

Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern



Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WA0452



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
und Umwelttechnik

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel

Dr.-Ing. Wolfgang Kirchhof

Dr.-Ing. Uwe Menzel

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hermann Orth

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. pol. Karl-Ulrich Rudolph

Dipl.-Ing. Thomas Schneider

PD Dr.-Ing. Martin Wagner

Bochum, April 2005

Impressum

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

Teil II: Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung, Band 1
Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern

ISBN: 3-9810255-0-4

Herausgeber: Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik
Universitätsstraße 150
D – 44780 Bochum
Telefon: 0234 32-23049
Telefax: 0234 32-14503
E-Mail: siwawi@rub.de
Internet: <http://www.rub.de/siwawi>

Redaktion: Dipl.-Ing. Sven Meßmann, Dipl.-Ing. Thomas Schneider

Druck: Druckerei Ernst Grässer
Humboldtstraße 1
D – 76131 Karlsruhe

Titelbild: Abwasserbehandlungsanlage in Pathong, Thailand

Vorwort

Seit 2001 wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Verbundprojekt „Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung“ gefördert. Es wird vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Bereich Wassertechnologie und Entsorgung (WTE) betreut. Das Verbundprojekt begann mit dem Teil I „Trinkwasser“ und seit 2003 laufen die Arbeiten an Teil II „Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung“. Diesem Forschungsverbund gehören elf Hochschulen an. Die Koordination liegt bei der Ruhr-Universität Bochum.

Das Ziel des Verbundprojektes ist es, die Ergebnisse der deutschen Wasser- und Abwasserforschung und die vielfältigen praktischen Erfahrungen auf diesen Gebieten verstärkt für die internationale Zusammenarbeit verfügbar zu machen. Der Weg hierzu ist die Anpassung der Technologien an die unterschiedlichen Bedingungen in verschiedenen Ländern und Regionen. Entsprechend dieser Zielsetzung begannen beide Teile des Verbundprojektes mit einer Erhebung der besonderen Bedingungen in anderen Ländern. Hierzu wurden Informationsreisen in ausgewählte Länder durchgeführt und entsprechende Informationen gesammelt und ausgewertet. Nachdem die Ergebnisse zum Teil Trinkwasser 2003 erschienen waren, werden mit dem vorliegenden Band die Ergebnisse für den Teil Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung vorgelegt. Die Erhebungen wurden gemeinsam von den Universitäten Aachen, Bochum, Stuttgart und Witten/Herdecke und der TU Darmstadt durchgeführt.

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Initiierung und Förderung des Vorhabens, dem Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe GmbH für die stets engagierte und unterstützende Betreuung. Den Kollegen in den besuchten Ländern ist dafür zu danken, dass sie mit großer Bereitschaft, mit erheblichem Zeitaufwand und oft auch durch organisatorische Hilfe die Arbeiten unterstützt haben. Sie zeigten generell ein großes Interesse an dem Thema, d. h. an der Anpassung deutscher Technologie und Erfahrung an die Verhältnisse in ihren Ländern.

Bochum, im April 2005

Prof. Dr.-Ing. H. Orth

Inhalt

Vorwort

| | | |
|----------|--|------------|
| 1 | Ziel und Vorgehensweise..... | 1 |
| 2 | Fragenkatalog..... | 2 |
| 3 | Länderberichte..... | 5 |
| | Ägypten..... | 7 |
| | Brasilien..... | 33 |
| | China..... | 77 |
| | Indonesien..... | 109 |
| | Iran..... | 167 |
| | Jordanien..... | 213 |
| | Marokko..... | 241 |
| | Russland..... | 263 |
| | Südafrika..... | 293 |
| | Thailand..... | 337 |
| | USA..... | 363 |
| | Vietnam..... | 389 |
| 4 | Zusammenfassung der Ergebnisse und Folgerungen..... | 419 |

1 Ziel und Vorgehensweise

Eine erste Arbeitsgrundlage des Verbundprojektes „Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung“, das die Anpassung deutscher Technologien und Erfahrungen an die besonderen Bedingungen in anderen Ländern zum Ziel hat, ist eine möglichst umfassende und detaillierte Kenntnis eben dieser besonderen Bedingungen. Ihre Erhebung war das Ziel des ersten Rahmenprojektes, dessen Ergebnisse in diesem Berichtsband zusammengefasst sind.

Die Technologie eines Landes wird immer auch von den Rahmenbedingungen im weitesten Sinne beeinflusst. Die einzelnen Anlagen werden nur dann befriedigend arbeiten, wenn sie sich in diese Bedingungen einfügen. Für eine funktionierende Abwassertechnik genügt es deshalb nicht, die technischen Entwurfskriterien zu betrachten, sondern es muss auch der Einfluss verschiedener Rahmenbedingungen mit einbezogen werden. Beispiele sind:

- Gesetze und Verordnungen, die die Anforderungen an die Abwasserreinigung festlegen,
- Der Ausbildungsstand des Betriebspersonals, der mit bestimmt, welche Techniken im Betrieb beherrschbar sind oder
- Art und Zustand des Kanalnetzes, die die Abwasserbeschaffenheit beeinflussen.

Da in vielen der besuchten Länder die Wasserwiederverwendung ein notwendiger Bestandteil einer nachhaltigen Wasserressourcenbewirtschaftung ist, wurden auch Randbedingungen, Vorschriften, eingesetzte Techniken sowie generell die Möglichkeit zur Wiederverwendung gereinigten Abwassers in die Erhebung einbezogen. Auch hierbei gilt es, nicht nur technisch/wirtschaftliche Fragestellungen zu erfassen, sondern auch die kulturell/religiösen Rahmenbedingungen zu beachten.

Diese Überlegungen führten zu den verschiedenen Themenbereichen des Fragenkatalogs, der als einheitlicher Rahmen für die Erhebungen diente.

Die Auswahl der zu besuchenden Länder wurde in Abstimmung mit dem Projektträger getroffen. Hierbei standen drei Gesichtspunkte im Vordergrund:

- Die ausgewählten Länder sollten repräsentativ für verschiedene Regionen sein,
- Sie sollten verschiedene Entwicklungsstufen repräsentieren und

- Die Auswahl sollte sich zur Datenvergleichbarkeit an die Auswahl des Teiles „Trinkwasser“ anlehnen.

Diese drei Kriterien führten zu einer Auswahl, die sich mit den Ländern Brasilien, China, Indonesien, Iran, Südafrika, Thailand, USA und Vietnam mit der Auswahl der Trinkwasserstudie deckt und um die Länder Ägypten, Jordanien, Marokko und Russland ergänzt wurde.

Wesentliche Elemente der Erhebungen waren Gespräche mit Fachkollegen vor Ort und die Besichtigung einzelner Anlagen. Allein durch solche persönliche Erfahrungen können manche Informationen richtig bewertet und in ihrer Bedeutung erfasst werden. Diese unmittelbaren Informationen wurden durch verschiedene weitere Informationsquellen ergänzt, wie z. B. Gesetzestexte, Rechenschaftsberichte von Anlagenbetreibern oder Internetrecherche.

2 Fragenkatalog

Einen Überblick über die inhaltlichen Schwerpunkte der Erhebungen gibt der Fragenkatalog in Tabelle 2.1. Dieser Fragenkatalog diente als einheitlicher Rahmen für die Erhebungen in den verschiedenen Ländern. Er sollte die Vergleichbarkeit der erhobenen Informationen und die angestrebte Themenbreite sicherstellen. Eine englische Version dieses Fragenkataloges erlaubte es, den Fachkollegen in den verschiedenen Ländern einen Überblick über die interessierenden Fragen zu vermitteln. Damit konnte auch gleichzeitig die Zielsetzung der Untersuchungen verdeutlicht werden. Zwei weiter detaillierte Fragenkataloge befassten sich mit technischen Einzelheiten von Klärwerken und Anlagen zur Wasserwiederverwendung.

Die Erhebungen zu Gesetzen und Verordnungen, Bemessungs-, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien zeigen, welche Anforderungen an die Abwasserreinigung gestellt werden und wieweit bestimmte Voraussetzungen zur Erfüllung dieser Anforderungen, wie z. B. der Ausbildungsstand des Betriebspersonals, gegeben sind. Daraus ergeben sich einerseits Hinweise darauf, welche Technologien aufgrund der Anforderungen nachgefragt werden, und andererseits, welche Technologien aufgrund der vorliegenden Voraussetzungen erfolgversprechend sind. Sie zeigen auch, wo es sinnvoll ist, den Export von Technologien durch Regelwerke oder Ausbildungsmaßnahmen zu begleiten und wer ein möglicher Partner für begleitende Maßnahmen ist.

Der Fragenkomplex zu Kosten und Finanzierung ist in dreierlei Hinsicht von Bedeutung. Er gibt zunächst Hinweise zu den erforderlichen und den zur Verfügung stehenden Mitteln und zu der Frage, in welchem Umfang in absehbarer Zeit ein Ausbau der Abwasserentsorgung zu erwarten ist. Als Zweites ist die Kenntnis der Kosten, möglichst aufgegliedert nach Kostenarten, eine wesentliche Grundlage für die Auswahl der unter den gegebenen Kostenstrukturen wirtschaftlichen Technologien. Insbesondere ist von Interesse, inwieweit effiziente aber von Importen und den damit verbundenen Kosten abhängige Technologien wirtschaftlich sind. Der dritte Aspekt bezüglich Kosten und Finanzierung ist, inwieweit die Betriebskosten sichergestellt sind. Erfahrungsgemäß führt das Fehlen ausreichender Betriebsmittel oft zu einer unbefriedigenden Leistung von Klärwerken oder sogar zu ihrem praktisch vollkommenen Versagen.

Unter dem Begriff der Rahmenparameter sind verschiedene Einflüsse auf die Abwasserentsorgung zusammengefasst. So beeinflusst z. B. das Klima die Eignung natürlicher Abwasserreinigungsverfahren, aber auch technische Verfahren, z. B. über den Wasserverbrauch, den Mischwasseranfall oder den Bedarf für eine Wasserwiederverwendung.

Die Abwasserableitung selbst ist nicht Gegenstand des Forschungsverbundes. Die Art der Abwasserableitung (z. B. Mischsystem, Trennsystem) und die Qualität der Kanalnetze (z. B. Fremdstoffeintrag, Fremdwasser, Abbauvorgänge im Kanalnetz) beeinflussen jedoch die Beschaffenheit des zu reinigenden Abwassers erheblich und wurden deshalb mit erfasst.

Die Wasserwiederverwendung ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung und hat deshalb praktisch kaum Einfluss auf die Entwicklung der Abwasserentsorgungstechnologien. In vielen Ländern mit Wassermangel wird aber in Zukunft eine Wasserwiederverwendung als Strukturmaßnahme ein wichtiger Faktor für die wirtschaftliche Entwicklung sein. Das wird dazu führen, dass die Abwasserreinigungstechnologien auch bezüglich ihrer Eignung als Vorstufe für eine Wasserwiederverwendung beurteilt werden. Darüber hinaus wird ein zunehmender Bedarf an speziellen Aufbereitungstechnologien für die Wasserwiederverwendung entstehen.

Die übrigen Erhebungsthemen, nämlich Abwasserzusammensetzung, Behandlungstechnologien und Ablaufqualität gehören zu den Grunddaten für alle abwassertechnischen Maßnahmen.

Tabelle 2.1: Aufbau des Fragenkataloges

| Thema | Schwerpunkte |
|---|---|
| Gesetze und Verordnungen, Bemessungs-, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien | Abwasserverordnungen, inländische und ausländische Regelwerke Entwurfsrichtlinien Trägerschaft von Abwasserbehandlungsanlagen Richtlinien und Verordnungen bzgl. Wasserwiederverwendung Überwachung von Abwasserbehandlungsanlagen Verwaltungsstrukturen und allgemeine fachliche Ausbildungsstrukturen |
| Kosten | Finanzierung von Abwasserbehandlungsanlagen Abwassergebühren Durchsetzbarkeit der Gebühren Kosten für Beschaffung von Bau-, Maschinen- und Elektrotechnik Personalkosten, Energiekosten und Betriebskosten Kosten für die Entsorgung von Reststoffen |
| Rahmenparameter | Klimatische Randbedingungen Wasserversorgungssituation Infrastrukturen von Abwasserbehandlungsanlagen |
| Abwassersammlung, Abwasserableitung | Anschlussgrade Vorliegen von Tages-, Wochen-, Monats- oder Jahreganglinien Ausbildung von Straßeneinläufen Zustand und Unterhaltung des Entwässerungssystems |
| Abwasserzusammensetzung | Abfalleintrag in das Kanalnetz Rohabwasserdaten zu Standardparametern Temperatur und Salzgehalt des Abwassers Messverfahren für Standardparameter |
| Behandlungstechnologien | Eingesetzte Behandlungstechnologien Bautechnik, Maschinenteknik und Elektrotechnik Automatisierungs- und Messtechnik Energieverbrauch Einsatz von Zusatzstoffen Wirkungsgrade der einzelnen Behandlungsstufen Verfügbarkeit von Wartungs- und Instandhaltungsdiensten Faulgasnutzung zur Energieerzeugung Schlammentwässerungsverfahren |
| Ablaufqualität | Durchführung hygienischer Untersuchungen Ablaufstandards |
| Wasserwiederverwendung | Einsatz von Wasserwiederverwendung Etablierung oder Ausweitung von Wasserwiederverwendung Qualitätsstandards für die Wasserwiederverwendung Nährstoffkonzentrationen im wiederverwendeten Abwasser Kontrollmechanismen für Qualitätsstandards Wasserverteilungsverluste Krankheiten durch Wasserwiederverwendung Kontrollinstanzen |

3 Länderberichte

Die nachfolgenden Länderberichte sind einheitlich in Anlehnung an den Aufbau des Fragenkatalogs gegliedert. Der Raum, der den einzelnen Themen in den verschiedenen Berichten eingeräumt wird, ist jedoch unterschiedlich. Er ergab sich aus dem Umfang der zur Verfügung stehenden Informationen und einer Einschätzung ihrer Bedeutung für die einzelnen Länder bzw. Regionen.

In allen Ländern wurden mehrere Anlagen besichtigt und es wurden zum Teil sehr detaillierte Daten zu den einzelnen Anlagen und zu den Rahmenbedingungen erfasst. Diese Detailinformationen sind im Anhang auf der beiliegenden CD enthalten, während in den Länderberichten selbst die wesentlichen Informationen zusammengefasst sind.



Ägypten

**Thomas Schneider,
Ruhr-Universität Bochum**



1 Einleitung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse einer Datenerhebung zur Situation der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Ägypten zusammen, die in der Zeit zwischen dem 27.07.2004 und dem 01.08.2004 durchgeführt wurde. Die geografische Situation Ägyptens verdeutlicht hierzu Bild 1.



Bild 1: Kartenübersicht Ägyptens

Bedingt durch die Bevölkerungskonzentration in den Städten Cairo, Alexandria, Port Said, Suez, Tanta etc. lässt sich hinsichtlich der Abwasserreinigung von verschiedenen Inselsituationen im Vergleich zu den eher ländlich geprägten Wüstengegenden sprechen. So wurden in der jüngeren Vergangenheit für die einzelnen Ballungszentren mit internationaler Unterstützung spezifische und regional begrenzte Entwässerungs- und Abwasserreinigungskonzepte („Alexandria Wastewater project“, „Greater Cairo Wastewater Project“ etc.) entworfen.

Das Ziel der Erhebung bestand darin, einen Überblick über die in Ägypten vorherrschenden Randbedingungen und Strukturen bzgl. der Abwasserreinigung zu

erhalten. Dazu wurden – konzentriert auf den Großraum Cairo, in dem ca. 25 % aller rund 68 Mio. Einwohner Ägyptens leben – Behörden, Consultants, Klärwerksstandorte sowie die Universität besucht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die aufgesuchten Institutionen, Klärwerksbetriebe und Organisationen, die für Klärwerksprojekte maßgebend sind.

Darüber hinaus wurden für den ländlichen Sektor, „Rural Egypt“, Materialien gesichtet und ausgewertet, die die Situation der Abwasserbehandlung, die zugrundeliegende Infrastruktur und die vorhandene Verfahrenstechnik darstellen.

Tabelle 1: Übersicht über besuchte Institutionen und Klärwerksstandorte

| Standort | Klärwerk/Projekt | Typ | Betreiber/Institution |
|--------------|---|---|--|
| Dokki - Giza | | | Chemonics Egypt |
| Cairo | Lake Manzala Engineered Wetland Project | | Global Environment Facility (GEF), part of United Nations Development Program (UNDP) |
| Cairo | | | General Organization for Sanitary Drainage (GOSD) Greater Cairo |
| Bolak - Giza | Zenein St. | Belebungsanlage mit Desinfektion (Chlor) | General Organization for Sanitary Drainage (GOSD) Greater Cairo |
| Cairo | Aburawash | Sedimentationsanlage mit Desinfektion (Chlor) | General Organization for Sanitary Drainage (GOSD) Greater Cairo |
| Cairo | | | Cairo University, Faculty of Engineering, Environmental Engineering Division |
| Sadat City | Sadat City Reuse Program | Teichanlage mit Feinsiebung | |

2 Gesetze und Verordnungen, Bemessungs-, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien

2.1 Institutionen und Organisationen, Verwaltungsstruktur

In Ägypten sind zahlreiche verschiedene Ministerien bzw. Autoritäten und Gesellschaften als Regierungsinstitutionen (Governmental Offices) im Bereich Umweltschutz für die Ausarbeitung, Umsetzung und Überwachung von Wasserqualitätsstandards verantwortlich.

Im Einzelnen sind zu nennen:

- Ministry of Local Development,
- Ministry of Housing, Public Utilities and New Communities (MHPUNC),
- Ministry of Interior,
- Ministry of Health (MOH),
- Ministry of Agriculture and Land Reclamation (MALR),
- Ministry of State for Environmental Affairs / Egyptian Environment Affairs Agency (EEAA),
- Ministry of Industry and Technological Development,
- Ministry of Transport and Communication,
- Ministry of Petroleum,
- Ministry of Scientific Research and Higher Education,
- Ministry of Water Resources and Irrigation,
- Ministry of Planning,
- Suez Canal Authority,
- Alexandria General Organization for Sanitary Drainage (AGOSD),
- Greater Cairo General Organization for Sanitary Drainage (CGOSD),
- National Organization for Potable Water and Sanitary Drainage (NOPWASD),
- Municipalities,
- Greater Cairo Water General Organization (CWO),
- Alexandria Water General Organization,
- The Economic General Authority for Potable Water Supply and Sewage.

Aus der Vielzahl an verantwortlichen Ministerien und Organisationen resultieren zwangsläufig sich überschneidende Zuständigkeiten. Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Institutionen und Koordination einzelner Maßnahmen sind somit

zwingende Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der angestrebten Wasserqualitätsstandards.

So sind beispielsweise hinsichtlich der Erschließung neuer Flächen zur Wiederverwendung von Abwasser die Vorhaben des Ministry of Agriculture and Land Reclamation vom Ministry of Planning zu befürworten. Die General Authority for Rehabilitation Projects and Agricultural Development (GARPAD) arbeitet dabei innerhalb des MALR die Vorhaben aus, das übergeordnete Ministerium muss sich hinsichtlich der Einbindung gesellschaftlicher und technischer Infrastruktur mit den übrigen Ministerien einigen.

Das Ministry of Housing, Public Utilities and New Communities kontrolliert die verschiedenen Gesellschaften zur Abwassersammlung und -behandlung und ist zudem für die Überwachung der Ablaufwerte der Abwasserbehandlungsanlagen zuständig. In ihm sind die Cairo Wastewater Organisation (CWO) und die National Organisation of Potable Water and Sewage Disposal (NOPWASD) zusammengefasst. Erstere ist dabei verantwortlich für die General Organisation for Sewerage and Sanitary Drainage (GOSD), die für Betrieb und Unterhaltung der Trinkwasser- und Abwasseranlagen in Cairo zuständig ist.

Das Ministry of Water Resources and Irrigation überwacht die Anlagenplanung und ist gleichzeitig zuständig für die Bereitstellung von Bewässerungswasser.

Im Jahr 2000 wurden zudem das Ministry of Health und das Ministry of Housing, Public Utilities and New Communities als Autorität hinsichtlich der Erteilung der Erlaubnis zur Verwendung von gereinigtem Abwasser zu Bewässerungszwecken bestimmt. Ebenfalls in die Entscheidungsfindung einbezogen werden muss dabei das Ministry of State for Environmental Affairs, das seinen 1994 geschaffenen Verantwortlichkeiten bzgl. des Umweltschutzes nachkommen muss.

Nicht zu unterschätzen sind auf der anderen Seite Zahl und Einfluss der Nicht-Regierungsinstitutionen (Non-Governmental Organizations (NGO)), die – von der ägyptischen Regierung unterstützt und dazu aufgefordert – einen erheblichen Beitrag zu sozialen, ökonomischen und ökologischen Entwicklungen leisten. Insbesondere Umweltbewusstsein und Umweltschutz profitieren von deren Engagement. Derzeit existieren rund 2 000 NGO, die sich mit Entwicklungen im Bereich des hier betrachteten Feldes befassen. Zu unterscheiden sind dabei rein ägyptische, also lokale NGO, internationale NGO mit entsprechendem Betätigungsfeld in Ägypten sowie sogenannte NGO Networks, die sich aus den Zusammenschlüssen einzelner Organisationen gebildet haben.

2.2 Gesetze und Verordnungen

2.2.1 Trinkwasserversorgung

Für die Trinkwasserversorgung sind in Ägypten fünf maßgebliche Gesetze zu nennen. Erstaunlicherweise ist die Institutionalisierung des für alle Belange zuständigen High Committee erst vier Jahre nach der gesetzlichen Regulierung der Abwassersammlung und der Schaffung erster Rahmenbedingungen zur Ausbringung von Abwasser bzw. Klärschlamm in der Landwirtschaft erfolgt.

Im Einzelnen sind dies:

- Law 2703/1966: Schreibt die Institutionalisierung des High Committee für Wasser fest. Es betrifft sämtliche gesundheitlichen Belange, Spezifikationen und Kriterien, Ressourcen, Behandlungstechniken und den Schutz der Wasserressourcen. Darüber hinaus wird der Transport zum Abnehmer reguliert.
- Law 27/1978: Hier sind allgemeine Trinkwasserressourcen sowie die Eignung von Wasser zum menschlichen Verzehr festgeschrieben.
- Law 57/1978: Etabliert Standards für die sicher zu stellende Trinkwasserqualität.
- Law 12/1984: Reguliert die Bewässerung und die Wasserverteilung sowie das Grundwassermanagement sowohl im Nil-Tal als auch im Nil-Delta.
- Law 213/1994: Ändert einzelne Bestimmungen des Law 12/1984 ab.

Ein Gesetz zur Wasserressourcenkontrolle bzw. -überwachung steht gegenwärtig noch aus.

2.2.2 Abwasserentsorgung, Abwasserwiederverwendung

Hinsichtlich der Abwasserentsorgung gibt es eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen, wobei insbesondere im Hinblick auf die Abwasserwiederverwendung erst in jüngerer Vergangenheit Überarbeitungen stattfanden und auch gegenwärtig noch stattfinden („Wastewater Reuse Egyptian Code“ – „The difficult Labor“).

Die historische Entwicklung in der Abwassergesetzgebung lässt sich dabei wie folgt darstellen:

- Law 93/1962: Reguliert Sammlung flüssiger Abfälle, Entwässerungsgebühren, Spezifikationen zu Einleitungen in Entwässerungssysteme sowie Einhaltung der Gesetze und Verordnungen des Ministry of Housing, Public Utilities and New Communities (Decree 649/1962; Überwachung). Gleichzeitig werden Kriterien für die Abwasserwiederverwendung und Klärschlammausbringung in der

Landwirtschaft eingeführt. Das Gesetz wird durch den Erlass 44/2000 des MHPUNC modifiziert, der Erlass 649/1962 inklusive seiner nachträglich erfolgten Modifikationen durch den vorgenannten Erlass ersetzt. Artikel 15 des Erlasses 44/2000 deckt die Bedingungen und Standards ab, die für die Wiederverwendung zu landwirtschaftlichen Zwecken für gereinigtes Abwasser und Klärschlämme gelten. Industrieabwasserkontrollen werden genauso wie Ablaufstandards verankert.

- Law 74/1971: Behandelt die Entwässerung in öffentliche Kanalsysteme. Das Gesetz verbietet gleichzeitig die Entsorgung von Tierkadavern oder anderer Gegenstände, die der öffentlichen Gesundheit schaden können oder unangenehme Gerüche emittieren, mittels Wasserkreisläufen, die zu Bewässerungszwecken genutzt werden. Geldstrafen für Verletzungen dieser Vorgaben werden festgeschrieben.
- Law 48/1982: Seine Verordnungen etablieren ein Klassifikationssystem für Trinkwasserressourcen wie beispielsweise den Nil und weitere Wasserstraßen einschließlich ihrer Zuflüsse sowie Grundwasserspeicher und nicht Trinkwasserressourcen wie Entwässerungssysteme, Teiche und Seen. Es verbietet die Ableitung oder Entsorgung fester, flüssiger oder gasförmiger Abfälle aus Häusern, touristischen, kommerziellen und industriellen Institutionen bzw. Einrichtungen ohne Genehmigung des Ministry of Irrigation in Übereinstimmung mit Spezifikationen und Kriterien, die innerhalb des Gesetzes und seiner Verordnungen des Erlasses 8/1983 definiert werden, wobei Ablaufstandards für die Einleitung in Flüsse und angeschlossene Kanäle enthalten sind. Das Gesetz befugt die sog. „Water Surface Police“ zur Durchsetzung der Regelungen und zur strafrechtlichen Verfolgung von Übertretungen. Gleichzeitig fordert das Gesetz die Analyse von Abwasserproben durch das und unter Verantwortlichkeit des Ministry of Health und schreibt die Grenzwerte bzw. Kriterien innerhalb einzelner Behandlungsstufen für zu Wiederverwendungszwecken gereinigtes Abwasser fest. Behandlungstechniken, zu bewässernde Pflanzen und Böden werden klassifiziert. Hinsichtlich der Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft werden mittlere Konzentrationsgrenzwerte bzgl. diverser Parameter aufgeführt. Hinsichtlich der Ausbringung ohne direkte landwirtschaftliche Zweckbindung wird eine Grundwasserüberwachung vorgeschrieben.
- Law 12/1984: Betrifft Bewässerung und Entwässerung. Das Ministry of Public Works and Water Resources wird als verantwortlich für alle Wasserressourcen festgeschrieben.

- Law 4/1994: Institutionalisiert als Prime Minister Decree 338/1995 die Egyptian Environment Affairs Agency (EEAA) als Kopf aller übrigen administrativen Organe, in deren Bereich – neben Anderem – auch der Umweltschutz sowie die Abwasserwiederverwendung fallen. Fondgestützt wird ein Förderprogramm ins Leben gerufen, das die EEAA gegenüber Organisationen, Institutionen oder Individuen bzgl. umweltrelevanter Aktivitäten vertritt. So werden bei Neuerrichtungen beispielsweise von Industrie- oder Gewerbebetrieben die Art der Industrie bzw. des Gewerbes, die Ausschöpfung natürlicher Ressourcen – insbesondere Wasser, Landfläche und Bodenschätze –, der Bauplatz sowie die genutzte Energieversorgung in die Entscheidungsfindung bzgl. einer Genehmigungserteilung einbezogen. Hierbei wird sie von den Regional Branch Offices (RBO) und innerhalb der einzelnen Gouvernements von den Environmental Management Units (EMU) unterstützt. Bisherige Regelungen, Spezifikationen und Kriterien zum Schutz von Land, Luft, Grund- und Oberflächenwasser werden erweitert. Sowohl Wasserversorgungs- als auch Abwasserentsorgungsbelange werden der EEAA zugeordnet. Der detaillierte Aufgabenumfang der RBO ist dem Erlass 56/2000 zu entnehmen. Das Environmental Impact Assessment (EIA) Department wird – der Competent Administrative Authority (CAA) unterstellt und gegenüber verantwortlich – eingeführt. Drei Kategorien zur Dringlichkeitseinstufung von Projekten werden festgelegt:
 - Category A: white list with minor environmental impact,
 - Category B: gray list which may have substantial impact,
 - Category C: black list which have high potential impact.
- Law 276/1994: Ist das bzgl. der Abwasserwiederverwendung spezifischste Gesetz. Ergänzt durch den Decree 214/1997 behandelt es sowohl die Anforderungen an die Reinigung des Abwassers im Hinblick auf eine Wiederverwendung als auch die sichere Verwertung von Klärschlamm (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mittlere monatsbezogene Grenzkonzentrationen in zur Ausbringung in der Landwirtschaft vorgesehenem Klärschlamm für verschiedene Parameter (The Organisation for the Execution of the Greater Cairo Wastewater Project, 2001a)

| Potentially toxic elements (PTE) | Concentration limit mg/kg dry solids |
|----------------------------------|---|
| Zinc (Zn) | 2,800 |
| Copper (Cu) | 1,500 |
| Nickel (Ni) | 420 |
| Cadmium (Cd) | 39 |
| Lead (Pb) | 300 |
| Mercury (Hg) | 17 |
| Chromium (Cr) | 1,200 |
| Molybdenum (Mo) | 18 |
| Selenium (Se) | - |
| Arsenic (As) | 41 |

3 Allgemeine Angaben

3.1 Allgemeine Rahmensituation

Das Bruttoinlandsprodukt Ägyptens beläuft sich auf ca. 80 Mrd. US\$ per anno, was umgerechnet auf die Bevölkerung rund 1 200 US\$ pro Einwohner und Jahr entspricht. Es setzt sich zusammen aus Landwirtschaft (ca. 16 %), Industrie (ca. 20 %), Erdöl (ca. 6 %), Elektrizitätswirtschaft (ca. 2 %), Bauwirtschaft (ca. 6 %) und Dienstleistungen (ca. 50 %). Die Hauptindustriezweige sind dabei Textilien, Lebensmittelverarbeitung, Tourismus, Chemie, Erdöl, Bauwirtschaft, Zement und Metalle. Landwirtschaftliche Schwerpunkte liegen auf Baumwolle, Reis, Mais, Weizen, Bohnen, Früchten, Gemüse, Rinderzucht, Schafen und Fisch.

Bei einem jährlichen Bevölkerungswachstum von ca. 1,8 % leben 45 % der Einwohner in städtischen Regionen. Die hier zu beobachtende Wachstumsrate resultiert einerseits aus der Zuwanderung der Landbevölkerung und andererseits aus der Umklassifizierung stetig wachsender Dörfer in Städte (siehe hierzu auch Tabelle 3). Hinsichtlich der Unterscheidung zwischen städtisch und ländlich sei angeführt, dass Ägypten in 26 administrative Einheiten, sogenannte Governorates

unterteilt ist. Einen Ausnahmestatus genießen hierbei lediglich Luxor und sein Umfeld. Die vier Gouvernements Cairo, Alexandria, Port Said und Suez werden dabei als städtisch betrachtet, alle übrigen werden als ländlich eingestuft, wobei auch innerhalb der ländlichen Gouvernements durchaus größere Städte zu finden sind.

Tabelle 3: Verteilung zwischen städtischer und ländlicher Bevölkerung Ägyptens zwischen 1960 und 1996 (Mediterranean Environmental Technical Assistance Program METAP, 1997)

| Census Year | Percent Population | | |
|-------------|--------------------|-------|-------|
| | Urban | Rural | Total |
| 1960 | 38.0 | 62.0 | 100.0 |
| 1966 | 40.5 | 59.5 | 100.0 |
| 1976 | 43.8 | 56.2 | 100.0 |
| 1986 | 43.8 | 56.2 | 100.0 |
| 1996 | 43.0 | 57.0 | 100.0 |

Die Gesamtfläche Ägyptens beträgt ca. 1 001 450 km², wovon rund 95 % als Wüste bzw. Halbwüste, Salzflächen, Hügellandschaften und Dünen zu betrachten sind. Die übrigen Flächenabschnitte unterteilen sich in Städte, landwirtschaftliche Nutzfläche und Wasserkörper.

3.2 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Die Wasserressourcen Ägyptens beschränken sich auf den Nil, Grundwasser in den Wüsten und im Sinai, Regenfälle, Überschwemmungen und Meerwasserentsalzung. 95 % des Trinkwasserbedarfs des Landes werden dabei aus dem Nil gedeckt. Wasserressourcen in Ägypten werden knapp, die Trinkwassergewinnung aus dem Nil sowie aus den Grundwasservorkommen haben die vertretbare Obergrenze sowie das 1959 im Nile Agreement festgeschriebene Maximum von 55,5 Mrd. m³/a erreicht. Der Schutz der vorhandenen Wasserressourcen vor einer Verschmutzung durch die Hauptverursacher Bevölkerung, Industrie und Landwirtschaft wird hierdurch zum entscheidenden Leitthema.

Zur Umsetzung der erforderlichen Rahmengesetzgebung und gesetzlichen Bestimmungen und Erlasse wurde 2001 der Five Year Action Plan der EEAA formuliert. Inhalt des von 2002 bis 2007 geltenden Plans ist die Implementierung der politischen Vorgaben in die exekutiven Programme, welche sich untergliedern in:

- Integriertes (Fest-)Abfallstoffmanagement,

- Schutz des Nils und anderer Wasserressourcen,
- Verbesserung der Luftqualität im Großraum Cairo,
- Schulung umweltgerechter Wahrnehmung und Erziehung,
- Umweltgerechte Industriestädte,
- Umweltgerechter Technologietransfer,
- Umweltgerechte Informationssysteme,
- Umweltgerechtes Management,
- Naturschutz,
- Entwicklungsmöglichkeiten von EEAA und RBO,
- Umweltgerechte Finanzierungsmechanismen,
- Erweiterung von Grünflächen,
- Untersuchungen zum Umweltschutz,
- Internationale Einbindung ägyptischer Umweltschutzaktivitäten.

Als eine der ersten Umsetzungen wird an der Formulierung des Environmental Disaster Management Plan gearbeitet, der entsprechende Naturkatastrophenpläne – beispielsweise für Überflutungen – festschreibt, sowohl für das Verhalten vor als auch für die Tätigkeit nach deren jeweiligem Eintritt. Auswertungen früherer Katastrophen sollen benutzt werden, um Verhaltensweisen für zukünftige Ereignisse abzuleiten.

Der bereits 1992 ins Leben gerufene Environmental Plan wird durch den National Environmental Action Plan (NEAP) ersetzt. Nachhaltige Aspekte werden in umweltverträgliche Vorhaben integriert. Die Gültigkeit wird von 2002 bis 2017 festgeschrieben.

Hinzu kommen verschiedene lokale und regionale Planungen und Rahmenfestlegungen.

