Ländern sowohl einfache Technik als auch Hochtechnologie benötigt. Bei der Planung eines Abwassersystems sind in jedem Fall nicht nur landesspezifische, sondern auch regionale Besonderheiten zu berücksichtigen, die den Länderstudien entnommen werden können.

In allen betrachteten Ländern genießen Produkte "made in Germany" ein hohes Ansehen, so dass die Akzeptanz auf den Märkten hoch ist. Zudem bestehen in vielen Fällen bereits Kontakte zur Bundesrepublik. Außer in Libyen und Sudan existieren in den Ländern Auslandshandelskammern, sodass hier eine direkte Einstiegshilfe in das Auslandsgeschäft gegeben werden kann und ein Markteinstieg realistisch erscheint.

Die erstellten Länderstudien bieten Unternehmen neben konkreten Informationen zu einzelnen Ländern Anhaltspunkte, wie für die Situation des Abwassermarktes in anderen Staaten recherchiert werden kann.

5 Literatur

- ANGELAKIS (2001) ANGELAKIS, A.N. (2001): Management of wastewater by natural treatment systems with emphasis on land based systems. In: LENS et al. (2001), S.303-333
- BMWI (2007) BMWI (2007): Weltweit aktiv - Ratgeber für kleine und mittlere Unternehmen. Bundesministerium für Außenwirtschaft, <http://www.bielefeld.ihk.de/fileadmin/redakteure/international> (06.01.2009)
- BMZ (2007) BMZ (2007): Marokko, 09/07. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, <http://www.bmz.de/de/laender/partnerlaender/marokko/profil.html> (13.11.2008)
- CLEMENS und ARNOLD (2008) CLEMENS, J., ARNOLD, U. (2008): Nährstoffrecycling über Substrate aus dezentralen Wasserwirtschaftssystemen im Mekong Delta, Vietnam. 2. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29. Oktober im Eurogress Aachen, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser GWA Band 215, S.24/1-24/11, ISBN 978-3-938996-21-8
- CORNEL (2008) CORNEL, P. (2008): Semizentrale Ver- und Entsorgungssysteme für urbane Räume. 2. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29. Oktober 2008 in Aachen, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser GWA Band 215, S.23/1-23/9, ISBN 978-3-938996-21-8
- DWA-A 118 (2006) Arbeitsblatt DWA-A 118 (2006): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Hennef
- FIW (2006) FIW (2006): Marokko. Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen, unveröffentlicht
- GRAU (1994) GRAU, P. (1994): What next? Water Quality International, Nr. 4, S. 29-32. In: LETTINGA et al. (2001)
- GUJER (2007) GUJER, W. (2007): Siedlungswasserwirtschaft. 3. bearbeitete Auflage, Springer Verlag, ISBN 3-540-34329-6, Berli
- HENZE und LEDIN (2001) HENZE, M., LEDIN, A. (2001): Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. In: LENS et al. (2001), S.57-72
- HORAN (2001) HORAN, N. (2001): Extensive water-based post-treatment systems for anaerobically pre-treated sewage. In: LENS et al. (2001), S.281-302