Viele der in Ägypten unternommenen Anstrengungen zur Etablierung einer Umweltpolitik und zur Durchsetzung einer Politik zum Schutz der natürlichen Ressourcen werden dabei von internationalen Donor-Organisationen unterstützt. Dies bezieht sich dabei nicht allein auf den Sektor Wasser, sondern betrifft ebenso übergeordnete Bereiche wie beispielsweise Naturschutz (z. B. „Lake Manzala Engineered Wetlands“ der UNDP) oder Umweltpolitik (z. B. „Egyptian Environmental Policy Program (EEPP)“ der USAID), genauso wie verwandte Sektoren wie beispielsweise Abfallmanagement.

Tabelle 4 stellt die zur Wasserversorgung zur Verfügung stehenden Ressourcen einerseits und den Wasserverbrauch andererseits gegenüber. Zudem wurde innerhalb der zugrundeliegenden Water Resources Strategy of Egypt until year 2017 des Ministry of Public Works and Water Resources eine Prognose hinsichtlich des Verbrauchs und des Angebots für das Jahr 2017 gestellt, die die stetig steigende Bedarfssituation verdeutlicht.

Tabelle 4: Gegenüberstellung zwischen Wasserbedarf und Wasserangebot für 1995/96 und für 2017 in Mrd. m³ (Japan International Cooperation Agency, 2002)

| Category | 1995/1996 | Forecasted for 2017 |
|--|--------------|---------------------|
| Water Supply | | |
| Nile River | 55.50 | 57.50 |
| Groundwater in the Nile Valley and Delta | 4.80 | 7.50 |
| Recycling of agricultural wastewater | 12.92 | 16.92 |
| Recycling of domestic wastewater | 1.14 | 13.62 |
| Recycling of industrial wastewater | 0.70 | 1.70 |
| Rains and floods | 1.00 | 1.00 |
| Loss due to evaporation in the water network | (3.00) | (3.00) |
| Total of Supply | 73.06 | 95.24 |
| Water Usage | | |
| Agriculture | 60.73 | 75.53 |
| Industry | 7.53 | 15.44 |
| Domestic | 4.54 | 6.82 |
| Navigation | 0.26 | |
| Total of Usage | 73.06 | 97.79 |
| Supply - Usage | 0.00 | -2.55 |

Ein weiteres Problem, das auch die wasserwirtschaftliche Rahmensituation beeinflusst, ist das stetige Vordringen der Wüstenflächen („Desertification“). Als Folge der Bebauung fruchtbarer Landstriche im Zuge des Städtewachstums, der Boden-erosion durch Wind, der Verunreinigung nutzbarer Böden durch Aufbringung ungenügend gereinigten Abwassers oder zu zahlreicher Pflanzenschutzmittel und Dünger oder der Versalzung veröden immer mehr Flächen. Um diesem Vordringen der Wüste zu begegnen wurden von der EEAA, dem Ministry of Agriculture

and Land Reclamation sowie weiteren Institutionen Maßnahmenpläne entwickelt, die zum Schutz der Bereiche Wiederaufforstung umsetzen.

Bemerkenswert dabei ist die Existenz von Gesetzen und Bestimmungen bzgl. geschützter Flächen (Law 102/1983) und der Verhinderung der Desertifikation (Law 53/1966, Law 124/1981, Law 116/1983 und Prime Minister Decree 2906/1995) bei gleichzeitigem Fehlen eines Gesetzes zum Schutz der natürlichen Forstflächen.

3.2.1 Städte

In den Städten besitzen ca. 96 % der Bevölkerung Zugang zu sauberem Trinkwasser, eine sichere Abwasserentsorgung ist für ca. 98 % gewährleistet. Letztere bedeutet jedoch noch nicht einen zwingenderweise vorhandenen Anschluss an ein öffentliches Kanalnetz. Diese Quote beträgt für Gesamt-Ägypten ca. 35 %, wobei in Folge enormer Investitionen in näherer Zukunft mit erheblicher Steigerung zu rechnen ist, für den städtischen Sektor sind ca. 60 bis 70 % zu nennen (Cairo besitzt das am besten ausgebaute Netz mit ca. 77 % Anschlussquote, Alexandria hingegen hat lediglich eine Quote von ca. 45 %).

3.2.2 Ländlicher Sektor

Sicheren Trinkwasserzugang besitzen in den ländlichen Regionen ca. 90 % der Bevölkerung, wobei gleichzeitig ca. 91 % an eine geregelte Abwasserentsorgung angeschlossen sind (inklusive Septic Tanks, Sickergruben etc.). Die Zugangsquote zu sicherem Trinkwasser variiert dabei je nach Region bzw. Gouvernement stark, hinzu kommen erhebliche Schwankungen innerhalb des pro-Kopf-Verbrauches.

Hinsichtlich der Gewinnung des Trinkwassers wird auf prinzipiell zwei zu unterscheidende Varianten verwiesen. Beim sogenannten „regional system“ werden Gebiete über ein Trinkwasserverteilungsnetz von einer Trinkwassergewinnungsanlage bedient, beim „individual system“ werden wenige Dörfer über Grundwasser aus einzelnen Quellen oder über Oberflächenwasserkompaktbehandlungsanlagen versorgt. Die einzelnen eingesetzten Technologien zur Aufbereitung untergliedern sich dabei wie folgt. „Traditional surface water treatment plants“ arbeiten mit der Schnellfiltration (Sand). Eine typische Anlage besteht dabei aus Koagulationsstufe, Sedimentation, Filtration und Chlorierung in Betonbecken. „Compact unit surface water systems“ zeichnen sich durch Stahltanks anstelle der Betonbecken aus. Der Titel „compact“ resultiert aus der damit einhergehenden Verringerung des Platzbedarfs im Vergleich zu „traditional systems“. „Groundwater systems“ bestehen aus Oberflächenquellen (bis 15 m Tiefe), mittleren Quellen (bis 60 m Tiefe)

oder Tiefenquellen (bis 200 m Tiefe). Sämtliche Varianten sind in der Regel nicht gegen Verunreinigungen durch Oberflächenverschmutzung geschützt. Welches System im Endeffekt zur Anwendung kommt, ist stark von den jeweiligen Randbedingungen abhängig. Knappheit an Oberflächenwasser provoziert Grundwassernutzung, Abgelegenheit verhindert den Anschluss an das Versorgungsnetz einer Trinkwassergewinnungsanlage.

3.3 Klima

Ägypten liegt bis auf Mittelmeerküste und Nildelta gänzlich im Bereich der subtropischen Halbwüsten- und Wüstenklimate mit heißen Sommern und milden Wintern. Temperaturen bis zu 50 °C bei großen Tag-Nacht-Gegensätzen prägen das Land. Mittelmeerküste und Nildelta mit winterfeucht-sommerdürrem Steppenklimate erhalten zwar noch um 200 mm Jahresniederschlag, in Kairo sind es jedoch bereits nur noch rund 25 mm im Mittel; in den Wüstenregionen fällt in manchen Jahren keinerlei Niederschlag, wobei die Jahresdurchschnittstemperatur bei über 25 °C liegt. Insbesondere im Frühjahr herrschen oft starke Winde und Sandstürme. Nur an der vom mediterranen Klima geprägten Mittelmeerküste lässt sich von den eigentlichen Jahreszeiten sprechen. Der subtropische Süden des Landes hat lediglich zwei Jahreszeiten, eine relativ kühle, mit jedoch hohen Mittagstemperaturen, und eine heiße Jahreszeit.

Die mittlere tägliche Sonnenscheindauer liegt landesweit bei über 10 Stunden. Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Süden im Mittel rund 40 %, nimmt jedoch in Richtung Norden geringfügig zu (Cairo rund 45 %).

Klimadiagramme und Niederschläge von vier Städten, deren geographische Lagen sich von Nord nach Süd erstrecken und typische Klimazonen abdecken, sind in Bild 2 zusammengestellt.

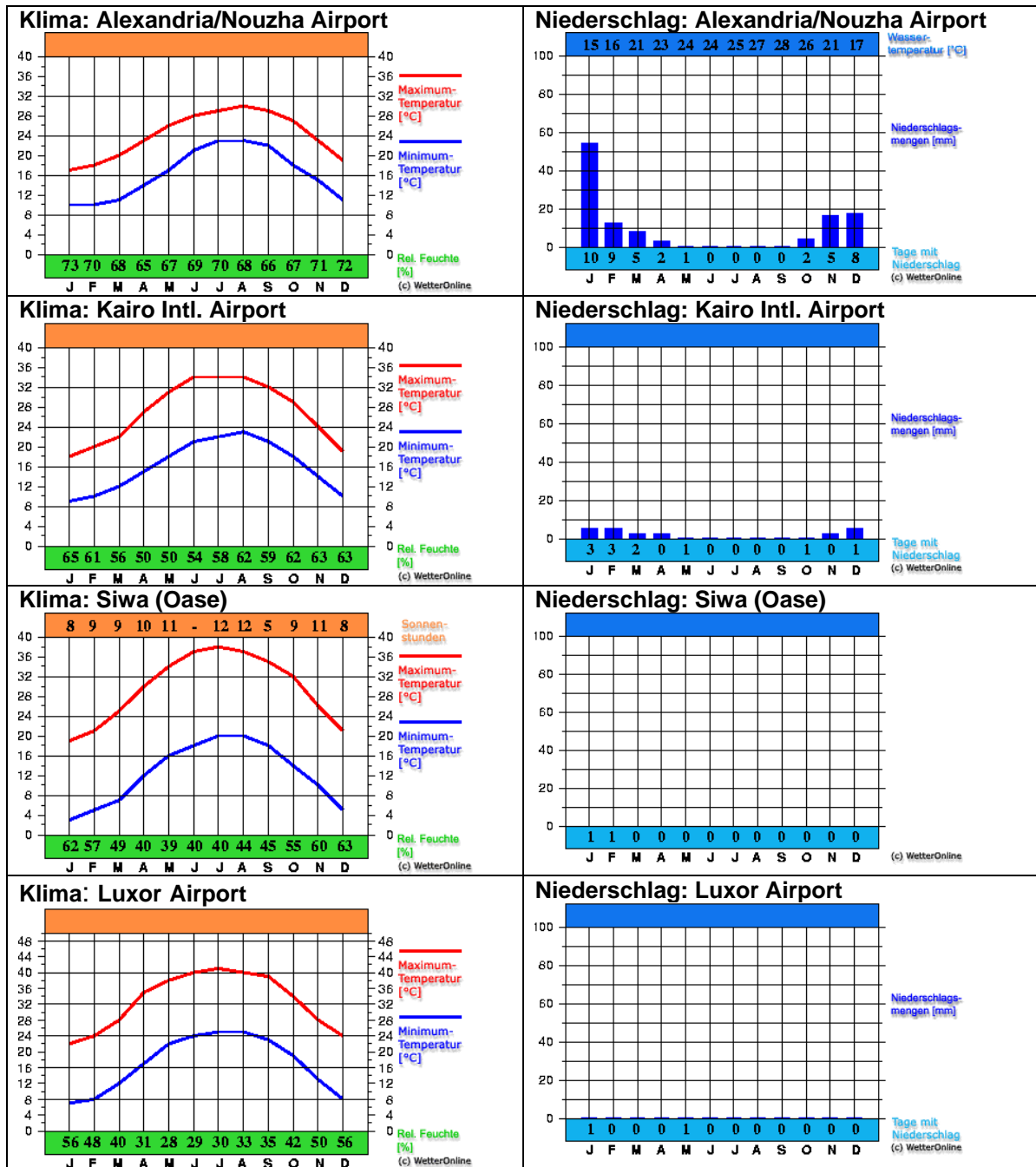


Bild 2: Klimadaten sowie Durchschnittsregenfälle ausgewählter Städte (WetterOnline GmbH, 2004)

3.4 Stand der Abwasserentsorgung

Der Großteil Ägyptens weist nur ungenügende Abwassersammelungs- und behandelungskapazitäten auf. Dies betrifft sowohl die Städte als auch die ländlichen Abschnitte. Erstere sind in der Regel infolge stetiger Bevölkerungszunahme und somit stetig steigender Abwassermengen bei gleichzeitig stagnierenden Behand-

lungskapazitäten und unveränderter Behandlungstechnik ins Ungleichgewicht zwischen Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung geraten, letztere stellen insofern eine große und nicht zu unterschätzende Gefahr für die öffentliche Gesundheit und die Wasserqualität an sich dar, als dass insbesondere infolge von Überschwemmungen, Undichtigkeiten oder ungenügenden Abtransporten Klärgruben oder Klärtanks enormes Schadstoffpotenzial ausschwemmen können. Passende und der jeweiligen Problemstellung angepasste Behandlungstechnologien werden nicht überall eingesetzt, und dies führt zu ungenügender Abwasserreinigung oder provoziert Unzulänglichkeiten in Betrieb und Unterhaltung der Anlagen. Unsachgemäße Abfallentsorgung, sowohl für behandelte als auch für unbehandelte Abfälle, beispielsweise in Form von in Wasserkörper abgekipptem Restabfall, vergrößert dabei die eingeschlossenen Gesundheitsrisiken.

4 Abwasserbeschaffenheit

Ein nahezu ausgeglichener Stand zwischen Wasserangebot und Wasserbedarf in den Jahren 1994 bis 1995 (siehe Tabelle 5) schloss einen Trinkwasserbedarf von nahezu 3,3 Mrd. m³/a ein.

Tabelle 5: Wasserangebot und Wasserbedarf Ägyptens 1994 bis 1995 (Mediterranean Environmental Technical Assistance Program METAP, 1997)

| Current water supply | Billion m ³ /yr | Current water needs | Billion m ³ /yr |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Released from Lake Nasser | 55.5 | Agriculture | 54.7 |
| Extracted from aquifers | 4.8 | Drinking water supply | 3.3 |
| Drainage reuse water | 3.9 | Industrial water supply | 5.9 |
| Domestic reuse water | 0.6 | Navigation | 0.9 |
| Total | 64.8 | Total | 64.8 |

Umgerechnet auf die Bevölkerung Ägyptens mit seinerzeit rund 60 Mio. Menschen bedeutet dies einen durchschnittlichen Verbrauch von ca. 150 Litern pro Einwohner und Tag. Hierbei sind erhebliche Schwankungen zwischen den städtischen und den ländlichen Regionen auszumachen, wobei erwartungsgemäß der Verbrauch innerhalb der Städte höher (bei ca. 215 Litern pro Einwohner und Tag) und auf dem Land geringer ausfällt (ca. 100 Liter pro Einwohner und Tag). Wegen des somit insbesondere auf dem Lande geringen Gesamtwasserverbrauchs ist das Abwasser oft hoch konzentriert, enthält zahlreiche Feststoffe und organische

Bestandteile. Zudem wurde die Präsenz fäkalcoliformer Keime und Krankheitserreger festgestellt.

Legt man eine einwohnerspezifische Fracht von ca. 55 g pro Tag für den biochemischen Sauerstoffbedarf zugrunde und berücksichtigt andererseits die rund 100 Liter pro Einwohner und Tag für den Abwasseranfall in ländlichen Gebieten, so errechnet sich eine Fracht von 550 mg pro Liter. Den Tabellenwerten ist somit eine bereits erfolgte Verdünnung des Abwassers, beispielsweise durch Infiltration von Untergrundwasser zu entnehmen.

5 Abwasserableitung

Als Folge der oft unzureichenden Abwasserableitungs- und Abwasserbehandlungskapazitäten sind insbesondere an den Stadträndern und auf dem Land auf Straßen, in lokalen Wasserstraßen oder in stehenden Gewässern endende Ableitungsinstitutionen zu beobachten. Die hiervon ausgehende Gesundheitsgefahr für Anwohner und in erster Linie am Straßenrand oder in entsprechenden Gebieten spielende Kinder sind offensichtlich. Ein direkter Zusammenhang zwischen ärmlichen Wohnverhältnissen, geprägt von morastigen Böden, unzureichender Trinkwasserversorgung, im Haushalt gehaltenen Tieren etc. und Gefährdungspotenzial für die Gesundheit der Bewohner konnte mehrfach hergestellt werden.

Im Umkehrschluss schützen funktionierende Entwässerungssysteme somit Straßen vor Überflutung und ländliche Flächen vor Versumpfung einschließlich der damit verbundenen Folgen hinsichtlich der Ausbreitung von Krankheiten und Krankheitserregern.

Im ländlichen Teil Ägyptens unterscheidet man dabei insgesamt drei verschiedene Arten des Entwässerungssystems:

- Local systems,
- Nontraditional systems,
- Traditional systems.

Erstere bedienen nur wenige Häuser und die Rohrleitungen entwässern direkt in den Boden oder in örtliche Systeme wie Klärgruben, Klärtanks, Gruften, Gräben oder dergleichen.

Nontraditional systems werden in der Regel bei speziellen örtlichen Randbedingungen eingesetzt wie beispielsweise engen Straßen und/oder hohem Grundwasserspiegel. Die häufigste und erfolgreichste Anwendung stellen Flachkanäle (Aus-

hubtiefe 0,40 bis 1,80 m) und small bore sewer - Systeme dar. Sie zeichnen sich im Unterschied zu traditional systems durch um ca. 30 bis 40 % niedrigere Baukosten aus.

Traditional systems werden in Großstädten, Städten und entwässerten Dörfern eingesetzt. Sie bestehen aus Schächten, die mittels Rohrleitungen in Tiefen zwischen 1 und 10 m verbunden sind.

Dass auch in Städten die Wasserstraßen zur Entsorgung von Müll genutzt werden, verdeutlicht Bild 3, aufgenommen in Cairo, wo sich vor einzelnen Brückenbauwerken die aufschwimmenden Abfälle türmen. Ein Großteil der Wasserstraßen verläuft dabei unterirdisch, so dass die Müllentsorgung über die Wasserstraßen nicht überall augenscheinlich wird. Bild 4 zeigt den gleichen Flusslauf auf der anderen Seite des Brückenbauwerks.

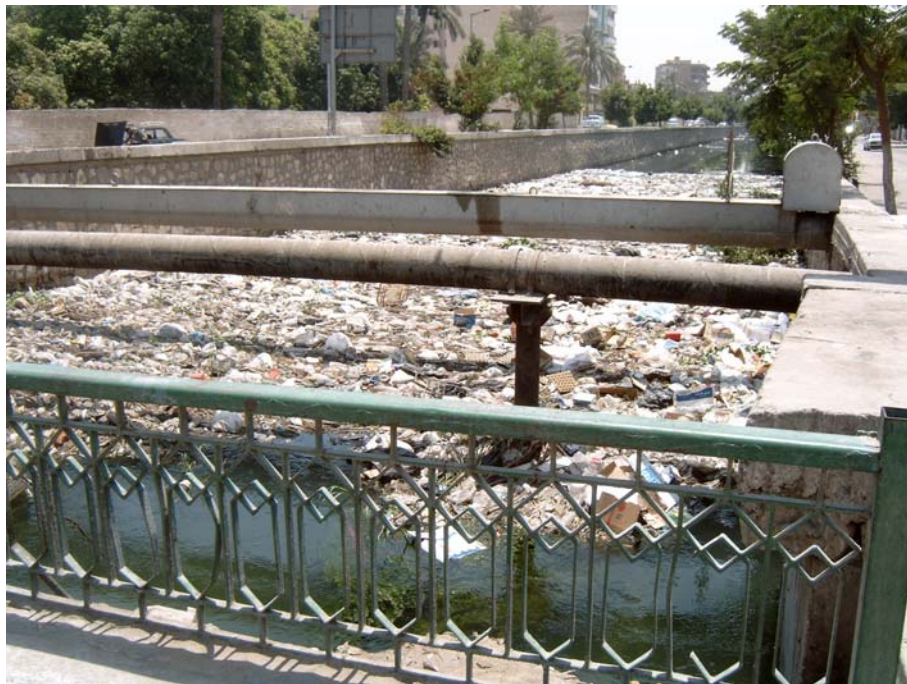


Bild 3: Müllentsorgung in den Wasserstraßen Cairos



Bild 4: Abgedeckter/kanalisierter Flusslauf in Cairo

6 Abwasserreinigung

6.1 Kommunale Abwasserreinigung

Betrachtet man die kommunale Abwasserbehandlung, so spiegeln sich in der Zahl an kommunalen Kläranlagen und den jeweils zugehörigen Behandlungskapazitäten die zuvor beschriebenen Verhältnisse hinsichtlich der Verwaltungsstrukturen und der Bevölkerungsstruktur und -dichte wider. Während insbesondere in den großen Ballungszentren (Cairo, Alexandria etc.) verhältnismäßig wenige zentrale Abwasserbehandlungsanlagen mit großen Behandlungskapazitäten überwiegen, finden sich in den eher ländlich strukturierten Gouvernements eher kleine Anlagen mit geringer Behandlungskapazität.

Dezentrale Abwasserreinigung innerhalb der Großstädte, d. h. Verteilung und Behandlung des Abwassers auf mehrere bzw. in mehreren mittelgroßen Kläranlagen hat sich dabei nicht durchgesetzt. Ursache hierfür ist, dass die ehemals bestehenden, alten Anlagen den Reinigungszielen infolge der stetig wachsenden Bevölkerungsgleichwerte nicht mehr nachkommen konnten. Die Anlagen waren sowohl hydraulisch als auch stofflich überfordert. Da jedoch die Entwässerung der angeschlossenen Bezirke (und auch kleineren Industrien ohne eigene Abwasserbehandlungsanlage) existierte und in zufriedenstellendem Maße funktionierte, wur-

den die Anlagen zu Vorreinigungsstufen modifiziert (Rechenanlagen, Absetzbecken etc.). Das Abwasser wurde dann über zum Teil mehrere Kilometer lange Rohrleitungen zu neueren, größeren Anlagen transportiert, die den Reinigungsansprüchen eher nachkommen konnten und entsprechende Behandlungskapazitäten aufwiesen. Mittlerweile sind auch diese Anlagen – wiederum in Folge der stetig steigenden Bevölkerungszahlen in den Ballungszentren oder auch in Folge der Zunahme oder Vergrößerung der angeschlossenen Industrien – hydraulisch oder stofflich oft überlastet. Teilweise werden enorme prozentuale Anteile des Zuflusses (bis zu 50 %), mit Ausnahme der angesprochenen Vorreinigung, unbehandelt in Drainagen oder Vorfluter abgeschlagen.

Hinsichtlich der Anzahl koliformer Bakterien (als MPN) in Schlammproben von insgesamt drei Abwasserbehandlungsanlagen in Cairo (Abu Rawash, El Berka, Helwan) wird auf Tabelle 6 verwiesen.

Tabelle 6: Zahl koliformer Bakterien (als MPN) in Schlammproben verschiedener Abwasserbehandlungsanlagen in Cairo (The Organisation for the Execution of the Greater Cairo Wastewater Project, 2001a)

| WWTP | Minimum | Maximum | Mean |
|--|---------|---------|-------|
| Total coliform bacteria (MPN x 10 ⁻¹⁰ per 100 ml) | | | |
| Abu Rawash | 0.01 | 280 | 38.5 |
| Berka | 0.0013 | 280 | 28.5 |
| Helwan | 190 | 560 | 297.5 |
| Faecal coliform bacteria (MPN x 10 ⁸ per 100 ml) | | | |
| Abu Rawash | 0.14 | 201 | 23.0 |
| Berka | 0.22 | 26 | 5.0 |

7 Kosten

Kostendeckung im Wassersektor ist als Funktion von Bereitstellungsaufwand, Tarifen, Gebührenerfassung und Einzugsmodalitäten zu betrachten. Der Bereitstellungsaufwand hängt dabei sowohl von den Fixkosten als auch von der Effizienz des Betriebes ab.

Tarife werden in Ägypten von den zentralen und den lokalen Regierungsstellen festgelegt; Abwassergebühren werden dabei als prozentualer Aufschlag auf die Trinkwasserrechnung erhoben. Lokale Gremien berechnen Aufwendungen und

nehmen den Gebühreneinzug vor, Einnahmen sind jedoch an das Finanzministerium abzuführen.

Tabelle 7 stellt exemplarisch die Wasserkosten für fünf ägyptische Gouvernements zusammen, wobei zwischen den aktuellen Kosten und den Kosten einschließlich Schuldentilgung zu unterscheiden ist.

Tabelle 7: Wasserkosten in fünf exemplarischen ägyptischen Gouvernements (Mediterranean Environmental Technical Assistance Program METAP, 1997; 1 LE = 0,13339 EUR, Stand 07.2004)

| Governorate | Kafr El Sheikh | Beheira | Alexandria | Damietta | Cairo |
|--|----------------|---------|------------|----------|-------|
| Actual cost, LE/m ³ | 0.49 | 0.46 | 0.37 | 0.33 | 0.395 |
| Total cost, LE/m ³ , Including debt retirement | 0.61 | 0.60 | 0.47 | 0.43 | 0.47 |

8 Wiederverwendung

8.1 Abwasser

Wiederverwendung von Abwasser ist in Ägypten aufgrund der immer größer werdenden Differenz zwischen Dargebot und Bedarf ein an Bedeutung immer mehr gewinnender Themenkomplex. Insbesondere in der jüngeren Vergangenheit wurden zahlreiche Versuche unternommen, Abwasserwiederverwendung zu kontrollieren, Standards für wieder zu verwendendes Abwasser hinsichtlich der Belastungen festzulegen, Anforderungen an Reinigungssysteme und Grenzwerte für Frachten festzulegen.

Hierbei wird an erster Stelle auf Decree 44/2000 (s. o.) verwiesen, der für die einzelnen Behandlungstechniken „Primary Treatment“, „Secondary Treatment“ and „Tertiary-“ bzw. „Advanced Treatment“ genau festschreibt, welche Pflanzenkulturen mit dem jeweiligen Ablaufwasser bewässert werden dürfen, welche Bewässerungsmethode zu bevorzugen ist und welche Bodenarten sich für eine entsprechende Bewässerung mit gereinigtem Abwasser überhaupt eignen.

Gleichzeitig werden für einzelne Parameter wie BSB, CSB, AFS und Schwermetalle sowie für einzelne mikrobiologische Parameter wie Nematoden oder fäkalkoli-forme Keime Grenzwerte für die jeweiligen Behandlungsabstufungen festgelegt.

Hinsichtlich der mikrobiologischen Qualitätsanforderungen an zu Bewässerungszwecken wieder zu verwendendes Abwasser wurden darüber hinaus weitergehende Anforderungen formuliert, die zusätzlich eine Klassifizierung der zu bewässernden Feldfrüchte vornehmen, erstmals auch die Gefährdung der Feldarbeiter berücksichtigen und Empfehlungen zum Erreichen der geforderten Qualitätsstandards aussprechen. Diese Ausführungen wurden unter dem Titel „Egyptian Microbiological Quality Standards“ im Rahmen von Decree 44/2000 zusammengestellt.

Da über kurz oder lang nicht davon auszugehen ist, dass gereinigtes Abwasser einen Standard erreichen wird, der eine unbedenkliche Verwendung zu Bewässerungszwecken erlaubt, sind sowohl Qualitäts-Standards für mikrobiologische Parameter festgelegt als auch Bewässerungstechniken für unterschiedliche Feldfrüchte verbindlich vereinbart worden, um zusätzlich die Gefährdung der Feldarbeiter zu minimieren, einen Schadstoffaustrag aus dem Bewässerungsareal zu verhindern und den bewässerten Boden nicht zu „überfrachten“. Die einzelnen Grenzwerte sind dabei identisch mit den 1989 von der World Health Organization (WHO) herausgegebenen Empfehlungen und gleichzeitig miteingegangen in die Formulierung der unter Artikel 15 des Erlasses 44/2000 formulierten „Maximum criteria for authorized re-use of treated wastewater and the degree of treatment“.

Zum Schutz der Farmarbeiter wurde im gleichen Erlass festgeschrieben, dass jeder Arbeiter entsprechende Gesundheitsnachweise vorzulegen und sich jährlichen Untersuchungen zu unterziehen hat. Arbeitsausfälle sind zu dokumentieren und ursachentechnisch zu erforschen, ein Zusammenhang mit abwassertechnischen Begründungen ist festzuhalten. Vor der Aufnahme einer Beschäftigung auf einer Farm, deren Bewässerung mit gereinigtem Abwasser betrieben wird, werden Schulungen vorgeschrieben, die einerseits das Gefährdungspotenzial darstellen und andererseits strikte persönliche Hygiene vorschreiben. In Zusammenarbeit mit dem Ministry of Health werden dem Arbeiter Infektionswegunterbrechungen aufgezeigt. Für einzelne Wasserqualitätsparameter werden in Abhängigkeit der Konzentration Auflagen zum Umgang bei der Bewässerung gemacht.

Für Feldfrüchte werden sowohl Empfehlungen hinsichtlich der Bewässerungsmethode als auch Einschränkungen für die Bewässerungsphasen oder die bewässerten Flächen formuliert.

8.2 Klärschlamm

Erwartungsgemäß variiert die eine Verwertung des Klärschlammes limitierende Zusammensetzung stark und zwar in direkter Abhängigkeit von Art und Grad der in-

dustriellen Entlastungen in das Entwässerungssystem und vom Grad der Behandlung, der das zu reinigende Abwasser und der Klärschlamm unterzogen werden. Insbesondere Metallverarbeitung oder die Elektronikindustrie sind verantwortlich für „potentially toxic elements (PTE)“, Schlachthöfe und andere tierverarbeitende Betriebe sind signifikante Quellen für den Eintrag von Pathogenen, die chemische Industrie ist Haupteintragsquelle für gefährliche organische Rückstände. Angemerkt sei zudem, dass erschwerenderweise durch die etablierten Behandlungstechniken – mit Ausnahme eines Einflusses auf den Gehalt an pathogenen Keimen – kaum eine nennenswerte Reduktion der angeführten Schadstoffe erreicht wird.

Tabelle 6 und Tabelle 8 stellen für einzelne Abwasserbehandlungsanlagen Cairos den Gehalt an koliformen Bakterien sowohl im Mini- und Maximum als auch im Mittel dar und verdeutlichen zudem den prozentualen Anteil an auf Parasiteneier positiv getesteten Klärschlammproben an den insgesamt genommenen Proben, wobei die Spanne innerhalb der Proben als zusätzliche Information enthalten ist.

Tabelle 8: Prozentuale Anteile auf Parasiteneier positiv getesteter Klärschlammproben einzelner Abwasserbehandlungsanlagen Ägyptens (The Organisation for the Execution of the Greater Cairo Wastewater Project, 2001a)

| Parasite | Abu Rawash | Berka | Zenein | Shoubra El Kheima | Helwan |
|------------------|------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|
| Elmeria | 24 (5-25) | 47 (5-50) | 41 (5-25) | 36 (5-25) | 45 (5-50) |
| Heterophys | 5 (5) | 0 | 6 (25) | 6 (10) | 5 (5) |
| Trichostrongylus | 14 (5) | 29 (1-10) | 0 | 6 (5) | 15 (1-5) |
| Ascari | 5 (1) | 12 (10) | 6 (5) | 6 (1) | 0 |
| Fasciola | 5 (20) | 18 (5-25) | 0 | 0 | 0 |
| N | 21 | 17 | 17 | 33 | 20 |

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Die zukünftigen Schwerpunkte im Bereich der Abwasserentsorgung liegen für Ägypten zweifelsohne darin, die Abwassersammlung dahingehend zu optimieren, dass Fremdstoffeinträge minimiert werden. Hier sind sowohl Feststoffeinträge (Abfall) als auch Fremdwasserzuflüsse anzusprechen. Anschlussquoten bieten Ausbaupotenzial, insbesondere vor dem Hintergrund der gesundheitlichen Aspekte im

Zusammenhang mit unregelmäßiger Entwässerung in ländlich strukturierten Gebieten.

In Bezug auf die Abwasserreinigung ist festzustellen, dass sich verschiedene Verfahrenstechniken etabliert haben und auch in der Regel zufriedenstellend arbeiten. Das Hauptaugenmerk ist hier vorrangig auf die Schaffung von ausreichend Abwasserbehandlungskapazitäten zu legen, um erstens den gegenwärtig zufließenden Volumenstrom zufriedenstellend reinigen zu können und um zweitens ausreichend Kapazitäten für die in Zukunft zu erwartenden steigenden Zuflussvolumina infolge der stetig zunehmenden Bevölkerungszahlen zu schaffen. Abschlagsquoten von teilweise über 50 % sind langfristig nicht haltbar. Verfahrenstechnische Aspekte sind zu optimieren, eine konsequente Überwachung von Zulauf- und Ablaufwerten ist sicherzustellen. Risikopotenzial (vor allem durch Industrieinleiter) ist zu erfassen und ggf. durch geeignete Vorbehandlungseinheiten in den entsprechenden Industriebetrieben zu begrenzen.

Was die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser angeht, bleibt kaum eine andere Möglichkeit, als diese in maximalem Umfang – unter Sicherstellung der notwendigen Anforderungen an die Qualität des eingesetzten Wassers – umzusetzen. Die Wasserressourcen Ägyptens werden stetig knapper, der Bedarf an Wasser zu unterschiedlichsten Einsatzzwecken steigt. Entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen befinden sich im Stadium der Festlegung. Eine ausreichende Kontrolle der Einhaltung der somit geschaffenen Vorgaben ist zwingenderweise zu gewährleisten. Unkontrollierte Wiederverwendung, d. h., Entnahme beispielsweise zu Bewässerungszwecken ohne Autorisierung, ist auszuschließen. Die gegenwärtig praktizierte Wiederverwendung von Abwasser, das von den Abwasserbehandlungsanlagen ungereinigt abgeschlagen wird, ist nicht mehr tolerierbar.

Bei sämtlichen Schwerpunkten sind voraussichtlich internationale Geberorganisationen gefordert, um den finanziellen Rahmen herzustellen. Eine ausreichende Betreuung der Anlagen in der Anlaufzeit erscheint ratsam. Technisch hochentwickelste Verfahren sollten hierbei erst erwogen werden, wenn sich beispielsweise in ersten Ausbauphasen die etablierten Verfahren als betriebstechnisch zuverlässig erwiesen haben. Nachdruck sollte gelegt werden auf ausreichende Schulung und Weiterbildung des Anlagenpersonals und vor allem der Anlageningenieure.

Deutsche Technologie genießt dabei an sich ein hohes Ansehen, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit sowie Leistungsstärken sind anerkannt.

10 Literatur und Quellen

- Abdel-Shafi, E. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Ägypten. Juli, 2004
- Baky Mostafa, A. M. A. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Ägypten. Juli, 2004
- Cairo General Organization for sanitary Drainage West Bank Sector (2004) Zenien W.W.T.P.. Loseblattsammlung
- Gaafar, I. A. N. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Ägypten. Juli, 2004
- Gaber, A. (2003) Vortrag „Wastewater Reuse Egyptian Code“
- Gaber, A. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Ägypten. Juli, 2004
- Japan International Cooperation Agency (2002) Country Profile on Environment–Egypt. www.jica.go.jp/english/global/env/profiles/pdf/10.pdf (08.12.2004)
- Mediterranean Environmental Technical Assistance Program METAP (1997) Water Supply and Sanitation in Rural Egypt
- The Organisation for the Execution of the Greater Cairo Wastewater Project (2001a), East Bank Effluent Re-Use Study – Code of Practice
- The Organisation for the Execution of the Greater Cairo Wastewater Project (2001b), East Bank Effluent Re-Use Study – Final Report
- USAID (1997), Environmental Assessment Alexandria Wastewater Project Phase II, Appendix
- Wanees, S. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Ägypten. Juli, 2004
- WetterOnline GmbH (2004) Deutschland, www.wetteronline.de (16.11.2004)

11 Anlagen (auf CD beigelegt)

- Anlage 1: Ergänzende Angaben zu den besuchten Klärwerken
- Anlage 2: Gesetze und Verordnungen, Bemessungs-, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien
- Anlage 3: Allgemeine Angaben
- Anlage 4: Abwasserbeschaffenheit
- Anlage 5: Abwasserableitung
- Anlage 6: Abwasserreinigung

Anlage 7: Wiederverwendung

Anlage 8: Fragebögen

Anlage 9: Visitenkarten der Gesprächspartner



Brasilien

Uwe Menzel,
Universität Stuttgart



1 Einleitung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Abwassersituation sowie die abwassertechnischen Rahmenbedingungen des Landes Brasilien. Im Rahmen einer Datenerhebung vor Ort wurden sowohl mehrere im Abwassersektor tätige Institutionen als auch kommunale Kläranlagen mit verschiedenen Verfahrenstechniken besucht.



Bild 1: Übersichtskarte von Brasilien mit den Standorten aufgesuchter Kläranlagen

Brasilien wird, wie Bild 1 zeigt, in die fünf Großregionen Norden, Nordosten, Mittlerer Westen, Südosten und Süden eingeteilt. Das Land weist sowohl zwischen den Regionen als auch zwischen den einzelnen Bundesstaaten in verschiedenen Be-

reichen sehr große Unterschiede auf. Diese können, um nur einige zu nennen, klimatisch, entwicklungstechnisch, umwelttechnisch oder/und sozial bedingt sein.

Die durchgeführte Datenerhebung konzentriert sich auf die Abwassersituation im:

- Bundesstaat São Paulo (SP) als Repräsentant für die Region Südosten,
- Bundesstaat Paraná (PR) und Bundesstaat Santa Catarina (SC) als Repräsentanten für die Region im Süden,
- Bundesstaat Ceará (CE) als Repräsentant für die Region Nordosten.

Diese gewählten Bundesstaaten spiegeln auszugsweise die Vielseitigkeit des Landes Brasilien wider. Im Rahmen der Möglichkeiten des vorliegenden Projektes musste eine Auswahl an Regionen in Brasilien getroffen werden, in denen die Datenerhebung durchgeführt werden soll. Im Infrastrukturbereich nehmen die südlichen und südöstlichen Bundesstaaten generell eine führende Position ein. Die umwelttechnische Entwicklung in Brasilien ist im Süden des Landes ebenfalls am fortschrittlichsten, daher können die in den Bundesstaaten PR und SC erhobenen Daten als richtungsweisend angenommen werden. Im Mittleren Westen und Norden ist von einer sehr unterentwickelten Abwassertechnik auszugehen, wodurch auch kaum Abwasserdaten in diesen Regionen vorhanden sind. Somit wurden für den Mittleren Westen und Norden keine direkten Informationen erhoben. Ein Großteil der technischen Informationen wurde von der abwassertechnischen Institution SABESP in São Paulo zur Verfügung gestellt, wodurch ein Informationsschwerpunkt entsteht.

Die besuchten Institutionen und Kläranlagen sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführt sowie in Bild 1 eingezeichnet. Die Daten der größten kommunalen Kläranlage Lateinamerikas, ETE Barueri in São Paulo mit einer Kapazität von 4,46 Mio. EW, wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes ebenfalls erhoben.

Generell kann festgestellt werden, dass die Schere zwischen einer relativ guten Trinkwasserversorgung und einer mangelhaften Abwasserentsorgung ein grundsätzliches Problem in Brasilien darstellt. Das Land steht vor einer großen Herausforderung beim Ergreifen von Maßnahmen, um dieses Ungleichgewicht zu schließen. Es ist allerdings bereits eine tendenzielle Verbesserung der Situation zu beobachten.

Tabelle 1: Übersicht über besuchte Institutionen

| Institution | Bundesstaat | Bedeutung |
|-------------|---------------------|--|
| SABESP | São Paulo (SP) | Bundesstaatliches Ver-/Entsorgungsunternehmen |
| SMA | São Paulo (SP) | Bundesstaatliche Umweltbehörde |
| USP | São Paulo (SP) | Universidade de São Paulo, Department of Hydraulic and Sanitary Engineering |
| SANEPAR | Paraná (PR) | Bundesstaatliches Ver-/Entsorgungsunternehmen |
| IAP | Paraná (PR) | Bundesstaatliches Institut für Umwelt |
| CEFET-PR | Paraná (PR) | Staatliches technologisches Ausbildungszentrum |
| UFPR | Paraná (PR) | Universidade Federal de Paraná, Curitiba (Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química) |
| SENAI-PR | Paraná (PR) | Umwelttechnologiezentrum der Industrie Departamento Regional do Paraná, Curitiba |
| CASAN | Santa Catarina (SC) | Bundesstaatliches Ver-/Entsorgungsunternehmen |
| UFSC | Santa Catarina (SC) | Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis |
| CAGECE | Ceará (CE) | Bundesstaatliches Ver-/Entsorgungsunternehmen |
| UFC | Ceará (CE) | Universidade Federal do Ceará, Fortaleza |

Tabelle 2: Übersicht über besuchte Kläranlagen

| KA, in Betrieb seit | Standort | Betreiber | Verfahren | Kapazität |
|---------------------------------|-------------------------|-----------|--------------------|--|
| ETE ¹⁾ Barueri, 1988 | RMSP ²⁾ , SP | SABESP | Belebtschlamm | 4 460 000 EW, 9,5 m ³ /s |
| ETE ABC, 1998 | RMSP, SP | SABESP | Belebtschlamm | 1 400 000 EW, 3,0 m ³ /s |
| ETE Parque Novo Mundo, 1998 | RMSP, SP | SABESP | Belebtschlamm | 1 200 000 EW, 2,5 m ³ /s |
| ETE São Miguel, 1998 | RMSP, SP | SABESP | Belebtschlamm | 720 000 EW, 1,5 m ³ /s |
| ETE Suzano, 1982 | RMSP, SP | SABESP | Belebtschlamm | 720 000 EW, 1,5 m ³ /s |
| ETE Curitiba | Curitiba, PR | SANEPAR | RALF ³⁾ | 560 000 EW |
| ETE Insular, 1996 | Florianópolis, SC | CASAN | Belebtschlamm | 175 000 EW, geplanter Ausbau 225 000 EW |

Tabelle 2 (Forts.): Übersicht über besuchte Kläranlagen

| KA, in Betrieb seit | Standort | Betreiber | Verfahren | Kapazität |
|----------------------------|-------------------|-----------|----------------------------------|------------|
| ETE Sistema de Potecas | Potecas, SC | CASAN | Abwasserteiche | 90 000 EW |
| ETE Joinville | Joinville, SC | CASAN | Abwasserteiche | 350 000 EW |
| Canasvieiras-Florianópolis | Florianópolis, SC | CASAN | Oxidationsgraben | 20 260 EW |
| ETE Waldemar de Alcantara | Fortaleza, CE | Privat | Anaerob (UASB)/ Belebtschlamm | 3 600 EW |

1) ETE = Estações de Tratamento de Esgotos (Abwasserbehandlungsanlage)

2) RMSPP = Região Metropolitana de São Paulo (städtisches Ballungsgebiet um São Paulo)

3) RALF = Reator Anaeróbico de Lodo Fluidizado (anaerober Schwebepfannreaktor)

2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

2.1 Gesetzliche Regelungen

Die gesetzlichen Bestimmungen sind geprägt durch brasilianische Rahmengesetze, welche durch die Bundesstaaten konkretisiert und umgesetzt werden. Im nationalen Gesetz 9433 von 1997 wird eine Wasserwirtschaft, bei der eine Mehrfachnutzung von Wasser ermöglicht wird sowie eine nachhaltige, rationelle und integrierte Nutzung der Wasserressourcen gefordert. In CONAMA 20 (Conselho Nacional de Meio Ambiente, Nationaler Umweltrat) von 1986, derzeit in Überarbeitung, werden neben einer Charakterisierung von Wassergüteklassen, auch Grenzwerte für die Direkteinleitung von Abwasser festgelegt. Auf bundesstaatlicher Ebene sind entsprechende Verordnungen maßgebend, die diese Bedingungen mindestens einhalten müssen. So schreibt z. B. die Verordnung Decreto 8468 von 1976 in São Paulo, ebenso wie der Erlass Portaria N°154 von 2002 in Ceará, Grenzwerte für die Direkt- und Indirekteinleitung von Abwasser vor. Letzterer bestimmt zudem die zulässige Abwasserqualität für die Unterwassereinleitung in den Ozean. Im Bundesstaat Santa Catarina gilt die Verordnung 14750, die strengere Grenzwerte als CONAMA 20 beinhaltet. In Tabelle 3 werden verschiedene Anforderungen an die Abwassereinleitung anhand ausgewählter Parameter verglichen.

Tabelle 3: Auszug unterschiedlicher Grenzwerte für die Abwassereinleitung

| Parameter | Direkteinleitung | | | Indirekteinleitung |
|----------------------------------|--|--|---|---|
| | Brasilien: CONAMA 20, Art. 21 | São Paulo: Decreto 8468/76, Art. 18 | Deutschland: AbwV, Anhang 1 ^{*)} | São Paulo: Decreto 8468/76, Art. 19A |
| pH | 5 - 9 | 5 - 9 | - | 6 -10 |
| Temperatur (°C) | < 40 und max. Erwärmung des Gewässers um 3 °C | < 40 | - | < 40 |
| Lipophile Stoffe (mg/l) | Mineral.:20, pflanzlich und tierisch: 50 | 100 | - | Visuell nicht erkennbar und max. 150 |
| Sedimentierbare Stoffe (ml/l) | 1,0 | 1,0 | - | 20 |
| Abflussregelung | $Q_{d,max} < 1,5 \cdot Q_d$ | 24-stündige Einleitung mit $Q_{d,max} < 1,5 \cdot Q_d$ | - | 24-stündige Einleitung, mit max. 50%iger Abweichung von Q_d |
| BSB ₅ (mg/l) | - | 60 oder 80%ige Elimination | 15 ^{**)} | - |
| CSB (mg/l) | - | - | 75 ^{**)} | - |
| NH ₄ -N (mg/l) | 5 | - | 10 ^{**)} | (50: Port. 154) |
| N _{ges} (mg/l) | - | - | 13 ^{**)} | |
| P _{ges} (mg/l) | - | - | 1 ^{**)} | |
| Sulfat (mg/l) | - | - | - | 1 000 |
| Kupfer (mg/l) | 1,0 | 1,0 | - | 1,5 |
| Eisen gelöst (mg/l) | 15,0 | 15,0 | - | 15,0 |
| Zink (mg/l) | 5,0 | 5,0 | - | 5,0 |

*) Anhang 1 zur Abwasserverordnung (AbwV): Häusliches und kommunales Abwasser

***) Wert gilt für Kläranlagen der Größenklasse 5, d. h. mit mehr als 6 000 kg BSB₅-Fracht pro Tag, für kleinere Anlagen gelten entsprechend schwächere Grenzwerte

Die Grenzwerte des Erlasses Portaria N°154 (Ceará) für Direkt- und Indirekteinleiter stimmen im Wesentlichen mit den Werten in Decreto 8468 (São Paulo) über-

ein. Allerdings gibt es für die Direkteinleitung folgende wichtige Unterschiede. Im Erlass Portaria N°154 ist folgendes verankert:

- Vorhandener Grenzwert für CSB von 200 mg/l,
- Vorhandener Grenzwert für coliforme Keime von 5 000 MPN/100 ml,
- Unterschiedliche Grenzwerte für die Abwasserbehandlung mit Abwasserteichen hinsichtlich pH-Wert (7,5 bis 10), Feststoffkonzentration (150 mg/l) und zusätzliche Werte für BSB₅ (60 mg/l, filtrierte Probe) und gelösten Sauerstoff (> 3,0 mg/l).

Die vorherrschenden Grenzwerte zur Direkteinleitung sind in Brasilien im Vergleich zu den Grenzwerten des Anhangs 1 „Einleitung von häuslichem und kommunalem Abwasser“ der Abwasserverordnung (AbwV) sehr unterschiedlich. In Anhang 1 der AbwV werden im häuslichen Abwasser typisch vorkommende Stoffe, wie organische Fracht anhand des CSB und BSB₅ sowie Nährstoffe nach dem Stand der Technik begrenzt. Für Brasilien hingegen wird in CONAMA 20, Art. 21 kein direkter Grenzwert für BSB₅ oder CSB angegeben. Eine Begrenzung erfolgt nur indirekt, da eine Abwassereinleitung nicht zu einer negativen Veränderung der Gewässergüteklasse führen darf und für diese jeweils ein BSB₅-Wert definiert ist, wie z. B. 10 mg/l für die Güteklasse 3. Nur in dem relativ jungen Erlass Portaria N°154 von 2002 für Ceará ist ein Grenzwert für CSB bzw. BSB₅ enthalten.

Hinsichtlich der Nährstoffe wird in CONAMA 20, Art. 21 zwar der relativ strenge Wert von 5 mg/l NH₄-N angegeben, für andere Stickstoffverbindungen sowie für Phosphat sind die entsprechenden vorgegebenen Werte für die Güteklassen des Gewässers, in das eingeleitet wird, einzuhalten. Auffallend sind die angegebenen Grenzwerte für Schwermetalle in den brasilianischen Gesetzen.

Die Grenzwerte sind generell eher für die Einleitung von Industrieabwasser als für kommunales Abwasser geeignet und sollten auf eine Einleitung von kommunalem Abwasser abgestimmt werden. Eine Überarbeitung findet derzeit statt.

In Brasilien werden sehr häufig ausländische Regelwerke z. B. aus den USA/Kanada, als auch ISO-Normen herangezogen und spielen somit eine wichtige Rolle. Für Analysemethoden wird beispielsweise auf die amerikanischen „Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater“ verwiesen. Brasilianische Normen von ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasilianischer Verband für technische Normen) basieren auf ausländischen Regelwerken und berücksichtigen lokale Verhältnisse. ABNT hat verschiedene Richtlinien veröffentlicht, darunter auch die ABNT-NB-570 für Projekte der Abwasser-

behandlung bzw. die NBR 12209 als deren Nachfolgerin. Weiterhin werden beispielsweise in NBR 9648 Hinweise zur Konzeptionisierung für Abwassersysteme und in NBR 9649 zu Projekten bezüglich der Abwasserableitung gegeben.

Die Überwachung der Abwasserbehandlungsanlagen erfolgt in den einzelnen Bundesstaaten durch unterschiedliche bundesstaatliche Institutionen, allerdings eher unregelmäßig und wenig organisiert. Generell werden industrielle Abwasseranlagen stärker kontrolliert als kommunale. Im kommunalen Bereich führen zumindest die großen Betreiber Eigenkontrollen durch und stellen diese Daten bei Bedarf den kontrollierenden Instanzen zur Verfügung, d. h. die Überprüfung erfolgt im Wesentlichen durch Kontrolle der Eigenkontrolle.

Für die Abwasserwiederverwendung gibt es im Allgemeinen keine direkten rechtlichen Bestimmungen auf Länder- oder staatlicher Ebene. Allerdings enthält der neue Entwurf von CONAMA 20 Vorgaben bezüglich der Wasserwiederverwendung. Außerdem wird derzeit an einem nationalen Gesetzentwurf basierend auf dem Gesetz 9433/97 für den Wiedereinsatz von gereinigtem Abwasser gearbeitet. Eine Sonderposition nimmt hier der Erlass Portaria N° 154 im Bundesstaat Ceará ein, in dem Grenzwerte für die Wiederverwertung von Abwasser in der Landwirtschaft vorgegeben werden.

Für den Stufenausbau von Kläranlagen und den Ausbau bzw. für den Anschlussgrad der Kanalisation sind keine gesetzlichen Regelungen vorhanden. Grundsätzlich wird in den Abwasserbehandlungsanlagen zunächst die Kohlenstoff-Elimination realisiert. Im Folgenden ist dann i. d. R. ein Stufenausbau der Kläranlage und des Kanalnetzes zur Erhöhung der Kapazität geplant. Eine Erweiterung der Kläranlage um eine Behandlungsstufe zur Nährstoffentnahme ist denkbar, falls die nötigen finanziellen Mittel vorhanden sind, aber nicht direkt planmäßig festgelegt.

2.2 Verwaltungsstruktur

In den letzten Jahren fand ein umfassender Dezentralisierungsprozess im Abwassersektor statt, um lokale Entscheidungsträger zu stärken. Auf nationaler Ebene stehen z. B. die staatliche Wasserbehörde ANA (Agência Nacional de Aguas) und das nationale Amt für Umwelthygiene SNSA (Secretário Nacional de Saneamento Ambiental), die die Umsetzung der nationalen Politik im Abwassersektor koordinieren. Auf bundesstaatlicher Ebene sind jeweils unterschiedliche Institutionen über eine Vielzahl von Ämtern und Gremien bis hin zu Einrichtungen auf der kommunalen Ebene angeordnet, was insgesamt zu einer unübersichtlichen Verwaltungsstruktur führt.

Die Abwasserentsorgung liegt wie die Trinkwasserversorgung grundsätzlich im Zuständigkeitsbereich der Städte und Kommunen. In der Regel vergeben diese sie jedoch in Konzession an große bundesstaatliche, überregional operierende Unternehmen, wie z. B. SABESP. Insgesamt 25 solcher Großversorger sind für 69,6 % aller brasilianischen Kommunen und für entsprechend 76,2 % der städtischen Bevölkerung zuständig (SNIS, 2004). Der verbleibende Anteil wird durch kommunale Eigenbetriebe ähnlich wie Stadtwerke oder Zweckverbände bzw. direkt über die Kommunen versorgt. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die in ganz Brasilien vorkommende eigenständige, kommunale Verwaltungseinheit SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto), die in Santa Catarina beispielsweise einen Versorgungsanteil von 20 % besitzt.

3 Rahmenparameter

3.1 Klima

Die klimatischen Verhältnisse variieren in Brasilien aufgrund der Größe des Landes sehr stark. Sie reichen von tropischen, immerfeuchten Regionen im Norden über subtropische bis hin zu gemäßigten Zonen mit ausgeprägten Regen- und Jahreszeiten im Süden des Landes.

Die Temperaturen liegen im Norden während des ganzen Jahres um 27 °C, entlang der Atlantikküste zwischen 21 und 24 °C, wobei die Temperaturen im Nordosten kaum schwanken, in Rio de Janeiro je nach Jahreszeit jedoch zwischen 18 und 40 °C sein können. Die Jahreszeiten sind im Süden mit Temperaturen von 21 bis 32 °C im Sommer und Werten um 10 °C im Winter deutlich gekennzeichnet. Die Sonnenscheindauer nimmt in der Regel von Äquatornähe in Richtung Süden ab, durchschnittlich scheint in Recife im Nordosten die Sonne 7,9 Stunden pro Tag, in São Paulo sind es im Schnitt nur etwa 5,6 Stunden täglich. Die Sonnenstrahlung pro Jahr liegt im Norden und Südosten bei Werten zwischen ca. 1 400 und 1 700 W/m² und im Mittleren Westen bei 1 500 bis 2 000 W/m². Die höchsten Werte werden im Nordosten und Süden mit etwa 1 800 bis 2 200 W/m² erreicht.

Hinsichtlich des Niederschlages wird unterschieden zwischen den immerfeuchten Tropen im Norden mit teilweise mehr als 3 000 mm Niederschlag pro Jahr, dem semiariden Nordosten (840 mm pro Jahr, mit nur etwa 25 mm Niederschlag pro Monat in den trockenen Wintermonaten) und dem semihumiden Großteil des Binnenlandes und des Südostens mit charakteristischen Trocken- und Regenzeiten. Im Süden ist der Niederschlag relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. Die po-

tentielle jährliche Verdunstungsrate ist vor allem im trockenen Nordosten mit einem Wert von 3 000 mm pro Jahr hoch und liegt damit weit über dem Jahresniederschlag.

3.2 Trinkwasserversorgung

In Brasilien sind über 90 % der städtischen Bevölkerung an eine öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen, d. h. es liegt eine weitgehend flächendeckende Versorgung vor. Zur Trinkwassergewinnung wird überwiegend Oberflächenwasser aus Flüssen herangezogen. Diese werden zunehmend durch die Einleitung von unbehandeltem Abwasser vor allem mikrobiologisch belastet. Der Wasserverbrauch variiert zwischen ca. 100 und 350 l pro Einwohner und Tag und hängt u. a. von den sozialen Verhältnissen der Einwohner ab. Für das Jahr 2002 ermittelte SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre saneamento, nationales Informationssystem über die Wasser-/Abwassersituation) für die überregionalen Wasserversorger den Durchschnittswert von 142,6 l/(E·d) an Wasserverbrauch. Die kommunalen Betriebe unter öffentlicher bzw. privater Verwaltung kamen mit 184 bzw. 166 l/(E·d) auf höhere Werte (SNIS, 2004). Der Hauptbedarf an Wasser liegt in Brasilien ebenso wie im weltweiten Durchschnitt, bei 68 % für die Landwirtschaft. Der Anteil der Industrie am Gesamtwasserbedarf umfasst 14 %, die restlichen 18 % werden für die kommunale Trinkwasserversorgung benötigt.

Die Verluste für die Wasserwerke sind mit einem Durchschnittswert von 40,5 % innerhalb einer Spannweite von etwa 30 bis 70 % sehr hoch. Ihre Hauptursache sind Netzverluste, aber auch illegale Anschlüsse. Brasilien gilt grundsätzlich als wasserreiches Land, allerdings können in den Ballungszentren periodische Wasserdefizite auftreten. So wird die Wasserversorgung in São Paulo aufgrund des hohen Wasserbedarfs und der relativen Trockenheit der Region beispielsweise als unsicher eingestuft. Allgemein geben laut IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia y Estatística, Brasilianisches Institut für Geographie und Statistik) von den insgesamt 8 656 Distrikten, die eine Wasserversorgung aufweisen (entspricht 87,9 % aller brasilianischen Distrikte), 14,9 % Wasserknappheit in der Trockenzeit als Hauptmotiv für Wassersparmaßnahmen an. Dieser Anteil erhöht sich im Nordosten auf 21,6 % (IBGE, 2004).

Nähere Informationen über die aktuelle Situation der Trinkwasserversorgung einschließlich der angewandten Aufbereitungsverfahren sind in Kühn et al. (2003) zusammengefasst.

3.3 Sozialstruktur und allgemeine Infrastruktur

Die verschiedenen Regionen Brasiliens unterscheiden sich stark in ihrer Entwicklung. So sind der Südosten und Süden weitaus stärker entwickelt als die übrigen Regionen. Dies spiegelt sich auch im durchschnittlichen Pro-Kopf-Wasserverbrauch der kommunalen Betriebe wieder, der im Südosten mit 192 l/(E·d) weit über dem Wert des Nordens von 67 l/(E·d) liegt.

Brasilien ist ein stark verstädtertes Land, in dem über 80 % der Menschen in Städten leben. Eine allgemeine Landflucht ist aufgrund der bestehenden Versorgungsdefizite im ländlichen Raum weiterhin vorhanden und stellt die Infrastruktur der Ballungsräume vor große Herausforderungen.

Generell weist Brasilien jedoch eine positive Entwicklung im Infrastrukturbereich auf. Diese liegt über den meisten anderen lateinamerikanischen Staaten. Die Energieversorgung und Trinkwasserversorgung ist beispielsweise gut, Straßen und Mülldeponien befinden sich gegenwärtig im Ausbau und Kläranlagen wurden in den letzten zwei Dekaden vermehrt eingeführt.

Eine Vorreiterrolle im Infrastrukturbereich nimmt vor allem der Bundesstaat São Paulo ein, der als wirtschaftlicher Motor des Landes im Industrie- und Dienstleistungsbereich gilt und einen sehr hohen Verstädterungsgrad von etwa 95 % aufweist.

Die Ausbildungsstruktur im Bundesstaat São Paulo kann als gut angesehen werden. So existieren beispielsweise 31 Universitäten, 37 integrierte Fakultäten und 223 isolierte Institutionen zur Hochschulbildung. Generell war in Brasilien keine Hochschulausbildung in der Fachrichtung Umwelttechnik möglich. Neueste Entwicklungen gehen aber in diese Richtung. Üblicherweise erfolgt die Ausbildung von Fachleuten allerdings über ein allgemeines Studium z. B. der Naturwissenschaften mit anschließender Weiterbildung durch verschiedene Kurse. Als Beispiel hierfür kann die in São Paulo und Curitiba eingeführte „Summer School“ mit dem Titel „Umweltschutztechnische Studienangebote in Brasilien“ genannt werden, die im Auftrag des DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst) und in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart und mehreren brasilianischen Institutionen wie z. B. IAP und SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, nationaler Ausbildungsservice für den industriellen Bereich) durchgeführt wird. Weiterhin werden Kurse direkt von den großen Versorgungsbetrieben oder vom SENAI angeboten. In Santa Catarina gibt es neben den Hochschulen auch eine Art Berufsschule. Allerdings ist häufig aus Kostengründen ungelernetes Personal auf Kläran-

lagen anzutreffen, das schon lange im Abwasserbereich tätig ist, aber keine explizite Ausbildung erhalten hat.

Die brasilianische Energieversorgungsstruktur ist durch überwiegend große Wasserkraftwerke gekennzeichnet, die insgesamt über 80 % des erzeugten Stromes liefern. Die Energieversorgung im entwickelten und reichen Süden befindet sich auf einem hohen Niveau, wobei die übrigen Regionen, vor allem der Norden, einen niedrigen Elektrifizierungsgrad bzw. eine niedrige Versorgungsqualität aufweisen. Im ländlichen Raum findet die Versorgung überwiegend durch die Aufstellung kleiner Dieselaggregate statt. Aufgrund starker Abhängigkeit von der Wasserkraft kann es auch im Süden in Trockenzeiten zu gelegentlichen Versorgungsengpässen und damit verbundenen Zwangsabschaltungen kommen. Ein geplanter Ausbau der Kapazität von thermischen Kraftwerken, vor allem Gaskraftwerken, und ein Ausbau der Verbindungsleitungen in Richtung Norden soll die Stromversorgung in Brasilien verbessern und landesweit auf ein gleiches Niveau bringen. Die nationale Energiebehörde ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regelt die Grundlagen zur Stromtarifberechnung, wobei die Strompreise nach verschiedenen Nutzergruppen wie z. B. urbane oder ländliche Privatkunden, Industrie und öffentliche Dienstleistungsbetriebe differenziert sind. Im Falle der Hochspannungsabnahme ist sowohl die Tageszeit (z. B. Spitzenlast) als auch die Jahreszeit (Trocken- oder Regenzeit) der Entnahme für den Tarif entscheidend. Der mittlere brasilianische Strompreis für Privathaushalte betrug im März 2004 0,259 R\$/kWh (1 R\$ = 0,2637 EUR, Stand 10.07.2004) mit einer Spanne von 0,210 R\$/kWh in Nordosten bis 0,275 R\$/kWh im Südosten. Öffentliche Betriebe mussten zur gleichen Zeit im Schnitt 0,131 R\$ pro kWh Strom bezahlen, wobei der höchste Wert von 0,149 R\$/kWh im Norden zu entrichten war. Im Jahre 1995 lag der mittlere Strompreis für öffentliche Betriebe bei nur 0,055 R\$/kWh (ANEEL, 2004).

4 Abwassersituation

4.1 Abwasserableitung

In Brasilien ist die Trennkanalisation die gesetzlich vorgeschriebene Form für die Abwasserableitung. Die Kommunen sind dabei direkt für die Regenwasserkanalisation verantwortlich. Die Zuständigkeit für die Schmutzwasserkanalisation liegt je nach Betreibermodell z. B. in den Händen der überregionalen Großversorger. Die Einleitung des Regenwassers sowie des behandelten und unbehandelten Abwassers erfolgt in der Regel in Flüsse, die als Vorfluter dienen.

Der Anschlussgrad der städtischen Bevölkerung an die Schmutzwasserkanalisation liegt im Bundesdurchschnitt bei nur 50,4 %, wobei die Bundesstaaten São Paulo, Paraná und Santa Catarina, die unterschiedlichen, ebenfalls auf die städtische Bevölkerung bezogenen, Anschlussquoten von 78 %, 46 % und 10 % aufweisen. Interessant ist der Vergleich der Abwasseranschlüsse mit den Anschlüssen für die Trinkwasserversorgung der verschiedenen Betreiber. So entspricht die Anzahl der Abwasseranschlüsse der überregionalen Betreiber nur einem Anteil von 38 % ihrer Trinkwasseranschlüsse, für die lokalen Betreiber erhöht sich das Verhältnis immerhin schon auf 67 % (SNIS, 2004).

Die restliche Bevölkerung ohne Anschluss an eine Schmutzwasserkanalisation entsorgt ihr Abwasser z. B. über die Regenwasserkanalisation oder verwendet eine dezentrale Abwasserbehandlungsmethode, wie beispielsweise Sickergruben, die als wichtigste dezentrale Alternativlösung vor allem im ländlichen Raum Anwendung findet.

In den letzten Jahren kann ein klarer Trend zur Steigerung der Anschlussquoten festgestellt werden. Von 1999 bis 2002 wurde das Abwassernetz in Brasilien beispielsweise jährlich mit Wachstumsraten von 5 % (SP), 5 % (PR) bzw. 7,5 % (SC) pro Jahr stetig erweitert (SNIS, 2004). Zudem ist ein weiterer Ausbau der Kanalisation geplant. Innerhalb des Tietê-Projektes ist so z. B. das Ziel festgelegt, den Anschlussgrad im Ballungsraum São Paulo auf 90 % zu erhöhen.

Die Hauptsammelleitungen in der RMSP haben insgesamt eine Länge von 130 km und einen Durchmesser zwischen DN 600 und DN 4 500. Der Zustand der Schmutzwasserkanalisation wird im Bundesstaat São Paulo aufgrund seiner jungen Betriebsdauer generell als gut bis sehr gut eingestuft. Allerdings kommt es auch dort häufig zu Problemen mit Verstopfungen und Anfaulung des Abwassers mit damit verbundener Geruchsentwicklung. Im Bundesstaat Ceará sind Verstopfungen von Abwasserleitungen als auch undichte Rohrverbindungen gängige Probleme. In Santa Catarina müssen die Pumpstationen für die Freispiegelleitungen wegen erhöhter Ablagerung häufig gereinigt werden. Auch der Fremdwasser eintrag aufgrund von Fehlanschlüssen, schlechter Leitungsverlegung und Infiltration wird generell als hoch eingestuft.

Die Wartung erfolgt in der Regel direkt durch die Betreiber. In Fortaleza ist die Wartung von Leitungen mit kleinem Durchmesser an vier Dienstleistungsunternehmen vergeben. Für die großen Leitungen und Hauptsammler ist in Fortaleza die Institution GETES (Gerência de Macrocoleta e Tratamento de Esgoto) verantwortlich.

4.2 Abwasseranfall und Abwasserzusammensetzung

Wie bereits erwähnt, weist Brasilien eine nahezu flächendeckende Trinkwasserversorgung auf. Durchschnittswerte für den täglichen Pro-Kopf-Wasserverbrauch liegen bei ca. 140 l/(E·d). Allerdings variiert der Wert stark in Abhängigkeit der Region und der sozialen Verhältnisse und sollte jeweils vor Ort ermittelt werden. Generell ist bei der Trinkwasserversorgung für die Wasserwerke mit hohen Verlusten um die 40 % zu rechnen. Zudem ist festzustellen, dass die Trinkwasserproduktion von 1999 bis 2002 nur langsam und mit abnehmenden Wachstumsraten anstieg.

Zur Bestimmung des Schmutzwasseranfalls aus dem Trinkwasserbedarf kann ein für die örtlichen Verhältnisse typischer Koeffizient von 0,85 verwendet werden. Regenwasser wird in der Regel getrennt abgeführt, allerdings ist ein hoher Fremdwassereintrag zu erwarten.

Die Monatsganglinien der Betriebsberichte der Kläranlagen in der RMSP zeigen, dass der Abwasseranfall in den Sommermonaten November bis März etwas über dem durchschnittlichen Kläranlagenzufluss liegt. Im Dezember und Januar sind Abweichungen zum Durchschnittswert von 9 % in der größten Kläranlage ETE Barueri und bis zu 46 % für ETE Suzana möglich. Die Tagesganglinien zeigen einen ähnlichen Verlauf wie in Deutschland.

Ein Analysenprogramm für Abwasserstandardparameter liegt in der Regel für die Anlagen der überregionalen Betreiber vor. Die Messverfahren basieren dabei generell auf den bereits erwähnten amerikanischen Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In São Paulo werden neben den in Deutschland üblichen Standardparametern zusätzlich umfangreiche Messungen der Schwermetalle durchgeführt.

Die Beschaffenheit des anfallenden bzw. zu behandelnden Abwassers kann generell als typisch kommunal charakterisiert werden. Dies wird durch den in Tabelle 4 zusammengefassten mittleren biologischen Abbaugrad verschiedener Kläranlagenzuflüsse belegt. Allerdings ist bei einigen Anlagen, wie z. B. in ETE São Miguel ein deutlicher Einfluss von industriellen Indirekteinleitern zu spüren. In die Kläranlage ETE São Miguel leitet beispielsweise ein großer Düngemittelhersteller ein und ETE Suzano erhält das Sickerwasser einer Mülldeponie. So weist das Abwasser für die beiden Kläranlagen ETE São Miguel und ETE Suzano beispielsweise hohe mittlere Sulfatkonzentrationen von ca. 377 bzw. 289 mg/l sowie einen niedrigen Abbaugrad von 0,32 bzw. 0,38 auf. Zudem unterliegt die CSB-Konzentration im Einlauf von ETE São Miguel starken Schwankungen mit z. B.

einem sehr hohen Maximalwert von 2 638 mg/l im Juli 2003. Die Schwermetallbelastung ist für alle Abwässer im Allgemeinen jedoch als niedrig einzustufen. ETE Suzano zeigt allerdings leicht erhöhte Zink-Konzentrationen zwischen 0,49 und 5,8 mg/l, die zu einer biologischen Hemmung führen könnten. Der Einfluss der Indirekteinleiter wird im Bundesstaat Santa Catarina als gering eingestuft, da die industriellen Betriebe i. d. R. über eine entsprechende Vorreinigung verfügen.