- HOSANG und BISCHOF (1998) HOSANG, W., BISCHOF, W. (1998): Abwassertechnik. 11. Auflage, ISBN 3519152479, Verlag Teubner B.G. GmbH
- IDELOVITCH und RINGSKOG (1997) IDELOVITCH, E., RINGSKOG, K. (1997): Wastewater Treatment in Latin America: Old and New Options. World Bank Publications, ISBN 978-0821339695
- IHK BAYERN (2009) IHK BAYERN (2002): Exportratgeber für Dienstleister in Bayern
- JEFFERSON et al. (2001) JEFFERSON, B., JUDD, S., DIAPER, C. (2001): Treatment methods for grey water. In: LENS et al. (2001), S.334-353
- KALAGO und VERSTRAETE (2001) KALAGO, Y., VERSTRAETE, W. (2001): Potentials of anaerobic treatment of domestic sewage under temperate climate conditions. In: LENS et al. (2001), S.181-204
- KFW (2008) KFW (2008): Marokko - Wasserbedarf steigt, Windkraft bedeutend. KfW Entwicklungsbank, http://www.kfw-entwicklungsbank.de/DE_Home/Laender_Programme_und_Projekte/Nordafrika_und_naher_Osten/Marokko/Foerderschwerpunkte.jsp (07.11.2008)
- KOTTEK et al. (2006) KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F. (2006): World map of Köppen-Geiger climate classification. Updated, *Meteorolog. Z.* 15, 259-263
- KRANERT et al. (2006) KRANERT, M., HAFNER, G., SCHULTHEIS, A., STEINBACH, D., KRAMPE, J., ANTAKYALI, D. (2006): Projekt MODULAARE – integrierte Module zur hocheffizienten Abwasserreinigung, Abfallbehandlung und regenerativen Energiegewinnung in Tourismus Resorts. 1. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur am 17. und 18. Oktober 2006 in Aachen, *Gewässerschutz, Wasser, Abwasser GWA Band 215*, S.23/1-23/9, ISBN 978-3-938996-10-2
- LAUER und RAFIQPOOR (2002) LAUER, W.; RAFIQPOOR, M. (2002): Die Klimate der Erde - Eine Klassifikation auf der Grundlage der ökophysiologischen Merkmale der realen Vegetation. Steiner, Stuttgart, 2002
- LENS et al. (2001) LENS, P., ZEEMAN, G., LETTINGA, G. (Hrsg., 2001): Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation. IWA Publishing, ISBN 1900222477
- LETTINGA (2001) LETTINGA, G. (2001): Potentials of anaerobic pre-treatment (AnWT) of domestic sewage under tropical conditions. In: LENS et al. (2001), S.205-217

- LETTINGA et al. (2001) LETTINGA, G., LENS, P., ZEEMAN, G. (2001): Environmental protection technologies for sustainable development. In: LENS et al. (2001), S.4-10
- MAHMOUDIAN (2004) MAHMOUDIAN, S. (2004): Wastewater Management in Urban and Rural Areas (A Review of I.R. of Iran's Experiences). International Seminar on Practices and Experiences of Water and Wastewater Technology, 05.- 07. Oktober 2004, Muscat – Sultanate of Oman
- MARA (1976) MARA, D. (1976): Sewage Treatment in Hot Climates. Department of Civil Engineering University of Dundee Scotland, JOHN WILEY & SONS, London, New York, Sydney, Toronto, 1976
- METCALF & EDDY (2003) METCALF & EDDY (2003): Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th, Tchobanoglous, Mc Graw-Hill, 2003
- MRE (2006) MRE (2006): Assainissement. Ministère des Ressources en Eau, http://www.mre.gov.dz/eau/assainissement_mre.htm (21.11.2008)
- NELLE (2009) NELLE, T. (2009): Vorlesungsskript. 6. Vorlesung "Organisationsformen der Wasserwirtschaft" RWTH Aachen, Wintersemester 2009/2010
- ONAS (2004) ONAS (2004): Rapport annuel d'exploitation des stations d'épuration année 2004. Office National de L'Assainissement, Département Central Technique, Département Assistance Technique et Coordination, Direction Assistance à l'exploitation; République Tunisienne, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
- ORTH (2005) ORTH, H. (2005): Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern. Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WA0452, Bundesministerium für Bildung und Forschung, ISBN 3-9810255-0-4, Bochum, 2005
- PARKINSON und MARK (2005) PARKINSON, J., MARK, O. (2005): Urban Stormwater Management in Developing Countries. IWA Publishing, London, Seattle 2005, Neuauflage 2006
- PÖPPINGHAUS et al. (1994) PÖPPINGHAUS, K., FILLA, W., SENSEN, S. (1994): Abwassertechnologie. Springer, Berlin
- QIN et al. (2009) QIN, J.-J., HTUN OO, M., TAO, G., KEKRE, K.A., HASHIMOTO, T. (2009): Pilot study of a submerged membrane bioreactor for water reclamation. Water, Science and Technology Vol. 60, Nr. 12, S.3269-3274, IWA Publishing 2009