Tabelle 4: Beispiele für den biochemischen Abbaugrad einiger Kläranlagen

| Kläranlage | BSB ₅ (mg/l) | Abbaugrad $\alpha = \text{BSB}_5/\text{CSB}$ | Bemerkung |
|-----------------------|----------------------------|---|---|
| ETE Barueri | 239 | 0,53 | Gut biologisch abbaubar |
| ETE ABC | 108 | 0,38 | Nicht vollständig biologisch abbaubar, Industrieinfluss möglich |
| ETE Parque Novo Mundo | 187 | 0,53 | Gut biologisch abbaubar |
| ETE São Miguel | 296 | 0,32 | Schlecht biologisch abbaubar, Industrieinfluss möglich |
| ETE Suzano | 299 | 0,38 | Nicht vollständig biologisch abbaubar, Industrieinfluss möglich |
| ETEs in PR | 250 | 0,5 - 0,7 | Sehr gut biologisch abbaubar |
| ETEs in SC | 200 - 250 | 0,4 - 0,6 | Gut bis sehr gut biologisch abbaubar |

Der pH-Wert und der Nährstoffgehalt der Abwässer liegen ebenfalls im Bereich von kommunalem Abwasser. Der Abwasserzufluss ist mit einem pH-Wert von ca. 7 neutral und die Kjeldahlstickstoff- bzw. Phosphorkonzentration weisen Monatsmittelwerte zwischen 27 und 64 mg/l bzw. zwischen 4,3 und 6,8 mg/l auf.

Die beschriebenen Werte weisen generell auf eine für Deutschland typische kommunale Zusammensetzung hin, allerdings in einer etwas verdünnten Form. Die tägliche einwohnerspezifische BSB₅-Fracht in der RMSP lässt sich aus den Zulaufdaten der fünf Klärwerke beispielsweise auf einen Durchschnittswert von etwa 29 g/(E·d) berechnen, ein Wert der weit unter den in Deutschland typischen 60 g/(E·d) liegt. In der brasilianischen Norm NBR 12209 wird eine einwohnerspezifische Fracht von 54 g BSB₅/(E·d) vorgeschrieben, falls keine Messungen vor Ort vorhanden sind.

Ein weiterer wichtiger Unterschied zu Deutschland ist die Abwassertemperatur, die in den besuchten Anlagen in São Paulo nicht unter 20 °C fällt. In Santa Catarina liegt die Mindestabwassertemperatur bei 15 °C, wobei in Paraná im Winter durch-

aus Minimalwerte von 10 °C möglich sind. Die monatlichen Höchstwerte betragen in São Paulo ca. 28 °C. In den Abwasserteichen in Ceará ist in der Regel ebenfalls eine Temperatur von ca. 28 °C zu erwarten.

Ein Abfalleintrag in das Schmutzwassernetz ist in der Regel nicht zu befürchten. Im Falle von São Paulo kommt es jedoch zu einem illegalen Mülleintrag in die Regenwasserkanalisation. Aufgrund der Temperaturen und der teilweise langen Transportwege kann mit erheblicher Anfaulung des Abwassers gerechnet werden. Dies wird auch durch Belüftungs- und Geruchsschutzmaßnahmen in den fünf großen kommunalen Kläranlagen der RMSP belegt.

4.3 Abwasserbehandlung

Die Abwasserbehandlung liegt national auf einem niedrigen Niveau, d. h. nur etwa 27,3 % des produzierten Trinkwassers werden einer Behandlung zugeführt (SNIS, 2004). SABESP behandelt immerhin ca. 62 % des gesammelten Abwassers, was mit dem entsprechenden Anschlussgrad von 78 % in einer für Brasilien hohen Behandlungsquote von knapp 50 % resultiert. In Santa Catarina wird das eingesammelte Abwasser, d. h. 10 % der gesamten Abwassermenge, auch einer Behandlung zugeführt. Ein Hauptteil des in Fortaleza, Ceará eingesammelten Abwassers wird nach einer Vorbehandlung unter Ausnutzung des starken Verdünnungseffektes ins Meer eingeleitet.

In den letzten Jahren konnte jedoch allgemein eine positive Entwicklung festgestellt werden. So hat sich der Anteil an behandeltem Abwasser von 1999 bis 2002 von Jahr zu Jahr um 7 %, 8 % und 11 % pro Jahr erhöht (SNIS, 2004). Die meisten Kläranlagen in Brasilien sind nicht älter als 20 Jahre, in Santa Catarina sogar lediglich ca. 10 Jahre alt.

Im städtischen Gebiet ist die Entsorgung über eine konventionelle Kanalisation mit der Möglichkeit einer zentralen Behandlung üblich. Im Bundesstaat São Paulo spielt die dezentrale Abwasserbehandlung aufgrund der starken Verstädterung und des hohen Anschlussgrades an die Kanalisation beispielsweise eine untergeordnete Rolle. In Gegensatz dazu ist sie im ländlichen, unterentwickelten Raum und auch im Bundesstaat Santa Catarina aufgrund des niedrigen Anschlussgrades sehr bedeutend. Üblicherweise wird das häusliche Abwasser dort über Absetzgruben mit anschließender Versickerung oder Direkteinleitung entsorgt. In Santa Catarina wird jedoch auch das Verfahren des Sequencing Batch Reactors (SBR) für etwa 6 bis 8 Einwohner angewandt. In der städtischen Region um Fortaleza findet sowohl die dezentrale als auch zentrale Abwasserbehandlung Anwen-

dung. Ein Großteil des Abwassers der Stadt wird zentral über eine Vorbehandlung in das Meer eingeleitet. Darüber hinaus sind in Fortaleza neben etwa 70 mittelgroßen bis großen Anlagen auch ca. 500 kleinere, dezentrale Anlagen, wie beispielsweise Teichanlagen für 40 bis 50 Apartments, vorhanden.

Falls das Abwasser zentral behandelt und nicht nur abgeführt wird, kommt eine breite Palette von biologischen Verfahren zum Einsatz, die von dem konventionellen Belebtschlammverfahren über Teichanlagen bis hin zu anaerober Behandlung des kommunalen Abwassers reicht. Hauptreinigungsziel ist dabei die Kohlenstoffelimination.

In den Metropolen Brasiliens sind Großanlagen für die Abwasserbehandlung mit einer Kapazität von über 1 Mio. EW üblich. Im Rahmen des Tietê-Projektes wurden im Großraum São Paulo Kläranlagen mit insgesamt einer Kapazität von 8,5 Mio. EW und für einem Bemessungszufluss von 18 m³/s gebaut bzw. erweitert. Mit einem aktuellen Gesamtzufluss von 11 m³/s sind die Anlagen nur zu 61 % hydraulisch ausgelastet, d. h. die Kapazitäten sind noch nicht ausgeschöpft und zudem noch weiter in Etappen ausbaufähig. Die Erhöhung der Behandlungsquote hängt in dieser Region wesentlich vom Ausbau der Kanalisation ab.

Nähere Angaben bezüglich der Abwasserbehandlungstechnologien sind Kapitel 5 zu entnehmen.

4.4 Ablaufqualität

Die Ablaufqualität der größeren Abwasserbehandlungsanlagen wird von den überregionalen Betreibern regelmäßig untersucht. SABESP bestimmt eine Vielzahl von Parametern für den Ablauf und ermittelt die entsprechenden Eliminationsleistungen. Die Wirkungsgrade der Kläranlagen in der RMSP und der Kläranlage in Florianópolis, Santa Catarina bzgl. der BSB₅-Elimination betragen beispielsweise 85 bis 96 %. Die zugehörigen durchschnittlichen BSB₅-Ablaufkonzentrationen liegen bei Werten in der Größenordnung des für Deutschland vorgeschriebenen Grenzwertes für die Größenklasse 5 (> 100 000 EW) von 15 mg/l. Die beiden Anlagen ETE Barueri und ETE Parque Novo Mundo weisen jedoch einen mittleren BSB₅-Gehalt von 31 mg/l bzw. 28 mg/l im Ablauf auf. Bei Anlagen von SANAPAR mit anaerober Vorbehandlung und Nachbehandlung in Abwasserteichen ist die BSB₅-Konzentration im Ablauf mit 40 bis 60 mg/l etwas höher und der Wirkungsgrad der Anlagen ist mit 77 bis 85 % als geringer einzustufen. Mit Abwasserteichanlagen kann eine CSB-Reduktion von etwa 80 % erreicht werden.

Neben der Bestimmung der Standardparameter BSB₅, CSB, AFS sowie Messungen zum Nährstoffgehalt, finden ebenfalls hygienische Untersuchungen des Ablaufes statt. Von SABESP wird beispielsweise die Anzahl der Gesamcoliforme und Fäkalcoliforme im Ablauf bestimmt. Die Werte für Gesamcoliforme liegen in der Größenordnung von $1 \cdot 10^5$ bis $1 \cdot 10^6$ MPN/100 ml, für Fäkalcoliforme etwa eine Zehnerpotenz darunter. Die Anlagen können eine Reduktion von fäkalcoliformen Keimen von zwei bis zu vier Zehnerpotenzen vorweisen. Für Abwasserteichsysteme in Ceará wurde je nachdem, ob drei, vier oder fünf Teiche in Serie geschaltet sind, eine Ablaufkonzentration an Fäkalcoliformen von etwa 5 000, 350 und 50 MPN/100 ml bestimmt.

Die Eliminationsleistung für TKN beträgt in den Anlagen der RMSP zwischen 63 und 93 %. Der Nitratgehalt im Ablauf erhöht sich aufgrund fehlender Denitrifikationsstufe auf Werte von 7 bis 21 mg/l. Die Phosphorablaufkonzentration liegt zwischen 1 und 3 mg/l, bei ETE São Miguel jedoch bei Werten < 1 mg/l mit einem Durchschnitt von nur 0,3 mg/l.

Generell wird der Abfluss wie auch der Kläranlagenzufluss als nicht toxisch bzw. als frei von toxischen Restbelastungen bewertet.

4.5 Wasserwiederverwendung

Wie bereits erwähnt gibt es generell keine direkten rechtlichen Bestimmungen für eine Wasserwiederverwendung. Eine Ausnahme bildet jedoch der Erlass Portaria N°154, in dessen Art. 6 Grenzwerte für die Wiederverwendung von häuslichem Abwasser in der Landwirtschaft festgelegt sind. Tabelle 5 fasst die Grenzwerte für die beiden unterschiedlichen Nutzungsarten zusammen. Die Grenzwerte für die zwei Kategorien unterscheiden sich dabei lediglich in dem maximal erlaubten Wert für Fäkalcoliforme.

Generell kann festgestellt werden, dass keine direkten rechtlichen Hemmnisse für einen Wiedereinsatz von Abwasser existieren. Es sollte allerdings angestrebt werden einen allgemein gültigen rechtlichen Rahmen dafür herzustellen. Kulturelle bzw. religiöse Beschränkungen hinsichtlich der Wiederverwendung von Abwasser sind in Brasilien im Allgemeinen nicht vorhanden.

Tabelle 5: Grenzwerte für die Wiederverwendung von häuslichem Abwasser in der Landwirtschaft in Ceará nach Portaria N°154

| Parameter | Kategorie 1: Bewässerung von Obst- und Gemüse, das roh und ungeschält verzehrt wird, Tränken von Tieren und Fischzucht | Kategorie 2: Sonstige Anwendung |
|----------------------|---|------------------------------------|
| Fäkalcoliforme | < 1 000 MPN/100 ml | < 5 000 MPN/100 ml |
| Wurmeier, Helminthen | < 1 Ei/l | < 1 Ei/l |
| Leitfähigkeit | < 3 000 µS/cm | < 3 000 µS/cm |

Aufgrund periodisch vorkommender Wasserknappheit in manchen Gebieten, wandelndem Bewusstsein und nicht zuletzt aufgrund der möglichen finanziellen Gewinne, ist ein Trend in Richtung Wasserwiederverwendung zu erkennen. So werden derzeit die rechtlichen Grundlagen dafür erarbeitet. Auf nationaler Ebene sind die neue Fassung von CONAMA 20 und der Entwurf für ein neues Gesetz zum Wiedereinsatz von gereinigtem Abwasser vom nationalen Wasserrat CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) zu nennen. Letzteres soll mikrobiologische, physikalische und chemische Parameter je nach Art der Nutzung vorschreiben. Im Juni 2003 wurde in Fortaleza, Ceará die zweite nationale Konferenz für Wasserwiederverwendung durchgeführt, auf der sich die Fachwelt über bisherige Erfahrungen zu diesem Thema ausgetauscht hat.

Zudem haben die bundesstaatlichen Unternehmen wie z. B. SABESP, SANEPAR und auch CAGECE ebenfalls Standards oder Programme zur Wasserwiederverwendung in Bearbeitung. Der Entwurf von SABESP für eine Norm bezüglich der Wasserqualität zur Wiederverwendung orientiert sich allerdings stark an den Anforderungen für Trinkwasser und weniger an je nach Nutzungsart unterschiedlich hohen bzw. niedrigeren Anforderungen.

Zur praktischen Umsetzung beteiligt sich der Bundesstaat von São Paulo beispielsweise an einem weltweiten Programm von UNEP (United Nations Environment Programme) und WHO (World Health Organization) zur Abwasserwiederverwendung. An der Universität von São Paulo betreibt zudem das internationale Forschungszentrum CIRRA (Centro Internacional de Referencia en Reúso de Agua) Forschung für Anwendungen in diesem Bereich. Das Versorgungsunternehmen SABESP wiederum übernimmt bereits jetzt eine Vorreiterrolle auf dem Gebiet der kontrollierten Nutzung von Abwasser. Generell verwendet SABESP aufbereitetes Abwasser in vier der fünf großen Kläranlagen für den internen Gebrauch.

Zudem gibt das Unternehmen Wasser zur externen Wiederverwendung wie beispielsweise zur Staubemissionskontrolle bei Baustellen oder zur Verwendung durch Stadtverwaltungen für die Straßenreinigung oder die Bewässerung von Grünflächen ab. Bild 2 und Bild 3 zeigen zwei Anwendungsgebiete für behandeltes Abwasser in der RMSP. Abwasserwiederverwendung kommt allerdings auch im ariden Nordosten Brasiliens zum Einsatz. In Teichanlagen wird behandeltes Abwasser in der Landwirtschaft z. B. in Verregnungsanlagen für Sonnenblumen-, Bananen- und Kaffeeplantagen eingesetzt. Tendenziell kann immer mehr Interesse an einer kontrollierten Wasserwiederverwendung festgestellt werden. So ist das staatliche Versorgungsunternehmen CAGECE beispielsweise an Forschungsprojekten auf diesem Gebiet in Zusammenarbeit mit der staatlichen Universität von Ceará UFC in Fortaleza beteiligt. Im semi-ariden Nordosten steht vor allem die Wiederverwendung in der Landwirtschaft und der Fischzucht im Mittelpunkt. Am Forschungszentrum CPA (Centro de Pesquisas de Aquiráz) in Aquiráz sollen unter anderem Standards für die Wiederverwendung in diesen Bereichen definiert werden. Ein anschauliches Beispiel für die Wiederverwendung von Abwasser in der Bewässerung ist ein von CAGECE durchgeführtes Projekt der Bewässerung eines städtischen Fußballplatzes mit Abwasser in Quixadá, Ceará. Bild 4 präsentiert die Entwicklung des Rasens über die Zeit nach Beginn der Bewässerung.



Bild 2: Straßenreinigung mit behandeltem Abwasser in São Paulo



Bild 3: Bewässerung von Grünflächen mit behandeltem Abwasser in RMSP

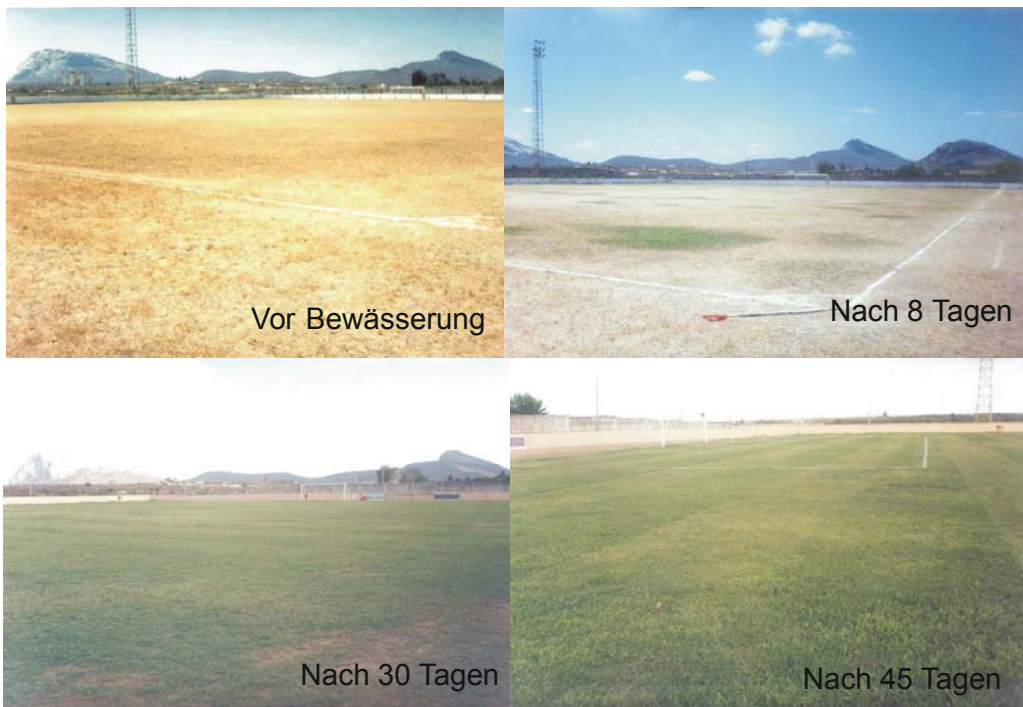


Bild 4: Bewässerung eines Fußballplatzes mit Abwasser, Ceará

Von dem in Brasilien bisher insgesamt wieder verwendeten Wasser, werden schätzungsweise 69 % in der Bewässerung, 23 % in der Industrie und 8 % in Haushalten genutzt.

In der Mehrzahl der von SABESP in der RMSP betriebenen Anlagen ist eine zusätzliche Aufbereitungsstufe für das Abwasser zur Wiederverwendung integriert, die generell störungsfrei funktioniert. Die zum Einsatz kommenden Hygienisierungsverfahren umfassen vor allem eine Filtration (Feinfiltration bis hin zur Ultrafiltration, je nach Verwendung) und eine Chlorung. In Santa Catarina wird fast ausschließlich die Chlorung eingesetzt. Zudem wird die Keimzahl, wie vor allem in Ceará, durch den Einsatz von aeroben Teichanlagen zur Abwasserreinigung verringert. Für die Anwendung von UV-Strahlung und Ozon fehlt es bisher an praktischer Erfahrung.

Eine Qualitätskontrolle des wieder verwendeten Abwassers findet bei den großen Betreibern durch regelmäßige Probenahmen und Analysen wie z. B. in den Labors von SABESP statt. Die Konzentration an fäkalcoliformen Keimen liegt bei ETE São Miguel mit etwa $7 \cdot 10^2$ MPN/100 ml beispielsweise unter dem empfohlenen WHO Grenzwert von 1 000 Keimen/100 ml für uneingeschränkte Bewässerung. In der Regel ist das Wasser jedoch höher mikrobiologisch belastet. Allerdings liegen derzeit keine Studien bezüglich Übertragung von Krankheiten durch wieder verwendetes Abwasser vor. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass bereits Kontrollen durchgeführt werden. Die Wahrscheinlichkeit bleibt jedoch weiterhin hoch, dass ein unkontrollierter Einsatz von behandeltem sowie unbehandeltem Abwasser praktiziert wird. Die Trinkwasserversorgung die überwiegend von Oberflächengewässern gespeist wird, in das unbehandelte Abwasser eingeleitet wird, ist ein Beispiel dafür.

Der Nährstoffgehalt der behandelten Abwässer ist im Allgemeinen nicht besonders hoch, wodurch keine direkte Bedrohung durch Bodenversalzung besteht. Lediglich die Nitratkonzentration im Ablauf der ETE São Miguel weist mit etwa 20 mg/l einen erhöhten Wert auf. Im trockenen Nordosten hingegen ist die Bodenversalzung ein akutes Problem, das jedoch durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren wie beispielsweise durch die Anwendung ungeeigneter Bewässerungstechniken und durch hohe potenzielle Verdunstung verursacht wird. Allerdings besitzen manche Abwässer aus den Teichen im Nordosten tatsächlich mit bis zu ca. 3,4 mS/cm eine hohe Leitfähigkeit.

Die Verteilung in der RMSP erfolgt über Tankwagen. Das gereinigte Abwasser wird direkt dem Ablauf bzw. bei zwei der Anlagen auch aus einem dafür vorgese-

hen Speichertank entnommen. Der Bau einer Leitung z. B. in ein Industriegebiet ist geplant. In Santa Catarina erfolgt die Entnahme direkt aus den Teichanlagen und die Verteilung im Falle der Verregnung über Plastikrohre.

Trotz guter Ansätze ist jedoch zusammenfassend zu bemängeln, dass ein Großteil des gereinigten Abwassers ungenutzt in Gewässer eingeleitet wird.

5 Zentrale Abwasserbehandlungstechnologien

5.1 Mechanische Vorbehandlung

Der biologischen Reinigungsstufe sind in der Regel ein Rechen und ein Sandfang vorgeschaltet. Ein Vorklärbecken kommt je nach Behandlungsart nicht zwingend zum Einsatz.

Für Rechen gibt es prinzipiell keine bevorzugten Typen, generell kommen jedoch überwiegend einfache gerade Stabrechen zum Einsatz. Die Reinigung erfolgt in São Paulo und Paraná meist automatisch, üblicherweise zeitproportional oder nach Erreichen eines bestimmten Rechenwiderstandes. In den anderen Bundesstaaten wird das Rechengut sowohl automatisch als auch manuell entnommen.

Den Hebewerken am Einlauf der Kläranlagen sind zum Pumpenschutz häufig Grobrechen mit einem großen Stababstand von 8 bis 13 cm vorgeschaltet. Die Spaltweiten der Rechen auf der eigentlichen Kläranlage befinden sich im Bereich von 20 bis 25 mm, d. h. es handelt sich in der Regel ebenfalls um Grobrechen. Feinrechen und Siebe sind eher unüblich. Eine Besonderheit stellen somit die Siebtrommeln mit einer Siebmaschenweite von 0,76 mm dar, die im Anschluss an einen Grobrechen ein konventionelles Vorklärbecken ersetzen.

Häufig treten Korrosionsprobleme auf, so dass Edelstahl bevorzugt eingesetzt wird. Aufgrund zu hoher Kosten von Edelstahl und verzinktem Stahl findet Korrosionsschutz jedoch oftmals stark eingeschränkt, z. B. nur durch einen Farbanstrich, statt.

Genaue Daten über den Rechengutanfall liegen nicht vor. Aus Daten der Anlagen der RMSP kann jedoch ein Mittelwert von etwa 62 g/(E·a) bestimmt werden. Dieser Wert ist relativ gering und kann unter anderem auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass Toilettenpapier üblicherweise nicht im Abwasser sondern über den Hausmüll entsorgt wird. Bild 5 und Bild 6 zeigen Ausschnitte zweier Rechenanlagen.



Bild 5: Rechenanlage der Kläranlage in Curitiba



Bild 6: Mittelrechen der Kläranlage ETE ABC, São Paulo

Der Sandfang wird in der Regel belüftet und mit einer mechanischen und diskontinuierlich erfolgenden Sandgutentnahme ausgerüstet. Unbelüftete Sandfänge mit manueller Reinigung sind verstärkt in Ceará zu finden. Die Oberflächenbeschickungen liegen in den Anlagen der RMSP bei Werten von 10 bis 28 m/h, womit die Abscheidung für Partikel mit einem Korndurchmesser von 0,1 mm gut ermöglicht wird. Die mittlere Aufenthaltszeit beträgt, ähnlich wie für einen belüfteten Langsandfang in Deutschland, ungefähr 10 bis 18 Minuten. In der RMSP fallen grob geschätzt etwa 390 g/(E·a) Sandfanggut an. Sowohl das Rechen- als auch das Sandfanggut werden auf Deponien entsorgt.

In der RMSP folgt dem Sandfang ein rechteckiges oder zylindrisches Vorklärbecken mit Schlammräumerbrücke. Wie bereits erwähnt bildet ETE Parque Novo Mundo mit seinen Siebtrommeln hierbei eine Ausnahme. Hier fallen etwa 1242 g/(E·a) Siebgut an, welches über eine Siebgutpresse entwässert und auf einer Deponie entsorgt wird. Bei Teichanlagen wird das Vorklärbecken normalerweise durch einen anaeroben Absetzteich ersetzt. In Santa Catarina sind Vorklärbecken daher beispielsweise nicht üblich. Bei der simultanen Schlammstabilisierung und beim Einsatz von RALF-Reaktoren ist eine Vorklärung ebenfalls nicht nötig. In Ceará werden als Vorreinigung, vor allem in kleineren Anlagen, auch Imhoff-Becken zur Abtrennung und anaeroben Stabilisierung von Feststoffen eingesetzt.

Die in der RMSP vorhandenen Vorklärbecken werden mit einer mittleren Oberflächenbeschickung zwischen 1,3 bis 2,3 m/h beschickt. Diese Werte liegen unter den in Deutschland empfohlenen 2,5 bis 4 m/h für Becken vor Belebungsbecken. Die durchschnittlichen hydraulischen Aufenthaltszeiten sind mit 2 und 2,7 h etwas länger als in Deutschland. Die Vorklärbecken weisen jedoch klassische Wirkungsgrade im Bereich von 30 % BSB₅- und 55 % TS-Elimination auf. Der Primärschlamm hat einen TS-Gehalt von etwa 1 bis 3 %.

5.2 Biologische Behandlung

Für die zentrale biologische Abwasserbehandlung werden in Brasilien eine Vielzahl von konventionellen aeroben und anaeroben Verfahren angewendet. Das Belebtschlammverfahren mit oder ohne simultane Schlammstabilisierung spielt dabei bei den aeroben Verfahren eine wichtige Rolle. Außerdem kommen Abwasserteiche, Tropfkörper und Oxidationsgräben zum Einsatz. Die anaeroben Techniken waren seit langer Zeit die bevorzugte Reinigungsform in Brasilien und auch heute noch dienen die Anaerobreaktoren RALF im Bundesstaat Paraná als vor-

herrschende Behandlungsstufe. Daneben wird kommunales Abwasser ebenfalls in Imhoff-Becken, Anaerobeichen, UASB-Reaktoren und anaeroben Filtern behandelt. Das Hauptreinigungsziel aller Anlagen ist die Kohlenstoffelimination, d. h. eine Nährstoffelimination ist nicht üblich. In zwei Anlagen der RMSP ist allerdings eine anoxische Reaktionszone vorhanden, nitrathaltiges Abwasser wird jedoch nicht rückgeführt.

Für die Belebungsbecken der RMSP betragen die charakteristischen Größen wie der Trockensubstanzgehalt (TS) 1,9 bis 4,1 g/l, das Schlammalter (t_{TS}) 7 bis 16 Tage und der Schlammindex (ISV), 45 bis 160 ml/g. Der Schlammindex weist generell starke Schwankungen und zudem Abweichungen zu in Deutschland typischen Werten auf.

Die Belüftung des Belebungsbeckens erfolgt durch Oberflächenbelüfter oder über Druckbelüftung. Letztere wird überwiegend in den Anlagen der RMSP über Keramik- und auch Membranbelüftungsdome realisiert. Oberflächenbelüfter werden bei ETE Suzano verwendet und in Santa Catarina, sowie in Paraná generell Tiefenbelüftung aufgrund niedriger Kosten und lokal existierender Hersteller vorgezogen. Bild 7 und Bild 8 zeigen zwei Belebungsbecken mit unterschiedlichen Belüftungsaggregaten.

Der spezifische Energieverbrauch der Kläranlagen in der RMSP liegt bei etwa 2 kWh pro kg eliminiertem BSB_5 bzw. bei etwa 0,5 kWh pro m^3 behandeltem Abwasser. Die Energiezufuhr kann somit, vor allem bei ETE ABC, mit einem besonders hohen Energieverbrauch von 6,6 kWh/kg $BSB_{5,eliminiert}$ als verbesserungswürdig eingestuft werden. Generell spielt der Energieverbrauch von Abwasserbehandlungsanlagen in Brasilien jedoch im Vergleich zu Deutschland eine eher untergeordnete Rolle.



Bild 7: Belebungsbecken mit Oberflächenbelüfter



Bild 8: Belebungsbecken mit Tiefenbelüftung der Kläranlage ETE ABC

In den Anlagen ETE Parque Novo Mundo und auch in Santa Catarina sind zudem Betriebsprobleme wegen Blähschlammbildung zu verzeichnen. Eine merkbliche Schaumproduktion konnte in den Kläranlagen in Curitiba und in ETE ABC in São Paulo festgestellt werden, was in Bild 9 und Bild 10 dokumentiert ist.



Bild 9: Problem der Schaumbildung: Kläranlage in Curitiba, Kanal mit Wasserdüsen



Bild 10: Problem der Schaumbildung: ETE ABC

Neben dem Belebtschlammverfahren sind in Brasilien vor allem Abwasserteichanlagen von Bedeutung. Diese werden beispielsweise als eine energiearme Methode eingesetzt, wenn Engpässe in der Energieversorgung zu erwarten sind. In Paraná finden Abwasserteiche zudem verstärkt als Nachbehandlungsstufe von Anaerobreaktoren Anwendung. In Ceará sind Abwasserteiche mit einem Anteil von 80 % aller Anlagen die bevorzugte Behandlungsmethode. Eine übliche Teichkette setzt sich aus Anaerobteichen, primären und sekundären Fakultativteichen und Schönungsteichen zusammen. Dimensioniert wird nach BSB₅-Belastung. Die Aufenthaltszeiten im gesamten System liegen etwa zwischen 30 und 50 Tagen bzw. in einigen Systemen in Ceará noch deutlich darüber. Eine Belüftung wird in der Regel nicht durchgeführt. Bautechnisch werden die Teiche als Erdbecken mit verdichteten Tonböden oder seit neuestem mit einer impermeablen Abdichtung ausgebildet. Die Böschungen werden in Ceará üblicherweise mit Betonplatten verstärkt, die teilweise starke Korrosionsschäden aufweisen. In Bild 11 ist die Teichanlage der Deponie in Curitiba abgebildet. Ein Ausschnitt aus den Abwasserteichen des Forschungszentrums CPA in Aquiráz ist in Bild 12 zu sehen.

Für die kommunale anaerobe Abwasserbehandlung werden in Paraná bevorzugt die bereits erwähnten RALF-Reaktoren aus Beton eingesetzt. Das Abwasser, das den Reaktor von unten nach oben durchfließt, wird mit Hilfe der in einer Schlammschicht bereits ansässigen Biomasse anaerob abgebaut, wobei Biogas gebildet wird. Eine Heizung der Reaktoren sowie eine Faulgasnutzung werden nicht betrieben. Allerdings existiert ein Pilotprojekt für die Verwendung von Faulgas zur Heizung des Schlammbeckens. Die Kapazität der von SANEPAR eingesetzten RALF-Reaktoren reicht von 1 000 bis 45 000 EW pro Reaktor. Die Eliminationsleistung für BSB₅ beträgt etwa 80 %. Bild 13 präsentiert Bilder eines RALF-Reaktors in Curitiba. Die Abwassertemperatur für anaerobe, kompakte Behandlungssysteme wie RALF-Reaktoren oder Imhoff-Becken beträgt in Ceará etwa 35 °C. Als häufigstes Problem bei der anaeroben Abwasserbehandlung können Geruchsprobleme genannt werden.

Aufgrund der unterschiedlich eingesetzten Behandlungsverfahren ist eine allgemeine Bewertung des Standes der Technik schwierig, da es eine weite Spanne von technisch modernen Anlagen wie die Belebtschlammanlagen in RMSP bis hin zu naturnahen und technisch weniger anspruchsvollen Verfahren wie Abwasserteichen gibt. Eine gezielte Nährstoffelimination findet in Brasilien bis jetzt jedoch noch keine Anwendung.



Bild 11: Abwasserteichanlage in Curitiba



Bild 12: Abwasserteichanlage in Aquiráz, Ceará (CPA)



Bild 13: RALF, Kläranlage Curitiba

5.3 Schlammbehandlung

Zur Schlammstabilisierung kommt überwiegend die Faulung, aber auch die simultane Stabilisierung im Belebungsverfahren vor. Der Schlamm aus den anaeroben RALF-Reaktoren gilt als weitgehend stabilisiert.

Vor einer Faulung wird der Schlamm entweder in statischen Eindickern oder mit Hilfe von Entspannungsflotation eingedickt. Für die Anlagen in der RMSP kommen beispielsweise beide Methoden zum Einsatz, wobei der statische Eindicker für den Primärschlamm und Flotationseindicker für den Sekundärschlamm verwendet werden. In ETE Suzano wird der Sekundärschlamm allerdings zusammen mit dem Primärschlamm in der Vorklärung eingedickt bevor er direkt zur Faulung gefördert wird.

In den statischen Eindickern in der RMSP wird ein Feststoffgehalt von 4 bis 10 % erreicht. Die zugehörigen Flächenbeschickungen variieren zwischen 6 und 151 kg TS/(m²·d). Die maximale hydraulische Aufenthaltszeit aus der NBR 12209 mit 24 h wird außer bei der ETE ABC eingehalten. Dort liegt die Verweilzeit im Eindicker bei bis zu vier Tagen.

Daten bezüglich der Flotationseindicker für den Sekundärschlamm liegen nur begrenzt vor. In den Anlagen ETE Barueri und ETE ABC wird beispielsweise ein TS-Gehalt von 2,9 bzw. 1,7 % erreicht. Die Flächenbeschickung sollte nach Literaturwerten zwischen 47 und 117 kg TS/(m²·d) liegen.

In Brasilien kommt eine ein- oder zweistufige Faulung zum Einsatz. Dabei dient der sekundäre Faulbehälter jedoch als Speicher und Eindicker und weniger der Phasentrennung des Faulprozesses wie in Deutschland bei Industrieanlagen üblich. Aus Daten von SABESP Anlagen in der RMSP konnte eine niedrige Beschlückungsrate von etwa 1 kg oTS/(m³·d) und niedriger entnommen werden. Dagegen liegen die Aufenthaltszeiten zwischen 24 und 88 Tagen. Dies ist für deutsche Verhältnisse sehr hoch. Die Temperaturen des ausgefaulten Schlammes liegen zwischen 21 und 30 °C und damit nicht im Optimalbereich der mesophilen Faulung. Eine Aufwärmung des Faulschlammes unter Benutzung des produzierten Faulgases findet teilweise statt. Weiterhin wird das Faulgas zur Umwälzung und Homogenisierung des Faulschlammes eingesetzt. Der Großteil des Biogases von ca. 80 % wird jedoch abgefackelt. Ein Trend in Richtung Faulgasnutzung kann erkannt werden. Aus den Daten geht eine Biogasproduktion von etwa 0,07 bis 0,08 m³ pro kg eliminierten CSB hervor. Bild 14 zeigt einen Faulbehälter von ETE ABC in São Paulo.



Bild 14: Ein Faulbehälter der Kläranlage ETE ABC, São Paulo

Im Anschluss an die Faulung wird der Schlamm entweder maschinell, üblicherweise mit Kammerfilterpressen, oder naturnah mit Hilfe von Schlamm-trockenbeeten entwässert. Die einzige Bandfilterpresse in Santa Catarina steht in ETE Insular. Die Entsorgung erfolgt im Regelfall auf Deponien. SABESP fördert jedoch den Einsatz von behandeltem Klärschlamm als Dünger/Bodenverbesserer in der Landwirtschaft durch sein „Sabesfértil“-Projekt. In Paraná wird der Schlamm ebenfalls basierend auf einem bundeseigenen Gesetz teilweise in der Landwirtschaft genutzt. In Ceará wird der weitgehend mineralisierte Schlamm aus den anaeroben RALF-Reaktoren und den Imhoff-Becken in Intervallen von vier bis sechs Monaten entnommen und ebenfalls vor seiner Entsorgung auf der Deponie mit Schlamm-trockenbeeten entwässert.

Für die maschinelle Entwässerung werden, wie bereits erwähnt, die Zusatzstoffe FeCl_3 und Polymere bzw. FeCl_3 und CaO eingesetzt. Kalk wird zusätzlich zur Geruchs-bekämpfung und Stabilisierung verwendet. In den Anlagen der RMSP wird durch den Einsatz von Kammerfilterpressen ein TS-Gehalt von knapp 40 % erreicht. In Bild 15 sind überdachte Schlamm-trockenbeete in Curitiba dargestellt, mit denen ein ähnlicher TS-Gehalt zwischen 30 und 40 % erzielt werden kann.

Auf der Kläranlage ETE São Miguel ist seit 2001 eine thermische Schlammbe-handlung in Betrieb, die allerdings viele Betriebsprobleme aufweist. So wird die

Anlage beispielsweise aufgrund von Korrosionsschäden und langen Wartezeiten auf Ersatzteile des belgischen Herstellers häufig abgestellt.

Eine grobe Schätzung der einwohnerspezifischen Schlammproduktion in der RMSP ergibt die folgenden Werte, die jedoch nur als Anhaltsgrößen zu verstehen sind: Primärschlammproduktion ca. 1 bis 2 l/(E·d), Sekundärschlammproduktion ca. 1 l/(E·d) und Gesamtmenge des produzierten Schlammes nach Entwässerung ca. 52 g/(E·d). Weiterhin wird die Schlammproduktion auf etwa 370 kg pro 1 000 m³ behandeltes Abwasser geschätzt.



Bild 15: Überdachte Schlamm-trockenbeete in Curitiba

5.4 Ausrüstung

Die Abwassereinigungsanlagen sind in Brasilien je nach Entwicklungsstand unterschiedlich gut ausgerüstet. Die Belebtschlammanlagen in der RMSP besitzen beispielsweise ein zentrales Überwachungssystem des Typus SCADA, das momentan jedoch aufgrund von Problemen außer Betrieb ist. Die Durchflussmessung erfolgt oft elektromagnetisch, es werden aber auch andere Verfahren wie z. B. Ultraschall angewendet. In Santa Catarina wird auf eine Automatisierung und Online-Messung aufgrund von hohen Kosten, hohem Wartungsaufwand und mangelndem qualifizierten Personal verzichtet. In Paraná sind dahingegen Hebepumpen, Durchflussmessgeräte, die pH-Messung und Desinfektionsverfahren automatisiert.

Als Pumpen werden die gängigen Typen wie z. B. Kreiselpumpen, Schneckenpumpen und Tauchmotorpumpen eingesetzt, wobei letztere in Santa Catarina be-

vorzuzug werden. Die lokale Herstellung erfolgt beispielsweise über die brasilianische Niederlassung von Netsch in den Bundesstaaten Santa Catarina und São Paulo. SAPESP hat zudem Pumpen von GRUND, VOSS und MARK PEERLS im Einsatz. Lokal produziert, aber auch importiert, wird ebenfalls von Degrémont, Frankreich. Kreiselpumpen mit niedriger Kapazität werden durch King e Inapi in Ceará produziert.

In den Anlagen der RMSP sind Schutzmaßnahmen gegen Geruchsemissionen vorhanden. Abluft wird beispielsweise von bedeckten Einrichtungen wie Einlaufpumpwerk, Rechen, Eindicker und Flotationsbecken abgezogen und mit Hilfe von Gaswäschern über den Prozess der Oxidation mit NaOCl und der Neutralisation mit NaOH gereinigt. Die Gaswäscher sind mit Schwefelwasserstoff- (H_2S -) Detektoren ausgestattet.

6 Kosten und Tarife

6.1 Investitionskosten

Die Investitionen im gesamten Abwassersektor beliefen sich im Jahr 2002 auf mindestens 2,77 Mrd. R\$, was einem Zuwachs von 6 % gegenüber dem Vorjahr entspricht. Davon wurden mit 1,16 Mrd. etwas mehr im Abwasserbereich als in der Trinkwasserversorgung verwendet. Die Finanzierung erfolgte zu 55 % aus Eigenkapital, zu 27,7 % aus Krediten und zu 17,3 % aus Zuschüssen. Ein Großteil der Investitionen aus Eigenkapital stammte allerdings von SABESP, das 2002 insgesamt 728 Mio. R\$ investierte (SNIS, 2004). Der höchste Anteil an Zuschüssen kann in den Regionen Nordosten und Norden mit 62,3 % und 15,2 % festgestellt werden.

Bei der Umsetzung von Projekten sind ebenfalls externe Geldgeber wie die Entwicklungsbanken Weltbank, BID (Banco Interamericano de Desarrollo, Interamerikanische Entwicklungsbank), JBIC (Japan Bank of International Cooperation) und KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) als auch brasilianische Banken wie z. B. CEF (Caixa Econômica Federal, Brasilianische Bundesbank), die Kredite zu günstigen Konditionen vergeben, von Bedeutung. Weiterhin ist allgemein das staatliche Finanzierungsinstrument FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço) wichtig, aus dessen Mitteln beispielsweise Ausbaumaßnahmen der Abwasserentsorgung in Paraná getätigt werden. Eine besondere Art der Finanzierung war die Einführung einer Abwassersteuer in der Stadt Blumenau im Bundesstaat Santa Catarina durch SEMAE im Jahre 1990.

Ein gutes Beispiel für die Finanzierung von Großprojekten ist das so genannte Tietê- Projekt zur Sanierung des Abwasserbereiches in der RMSP, um die Qualität des Flusses Tietê mit seinen Zuflüssen zu verbessern. Das Programm wurde 1992 gestartet und die erste Phase mit dem Betrieb der neu gebauten Anlagen ETE ABC, ETE Parque Novo Mundo, ETE São Miguel, bzw. der Erweiterung von ETE Barueri und dem Bau von 1 842 km neuer Kanalisation 1998 beendet. Die Finanzierung der insgesamt 1,1 Mrd. US\$ teuren Investitionen aus der ersten Phase erfolgte durch BID mit einem Anteil von 450 Mio. US\$, durch SABESP mit 550 Mio. US\$ und durch CEF mit 100 Mio. US\$. Die zweite Phase (2000-2004) dient vor allem der Erweiterung des Kanalnetzes und der Erhöhung der Anschlüsse, um die höchstmögliche Menge an Abwasser zu den Kläranlagen mit ausreichender Kapazität zu leiten. Die Finanzierung erfolgt zu gleichen Anteilen über BID und SABESP in Partnerschaft mit BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, nationale Bank für wirtschaftliche und soziale Entwicklung) zu je 200 Mio. US\$.

Für zukünftige Investitionen und Ausbaumaßnahmen weisen die großen Betriebe wie SABESP, SANEPAR und CASAN längerfristige Masterpläne und in der Regel Investitionspläne für einen Zeitraum von vier Jahren vor. Im jetzigen Programm von SABESP soll beispielsweise bis zum Jahre 2005 der Anschlussgrad an die Kanalisation auf 82 % und die Abwasserreinigungsquote auf 68 % gesteigert werden. Finanzielle Rücklagen von staatlicher Seite gibt es für den Abwasserbereich z. B. durch den FGTS, allerdings wurde bemängelt, dass kein wirklicher staatlicher Haushaltsplan für den Abwassersektor vorhanden sei.

In einer Studie von CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Panamerikanisches Zentrum für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft und Umweltwissenschaften) aus dem Jahre 1999 wurden die zukünftig nötigen Investitionen zur Umsetzung der nationalen Politik im Hygienebereich für den Zeitraum von 1998 bis 2010 auf etwa 3,1 Mrd. R\$ pro Jahr geschätzt. Dies entspricht einer Gesamtsumme von 36,8 Mrd. R\$, mit einer Verteilung von 20,2 Mrd. R\$ für die Kanalisation, 9,9 Mrd. R\$ für die Abwasserbehandlung und etwa 6,7 Mrd. R\$ für die Trinkwasserversorgung. Als generelle Barrieren für verstärkte Investitionen werden mangelnde Liquidität der Versorgungsunternehmen, begrenzte Fähigkeit der Kreditaufnahme der öffentlichen Verwaltungen und die allgemeine Finanzkrise genannt (CEPIS, 2004).

Bezüglich der Herkunft von Bau-, Maschinen- und Elektrotechnik wurde in Santa Catarina angegeben, dass etwa 90 % der Einrichtungen lokal beschafft und somit

nur etwa 10 % importiert werden. In Paraná kommen statt importierten Installationen überwiegend lokale Technologien wie z. B. die Anaerobreaktoren zum Einsatz. Import ist im Allgemeinen politisch gewollt teuer. Die meisten bundesstaatlichen Betreiber vergeben Aufträge anhand von Ausschreibungen, an die sie gesetzlich gebunden sind, d. h. bezüglich des Importes gibt es keine Präferenzen. Für SABESP ist allerdings entscheidend, dass mögliche ausländische Lieferanten und Herstellerfirmen in Brasilien vertreten sind, um einen einfachen Unterhalt der Einrichtungen zu ermöglichen.

Generell erschweren ein kompliziertes Zoll- und Steuersystem als auch eine starke Bürokratisierung der Wareneinfuhr und Zahlungsabwicklung den Import nach Brasilien. Allerdings zeichnet sich Brasilien auf der anderen Seite auch durch ein liberales Wirtschaftssystem aus, in dem es beispielsweise keine quantitativen Importbeschränkungen gibt. Deutschland gilt zudem als wichtiger Handelspartner, dessen Importanteil 2002 bei 9,3 % lag. Bei der endgültigen Einfuhr ausländischer Waren werden in Brasilien drei verschiedene Zölle und Steuern erhoben, die akkumuliert berechnet werden. Neben dem Einfuhrzoll oder der Importsteuer I.I. (Imposto sobre Importação) von etwa 20 % auf den CIF-Wert (Gesamtsumme aus Kosten, Versicherung und Fracht) der Sendung ist die Industrieproduktsteuer I.P.I. (Imposto sobre Produtos Industrializados) zu 8 % (Wert für São Paulo) zu entrichten, sowie die ICMS (Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços) als eine Art Umsatzsteuer auf Waren und Dienstleistungen, deren Höhe von den Bundesstaaten festgelegt wird und derzeit zwischen 12 und 25 % liegt. Bis zur Freistellung der Sendung fallen noch weitere Kosten wie z. B. Lagergeld oder die Abgabe zur Modernisierung der brasilianischen Handelsmarine von 25 % auf den Seefrachteintrag an, falls dieser vorherrschende Transportweg gewählt wurde (Brasilien, 2004). In Santa Catarina ist mit einem insgesamt 70 % hohen Einfuhrzoll zu rechnen. Aufgrund der hohen Importkosten, produzieren ausländische Firmen mit einem längerfristigen Marktinteresse an Brasilien bereits im Land.

Die Landerwerbskosten unterscheiden sich je nach Lage des Grundstückes sehr stark. Für São Paulo und Santa Catarina wird eine Spanne von 100 bis 1 300 R\$/m² bzw. 0,5 bis 1 000 R\$/m² angegeben.

6.2 Betriebskosten, Wartung und Instandhaltung

Die Betriebskosten für die Wasserver- und Abwasserentsorgung betragen bei den regionalen Versorgungsunternehmen etwa 58 % und bei den lokalen Betreibern aufgrund weniger Abschreibekosten bereits 82 % der gesamten laufenden Kosten.

In Bild 16 ist die Zusammensetzung der Betriebskosten für die regionalen Betreiber dargestellt, die für die lokalen Betreiber ähnlich sind und somit nicht nochmals in einer Abbildung dargestellt werden. SABESP gibt für die fünf Kläranlagen der RMSP spezifische Betriebskosten pro m³ behandeltes Abwasser von 0,32 R\$ für ETE Barueri bis 0,89 R\$ für ETE São Miguel an.

Nach Bild 16 ergeben die Personalkosten für beide Betreibermodelle mit etwa 45 bzw. 40 % den Hauptanteil der Kosten. Zusätzlich sind Personalkosten von Fremdfirmen aufgrund geleisteter Dienstleistungen zu berücksichtigen, wodurch sich der Anteil der Personalkosten auf etwa 64 bzw. 61 % erhöht. Generell ist das Personalaufkommen mit durchschnittlich 3,8 Mitarbeitern pro 1 000 Anschlüsse höher als der internationale Standard für Wirtschaftlichkeit von zwei Arbeitern pro 1 000 Anschlüsse und lässt auf eine niedrige Effizienz schließen (SNIS, 2004).

Für die Abwasseranlagen von SABESP liegen die Personalkosten bei etwa 0,1 R\$ pro m³ behandeltes Abwasser. Löhne bzw. Gehälter sind je nach Qualifizierung in Paraná mit Werten zwischen 650 bis 3 000 R\$ pro Monat bzw. in Santa Catarina mit 400 bis 4 000 R\$ anzusetzen. Bei SAPESP verdient ein Arbeiter auf der Kläranlage etwa 800 R\$/Monat und ein Angestellter in der Verwaltung rund 1 200 R\$/Monat. Die Vergütung ist von der Position und der Dauer der Beschäftigung abhängig.

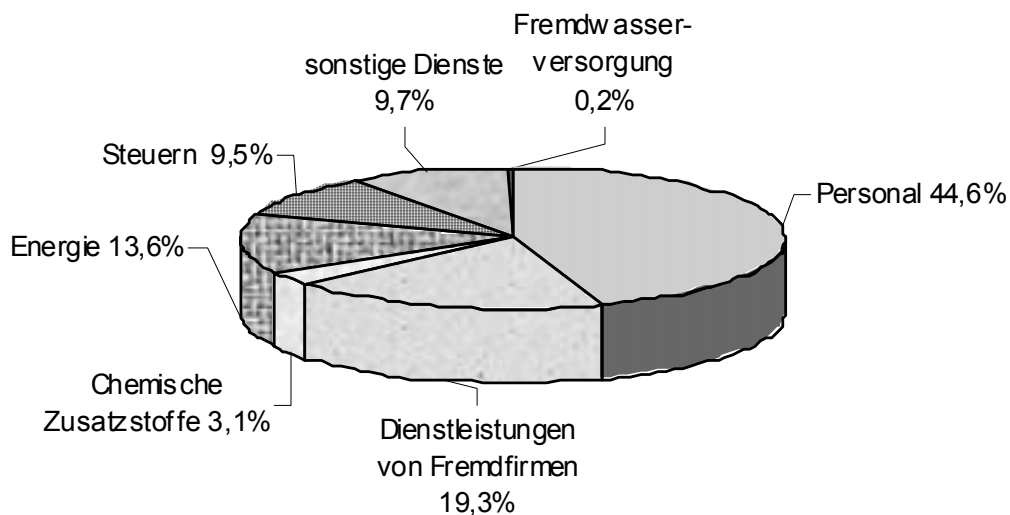


Bild 16: Zusammensetzung der Betriebskosten regionaler Wasserver- und Abwasserentsorger

Die Energiekosten betragen 13,6 bzw. 14,9 % der Betriebskosten. Wie bereits erwähnt lag der Strompreis für öffentliche Betriebe im März 2004 durchschnittlich bei 0,131 R\$ pro kWh. Pro m³ behandeltem Abwasser werden in der RMSP etwa 0,5 kWh benötigt.

Weiterhin werden chemische Zusatzstoffe für die Wasseraufbereitung und die Abwasserbehandlung eingesetzt, die 3,1 bzw. 3,2 % der gesamten Betriebskosten umfassen. Für Abwasserreinigung kommen als chemische Zusatzstoffe vorwiegend Kalk (CaO), Eisenchlorid (FeCl₃) und Polymere für die Schlammbehandlung zum Einsatz. Insgesamt werden in den fünf Kläranlagen der RMSP pro Tag etwa 7 340 kg CaO, 6 360 kg FeCl₃ und 321 kg Polymere verbraucht. Umgerechnet auf das Trockengewicht des entwässerten Schlammes ergeben sich daraus spezifische Kosten für die Zusatzstoffe von 10 R\$/t Schlamm für ETE São Miguel bis 82 R\$/t für ETE Parque Novo Mundo. Neben den Materialkosten fallen zusätzlich Kosten für die Schlamm Entsorgung an. Dabei müssen in São Paulo für die Entsorgung auf der Deponie 65,9 R\$ pro Tonne Schlamm zuzüglich 16 bis 20 R\$/t Transportkosten entrichtet werden. In Santa Catarina werden die Entsorgungskosten für auf der Kläranlage anfallende Feststoffe auf 100 bis 150 R\$/t geschätzt.

6.3 Tarife

Die Tarife für die Abwasserentsorgung orientieren sich an den Wasserpreisen der Trinkwasserversorgung. Daraus resultiert eine komplexe Tarifstruktur mit einer Differenzierung nach Abnehmergruppen und Wasserverbrauch. In der Regel ist für die Abwasserentsorgung der gleiche Preis bzw. ein etwas niedrigerer Tarif pro m³ zu entrichten und beide Gebühren werden gemeinsam erhoben. Generell steigen die Kosten mit der Trinkwasserabnahmemenge an. Für sozialschwache Gruppen gilt wie bei der Wasserversorgung ein günstigerer Sozialtarif.

Für die regionalen Versorgungsbetriebe liegen die jeweiligen Tarife für Trinkwasser bzw. die Abwasserentsorgung zwischen 0,77 und 2,23 R\$/m³, für die lokalen Betreiber entsprechend zwischen 0,11 bis 3,69 R\$/m³. Der durchschnittliche Wasserpreis der regionalen Versorger liegt bei etwa 1,30 R\$/m³ und für die Abwasserentsorgung sind im Mittel 1,25 R\$/m³ zu entrichten. Im Südosten ist die Abwasserentsorgung mit 1,31 R\$/m³ teurer als die Trinkwasserversorgung mit 1,27 R\$/m³. Die Preise sind im Norden mit 0,93 R\$/m³ für Abwasser bzw. mit 1,04 R\$/m³ für Trinkwasser generell niedriger (SNIS, 2004). Tabelle 6 zeigt einige Tarifbeispiele der großen Versorgungsbetriebe. Grundsätzlich liegt in den Sektoren das Problem vor, dass die Tarife niedriger als die tatsächlich entstehenden Kosten sind.

In Paraná ist zudem die Einführung einer Gebührensatzung geplant, die neben Tarifen für die Rohwasserentnahme, ebenfalls auch Gebühren für die Einleitung von Schmutzfrachten wie BSB₅ und suspendierten Feststoffen vorschreiben soll.

Tabelle 6: Beispiele für Wasser- und Abwassergebühren in R\$

| Versorgerbetrieb, Tarif | | Tarif in R\$ je Abnahmemenge pro Monat in m ³ | | | | | |
|--------------------------------|----|--|-----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 10 | 11 - 20 | 21 - 25 | 25 - 30 | 31 - 50 | > 50 |
| SABESP, Sozialtarif RMSP | TW | 3,26 | + 0,57/m ³ | +1,99/m ³ | | + 2,84/m ³ | + 3,14/m ³ |
| | AW | 3,26 | + 0,57/m ³ | +1,99/m ³ | | + 2,84/m ³ | + 3,14/m ³ |
| SABESP, Normaltarif RMSP | TW | 9,62 | + 1,5/m ³ | | | 3,75/m ³ | + 4,13/m ³ |
| | AW | 9,62 | + 1,5/m ³ | | | 3,75/m ³ | + 4,13/m ³ |
| SANEPAR, Sozialtarif | TW | 5 | | | | | + 0,5/m ³ |
| | AW | 2,5 | | | | | + 0,25/m ³ |
| SANEPAR, Normaltarif | TW | 15,17 | + 2,28/m ³ | | | | + 3,88/m ³ |
| | AW | 12,89 | + 1,94/m ³ | | | | + 3,3/m ³ |
| CASAN, Sozialtarif | TW | 0,31/m ³ | 0,78/m ³ | | 3,50/m ³ | | |
| | AW | 80 % der Trinkwassergebühren | | | | | |
| CASAN, Normaltarif | TW | 1,51/m ³ | 2,58/m ³ | | 3,50/m ³ | | |
| | AW | 80 % der Trinkwassergebühren | | | | | |

7 Folgerungen und Zusammenfassung

Im Folgenden werden Ergebnisse zusammengefasst, die allgemein für Brasilien als gültig angesehen werden können. Als Folgerung daraus werden denkbare Einsatzgebiete und mögliche Tätigkeitsschwerpunkte für die Verwendung deutscher Technologie im Abwasserbereich aufgezeigt.

Die Abwasserentsorgung weist im Vergleich zu der größtenteils flächendeckenden Trinkwasserversorgung beachtliche Defizite auf. So sind etwa 50 % der gesamten Bevölkerung nicht an eine Kanalisation angeschlossen. Bei einem hohen Versäuerungsgrad von über 80 % birgt das hohe hygienische Risiken. Außerdem bestehen große regionale Unterschiede, d. h. die Abwasserentsorgung liegt in manchen Bundesstaaten sogar unter 10 %. Die Abwasserbehandlung umfasst im Landes-

durchschnitt nur etwa ein Viertel des produzierten Trinkwassers. Wiederum existieren beachtliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Regionen.

Die Verwaltung des Großteils der Schmutzwasserkanalisation und der Abwasserbehandlungsanlagen liegt in den Händen von bundesstaatlichen Großbetrieben mit einem großen Verwaltungsaufwand. Generell ist festzustellen, dass die Personalkosten der Betreiber sehr hoch sind und mit 40 bis 60 % den Hauptteil der Betriebskosten ausmachen. Daraus lässt sich eine mangelnde Effizienz, aber auch eine fehlende Qualifizierung des Personals ableiten.

Es wurde bereits erkannt, dass die gegenwärtigen Gesetze im Bereich der Abwasserreinigung dringend einer Überarbeitung unterzogen werden müssen. Dabei sollte gezielt auf die Einleitung von kommunalem Abwasser eingegangen und Industrieinleitungen getrennt betrachtet werden. Dies sollte den Analysenaufwand und die damit verbundenen Kosten für kommunale Anlagen gering halten. Inwieweit der neue Gesetzesentwurf dies berücksichtigen wird, ist jedoch fraglich.

Für die Abwasserreinigung kommt eine breite Palette von Behandlungsmethoden von einfachen bis hin zu technisch anspruchsvollen Verfahren zum Einsatz. Daher ist ebenfalls ein breites Know-how hinsichtlich der Abwasserbehandlung vorhanden, allerdings verteilt es sich auf die einzelnen Bundesstaaten bzw. bundesstaatlichen Großbetriebe mit unterschiedlichen Prioritäten. So werden im Bundesstaat Paraná beispielsweise fast ausschließlich Anaerobreaktoren des Typus RALF mit Abwasserteichen angewendet. In der RMSP findet dagegen das konventionelle Belebtschlammverfahren Anwendung. Generell findet die Anaerobtechnik als auch Abwasserteiche aufgrund der klimatischen Bedingungen und der Einfachheit dieser Verfahren eine stärkere Anwendung als in Deutschland. Für die Schlammbehandlung liegt ebenfalls ein relativ breites Spektrum an Erfahrung vor. Allerdings fehlt für ganz Brasilien eine breite und zugängliche Basis von Erfahrungswerten wie sie in Deutschland existiert.

Die gesetzlichen Vorgaben können derzeit mit den eingesetzten Behandlungsmethoden generell eingehalten werden. Bei einer möglichen Verschärfung der Vorgaben wären jedoch Änderungen in der Prozessführung und Umrüstungen nötig. Außergewöhnliche Betriebsprobleme konnten nicht festgestellt werden. Die Bildung von Bläh- bzw. Schwimmschlamm in Belebtschlammanlagen ist jedoch ein gängiges Problem.

In Brasilien wird ein geringer Teil des produzierten Klärschlammes, des Biogases und des gereinigten Abwassers wieder verwendet. Erste Bemühungen hinsichtlich

der Wiederverwendung finden jedoch statt, wie beispielsweise im Bereich der Abwasserwiederverwendung in der RMSP oder im Nordosten des Landes.

In den letzten Jahren wurde viel in den Abwassersektor investiert. Die Mittel um diesen Trend weiterzuführen und um die bisherigen Einrichtungen in einem guten Zustand zu halten sind jedoch vielerorts knapp. Entsprechende Finanzierungsmodelle sind daher stark gefragt.

Für die Verwendung deutscher Technologie und Erfahrung im Abwasserbereich ergeben sich aus dieser Studie die folgenden denkbaren Einsatzgebiete und möglichen Tätigkeitsschwerpunkte:

Über die Regenwasserkanalisation im Zuständigkeitsbereich der Kommunen wurden zwar keine Daten erhoben, allerdings kann davon ausgegangen werden, dass eine Regenwasserbehandlung völlig fehlt. Daher werden Vorschläge zu einer effektiven Regenwasserbehandlung benötigt.

Im Bereich der mechanischen Reinigung kommen überwiegend Grobrechen zum Einsatz. Um einen reibungsfreien Ablauf der nachfolgenden Behandlung zu garantieren, ist der Einsatz von Feinrechen und eventuell Sieben zu untersuchen.

Eine Nährstoffelimination wird in Brasilien nicht angewandt. Generell sollte untersucht werden, inwieweit sie aufgrund von möglicher Eutrophierung von Gewässern nötig wäre. Teilweise ist eine vorgeschaltete Denitrifikationsstufe im Belebtschlammverfahren integriert, jedoch ohne nötige Rückführung von nitrat-haltigem Abwasser. Daher ist eine Optimierung nötig. Für die Phosphatelimination gibt es keine verbreiteten Ansätze. Zudem sollte gegebenenfalls untersucht werden, inwieweit die Anlagen mit Anaerobreaktoren und Abwasserteichen zur Nährstoffelimination umgerüstet werden könnten.

Im Bereich der Schlammbehandlung bedarf es grundsätzlich der Erfassung von genauen Daten zur einwohnerspezifischen Schlammproduktion. Die Faulung sollte in einigen Fällen ebenfalls optimiert werden. Die Aufenthaltszeiten könnten reduziert und die organische Volumenbeladung erhöht werden, wodurch sich ein kleineres Faulvolumen ergibt. Außerdem sollte ein optimaler Temperaturbereich eingestellt werden. Beim Einsatz des Schlammes in der Landwirtschaft müsste durch geeignete Entseuchungsverfahren sichergestellt werden, dass hygienische Risiken ausgeschlossen sind. Für die Schlammentwässerung sind der Einsatz von Bandfilterpressen zu untersuchen und für die maschinelle Entwässerung generell eine Optimierung der Zugabe von Hilfsstoffen insbesondere der Dosierungsmengen und -einrichtungen durchzuführen. Erfahrungen bezüglich der thermischen

Schlammbehandlung zur Reduzierung des Schlammvolumens und der Deponiekosten liegen nur aus der Anlage ETE São Miguel vor und sind aufgrund häufiger Betriebsprobleme eher negativ. Eine thermische Schlammbehandlung wäre vor allem im Stadtgebiet ohne die Möglichkeit der landwirtschaftlichen Verwertung interessant.

Ein weiteres mögliches Arbeitsfeld betrifft die Faulgasverwertung. Dabei ist eine effektive Sammlung des produzierten Biogases nötig, als auch geeignete Verwertungsmöglichkeiten. Für die großen Anlagen in den Ballungszentren wäre eine zusätzliche Energieversorgung durch Biogas aufgrund der periodischen Engpässe und auch im Hinblick auf den Klimaschutz wünschenswert.

Positive Erfahrungen in der Automatisierungs- und Onlinemesstechnik fehlen ebenfalls. Je nach Verfahrensart ist die Einführung entsprechender Technik aufgrund der Kosten und möglicher Betriebsprobleme jedoch nicht nötig. Zur Optimierung von Belebtschlammanlagen ist sie jedoch empfehlenswert und zu untersuchen.

Neben der Faulgasnutzung und der Verwendung des Klärschlammes ist die Wasserwiederverwendung zu unterstützen. Je nach Verwendungszweck ist dabei eine geeignete Desinfektion wichtig. In der Regel erfolgt diese über eine Chlorung mit damit verbundenen Umweltrisiken. Praktische Erfahrungen für die UV-Desinfektion oder die Anwendung von Ozon wie sie in Deutschland vorliegen fehlen bisher. Aus Kostengründen ist eine Übertragung dieser Technologie auf absehbare Zeit jedoch unwahrscheinlich.

Neben den oben kurz genannten Möglichkeiten der technischen Hilfestellung, wäre vor allem eine deutsche Beraterfunktion im Bereich der Gesetzgebung und der Ausbildung von Fachkräften, als auch eine Hilfestellung in Richtung Organisationsmanagement, um beispielsweise den Personalaufwand zu reduzieren, denkbar. Eine veränderte und an die entstehenden Kosten angepasste Tarifpolitik könnte ebenfalls aus der bestehenden Finanzierungskrise helfen. Um eine wie in Deutschland breite Basis an Erfahrungswerten aufzubauen, wären zudem Anstrengungen im Bereich des Informationsmanagement nötig. Da Brasilien bereits einen relativ guten Entwicklungsstand im Abwasserbereich aufweist, sind vor allem Kenntnisse in diesen Bereichen für eine positive Entwicklung entscheidend.

Im Allgemeinen sind jedoch selbstverständlich nach wie vor kostengünstige und effektive Technologien gefragt, die ebenfalls ein sicheres Verwerten der anfallenden Produkte Klärschlamm, Faulgas und behandeltes Abwasser ermöglichen, um

aufgrund von Finanzierungsengpässen, die Schere zwischen der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung weiter zu schließen.

8 Literatur und Quellen

ANEEL (2004) Informationen über den Energiesektor von der nationalen Energiebehörde ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). www.aneel.gov.br (Juni 2004)

Brasilien (2004) Allgemeine Informationen über Brasilien und Informationen über die Wirtschaft und den Außenhandel. www.brasilien.de, www.brasilien.de/wirtschaft/allgemein/allgem.asp, www.brasilien.de/wirtschaft/handel/export.asp (Juni 2004)

CEPIS (2004) Informe Analítico „Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento 2000 en las Américas“. www.cepis.ops-oms.org (März 2004)

IBGE (2004) Nationale Untersuchung des Ver- und Entsorgungsbereiches, Analyse für das Jahr 2000, „Pesquisa Nacional de Saneamento Básico“. www.ibge.gov.br (März 2004)

Kühn, W., Lipp, P., Müller, U., Schlitt, V. und Stauder, S. (2003) Praxiserfahrungen bei der Trinkwassergewinnung in anderen Ländern. Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WT0207, Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil I: Trinkwasser, Band 1, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe

SNIS (2004) Wasser- und Abwassersituation in Brasilien, Analyse für das Jahr 2002, „Diagnóstico dos serviços de Água e Esgotos - 2002“. www.snis.gov.br.diag_2002.htm (April 2004)

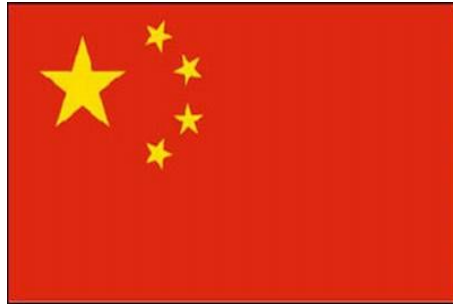
Informationen über die großen bundesstaatlichen Versorger SABESP, SANEPAR und CASAN: www.sabesp.com.br, www.sanepar.com.br und www.casan.com.br

9 Anlagen (auf CD beigefügt)

Anlage 1: Kurzbeschreibung der besuchten Kläranlagen (Steckbriefe)

Anlage 2: Betriebsdaten besuchter Kläranlagen

Anlage 3: Bilddokumentation besuchter Kläranlagen



Volksrepublik China

**Peter Cornel und Martin Wagner,
Technische Universität Darmstadt**



1 Einleitung

In der Volksrepublik China wurden in der Zeit zwischen dem 28.06. und 06.07.2004 und im Rahmen anderer Reisen zehn Abwasserbehandlungsanlagen besichtigt. Alle Anlagen waren bis auf eine Ausnahme kommunale Abwasserbehandlungsanlagen. Die zur Besichtigung ausgewählten Anlagen arbeiten mit verschiedenen Verfahren und verfügen über sehr unterschiedliche Behandlungskapazitäten (Tabelle 1). Die Auswahl verdeutlicht die unterschiedlichen Ansätze zur Abwasserbehandlung in der Volksrepublik China mit unterschiedlichen Behandlungsverfahren. Bild 1 zeigt die geografische Lage der besuchten Abwasserbehandlungsanlagen.