- SARTOR et al. (2008) SARTOR, M., SCHLICHTER, B., GATJAL, H., MAVROV, V. (2008): Demonstration of a new hybrid process for the decentralised drinking and service water production from surface water in Thailand. Desalination Nr. 222, S. 528-540, 2008
- SCHWEITZER und BLANK (2008) SCHWEITZER, D., BLANK, A. (2008): Untersuchung, Modellierung und Demonstration der Leistungsfähigkeit und Flexibilität von Scheibentauchkörperanlagen. Vortrag zur solarbetriebenen Demonstrationsanlage in Yamuna Vihar im Norden von Neu Delhi beim Kernprojekttreffen A am 08.06.2008 in Aachen
- SOYEZ (2008) SOYEZ, K. (2008): Wassermehrfachnutzung für ländliche Kommunen in Drittweltländern – Wasserhaus Südafrika. 2. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur am 28. und 29. Oktober 2008 in Aachen, Gewässerschutz, Wasser, Abwasser GWA Band 215, S.22/1-22/9, ISBN 978-3-938996-21-8
- STRUMINSKI (2007) STRUMINSKI, W. (2007): Israel. In: Bundesagentur für Außenwirtschaft: Wassermanagement und Wassertechnik im Nahen und Mittleren Osten und in Nordafrika. ISBN 3 86643 495 2
- UJANG und HENZE (2006) UJANG, Z., HENZE, M. (2006): Municipal Wastewater Management in Developing Countries: Principles and Engineering, IWA Publishing, London SW1H0QS, UK 2006
- UNEP (2007) UNEP (2007): Water and wastewater reuse, an environmentally sound approach for sustainable urban water management. United Nations Environment Programme, http://www.unep.or.jp/letc/Publications/Water_Sanitation/wastewater_reuse/Booklet-Wastewater_Reuse.pdf (06.01.2009)
- UNEP (2008) UNEP (2008): Every Drop Counts. United Nations Environment Programme, ISBN 978-92-807-2861-3, 2008
- VON SPERLING und DE LEMOS CHERNICHARO (2005) VON SPERLING, M., DE LEMOS CHERNICHARO, C. (2005): Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. Department of Sanitary and Environmental Engineering Federal University of Minas Gerais, Brazil, IWA Publishing London Seattle, DESA UFMG
- WAGNER (2005) WAGNER (2005): Abwassertechnik und Gewässerschutz. 17. Aktualisierung, CF Müller Verlag, Heidelberg 2005
- WEBER und JUANICÓ (2004) WEBER, B., JUANICÓ, M. (2004): Salt reduction in municipal sewage allocated for reuse: the outcome of a new policy in Israel. Water Science and Technology, Vol. 50, Nr. 2, ISSN: 02731223

- WEGELING-SCHURINGA (2001) WEGELING-SCHURINGA, M. (2001): Public awareness and mobilization for sanitation. In: LENS et al. (2001), S.534-551
- WHO (2005) WHO (2005): Proportion of population with improved sanitation coverage in 2002. <http://maps.grida.no/go/graphic/proportion-of-population-with-improved-sanitation-coverage-in-2002> (06.04.2010)
- WHO (2006) WHO (2006): Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2 wastewater use in agriculture, World Health Organization 2006
- ZEEMAN et al. (2001) ZEEMAN, G., KUJAWA-ROELEVELD, K., LETTINGA, G. (2001): Anaerobic treatment systems for high strength domestic waste (water) streams. In: LENS et al. (2001), S.218-234

Anhang

Wasserwirtschaft Algerien

Wasserwirtschaft Indien

Wasserwirtschaft Israel

Wasserwirtschaft Libyen

Wasserwirtschaft Marokko

Wasserwirtschaft Sudan

Wasserwirtschaft Thailand