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zu den besichtigten Abwasserbehandlungsanlagen in der Volksrepublik China

| Standort | Abwasserquelle | Verfahren | Kapazität m ³ /d |
|--------------------------------|----------------------|---|--------------------------------|
| Guangzhou | Kommunal | AB-Verfahren und Unitank (SBR) | 440 000 |
| Peking/Beijing (Gaobeidian) | Kommunal | Konventionelles Belebungsverfahren | 1 000 000 |
| Qingdao (Tuandao) | Kommunal | A ² O-Verfahren (= Nitrifikation/Denitrifikation) | 100 000 |
| Qingdao (Licunhe) | Kommunal | A ² O-Verfahren (= Nitrifikation/Denitrifikation) | 80 000 |
| Qingdao (Jiaonan) | Kommunal | Pflanzenkläranlage | 60 000 |
| Shanghai | Kommunal/Industriell | Konventionelles Belebungsverfahren | 50 000 |
| Shanghai | Industriell | Konventionelles Belebungsverfahren | 200 000 |
| Shanghai | Kommunal | Mechanische Reinigung | 1 700 000 |
| Wuhan | Kommunal | Mechanische Reinigung | 180 000 |
| Yinchuan | Kommunal | SBR-Verfahren | 100 000 |

Die bei den Besichtigungen der Anlagen gewonnenen Erfahrungen wurden durch verschiedene Gespräche ergänzt, so z. B. im Umweltamt der Städte Shanghai, Qingdao und Yinchuan. Außerdem wurden Gespräche im „Wasseramt“ in Peking, der Water Group der Stadt Wuhan und bei der Shanghai Municipal Sewerage Company geführt.



Bild 1: Lage der besuchten Abwasserbehandlungsanlagen in der Volksrepublik China

2 Gesetzliche Regelungen – Institutionen, Gesetze und Verordnungen

2.1 Vorbemerkung

Das erste Rahmengesetz für den Umweltschutz in der Volksrepublik China war das „Environmental Protection Law of the People’s Republic of China“. Das „Law of the People’s Republic of China on the Prevention and Control of Water Pollution“ detailliert dieses Gesetz im Bereich des Wasserwesens. Bezüglich der Umsetzung sind die „Implementing Rules on the Law on the Prevention and Control of Water Pollution“ gültig. Außerdem sind die „Regulations on Issues concerning experimental collection of urban sewage treatment fee“ zu beachten. Weitere Vorschriften bestehen auf Provinz-Ebene. Parallel zu den angegebenen Gesetzen sind Standards zu beachten, die sowohl von der Zentralregierung in Peking, aber auch von den Regierungen der Provinzen erlassen werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Umwelt- und Qualitätsstandards in der Volksrepublik China (Übersicht)

| Bezeichnung des Standards | Nummer |
|---|---------------|
| Qualitätsstandard Oberflächenwasser | GB 3838–2002 |
| Qualitätsstandard Meerwasser | GB 3097–1997 |
| Qualitätsstandard für landwirtschaftliche Bewässerungen | GB 5084–92 |
| Einleitungsstandard des Abwassers in kommunale Kanäle | CJ 3082–1999 |
| Emissionsstandard aus kommunalen Kläranlagen | GB 18918–2002 |

Die in Tabelle 2 angeführten Standards werden nachfolgend näher detailliert.

2.2 Immissionsstandards

Das Oberflächenwasser wird entsprechend der Wasserqualität in fünf Kategorien eingeteilt (Kategorie I bis V, Tabelle 3). Je nach Qualitätskategorie werden Immissionswerte angegeben. Die einzelnen Klassen sind wie folgt definiert:

- Klasse I: Quellgebiet eines Flusses, nationales Naturschutzgebiet,
- Klasse II: schützenswertes Gewässer, sensible Fischschutzzone, Brutplatz für Fische; Wasser ist nach einfacher Aufbereitung als Trinkwasser geeignet,
- Klasse III: Badegewässer; Wasser ist nach üblicher Aufbereitung als Trinkwasser geeignet,
- Klasse IV: geeignet als Brauchwasser für die Industrie, kein Badegewässer,
- Klasse V: nur zur Bewässerung in der Landwirtschaft geeignet.

Soll das Wasser zu Trinkwasser aufbereitet werden, sind zusätzlich die in Tabelle 4 angeführten Parameter einzuhalten (GB 3838–2002).

Soll aus Abwasserbehandlungsanlagen gereinigtes Abwasser in das Meer abgeleitet werden, ist der Immissionsstandard Meerwasser (GB 3097–1997, Tabelle 5) zu beachten. Folgende Güteklassen wurden dort definiert:

- Klasse I: zum Fischfang geeignet, Schutzgebiet für bedrohte Tierarten,
- Klasse II: geeignet für die Aufzucht von Fischen, Badegewässer,
- Klasse III: als Brauchwasser für die Industrie geeignet,
- Klasse IV: Hafengebiet.

Tabelle 3: Immissionsstandard Oberflächenwasser (GB 3838–2002)

| Parameter | Einheit | | Klasse I | Klasse II | Klasse III | Klasse IV | Klasse V |
|-------------------------|---------|---|--|--|---|--|--|
| pH | - | | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 |
| BSB ₅ | mg/l | ≤ | 3 | 3 | 4 | 6 | 10 |
| CSB | mg/l | ≤ | 15 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| Gelöstes O ₂ | mg/l | ≥ | 7,5 (oder 90 % Sättigung) | 6 | 5 | 3 | 2 |
| NH ₄ -N | mg/l | ≤ | 0,15 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| N _{ges} | mg/l | ≤ | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| P _{ges} | mg/l | ≤ | 0,02 (See, Stausee, Talsperre 0,01) | 0,1 (See, Stausee, Talsperre 0,025) | 0,2 (See, Stausee, Talsperre 0,05) | 0,3 (See, Stausee, Talsperre 0,1) | 0,4 (See, Stausee, Talsperre 0,2) |
| Pb | mg/l | ≤ | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,1 |
| Hg | mg/l | ≤ | 0,00005 | 0,00005 | 0,0001 | 0,001 | 0,001 |

Tabelle 4: Immissionsstandard Oberflächenwasser bei Verwendung zur Trinkwasserversorgung (GB 3838–2002), zusätzliche Anforderungen

| Parameter | Einheit | |
|--|---------|-----|
| Sulfide (als SO ₄ ²⁻) | mg/l | 250 |
| Chloride (als Cl ⁻) | mg/l | 250 |
| Nitrat (als N) | mg/l | 10 |
| Fe | mg/l | 0,3 |
| Mn | mg/l | 0,1 |

Tabelle 5: Immissionsstandard Meerwasser (GB 3097–1997)

| Parameter | Einheit | | Klasse I | Klasse II | Klasse III | Klasse IV |
|-------------------------|---------|---|-----------|-----------|------------|-----------|
| pH | - | | 7,8 - 8,5 | 7,8 - 8,5 | 6,8 - 8,8 | 6,8 - 8,8 |
| BSB ₅ | mg/l | ≤ | 1 | 3 | 4 | 5 |
| CSB | mg/l | ≤ | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Gelöstes O ₂ | mg/l | ≥ | 6 | 5 | 4 | 3 |
| anorg. N | mg/l | ≤ | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| NH ₄ -N | mg/l | ≤ | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| P _{ges} | mg/l | ≤ | 0,015 | 0,03 | 0,03 | 0,045 |
| Pb | mg/l | ≤ | 0,001 | 0,005 | 0,01 | 0,05 |
| Hg | mg/l | ≤ | 0,00005 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0005 |

Der bei der Abwasserbehandlung entstehende Klärschlamm muss in der Volksrepublik China Immissionswerte nach Tabelle 6 aufweisen, damit er in Abhängigkeit der Böden aufgebracht werden darf.

Tabelle 6: Qualitätsanforderung von landwirtschaftlich genutzten Klärschlamm (GB 18918-2002)

| Parameter | mg/kg Trockenschlamm | |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | saure Böden (pH < 6,5) | neutrale/basische Böden (pH ≥ 6,5) |
| Cd | 5 | 20 |
| Hg | 5 | 15 |
| Pb | 300 | 1 000 |
| Cr | 600 | 1 000 |
| As | 75 | 75 |
| Ni | 100 | 200 |
| Zink | 2 000 | 3 000 |
| Kupfer | 800 | 1 500 |
| B | 150 | 150 |
| Benzol[a]Perylene | 3 | 3 |
| PCDD/PCDF | 100 ng/kg Trockenschlamm | 100 ng/kg Trockenschlamm |
| AOX (als Cl) | 500 | 500 |
| PCB | 0,2 | 0,2 |

2.3 Emissionsstandards

Allgemeine Emissionsstandards für Industrieabwässer und kommunale Abwässer sind in den Standards GB 8978-1996 sowie GB 18918-2002 angegeben. Im Standard GB 8978-1996 werden allgemeine Anforderungen an die Abwassereinleitung von allen Industriebranchen sowie kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in Gewässer geregelt. Die Einleitanforderung der Abwässer aus verschiedenen Industrien und kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen wird konkret in weiteren detaillierten Standards festgelegt. Vorbehandeltes Industrieabwasser darf in kommunale Kanalisationen nur dann eingeleitet werden, wenn es entsprechende Konzentrationen des Einleitungsstandards CJ 3082-1999 (Tabelle 7) erreicht. Für kommunale Abwasserbehandlungsanlagen sind die Einleitanforderungen des Standards GB 18918-2002 (Tabelle 8) maßgebend. Der Standard ist in vier Klassen unterteilt: Standardklasse I A, Standardklasse I B, Standardklasse II und Standardklasse III. Das Wasser der Standardklasse I A kann uneingeschränkt als Brauchwasser bzw. zur Einleitung in Gewässer zur Erholung (Flüsse, Seen) verwendet werden. Weiterhin kann es in Gewässer mit geringer Selbstreinigungskraft eingeleitet werden. Wasser entsprechend der Standardklasse I B kann in Gewässer der Güteklasse III (Oberflächengewässer) oder Gewässergüteklasse II (Meere) eingeleitet werden (Gewässergüteklassen siehe Standard GB 3838–2002 und GB 3097-1997). Dagegen kann Wasser der Standardklasse II in Gewässer mit der Gewässergüteklasse IV und V (Oberflächenwasser) und Gewässergüteklasse III und IV (Meere) eingeleitet werden. Das Wasser der Standardklasse III wird in Gewässer eingeleitet, die von untergeordneter Bedeutung sind. Üblicherweise sollte Abwasser weitergehender gereinigt werden, als die Standardklasse III vorschreibt.

Tabelle 7: Einleitungsstandard in kommunale Kanalisationen (CJ 3082-1999)

| Parameter | Einheit | ohne Abwasserbehandlungsanlage am Ende der Kanalisationen | mit Abwasserbehandlungsanlage am Ende der Kanalisationen |
|--------------------|---------|--|---|
| pH | - | 6 - 9 | 6 - 9 |
| BSB ₅ | mg/l | 100 | 300 |
| CSB | mg/l | 150 | 500 |
| Temperatur | °C | 35 | 35 |
| NH ₄ -N | mg/l | 25 | 35 |
| P _{ges} | mg/l | 1 | 8 |
| Pb | mg/l | 1,0 | 1,0 |
| Hg | mg/l | 0,05 | 0,05 |

Tabelle 8: Ablaufkonzentrationen kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen
(GB 18918-2002)

| Parameter | Einheit | Standardklasse I | | Standard- klasse II | Standard- klasse III |
|--|------------|------------------|--------|------------------------|-------------------------|
| | | A | B | | |
| CSB | mg/l | 50 | 60 | 100 | 120 ^{*)} |
| BSB ₅ | mg/l | 10 | 20 | 30 | 60 ^{*)} |
| TS | mg/l | 10 | 20 | 30 | 50 |
| Tier-/Pflanzenfett | mg/l | 1 | 3 | 5 | 20 |
| Erdöl oder ähnliches | mg/l | 1 | 3 | 5 | 15 |
| LAS | mg/l | 0,5 | 1 | 2 | 5 |
| Total N | mg/l | 15 | 20 | - | - |
| NH ₄ -N ^{**)} | mg/l | 5 (8) | 8 (15) | 25 (30) | - |
| P _{ges} (Inbetriebnahme vor 31.12.2005) | mg/l | 1 | 1,5 | 3 | 5 |
| P _{ges} (Inbetriebnahme nach 1.1.2006) | mg/l | 0,5 | 1 | 3 | 5 |
| Färbung | Verdünnung | 30 | 30 | 40 | 50 |
| pH | - | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 |
| Fäkalienkoloniezahl | /l | 1 000 | 10 000 | 10 000 | - |

*) Bei der Standardklasse III soll neben den angegebenen Werten auch Folgendes berücksichtigt werden: Wenn CSB-Frachten im Zulauf von Abwasserbehandlungsanlagen größer als 350 mg/l sind, müssen die CSB-Abbaugrade größer als 60 % sein. Sind die BSB₅-Frachten im Zulauf von Abwasserbehandlungsanlagen größer als 160 mg/l, müssen die BSB₅-Abbaugrade größer als 50 % sein.

***) Die Werte in Klammern geben die Grenzwerte bei Wassertemperaturen größer als 12 °C an.

2.4 Qualitätsstandard landwirtschaftliche Bewässerung

In Tabelle 9 ist der Qualitätsstandard bei der Verwendung von gereinigtem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung (GB 5084-92) angegeben.

Tabelle 9: Bewässerungsstandards (GB 5084-92)

| Parameter | Einheit | | A | B | C |
|---------------------|---------|---|--------|-----------|--------|
| BSB ₅ | mg/l | ≤ | 80 | 150 | 80 |
| CSB _{cr} | mg/l | ≤ | 200 | 300 | 150 |
| TS | mg/l | ≤ | 150 | 200 | 100 |
| LAS | mg/l | ≤ | 5,0 | 8,0 | 5,0 |
| TKN | mg/l | ≤ | 12 | 30 | 30 |
| P _{ges} | mg/l | ≤ | 5,0 | 10 | 10 |
| pH | - | ≤ | - | 5,5 - 8,5 | - |
| Fäkalienkoloniezahl | /l | ≤ | 10 000 | 10 000 | 10 000 |
| Spulwürmer | /l | ≤ | 2 | 250 | - |

A: Nutzpflanzen, die einen hohen Bedarf an Wasser haben, da sie bis zur Ernte im Wasser stehen müssen (wie z. B. Reis); Bewässerungswassermenge: 1,2 m³/(m²·a);

B: Getreide (wie z. B. Weizen); Bewässerungswassermenge: 0,45 m³/(m²·a);

C: Gemüseplantage; der Wasserverbrauch ist sehr unterschiedlich je nach Gemüsetyp; Bewässerungswassermenge: 0,3 bis 0,75 m³/(m²·Ernte)

Die chinesischen Flächenmaße in Tabelle 9 wurden auf Quadratmeter bezogen.

2.5 Zuständigkeiten

Nach dem Beschluss der städtischen Gremien zum Bau einer Abwasserbehandlungsanlage legen das „Wasser-Amt“, das Planungsamt und das Bauamt das Gelände fest, auf dem die Abwasserbehandlungsanlage errichtet werden soll. Im Falle einer Industrieabwasserbehandlungsanlage legt das Umweltamt diese Entscheidung fest. Kommunale Anlagen werden grundsätzlich von sogenannten Design-Instituten geplant (z. B. in Peking, Shanghai und Wuhan). Eine Umweltverträglichkeitsprüfung ist immer durchzuführen. Im Falle der Planung einer industriellen Abwasserbehandlungsanlage können ebenfalls Design-Institute die Planung vornehmen. Es ist aber auch möglich, dass Unterabteilungen des Umweltamtes (in Shanghai beispielsweise „Shanghai Academy of Environmental Sciences“) Planungen durchführen.

Für den Bau und den Betrieb von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in China sind Unterabteilungen des „Wasser-Amtes“ zuständig. Beim Betrieb ist zu beachten, dass grundsätzlich für das Einleiten von gereinigtem Abwasser in ein Gewässer eine Gebühr zu entrichten ist. Diese Gebühr ist entsprechend der eingeleiteten Fracht gestaffelt und von Provinz zu Provinz verschieden.

Die Überwachung der Abläufe kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen wird vom Umweltamt der jeweiligen Stadt vorgenommen. Im Gegensatz dazu werden Abwasserbehandlungsanlagen der Industrie je nach Größe vom Umweltamt der Provinzen, Städte oder Distrikte (Stadtteile) überprüft. Im Falle von gravierenden Überschreitungen müssen Maßnahmen getroffen werden, damit diese zukünftig verhindert werden. Kommt es wiederum zu Überschreitungen, muss Bußgeld gezahlt werden.

Die Finanzierung des Baus von Abwasserbehandlungsanlagen obliegt den Provinzen bzw. den Städten selbst.

2.6 Bemessungsrichtlinien

Das Bauministerium in Peking hat einen Standard herausgegeben, der die Planung und die Bemessung von Abwasserentsorgungsanlagen regelt (Standard, 1997). Dieser ist mit dem Regelwerk der DWA vergleichbar.

Folgende Inhalte werden detailliert:

- Abwasser- und Regenwasseranfall,
- Kanäle,
- Pumpstationen,
- Standorte von Abwasserbehandlungsanlagen,
- Rechen,
- Sandfang,
- Vorklärung,
- Biofilmverfahren (Tropfkörper, Rotationstauchkörper, getauchtes Festbett),
- Belebungsverfahren (Belebung und Nachklärung),
- Belüftungseinrichtungen,
- Rücklaufschlamm und Überschussschlamm,
- Landbehandlung,
- Teiche,
- Desinfektionsanlagen,
- Schlammbehandlung (Eindicker, Faulbehälter, Trockenbeet, Entwässerung).

Diese Empfehlungen sind in chinesischer Sprache und Schrift abgefasst. Übersetzungen liegen nicht vor. Tabelle 10 zeigt Auszüge aus diesen Entwurfsempfehlungen.

Tabelle 10: Auszüge aus den Bemessungsempfehlungen (Standard, 1997)

| Verfahren | Bemessungsgröße | Einheit | von - bis |
|---------------------------------------|-----------------------|--|------------|
| Vorklärung | Aufenthaltszeit | h | 1 - 2 |
| | Oberflächenbelastung | m ³ /(m ² ·h) | 1,5 - 3,0 |
| | Kantenbelastung | m ³ /(m·h) | 10,5 |
| | Aufenthaltszeit | d | 20 - 30 |
| Belebung | Schlammbelastung | kg BSB ₅ /(kg TS·d) | 0,25 - 0,5 |
| | Raumbelastung | kg BSB ₅ /(m ³ ·d) | 0,5 - 1,8 |
| | Trockensubstanzgehalt | Kg/m ³ | 2 - 4 |
| | Rücklaufverhältnis | % | 100 - 400 |
| Nachklärung hinter Belebungsbecken | Aufenthaltszeit | h | 1,5 - 2,5 |
| | Oberflächenbelastung | m ³ /(m ² ·h) | 1,0 - 1,5 |
| Eindicker | Aufenthaltszeit | h | 12 |
| | Tiefe | m | 4 |
| Faulbehälter | Temperatur | °C | 33 - 35 |

2.7 Ausbildungsrichtlinien

Eine spezielle Ausbildung für das Betriebspersonal von kommunalen abwassertechnischen Anlagen gibt es bisher nicht. Einzig in Qingdao existiert eine Ausbildungsstätte, die von der KfW-Bankengruppe finanziert wurde.

Die Qualifikation des Betriebspersonals von Abwasserbehandlungsanlagen der Industrie wird vom jeweiligen Industriebetrieb festgelegt. Spezielle Ausbildungsgänge an Universitäten oder anderen Bildungseinrichtungen für Mitarbeiter von Abwasserbehandlungsanlagen der Industrie gibt es nicht.

3 Allgemeine Angaben

3.1 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Die Volksrepublik China befindet sich wie verschiedene andere asiatische Staaten in einer sehr schnellen wirtschaftlichen Entwicklung, wobei die zunehmende In-

dustrialisierung maßgebend den Motor der Entwicklung darstellt. Das Wirtschaftswachstum und das Wachstum der Städte führen jedoch zu erheblichen Umweltbelastungen. Hiervon sind auch die Gewässer betroffen, insbesondere innerstädtische Wasserläufe, aber auch Flüsse, Seen und Küstengewässer.

Die Verschmutzung vieler Gewässer in China ist als nicht akzeptabel einzustufen. Der Aufbau der Abwasserentsorgung hat mit der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes nicht Schritt gehalten. Ausschlaggebend hierfür sind im Wesentlichen die als sehr hoch empfundenen Kosten für Bau und Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen.

Das wachsende Umweltbewusstsein und die gleichzeitige Zunahme der Gewässerverschmutzung bewirkten z. Z. eine Intensivierung der Anstrengungen für den Gewässerschutz. Dies führte sowohl zu einer konsequenten Durchsetzung der Anforderungen an die industrielle Abwasserreinigung als auch zu erheblichen Investitionen im kommunalen Bereich (siehe Abschnitt 3.3).

3.2 Klima

Aufgrund der Weiträumigkeit der Volksrepublik China und seiner sehr unterschiedlichen Geologie ist das Klima je nach Region sehr unterschiedlich. Von Dauerfrostregionen in den Hochgebirgen von Tibet, über vollaride Wüsten in Zentralasien, bis zu feuchtheißen Tropenregionen im äußersten Südwesten, sind alle Klimate vertreten. Grob lässt sich China in einen trockenen Westen, einen feuchten Osten, einen gemäßigten Norden und einen subtropischen Süden einteilen. Der Ostteil von China (Küstenregion) wird klimatisch hauptsächlich vom Monsun mit seinem typischen jahreszeitlichen Wechsel geprägt. Etwa von Oktober bis April bestimmen kontinentale Luftmassen aus Sibirien das Wetter in China. In der nordchinesischen Tiefebene kommt es sehr oft zu Frost. Auch südlich des Yangtse kann es sehr kalt werden. In Peking liegen die Durchschnittstemperaturen zwischen -10 °C und 0 °C und in Guangzhou zwischen 10 °C und 18 °C . Von April bis September bestimmen feuchtwarme Luftmassen vom Pazifik das Wetter. Der Wind dreht von Nordnordwest auf Südsüdost und bringt reichlich Niederschläge, die sich langsam von Süden nach Norden ausdehnen. Von Peking bis Guangzhou erreichen im Juli die Temperaturen fast überall im östlichen China Temperaturen um 30 °C . Sowohl im Süden, als auch an den Küsten der Provinzen Guangdong und Fujian kann es im Spätsommer und Herbst zu tropischen Wirbelstürmen kommen. In Bild 2 ist für Städte Peking, Guangzhou, Shanghai, Wuhan und

Yingchuan die durchschnittliche Lufttemperatur und in Bild 3 der durchschnittliche Niederschlag angegeben.

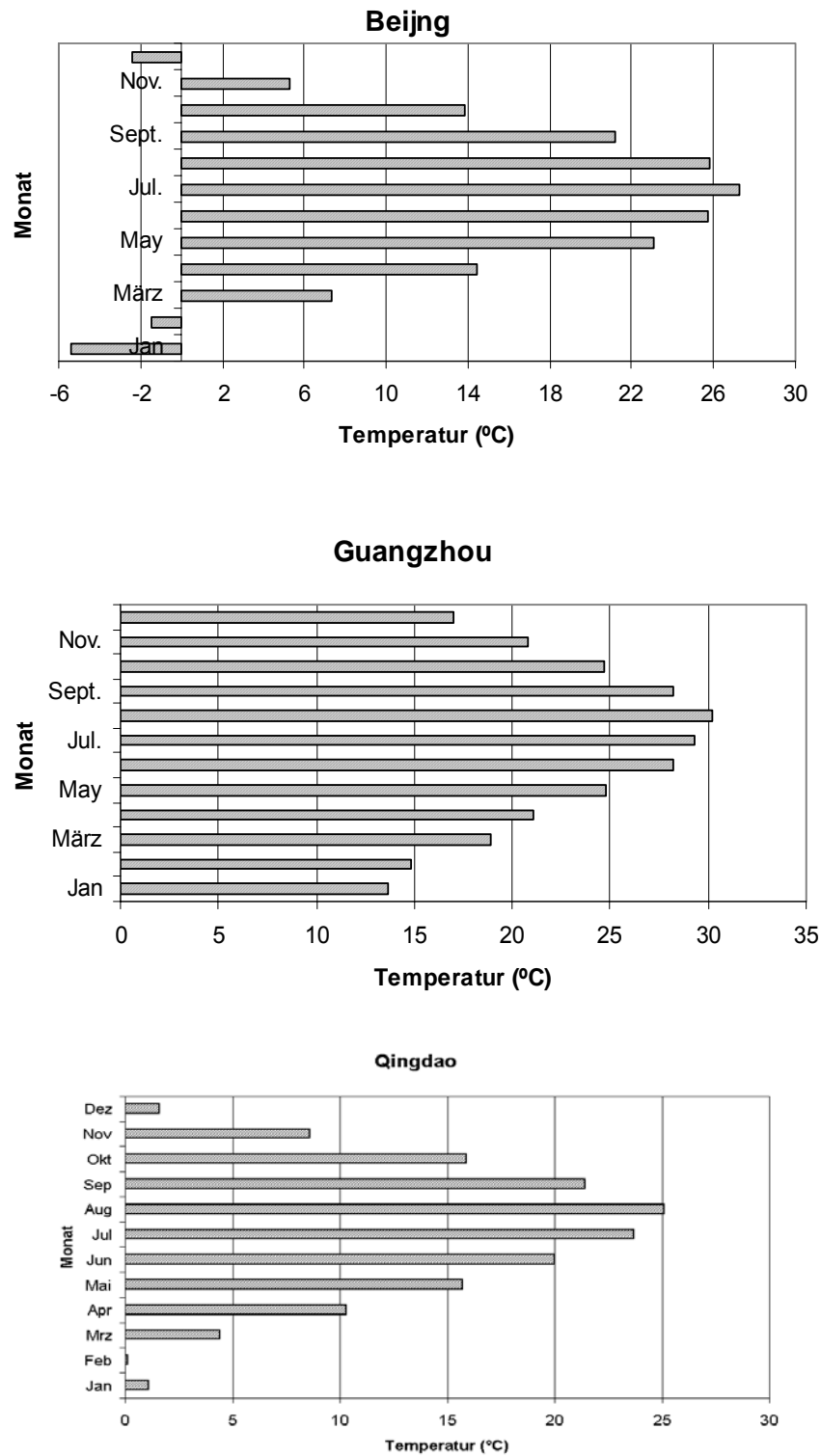


Bild 2: Lufttemperaturen für Peking, Guangzhou, Qingdao, Shanghai, Wuhan und Yingchuan (Statistisches Jahrbuch, 1990)

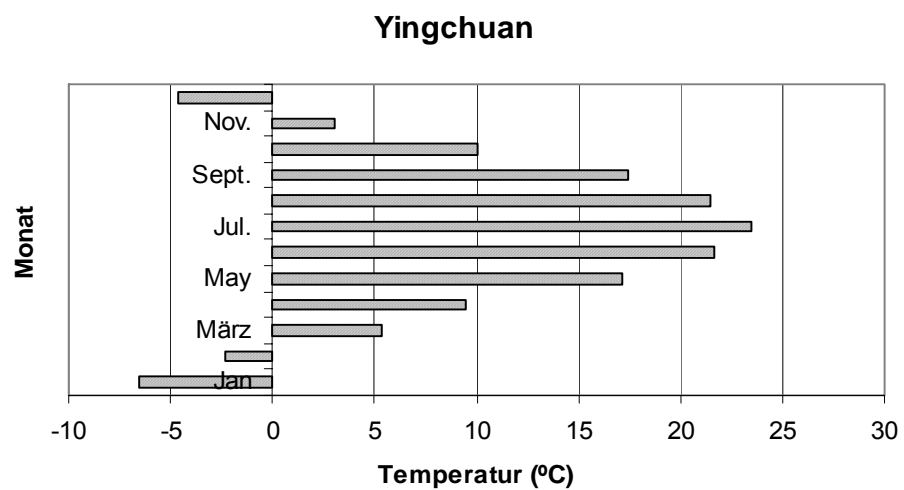
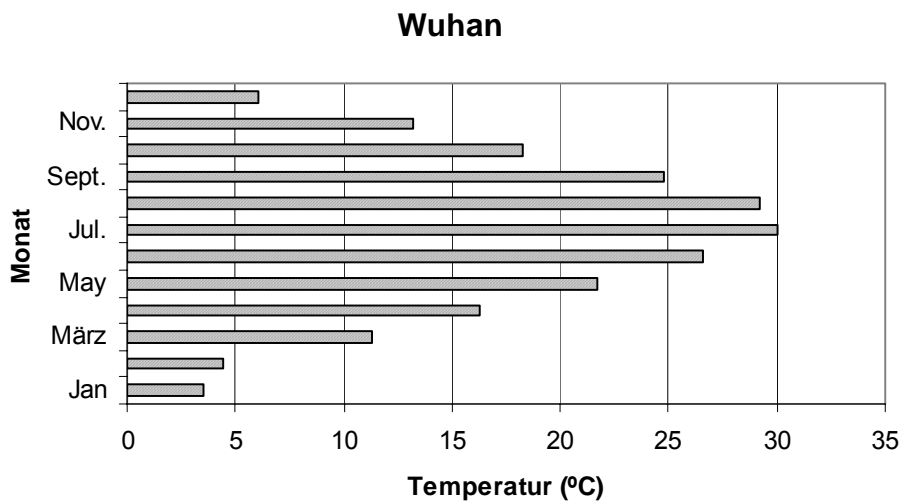
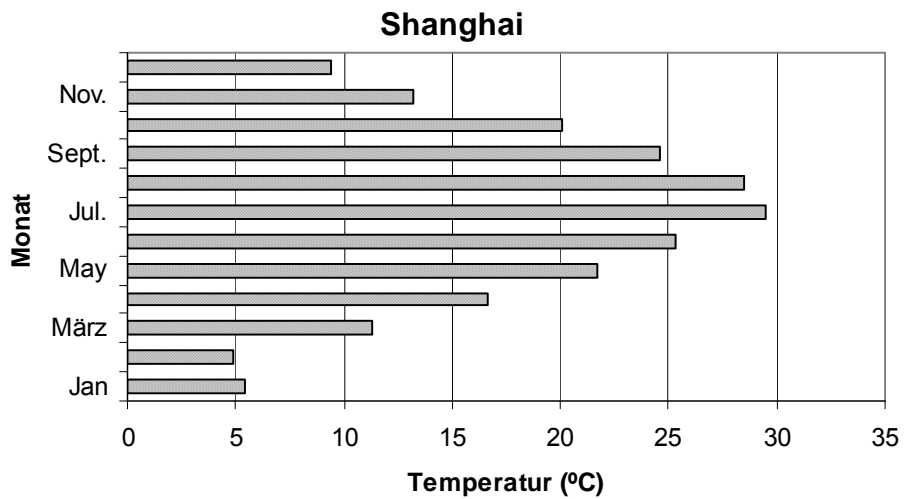


Bild 2 (Forts.): Lufttemperaturen für Peking, Guangzhou, Qingdao, Shanghai, Wuhan und Yingchuan (Statistisches Jahrbuch, 1990)

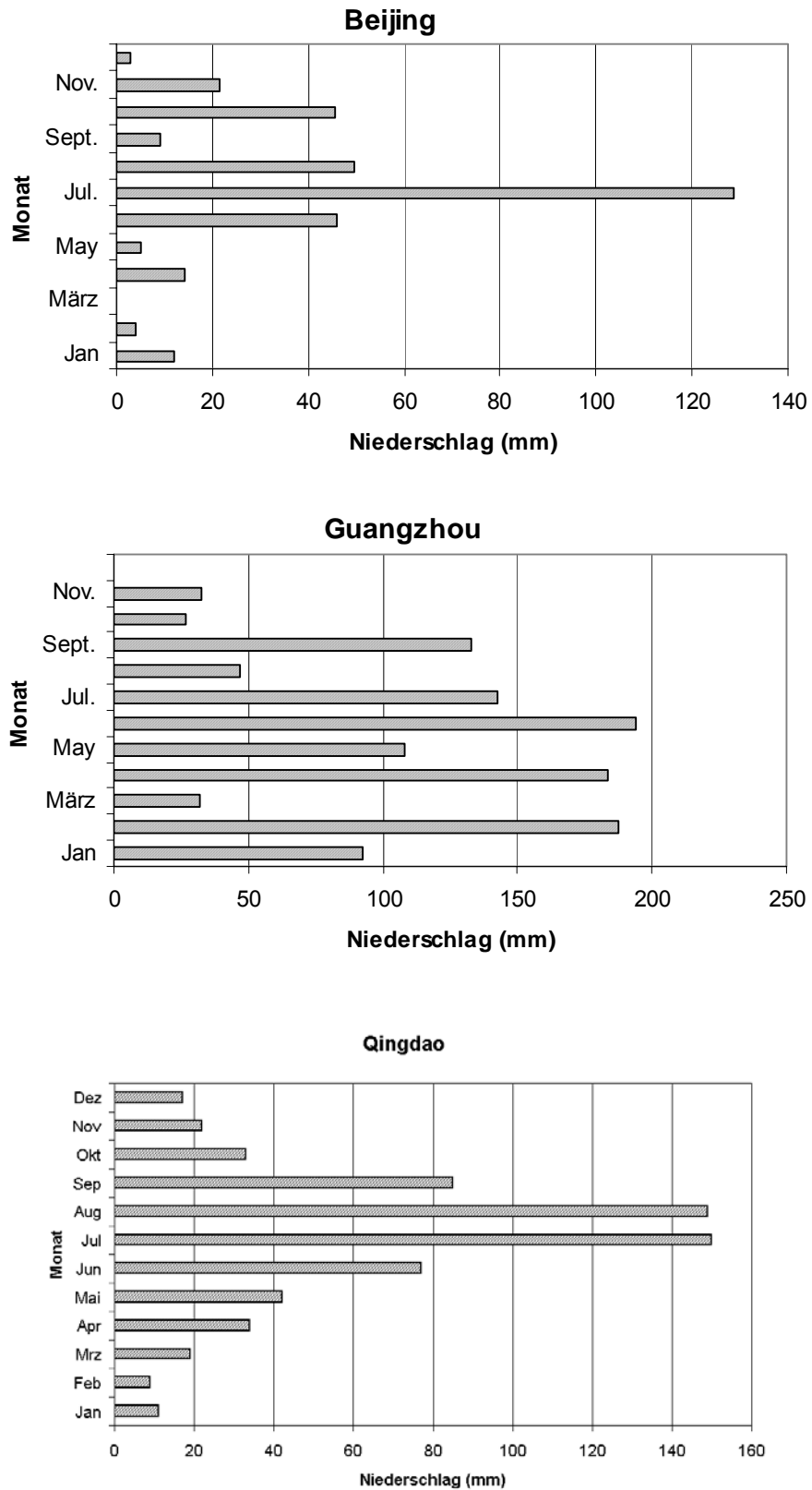


Bild 3: Niederschläge für Peking, Guangzhou, Qingdao, Shanghai, Wuhan und Yingchuan (Statistisches Jahrbuch, 1990)

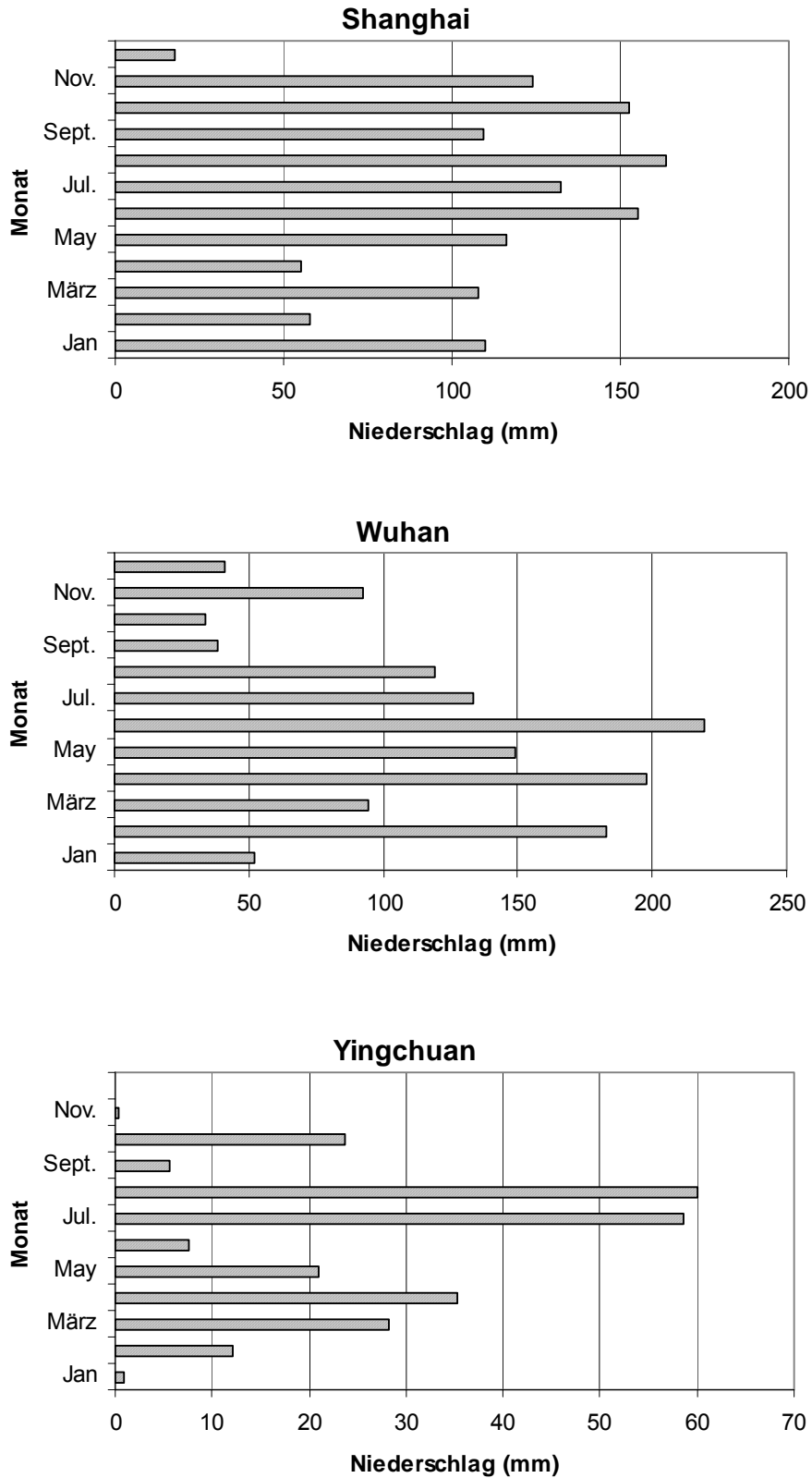


Bild 3 (Forts.): Niederschläge für Peking, Guangzhou, Qingdao, Shanghai, Wuhan und Yingchuan (Statistisches Jahrbuch, 1990)

3.3 Stand der Abwasserentsorgung

Die Entwicklung im Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung ist seit dem Jahr 1989 als positiv zu beurteilen, wobei privatwirtschaftliche, d. h. nichtstaatliche Finanzierungsmöglichkeiten eine deutliche Steigerung erfahren. Bild 4 zeigt die Entwicklung der Anzahl der in der Volksrepublik China errichteten Abwasserbehandlungsanlagen seit 1949 bis ins Jahr 2003, teilweise unterteilt in mechanische und biologische Anlagen. Der jährliche Abwasseranfall in der Volksrepublik China wird auf 50 bis 75 Mrd. m³/a geschätzt, wobei ca. 35. Mrd. m³/a aus kommunalen Kanalisationen stammen (Stand 2003) (Zhang, 2005a). Seit dem Jahr 2003 übersteigt der Abwasserfall aus den Kommunen zum ersten Mal den Abwasseranfall aus der Industrie.

Der gesamte Abwasseranfall, der in die Kanalisation eingeleitet wurde, betrug im Jahr 2002 in den 660 Städten in China 96 Mio. m³/d. Von diesem Volumenstrom wurden im Jahr 2003 42,5 Mio. m³/d in 612 Abwasserbehandlungsanlagen behandelt, wobei die Abwässer sowohl mechanisch/biologisch als auch nur mechanisch gereinigt wurden (Bild 4). Im zehnten Fünfjahresplan der Volksrepublik China (bis 2005) ist festgeschrieben, dass Städte ab 500 000 Einwohner 60 % der anfallenden Abwässer reinigen müssen.

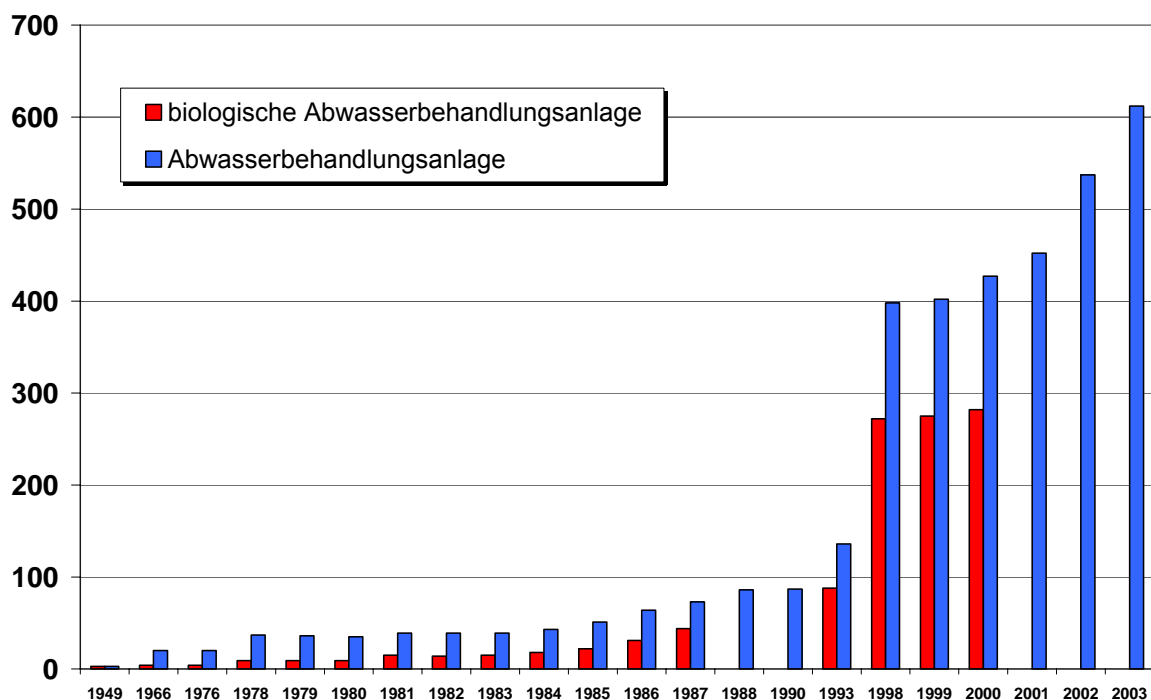


Bild 4: Entwicklung der Errichtung von Abwasserbehandlungsanlagen in der Volksrepublik China (Statistisches Jahrbuch, 2003)

Beispielhaft werden nachfolgend die Anstrengungen bei der Abwasserbehandlung am Beispiel der Städte Peking und Shanghai beschrieben. In Peking fallen pro Tag 2,8 Mio. m³ Abwasser an. 56 % dieser Menge wird z. Z. gereinigt. Es ist Ziel, bis zum Jahr 2006 80 % des anfallenden Abwassers zu behandeln. Der Abwasseranfall in Shanghai ist mit 5,3 Mio. m³/d wesentlich höher. Etwa 62 % der anfallenden Abwässer werden gereinigt, davon nur etwa 20 % biologisch.

4 Abwasserbeschaffenheit

4.1 Kommunales Abwasser

Die Konzentration der verschiedenen Parameter im Abwasser chinesischer Städte entspricht im Wesentlichen dem Abwasser, wie es in Deutschland vorliegt (Tabelle 11). Teilweise ergeben sich jedoch geringere Konzentrationen, da durch undichte Kanäle Grundwasser eindringt. Als Beispiel ist die Abwasserbehandlungsanlage in Shanghai anzuführen.

Tabelle 11: Beispiele für die Beschaffenheit des Zulaufs kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen in der Volksrepublik China

| Parameter | Einheit | Beijing | Guangzhou | Qingdao (Lichunhe) | Qingdao (Tuandao) |
|-----------------------|---------|----------------------|-----------|-----------------------|----------------------|
| BSB ₅ | mg/l | 350 | 150 | 364 | 386 |
| CSB _{cr} | mg/l | 700 | - | 1 011 | 936 |
| NH ₄ -N | mg/l | 30 | - | - | - |
| TKN | mg/l | - | 35 | - | - |
| abfiltrierbare Stoffe | mg/l | - | 180 | 140 | 124 |
| Temperatur | °C | - | 15 - 23 | - | - |
| pH-Wert | - | 6 - 9 | - | - | - |
| Parameter | Einheit | Qingdao (Jiaonan) | Shanghai | Wuhan | Yingchuan |
| BSB ₅ | mg/l | 300 | 44 | - | 160 |
| CSB _{cr} | mg/l | 600 | 142 | - | 350 |
| NH ₄ -N | mg/l | - | - | - | 40 |
| TKN | mg/l | - | - | - | - |
| abfiltrierbare Stoffe | mg/l | 400 | 84 | - | 200 |
| Temperatur | °C | - | - | 5 - 25 | - |
| pH-Wert | - | - | - | - | - |

4.2 Industrieabwasser

Die Beschaffenheit von Industrieabwässern ist produktionsspezifisch. In Tabelle 12 sind beispielhaft die Zulaufkonzentrationen eines petrochemischen Betriebes angegeben.

Tabelle 12: Beispiel für die Beschaffenheit des Zulaufs einer großen industriellen Abwasserbehandlungsanlage in der Volksrepublik China

| Parameter | Einheit | |
|-----------------------|---------|-------|
| BSB ₅ | mg/l | 350 |
| CSB | mg/l | 700 |
| abfiltrierbare Stoffe | mg/l | |
| NH ₄ -N | mg/l | 30 |
| P _{ges} | mg/l | |
| pH-Wert | - | 6 - 9 |
| Temperatur | °C | |

5 Abwasserableitung

In der Volksrepublik China werden alle Neubaugebiete mit einem Trennsystem ausgestattet. Das Regenwasser wird direkt ohne Reinigung in die Vorfluter abgeleitet. Das Schmutzwasser wird über Pumpstationen den Abwasserbehandlungsanlagen zugeführt. Sowohl für die Regen- als auch die Schmutzwasserableitung sind unterirdisch verlegte Rohre üblich. Das am häufigsten eingesetzte Baumaterial für Rohre ist Beton und in geringem Maße auch Steinzeug. Sowohl Kanalrohre aus Beton als auch Kanalrohre aus Steinzeug werden in der Volksrepublik China hergestellt. Offene Abwasserkanäle sind in Siedlungsgebieten nicht vorhanden.

Ältere Regenwasserkanalisationssysteme weisen oft Probleme durch Überlastung auf. Im Regenwetterfall stehen dann ganze Straßenzüge unter Wasser. Eine regelmäßige Spülung der Schmutzwasserkanäle ist nicht üblich. Kanalspülfahrzeuge sind nur sehr wenige im Einsatz. Allerdings gewinnt der Betrieb von Kanalisationssystemen immer mehr an Bedeutung. So werden gerade von der Stadt Wuhan Kanalreinigungswagen und auch Kanalinspektionswagen mit Fernsehkameras beschafft. Die Weltbank hat entsprechende Kredite zur Verfügung gestellt.

6 Abwasserreinigung

6.1 Kommunale Abwasserreinigung

Für kommunale Abwasserbehandlungsanlagen sind die in Tabelle 8 angegebenen Ablaufkonzentrationen maßgebend. Das am häufigsten eingesetzte Verfahren ist das konventionelle Belebungsverfahren in unterschiedlichsten Varianten. So finden sich Belebungsverfahren ohne N- und P-Elimination und AB-Anlagen (z. B. Guangzhou) sowie Belebungsverfahren mit N- und P-Elimination (z. B. Qingdao) (Bild 5). Auch bei sehr großen Abwasserbehandlungsanlagen wird das SBR-Verfahren eingesetzt (z. B. in Yinchuan, Bild 6). Das CASS-Verfahren wird auf der Abwasserbehandlungsanlage Fuyang angewendet. Auf den Abwasserbehandlungsanlagen Shanghai Shidongkou, Macau und Guangzhou wird das Unitank-Verfahren eingesetzt. In Dalian wird das Abwasser mit Biofiltern gereinigt (einzige Anlage in der Volksrepublik China).

Eine verfahrenstechnische Besonderheit für Abwasserbehandlungsanlagen dieser Größenordnung stellt die Abwasserbehandlungsanlage in Qingdao (Jiaonan) dar, die als Pflanzenkläranlage (Schilfbeet) konzipiert ist. Bei einem täglichen Abwasseranfall von 60 000 m³ ist eine Pflanzenbeetfläche von 53 ha notwendig um das Abwasser zu reinigen. Das Wasser wird über Rechen, Sandfang und Vorklärung geführt und anschließend auf die Pflanzenbeete (Bild 7 und Bild 8) aufgegeben.



Bild 5: Abwasserbehandlungsanlage Qingdao (konventionelles Belebungsverfahren mit N- und P-Elimination, sogenanntes A²O-Verfahren)



Bild 6: Abwasserbehandlungsanlage Yinchuan (SBR-Verfahren)



Bild 7: Pflanzenkläranlage Qingdao (Jiaonan)



Bild 8: Pflanzenkläranlage Qingdao (Jiaonan)

Auch rein mechanische Abwasserbehandlungsanlagen werden noch neu gebaut. Typische Beispiele sind die Abwasserbehandlungsanlagen Wuhan und Shanghai Zhuyuan. Die Anlage in Wuhan ist auf eine Kapazität von 180 000 m³/d (Bild 9) und die Anlage in Shanghai auf 1,7 Mio. m³/d (Bild 10) ausgelegt. Beide Anlagen sollen mit einer biologischen Stufe nachgerüstet werden, wenn entsprechende finanzielle Mittel zur Verfügung stehen.



Bild 9: Abwasserbehandlungsanlage Wuhan (ausschließlich mechanische Reinigung)



Bild 10: Abwasserbehandlungsanlage Shanghai Zhuyuan (ausschließlich mechanische Reinigung)

Die angeführten Abwasserbehandlungsanlagen befinden sich alle in großen Städten. Zukünftig wird noch eine Vielzahl von Abwasserbehandlungsanlagen gebaut werden. Es wird damit gerechnet, dass in der Volksrepublik China insgesamt noch mehr als 2 000 Abwasserbehandlungsanlagen errichtet werden müssen (Stand 2003: 661 Abwasserbehandlungsanlagen).

Eine Desinfektion des Ablaufs von Abwasserbehandlungsanlagen ist in der Volksrepublik China nicht vorgeschrieben. Ausschließlich in dem Falle, wenn das gereinigte Abwasser einer Wiederverwendung zugeführt wird, ist eine Desinfektion vorgeschrieben. Üblicherweise wird dann der Ablauf chloriert. In einigen Fällen wird die UV-Desinfektion angewendet (Zhang, 2004).

Der anfallende Klärschlamm wird in kleineren Abwasserbehandlungsanlagen ($< 100\,000\text{ m}^3/\text{d}$) üblicherweise einer aeroben Stabilisierung unterzogen. Besondere Vorschriften bestehen jedoch nicht. Bei größeren Anlagen wird eine Schlammfäulung empfohlen (Bild 11). Der stabilisierte Schlamm wird vor der Ablagerung auf Deponien (üblicher Entsorgungsweg) mit Entwässerungsaggregaten entwässert. Zum Einsatz kommen sowohl Siebbandpressen, Zentrifugen und Kammerfilterpressen. Eine Schlammverbrennungsanlage für kommunalen Schlamm wurde in China bisher noch nicht errichtet.



Bild 11: Faulbehälter Abwasserbehandlungsanlage Qingdao

Die Abwasserbehandlungsanlagen werden üblicherweise von chinesischen Bauunternehmen gebaut. Einfache mechanische Ausrüstungsstücke wie Rechen oder Räumler stammen aus einheimischer Produktion. Aufwendige Ausrüstungsstücke wie Pumpen, Kompressoren, Zentrifugen, Kammerfilterpressen und Messgeräte werden weitgehend importiert.

6.2 Industrieabwasserreinigung

In der Volksrepublik China sind Industriebetriebe per Gesetz verpflichtet ihre Abwässer zu reinigen. Leitet die Abwasserbehandlungsanlage in eine öffentliche Kanalisation ein, müssen die Einleitwerte entsprechend Tabelle 7 eingehalten werden. Bei einer Einleitung direkt in ein Gewässer müssen branchenspezifische Standards eingehalten werden. Diese Standards sind (teilweise) im Internet veröffentlicht (www.zhb.gov.cn; englische Version). Weitere Standards finden sich in englischer Sprache in: Department of Policy and Law of State Environment Protection Administration of China (2002). Vor dem Hintergrund der verschiedenen Branchen, von denen das Abwasser behandelt werden muss, ist auch die Vielfalt an eingesetzten Behandlungsverfahren (AB-Anlagen, konventionelle Belebungsanlagen, SBR-Anlagen etc.) zu erklären.

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Industrieabwasserbehandlungsanlage besichtigt. Es handelt sich um die Kläranlage der Shanghai Petrochemical

Company, einer börsennotierten Firma aus dem Bereich der Petrochemie mit Rohbenzinverarbeitung (5,5 Mio. t/a). Die Abwasserbehandlungsanlage mit einer Behandlungskapazität von 200 000 m³/d besteht aus zwei Ausbaustufen. Die erste Ausbaustufe hat eine Kapazität von 150 000 m³/d und die zweite Ausbaustufe von 50 000 m³/d. Die erste Stufe wurde als Belebungsanlage mit Umlaufbecken (Walzenbelüftung) konzipiert, wobei aus Kostengründen auf die Nachklärbecken verzichtet wurde, so dass die Anlage quasi als SBR-Anlage betrieben wird. Die zweite Stufe, die 1999 in Betrieb genommen wurde, ist als Belebungsanlage nach dem Carroussel-System konzipiert. Der anfallende Klärschlamm wird mit Siebandpressen entwässert, getrocknet und anschließend im Kraftwerk der Firma verbrannt (Stromerzeugung). In Bild 12 ist im Vordergrund die „SBR-Anlage“ und im Hintergrund (rechts) die Anlage mit dem Carroussel-System zu erkennen.



Bild 12: Abwasserbehandlungsanlage der SPC

6.3 Dezentrale Abwasserreinigung

In der Volksrepublik China besteht die Tendenz, dass in allen Städten zentrale Abwasserbehandlungsanlagen errichtet werden, so dass eine dezentrale Abwasserbehandlung entbehrlich ist.

7 Kosten und Tarife

Die Investitionskosten beim Bau von Kanälen und Abwasserbehandlungsanlagen in China werden nachfolgend angegeben. Sie betragen nach Zhang (2005b) beim

Kanalbau 6 600 Yuan/(m³ Abwasser·d) (1 Yuan = 0,09 EUR; Stand Januar 2005). In Tabelle 13 sind die Investitionskosten beim Bau von Abwasserbehandlungsanlagen zusammengefasst (Zhang, 2005b). Für die technischen biologischen Verfahren ergeben sich die höchsten Kosten. Mit deutlichem Vorsprung ist die Abwasserreinigung mit einer Membranbelebungsanlage hinsichtlich der Investitionskosten am teuersten.

Tabelle 13: Spezifische Investitionskosten beim Bau von Abwasserbehandlungsanlagen, (1 Yuan = 0,09 EUR; Stand Januar 2005; Zhang, 2005b)

| Bezeichnung | Spezifische Investitionskosten bezogen auf die Abwassermenge Yuan/(m ³ ·d) |
|--|--|
| Abwasserteichanlage | 671 |
| Konventionelle Abwasserreinigungsanlage | 1 650 |
| Membranbelebungsanlage | 3 595 |
| Pflanzenkläranlage | 462 |
| Mechanische Abwassereinigungsanlage mit Fällung und Flockung | 850 |
| Getauchtes Festbett | 939 |
| Tropfkörper | 876 |
| Rotationstauchkörper | 1 543 |

In Tabelle 14 sind die spezifischen Betriebskosten von Abwasserbehandlungsanlage in der Volksrepublik China angegeben (Yuan/m³ Abwasser). Wie erwartet, sind die Kosten für technisch-biologische Verfahren am höchsten.

Tabelle 14: Spezifische Betriebskosten beim Bau von Abwasserbehandlungsanlagen, (1 Yuan = 0,09 EUR; Stand Januar 2005; Zhang, 2005b)

| Bezeichnung | Spezifische Betriebskosten bezogen auf die Abwas- sermenge Yuan/m ³ |
|---|---|
| Abwasserteichanlage | 0,07 |
| Konventionelle Abwasserreini- gungsanlage | 0,85 |
| Membranbelebungsanlage | 1,18 |
| Pflanzenkläranlage | 0,15 |
| Mechanische Abwassereinigungs- anlage mit Fällung und Flockung | 0,16 |
| Getauchtes Festbett | 0,73 |
| Tropfkörper | 0,47 |
| Rotationstauchkörper | 0,61 |

8 Abwasserwiederverwendung

Eine Abwasserwiederverwendung wird in der Volksrepublik China vereinzelt, aber im zunehmenden Maße betrieben. In Tabelle 9 sind die Konzentrationen für gereinigtes Abwasser angegeben, damit es für die landwirtschaftliche Bewässerung eingesetzt werden kann.

Beispiele für eine Abwasserwiederverwendung sind die Aufbereitung von gereinigtem Abwasser in den Städten Qingdao und Yantai, die mit Unterstützung der deutschen Regierung finanziert wurden (Karl, 2004). In Qingdao sollte das Abwasser der neuen mechanisch-biologischen Abwasserbehandlungsanlage Tuandao (insgesamt 100 000 m³/d) bis zu einem Anteil von 40 %, d. h. 40 000 m³/d, wiederverwendet werden. 85 % dieses aufbereiteten Wassers waren für industrielle Großabnehmer und 15 % für die Grünflächenbewässerung im Stadtgebiet vorgesehen. Seit Beginn des Baus der Aufbereitungsanlage (Ultrafiltration) sucht die Stadt Qingdao (bisher vergeblich) nach Nutzern für das aufbereitete Wasser. Nur etwa 5 bis 10 % des Wassers wird für die Bewässerung städtischer Grünflächen benutzt. Ähnlich sind auch die Erfahrungen mit der Abwasserwiederverwendung in der Stadt Yantai. Die dortige Abwasserbehandlungsanlage Taoziwan ist nur mit einer mechanischen Stufe ausgestattet (250 000 m³/d). Die Brauchwasseranlage

mit einer Kapazität von 40 000 m³/d besteht aus einer zusätzlichen biologischen Reinigung (AB-Anlage) mit nachgeschalteter Mehrschichtfiltration. Allerdings zeigt auch in Yantai die Industrie wenig Interesse am aufbereiteten Wasser.

Anders sieht die Situation in der Stadt Yinchuan in der Ningxia-Provinz aus. Eine der Abwasserbehandlungsanlagen in der Stadt ist mit einer Wasserwiederverwendungsanlage ausgerüstet. Die Abwasserbehandlungsanlage selbst mit einer Kapazität von 100 000 m³/d besteht aus einer mechanischen Reinigung mit anschließendem Belebungsbecken (SBR-Verfahren, Bild 13). Etwa 75 000 m³/d des zufließenden Wassers werden wiederverwendet. In der Landwirtschaft werden 35 000 m³/d verwendet und 40 000 m³/d in der Anreicherung von Gewässern. Nach der biologischen Reinigung in der Abwasserbehandlungsanlage wird das Wasser einer Fällung/Flockung und einer Desinfektion (Chlorung mit Chlorgas) zugeführt. Die Chlorung (Bild 14) ist nur in der warmen Jahreszeit von Juli bis September (einschließlich) in Betrieb.



Bild 13: SBR-Reaktor Abwasserbehandlungsanlage Yinchuan



Bild 14: Chlorbecken Abwasserbehandlungsanlage Yinchuan

Die Grauwasserverwendung steckt in China in den Kinderschuhen. In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde in Peking ein Vorhaben gefördert, wo Grauwasser aus einem Wohnblock mit einem Scheibentauchkörper gereinigt und das gereinigte Wasser zur Toilettenspülung verwendet wird. Im Rahmen des gleichen Projektes wird auch untersucht, ob und unter welchen Bedingungen weitestgehend gereinigtes Abwasser (Pulver-Aktivkohle, Fällung/Flockung, Schnell-Sandfilter) der Abwasserbehandlungsanlage Gaobeidian in Peking zur Grundwasseranreicherung verwendet werden kann.

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Die Volksrepublik China lässt sich in einen trockenen Westen, einen feuchten Osten, einen gemäßigten Norden und einen subtropischen Süden einteilen. Dementsprechend ist sowohl das Wasservorkommen als auch der Wasserbedarf zur Bewässerung in der Landwirtschaft regional sehr unterschiedlich. Die Abwasserbehandlung ist ein vordringliches Ziel der chinesischen Regierung, was sich u. a. darin äußert, dass eine Vielzahl von gesetzlichen Regelungen sowohl auf der Immissions- als auch auf der Emissionsseite vorhanden ist. Diese gesetzlichen Regelungen werden durch so genannte Standards auf Regierungs- aber auch Pro-

vinzebene ergänzt, die im Detail z. B. die Bemessung von Abwasserbehandlungsanlagen behandeln.

Im Jahr 2003 waren in der Volksrepublik China über 600 große Abwasserbehandlungsanlagen (zum Großteil mit biologischer Stufe) in Betrieb. Teilweise werden auch Abwasserbehandlungsanlagen mit ausschließlich mechanischer Stufe gebaut, z. B. in Wuhan (180 000 m³/d) und in Shanghai (1 700 000 m³/d). Als Behandlungsverfahren werden alle in Deutschland bekannten verfahrenstechnischen Varianten eingesetzt, aber auch Verfahren, die von Firmen vermarktet werden, wie z. B. Unitank-Verfahren, Cast-Verfahren etc.. Zukünftig müssen noch mehr als 2 000 Abwasserbehandlungsanlagen mit großen Anschlussgrößen gebaut werden.

Die Bemessung der einzelnen Behandlungsstufen ist sehr stark an die deutschen Richtlinien der DWA anlehnt. Da viele Ingenieure in leitender Stellung in Deutschland ausgebildet wurden bzw. ihre (akademischen) Lehrer in Deutschland studiert haben, sind chinesische Fachleute deutschen Firmen mit abwassertechnischen Produkten sehr positiv gesonnen. Deutsche Technologie im Umweltbereich genießt einen hohen Ruf.

Der Schlammbehandlung und Schlammentsorgung wird in China nicht soviel Aufmerksamkeit geschenkt wie der Abwasserbehandlung. Immer noch werden neue Abwasserbehandlungsanlagen gebaut und auf die Errichtung einer Schlammbehandlung verzichtet. Diese Tatsache ist für die deutsche Industrie zukünftig von großer Bedeutung.

Die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser ist in der Volksrepublik China unterschiedlich. Während z. B. 75 % des Abwassers der Abwasserbehandlungsanlage Yinchuan in der Landwirtschaft zur Bewässerung verwendet wird, findet sich für das aufbereitete Abwasser der Abwasserbehandlungsanlage in Qingdao kein Abnehmer. Eine Grauwasserwiederverwendung findet in China bisher nicht statt.

Im Bereich der Industrieabwasserreinigung existieren gesetzliche Regelungen hinsichtlich der Einleitung dieser Abwässer in öffentliche Kanalisationen und in Vorfluter. Die Industriebetriebe betreiben verstärkt Ansätze zur Reduzierung des Wasserverbrauchs in der Produktion und Maßnahmen zur Kreislaufführung von Wasser.

Der Betrieb der Abwasserbehandlungsanlagen ist als ausreichend zu bezeichnen. Es wird immer wieder argumentiert, dass der Betrieb der Anlagen zu teuer ist, was insbesondere auf die Energiekosten zutrifft.

Insgesamt ist festzustellen, dass der Abwassermarkt in der Volksrepublik China für deutsche Firmen einen großen Markt darstellt.

10 Literatur und Quellen

Department of Policy and Law of State Environment Protection Administration of China (2002) Environmental Laws & Regulations in China and Rules of WTO. Published by Guanming Daily Publishing House, March 2002, ISBN 7-80145-494-4/d 26, 1/16

Karl, V. (2004) Erfahrungen bei der Wiederverwendung gereinigten Abwassers in China. In: 73. Darmstädter Seminar – Abwassertechnik – „Wasserwiederverwendung – eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit?“, WAR- Schriftenreihe, Band 159, S. 33 - 40

Standard (1997) Vorschrift für die Bemessung von Abwasserentsorgungsanlagen GBJ 14-87 (in Chinesisch)

Statistisches Jahrbuch (1990) Hubei_Provinz

Statistisches Jahrbuch (2003) Bauministerium der Volksrepublik China

Zhang, J. (2005a) Aktueller Stand der kommunalen Abwasserbehandlung in China. Vortrag am 10.01.2005 im Rahmen der WAR-Vortragsreihe am Institut WAR, Technischen Universität Darmstadt

Zhang, W. (2005b): Wasserwirtschaftliche Konzepte für urbane Räume Chinas unter Berücksichtigung deutscher Erkenntnisse und Techniken. Dissertation am Institut WAR, Technische Universität Darmstadt, in Vorbereitung

Zhang, X. (2004) Disinfection development: the rise of UV in China. Water 21, Oktober 2004, S. 18 - 22



Indonesien

Wolfgang Kirchhof,
RWTH Aachen



1 Einleitung

Wie im Teil I „Wasserversorgung“ des Vorhabens bereits ausgeführt, bestehen in Indonesien zahlreiche Anlagen und Unternehmen für die Wasserversorgung. Kläranlagen gibt es bislang jedoch nur wenige und vorwiegend im industriellen Bereich. Das Ziel der Erhebung bestand darin, einen Überblick über die dortigen Randbedingungen und Strukturen für die Abwasserklärung zu erhalten. Dazu wurden im Juli 2004 zahlreiche Behörden, insgesamt sieben Klärwerksstandorte sowie Universitäten, Forschungsinstitutionen und Vertreter internationaler Organisationen in sieben Provinzen Indonesiens besucht.

Wie die Kartendarstellung in Bild 1 von Indonesien mit den markierten Besuchsorten zeigt, wurde der Schwerpunkt auf die Hauptinseln Java und Bali, sowie eine ostindonesische Insel Sumba gewählt.



Bild 1: Kartenübersicht von Indonesien, Pfeile markieren die Standorte der besichtigten Klärwerke

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die aufgesuchten Klärwerksbetriebe und namhafte Organisationen, die für Klärwerksprojekte maßgebend sind.

Tabelle 1: Übersicht der besuchten Klärwerksstandorte und Behörden in Indonesien

| Standort | Provinz | Klärwerk | Typ | Betreiber/ Institution |
|------------------|---------------------|---------------------------------------|--|--|
| Jakarta | DKI Jakarta | Waduk Setiabudi | Belüfteter Teich | PD PAL Jaya |
| Jakarta | DKI Jakarta | | | Umweltministerium, ADB, KfW, GTZ |
| Tangerang | Banten | MCKplus Alma Yaya | Anaerobfilter Gemeindewasserszentriums | BEST Alma Yaya Gemeinde |
| Serpong | Banten | German Centre | Kompaktkläranlage | Bumi Serpong Damai BSD |
| Bandung | Westjava | Großkläranlage KA Bojong_Soang | mehrstufige Teichanlage | PDAM Bandung |
| Bandung | Westjava | IKA Bandung-Süd | Industrieabwasserkläranlage | PDAM Bandung, PT Damba Intra |
| Bandung | Westjava | | | Ministerium für Infrastruktur KIMPRASWIL |
| Soreang | Westjava | KA Soerang | Tropfkörperanlage | Umweltamt Distrikt Bandung |
| Klepu | DI Yogyakarta | DEWATS Krankenhaus Klepu | Anaerobfilter mit Pflanzenkläranlage | Baktiningsih Klepu Hospital |
| Ngambilan | DI Yogyakarta | DEWATS Ngambilan | Anaerobfilteranlage (160 Hausanschlüsse) | Ngambilan Gemeinde |
| Yogyakarta | DI Yogyakarta | | | DEWATS-Büro, BORDA, Dian Desa, Pusteklim |
| Surakarta (Solo) | Mitteljava | Kommunale KA Semanggi | Belüftetes Oxidationsbecken | PDAM Solo |
| Surakarta | Mitteljava | Kommunale KA Mojosongo | Belüftetes Oxidationsbecken | PDAM Solo |
| Denpasar | Bali | DEWATS KA Mekarsari Jaya Tahu / Tempe | Anaerobfilter mit Biogasreaktor | DEWATS Mekarsari Jaya |
| Denpasar | Bali | DEWATS KA Pucuk Sari | Anaerobfilter mit Biogasreaktor | DEWATS Pucuk Sari |
| Denpasar | Bali | DEWATS KA Pucuk Sari | Anaerobfilter für kommunales Abwasser | DEWATS Pucuk Sari |
| Waingapu | Nusa Tenggara Timur | | | Bauamt, Distriktverwaltung |

2 Gesetzliche Grundlagen

2.1 Vorbemerkung

Wie bei vielen Entwicklungs- und Schwellenländern ist darauf hinzuweisen, dass die gesetzlichen Regelungen nicht als Maßstab für den tatsächlichen Vollzug jederzeit und an jedem Ort erhalten können. Dort, wo die finanziellen Möglichkeiten gegeben sind und die technischen Verhältnisse dies zulassen, werden die maßgebenden Standards überwacht und auch eingehalten - insbesondere bei den größeren und exportorientierten Industriebetrieben.

Industriebetriebe, für die das nicht möglich ist, abwasserrelevante öffentliche Einrichtungen (z. B. Hospitäler, die aufgrund ihrer Zahl und Größe ein Problem darstellen), Kommunen und die Landwirtschaft richten sich beim Vollzug der gesetzlichen Regelungen danach, welche finanziellen Mittel für die einzelnen Bereiche tatsächlich zur Verfügung stehen.

Dort, wo Klärwerksprojekte konkret vorbereitet und berechnet werden, hält man sich in der Regel an die Standards, die jene Institutionen verlangen, welche die entsprechenden Projekte finanzieren sollen - zumeist an die Standards in entsprechenden Regelwerken der Weltbank oder der WHO.

Bei der aus eigener Kraft finanzierenden Industrie ist dagegen zu beobachten, dass internationale Standards greifen, zumeist nach US-amerikanischen Katalogen und Messmethoden (EPA) oder aber nach europäischen (je nach Herkunft der Firma und der Anlagen, die errichtet wurden). Erst im zweiten Schritt werden diese Standards dann mit den indonesischen Vorschriften in Übereinstimmung gebracht.

2.2 Umwelt- und Qualitätsstandards

2.2.1 Immissionsstandards

In der Regierungsverordnung Nr. 82/2001 bezüglich der Gewässergütebewirtschaftung und Kontrolle der Wasserverschmutzung sind vier Klassen an Oberflächengewässern und deren Mindestanforderungen festgelegt:

- Klasse I: Wasser, das als Rohwasser für Trinkwasser und andere Nutzungsarten mit den gleichen Anforderungen genutzt werden kann,
- Klasse II: Wasser, das für Freizeitnutzungen, Fischkulturen, Nutztierhaltungen, Bewässerungen und Nutzungsarten mit den gleichen Anforderungen genutzt werden kann,

- Klasse III: Wasser, das für Fischkulturen, Nutztierhaltungen, Bewässerungen und Nutzungsarten mit den gleichen Anforderungen genutzt werden kann,
- Klasse IV: Wasser, das für Bewässerungen und Nutzungsarten mit den gleichen Anforderungen genutzt werden kann.

Die Tabelle 2 enthält einige Standardwerte für Oberflächengewässer. Für die landwirtschaftliche Bewässerung mit Abwasser (in der Regel Verregnung) sind die Standards der Klasse IV zu beachten.

Tabelle 2: Ausgewählte Oberflächengewässergütestandards (PP 82/2001)

| Parameter | Einheit | Gewässergüteklasse | | | |
|--------------------------|------------|---------------------------------|---|---------------------------------------|-------------|
| | | I | II | III | IV |
| | | Rohwasserquelle für Trinkwasser | Wasser für Freizeitnutzungen, Fischkultur, Tränkwasser, Bewässerung | Fischkultur, Tränkwasser, Bewässerung | Bewässerung |
| SS (suspendierte Stoffe) | mg/l | 50 | 50 | 400 | 400 |
| TDS (gelöste Stoffe) | mg/l | 1 000 | 1 000 | 1 000 | 2 000 |
| BSB ₅ | mg/l | 2 | 3 | 6 | 12 |
| CSB | mg/l | 10 | 25 | 50 | 100 |
| O ₂ (Minimum) | mg/l | 6 | 4 | 3 | 0 |
| Arsen (As) | mg/l | 0,05 | 1 | 1 | 1 |
| Blei (Pb) | mg/l | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 1 |
| Quecksilber (Hg) | mg/l | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,005 |
| Gesamt-Phosphat als P | mg/l | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 5,0 |
| NH ₄ -N | mg/l | 0,5 | - | - | - |
| NO ₃ als N | mg/l | 10 | 10 | 20 | 20 |
| Fäkalkoliforme (FC) | MPN/100 ml | 100 | 1 000 | 2 000 | 2 000 |

Anmerkung: Die Analysenmethoden für die Parameter in den indonesischen Verordnungen richten sich nach US-amerikanischen Standardmethoden APHA, z. B. SS für suspended solids, TDS für total dissolved solids.

In dem Erlass KepMenLH 51/2004 des Umweltministeriums sind im April 2004 erstmals Gütestandards für küstennahe Gewässer für Hafenbereiche, Freizeitnutzungen und Meerestierschutz (Tabelle 3) angegeben worden. Diese Standards werden für die Küstengewässerbereiche gültig, sobald die jeweils verantwortliche Provinzverwaltung die Nutzungen in diesen Bereichen amtlich festgelegt hat.

Tabelle 3: Ausgewählte Gütestandards für Küstengewässer (KepMenLH 51/2004)

| Parameter | Einheit | Küstengewässernutzung | | |
|--------------------------|----------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | Hafenbereich | Freizeitnutzung | Meerestiere |
| Sichttiefe | m | - | > 6 | > 5 Korallen |
| SS (suspendierte Stoffe) | mg/l | 80 | 20 | 20, Korallen 80, Mangroven |
| BSB ₅ | mg/l | - | 10 | 20 |
| O ₂ (Minimum) | mg/l | - | > 5 | > 5 |
| Arsen (As) | mg/l | - | 0,025 | 0,012 |
| Blei (Pb) | mg/l | 0,05 | 0,008 | - |
| Quecksilber (Hg) | mg/l | 0,003 | 0,002 | 0,001 |
| Fette und Öle | mg/l | 5 | 1 | 1 |
| Gesamt-Phosphat als P | mg/l | - | 0,015 | - |
| NH ₄ -N | mg/l | 0,3 | - | 0,3 |
| NO ₃ als N | mg/l | - | 0,008 | 0,008 |
| Fäkalkoliforme (FC) | MPN/ 100 ml | - | - | 200 |
| Gesamtkeimzahl TC | MPN/ 100 ml | 1 000 | 1 000 | 1 000 |

2.2.2 Emissionsstandards

Die Emissionsstandards für Industrieabwässer und kommunale Abwässer sind in der Tabelle 4 auszugsweise wiedergegeben.

Tabelle 4: Emissionsstandards (aus verschiedenen indonesischen Gesetzen)

| Gesetz Nr. | Industriebereich | BSB ₅ | CSB | pH | P _{ges} ^{*)} | N _{ges} ^{**)} | Öl, Fette | SS | FC |
|---------------------------|--|------------------|-------|-------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|------|------------|
| | | mg/l | mg/l | - | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | MPN/100 ml |
| Kep-Men LH 03/91 | Industrieabwasser, Verschmutzungsstufe I | 20 | 40 | 6 - 9 | | 10,08 | | 100 | |
| | Verschmutzungsstufe II | 50 | 100 | 6 - 9 | | 22 | | 200 | |
| | Verschmutzungsstufe III | 150 | 300 | 6 - 9 | | 38 | | 400 | |
| | Verschmutzungsstufe IV | 300 | 600 | 6 - 9 | | 75 | | 500 | |
| Kep-MenLH 51/95 | Kaustiksoda-herstellung | | 150 | 6 - 9 | | | | 50 | |
| | Kupfer-, Nickel-, Chrom-, Zinkbeschichtung | | | 6 - 9 | | | | 60 | |
| | Leder, Gerbereien | 150 | 300 | 6 - 9 | | 10 | 5 | 150 | |
| | Erdölverarbeitung | 100 | 200 | 6 - 9 | | 20 | 30 | 400 | |
| | Palmölherstellung | 250 | 500 | 6 - 9 | | 20 | 30 | 300 | |
| | Pulpherstellung | 150 | 350 | 6 - 9 | | | | 200 | |
| | Papierherstellung | 150 | 350 | 6 - 9 | | | | 125 | |
| | Pulp- u. Papierherstellung | 150 | 350 | 6 - 9 | | | | 150 | |
| | Kautschukherstellung | 150 | 300 | 6 - 9 | | 10 | | 150 | |
| | Rohrzuckerherstellung | 100 | 250 | 6 - 9 | | | | 175 | |
| | Tapiokaherstellung | 200 | 400 | 6 - 9 | | | | 150 | |
| | Textilindustrie | 85 | 250 | 6 - 9 | | | | 60 | |
| | Stickstoffdüngerherstellung | 100 | 250 | 6 - 9 | | | 25 | 100 | |
| | Ethanolherstellung | 150 | | 6 - 9 | | | | 400 | |
| MS - Glutamat-herstellung | 100 | 250 | 6 - 9 | | | | 100 | | |

Tabelle 4 (Forts.): Emissionsstandards (aus verschiedenen indonesischen Gesetzen)

| Gesetz Nr. | Industriebereich | BSB ₅ | CSB | pH | P _{ges} ^{*)} | N _{ges} ^{**)} | Öl, Fette | SS | FC |
|------------------------|--|------------------|------|-------|--------------------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|
| | | mg/l | mg/l | | mg/l | mg/l | | mg/l | MPN/ 100 ml |
| | Sperrholzher- stellung | 100 | 250 | 6 - 9 | | | | 100 | |
| Kep- MenLH 52/95 | Hotel vor 23.10.95 | 75 | 100 | 6 - 9 | | | | | |
| | Hotel nach 23.10.95 | 30 | 50 | 6 - 9 | | | | | |
| Kep- MenLH 58/95 | Krankenhaus vor 21.12.95 | 75 | 50 | 6 - 9 | | | | | |
| | Krankenhaus nach 21.12.95 | 30 | 100 | 6 - 9 | 2 | 0,1 | | 30 | 10 000 |
| Kep- MenLH 09/96 | Erdöl- u. Gasförde- rung u. Produktion | | 300 | 6 - 9 | | 10 | | | |
| | Erdöl u. Gasförde- rung u, Produktion | | 300 | 6 - 9 | | 5 | | | |
| | Erdölraffinerie | 100 | 200 | 6 - 9 | | 10 | | | |
| | Milch- u. Milch- produkteherstellung | 40 | 100 | 6 - 9 | | | | 50 | |
| | Softdrinkherstel- lung mit Flaschen- wäsche und Sirup- herstellung | 100 | | | | | | 50 | |
| | Softdrinkherstel- lung mit Flaschen- wäsche ohne Si- rupherstellung | 600 | | 6 - 9 | | | | 540 | |
| | Softdrinkherstel- lung ohne Fla- schenwäsche mit Sirupherstellung | 500 | | 6 - 9 | | | | 450 | |
| | Softdrinkher- stellung ohne Fla- schenwäsche ohne Sirupherstellung | 300 | | | | | | 270 | |
| | Seifen-, Wasch- mittel-, Pflanzenöl- herstellung | 125 | 300 | 6 - 9 | 3 | | | 100 | |

Tabelle 4 (Forts.): Emissionsstandards (aus verschiedenen indonesischen Gesetzen)

| Gesetz Nr. | Industriebereich | BSB ₅ | CSB | pH | P _{ges} ^{*)} | N _{ges} ^{**)} | Öl, Fette | SS | FC |
|-------------------------|--|------------------|------|-------|--------------------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|
| | | mg/l | mg/l | | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | MPN/ 100 ml |
| | Bierindustrie | 75 | 170 | 6 - 9 | | | | 70 | |
| | Alkalin- trockenbatterie- herstellung | | | 6 - 9 | | 15 | 3 | | |
| | Kohletrockenbatte- rieherstellung | | 30 | 6 - 9 | | 4 | 12 | 10 | |
| | Farbenindustrie | 100 | | 6 - 9 | | | 15 | 60 | |
| | Pharmaindustrie | 150 | 500 | 6 - 9 | | 45 | | 130 | |
| | Pestizidindustrie Technische Her- stellung | 70 | 200 | 6 - 9 | | | | 50 | |
| | Pestizidindustrie Formulierung | 40 | 100 | 6 - 9 | | | | 25 | |
| Kep- MenLH 03/98 | Industriegebiete | 50 | 100 | 6 - 9 | | | | 200 | |
| Kep- MenLH 112/03 | Häusliche Ab- wässer | 100 | | 6 - 9 | | | 10 | 100 | |

*) P_{ges} als PO₄

***) N_{ges} als NO₃ + NO₂ + NH₄

Seit 2003 (KepMen LH 112/03) gelten für die Einleitung von häuslichem Abwasser folgende Parameter:

- BSB₅ = 100 mg/l,
- SS = 100 mg/l,
- Gehalt an natürlichen Fetten = 10 mg/l,
- pH = 6 bis 9.

Die Aufnahme des Gehalts an natürlichen Fetten ist eine Besonderheit der indonesischen Standards; damit soll das Entsorgen der verbrauchten Öle, die traditionell in der indonesischen Küche eingesetzt werden, reglementiert werden. Indone-

sien ist der weltgrößte Palmölexporteur und der größte Importeur an Palmöl. Diese Standards gelten für:

- Neue Wohngebiete „real estates“,
- Restaurants mit mehr als 1 000 m² Fläche,
- Verwaltungs- und Geschäftsgebäude,
- Apartmenthäuser und Wohnheime für mehr als 100 Personen.

Diese Standards sind Mindeststandards und können je nach örtlichen Gegebenheiten von der jeweiligen Provinzverwaltung verschärft werden.

3 Allgemeine Angaben

3.1 Rohwässer und wasserwirtschaftliche Situation

Im Nationalen Aktionsplan Abwasser 2005 bis 2015 werden strategische Maßnahmen beschrieben (WASPOLA 2004), um die Millennium-Entwicklungsziele (Millennium Development Goals MDG) zu erreichen.

Zu den Entwicklungszielen zählen:

- Ziel 1: Verringerung der Armut und des Hungers,
- Ziel 2: Verbesserung der Grundbildung,
- Ziel 3: Verbesserung der Lage der Frauen,
- Ziel 4: Verringerung der Kindersterblichkeit,
- Ziel 5: Verbesserung der Gesundheit der Mütter,
- Ziel 6: Verringerung der Fälle an AIDS, Malaria und anderen Krankheiten,
- Ziel 7: Sicherung der Nachhaltigkeit in der Umwelt,
- Unterziel: Verbesserung bereits zerstörter natürlicher Ressourcen,
- Unterziel: Bis 2015 Verringerung der Bevölkerungsanteile, die keinen Zugang zu Trinkwasser und keine sanitären Grundeinrichtungen haben ,
- Unterziel: Bis 2010 Verringerung der armen Bevölkerung um 100 Mio. Menschen,
- Ziel 8: Entwicklung der internationalen Partnerzusammenarbeit.

Damit werden nationale Ziele angestrebt, von denen sich viele durch Verbesserungen in der Abwasserentsorgung erreichen lassen. Der Plan enthält Schlüsselindikatoren für alle indonesischen Provinzen, die einen Rückschluss auf die wasserwirtschaftliche Situation ermöglichen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Ausgewählte Schlüsselindikatoren für die wasserwirtschaftliche Situation in den indonesischen Provinzen (National Action Plan Abwasser 2005-2015, exekutive summary 2004)

| Nr. | Provinz | Bevölkerung (Mio.) | | | Durchfallerkrankung [% der Bevölkerung] | | Wasser- verfügbarkeit 1000 m ³ /Kopf/Jahr | Kleinkinder- sterblichkeit pro 1000 Neuge- borene | Lebens- erwartung [Jahre] | % Anteil der Bevölkerung | | |
|-----|------------------|--------------------|---------------|---------------|---|------------|---|---|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------|
| | | Total | Stadt | Land | Stadt | Land | | | | Anmeldet an Mittel- schulen | unterhalb der Armuts- grenze | Analphabet |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | (16) |
| 1 | NAD | 3929 | 1637 | 2292 | td | td | 1439 | 34,7 | 69,7 | 2,1 | 29,8 | - |
| 2 | Sumut | 11642 | 6941 | 4701 | 4,3 | 4,3 | 392 | 34,4 | 69,9 | 7,6 | 15,8 | 3,3 |
| 3 | Sumbar | 4249 | 1810 | 2439 | 4,5 | 6,1 | 594 | 47,4 | 67,1 | 2,4 | 11,6 | 5,3 |
| 4 | Riau | 4948 | 1433 | 3515 | 3,4 | 3,3 | 2087 | 31,3 | 70,5 | 2,1 | 13,6 | 5,1 |
| 5 | Jambi | 2407 | 1214 | 1193 | 2,8 | 4,8 | 1922 | 35,8 | 69,5 | 1,2 | 13,2 | 5,4 |
| 6 | Sumsel | 6899 | 2192 | 4707 | 3,1 | 2,6 | 1289 | 35,5 | 70,7 | 4,0 | 22,3 | 6,2 |
| 7 | Bengkulu | 1564 | 394 | 1170 | 1,9 | 4,0 | 1929 | 31,5 | 70,4 | 0,9 | 22,7 | 7,2 |
| 8 | Lampung | 6731 | 2075 | 4656 | 5,4 | 4,4 | 482 | 33,2 | 70,5 | 3,6 | 24,1 | 7,5 |
| 9 | B. Belitung | 900 | 188 | 712 | 3,3 | 9,4 | 1289 | 31,9 | 70,7 | 4,0 | 11,6 | 9,0 |
| 10 | DKI Jakarta | 8361 | 8361 | 0 | 4,8 | 0,0 | 40 | 19,0 | 73,8 | 5,2 | 3,4 | 2,4 |
| 11 | Jabar | 35724 | 30704 | 5020 | 4,2 | 4,1 | 126 | 24,7 | 68,2 | 17,6 | 13,4 | 6,3 |
| 12 | Banten | 898 | 2199 | 5899 | 4,9 | 4,7 | 126 | 24,7 | 68,2 | 17,6 | 9,2 | 7,5 |
| 13 | Jateng | 31223 | 12221 | 19002 | 4,5 | 4,7 | 139 | 27,1 | 71,6 | 15,4 | 23,1 | 14,7 |
| 14 | DIY | 3121 | 856 | 2265 | 3,8 | 3,5 | 62 | 15,5 | 74,2 | 2,1 | 20,1 | 16,0 |
| 15 | Jatim | 34766 | 14597 | 20169 | 4,5 | 4,8 | 83 | 49,1 | 66,4 | 15,6 | 21,9 | 17,2 |
| 16 | Bali | 3150 | 1965 | 1185 | 3,4 | 3,8 | 119 | 27,8 | 71,4 | 1,6 | 6,9 | 17,2 |
| 17 | NTB | 4009 | 2721 | 1288 | 5,2 | 7,0 | 356 | 68,7 | 63,9 | 1,7 | 27,8 | 20,6 |
| 18 | NTT | 3823 | 1074 | 2749 | 2,8 | 6,8 | 413 | 47,7 | 63,9 | 1,9 | 30,7 | 15,8 |
| 19 | Kalbar | 4016 | 1016 | 3000 | 4,0 | 6,8 | 3581 | 46,8 | 67,0 | 1,8 | 15,5 | 14,2 |
| 20 | Kalteng | 1855 | 1012 | 843 | 2,2 | 4,6 | 7388 | 28,4 | 71,1 | 0,8 | 11,9 | 4,2 |
| 21 | Kalsel | 2984 | 1347 | 1637 | 4,6 | 2,8 | 1573 | 51,0 | 66,5 | 1,1 | 8,5 | 7,0 |
| 22 | Kalim | 2452 | 1883 | 569 | 7,0 | 4,1 | 8243 | 26,3 | 69,3 | 1,5 | 12,2 | 5,8 |
| 23 | Sulut | 2001 | 1548 | 453 | 3,0 | 3,2 | 813 | 29,5 | 70,9 | 1,5 | 11,2 | 1,8 |
| 24 | Sulteng | 2176 | 635 | 1541 | 4,3 | 4,8 | 2247 | 59,6 | 65,8 | 0,9 | 25,0 | 6,5 |
| 25 | Sulse | 8051 | 3544 | 4507 | 4,8 | 4,8 | 684 | 32,3 | 70,5 | 4,0 | 15,9 | 16,5 |
| 26 | Sultra | 1820 | 172 | 1648 | 2,8 | 4,0 | 1231 | 31,5 | 70,6 | 1,1 | 21,2 | 9,9 |
| 27 | Gorontalo | 833 | 203 | 630 | 7,0 | 8,7 | 813 | 29,5 | 70,7 | 1,5 | 32,1 | 6,4 |
| 28 | Maluku | 1163 | 507 | 656 | 1,8 | 1,6 | 5131 | 44,5 | 67,4 | 1,3 | 34,8 | 3,3 |
| 29 | Maluku Utara | 732 | 176 | 556 | 3,5 | 4,4 | 3230 | 44,5 | 67,4 | 1,3 | 14,0 | 3,4 |
| 30 | Papua | 2214 | 636 | 1578 | 2,5 | 3,7 | 20167 | 47,8 | 66,2 | 1,1 | 41,8 | 2,8 |
| 31 | INDONESIA | 205841 | 105,26 | 100,58 | 4,3 | 4,7 | 62540 | 41,4 | 68,2 | 3,7 | 38,4 | 9,3 |

In den Provinzen, die außerhalb der Hauptinseln Java (Banten, DKI, Jabar, Jateng, Jatim) und Bali liegen, deuten mehrere Faktoren wie höhere Kleinkindersterblichkeiten und höhere Anzahlen von Durchfallerkrankungen auf schlechte hygienische Umweltqualitäten hin. Im Vergleich der Durchfallfälle zwischen den ländlichen und den städtischen Gebieten lassen sich deutliche Versorgungsdefizite im ländlichen Bereich erkennen.

Die prozentualen Anteile der Haushalte mit Zugang zu einer Abwasserentsorgung (Bild 2) liegen zwischen 42 und 94 %. Die am schlechtesten versorgten Provinzen sind Zentralkalimantan und Maluku, die am besten versorgten Provinzen sind DKI Jakarta und Bali.

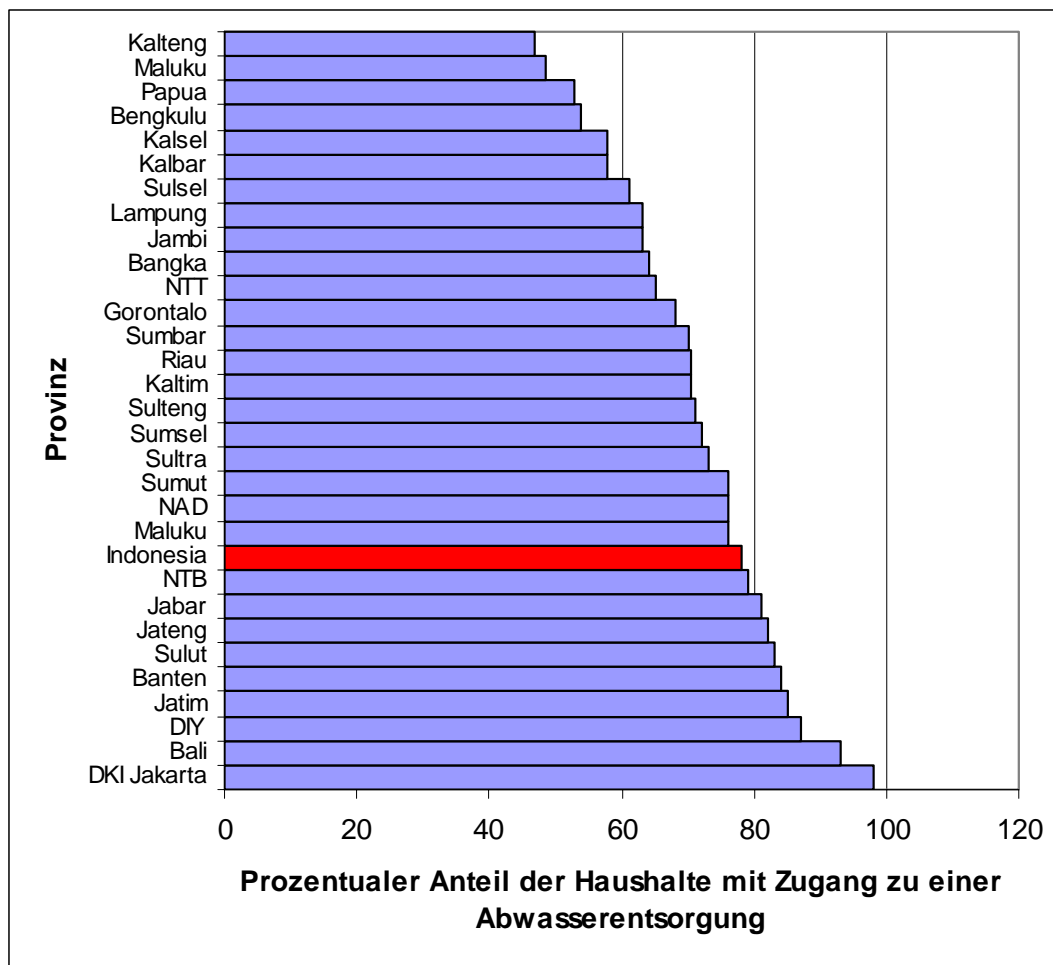


Bild 2: Prozentualer Anteil der Haushalte mit Zugang zu einer Abwasserentsorgung (Susenas, 2002, Statistical Yearbook of Indonesia, BPS Indonesia)

Die Anteile der Haushalte mit Zugang zu reinem Wasser liegen für die in Tabelle 6 aufgelisteten Regionen für das Jahr 2000 zwischen 13,49 (Papua) und 48,31 % (Bali).

In Tabelle 7 sind die prozentualen Anteile der Haushalte, die nicht über öffentliche Leitungswasseranschlüsse verfügen, auf die Rohwasserarten Grund-, Fluss- und Regenwasser sowie andere Arten aufgeteilt. Danach ist Grundwasser mit 74,21 % die wichtigste Rohwasserquelle. In Kalimantan wird im Vergleich mit anderen Regionen mit 27,89 % Flusswasser und mit 16,79 % Regenwasser am häufigsten verwendet. Im Jahr 2000 benutzten etwa 14 % der Haushalte ungeschützte Brunnen und etwa 5 % der Haushalte ungeschützte Quellen. (State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

Tabelle 6: Prozentualer Anteil der Haushalte, die von einer regionalen Trinkwassergesellschaft (PDAM) bedient werden, bezogen auf die Inselregionen (BPS, 1998 - 2001, in State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Region | Haushalte mit Trinkwasserdienst (%) | | |
|---------------|-------------------------------------|-------|--------------------|
| | 1998 | 1999 | 2000 ^{*)} |
| Sumatera | 8,72 | 8,89 | 16,57 |
| Java | 7,88 | 8,15 | 17,81 |
| Bali | 23,32 | 23,48 | 48,31 |
| Nusa Tenggara | 5,86 | 6,18 | 19,04 |
| Kalimantan | 11,81 | 11,85 | 27,18 |
| Sulawesi | 9,02 | 9,37 | 24,27 |
| Maluku | 6,28 | 6,61 | - |
| Papua | 9,58 | 10,40 | 13,49 |
| Gesamt | 8,50 | 8,75 | 19,02 |

^{*)} Ohne die Provinzen Nanggroe Aceh Darussalam und Maluku

Tabelle 7: Prozentualer Anteil der Haushalte, die nicht öffentlich versorgt werden, sondern andere Trinkwasserressourcen nutzen, bezogen auf die Inselregionen im Jahr 2000 (BPS, 1998 - 2001, in State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Region ^{**)} | Grundwasser ^{*)} | Flusswasser | Regenwasser | Andere |
|-----------------------|---------------------------|-------------|-------------|--------|
| Sumatera | 70,24 | 5,28 | 7,20 | 1,04 |
| Java | 80,52 | 0,67 | 0,40 | 1,69 |
| Bali | 47,84 | 2,06 | 1,72 | 2,45 |
| Nusa Tenggara | 75,63 | 3,35 | 1,80 | 0,54 |
| Kalimantan | 27,87 | 27,89 | 16,79 | 0,67 |
| Sulawesi | 71,73 | 2,43 | 1,15 | 0,94 |
| Maluku | - | - | - | - |
| Papua | 55,70 | 18,44 | 12,37 | 0,00 |
| Gesamt | 74,21 | 3,42 | 2,78 | 19,02 |

^{*)} Einschließlich Pumpen, geschützte und ungeschützte Brunnen, geschützte und ungeschützte Quellen

^{**)} Ohne die Provinz Nanggroe Aceh Darussalam

Die Verfügbarkeit an Wasser und die ermittelten Bedarfszahlen für 1995 und 2000 sowie die Plandaten für 2015 sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Für den Zeitraum 2000 bis 2015 rechnen die indonesischen Ministerien mit Steigerungsraten von 6,67 % für den Bedarf für die Haushalte und die Landwirtschaft sowie von 12,5 % für den Bedarf für die Industrie.

Tabelle 8: Verfügbarkeit von und Bedarf an Wasser (Ministry of Public Works, 1995 (Oberflächengewässerdaten) und Ministry of Mining and Energy, 2000 (Grundwasserdaten), in State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Insel/Provinz | Verfügbarkeit (m ³ /a)·10 ⁶ | Bedarf (m ³ /a)·10 ⁶ | | |
|--------------------|--|--|------------|------------|
| | | 1995 | 2000 | 2015 |
| Sumatera | 111 077,65 | 19 164,80 | 25 297,54 | 49 583,18 |
| Java | 30 569,20 | 62 926,96 | 83 378,22 | 164 671,98 |
| Kalimantan | 140 005,55 | 5 111,30 | 8 203,64 | 23 093,25 |
| Sulawesi | 34 787,55 | 15 257,00 | 25 555,48 | 77 305,33 |
| Bali | 1 067,30 | 2 574,40 | 8 598,50 | 28 718,99 |
| NTB | 3 508,55 | 1 628,60 | 1 832,18 | 2 519,25 |
| NTT | 4 251,15 | 1 736,20 | 2 908,14 | 8 797,12 |
| Maluku | 15 457,10 | 235,70 | 305,23 | 575,36 |
| Irian Jaya (Papua) | 350 589,65 | 128,30 | 283,35 | 1 310,64 |
| Gesamt | 691 340,70 | 108 763,26 | 156 362,26 | 356 575,09 |

Gemäß der nationalen Datenerfassung des Nationalen Statistischen Amtes BPS haben im Jahr 2000 etwa 27 % der Haushalte keine Toilettenanlagen, so dass die Anwohner mit großer Wahrscheinlichkeit direkt in öffentliche Fließgewässer und Teiche oder in Erdgruben entsorgen. Unter der Annahme eines Vier-Personenhaushaltes werden täglich etwa 400 000 m³ häusliches Abwasser direkt in Gewässer eingeleitet. Davon verschmutzen etwa 246 000 m³ die Flüsse auf der Hauptinsel Java.

Als ein weiterer Indikator für das Potential zur Gewässerbelastung durch häusliches Abwasser kann die Anzahl der Gebäude an Flussufern herangezogen werden (Tabelle 9). Die auf verschiedene Regionen bezogenen Anzahlen zeigen zwischen den Jahren 1996 und 1999 für alle Regionen steigende Tendenzen. Die höchsten Anstiege sind auf den Inseln Sumatra und Kalimantan zu finden.

Tabelle 9: Anzahl der Gebäude an Flussufern von 1996 - 1999 (BPS, 2001, nach: Statistical of Indonesia Environment, 2001, State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Region | Gesamtzahl der Gebäude an Flussufern | |
|----------------------|--------------------------------------|---------|
| | 1996 | 1999 |
| Sumatra | 152 991 | 201 794 |
| Java | 93 265 | 176 547 |
| Bali - Nusa Tenggara | 20 443 | 18 896 |
| Kalimantan | 164 281 | 203 025 |
| Sulawesi | 48 472 | 58 432 |
| Maluku - Papua | 10 795 | 16 076 |
| Gesamt | 490 247 | 674 770 |

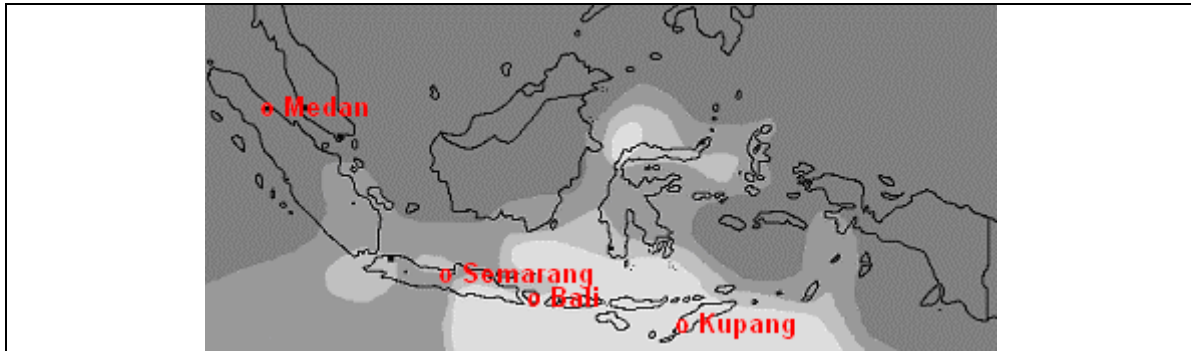
3.2 Klima

Das Klima Indonesiens wird von der Äquatornähe bestimmt. Auf Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, den nördlichen Molukken und Irian-Jaya, sowie im westlichen Drittel Javas herrscht tropisches, immer-feuchtes Klima. Die zu allen Jahreszeiten fallenden Niederschläge erreichen Werte von 3 000 bis 4 000 mm/a, im Gebirge lokal über 5 000 mm/a.

Das östliche Java und die davon östlich liegenden Sundainseln sowie das Gebiet bis zu den Aruinseln haben tropisch-monsunales Klima mit einer feuchtschwülen Regenzeit von Dezember bis März, einer Nachmonsunzeit und einer heißen Trockenzeit, vorwiegend im August und September. Die Niederschläge betragen 2 000 bis 3 000 mm/a.

Bei einer mittleren täglichen Sonnenscheindauer von sieben bis neun Stunden liegt die Jahresmitteltemperatur an der Küste bei 27 °C, nimmt jedoch in den Gebirgen mit zunehmender Höhe rasch ab. Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Mittel 80 bis 90 %.

Durchschnittsregenfälle in der Trockenzeit und Klimadiagramme von vier Städten, deren geographische Lagen sich von West nach Ost erstrecken und typische Klimazonen abdecken, sind im Bild 3 zusammengestellt.



Durchschnitts-Regenfälle in den Jahren 1947 bis 98 nach Kirono 2000:
 < 200mm / 200 - 400mm / 400 - 800mm / > 800mm

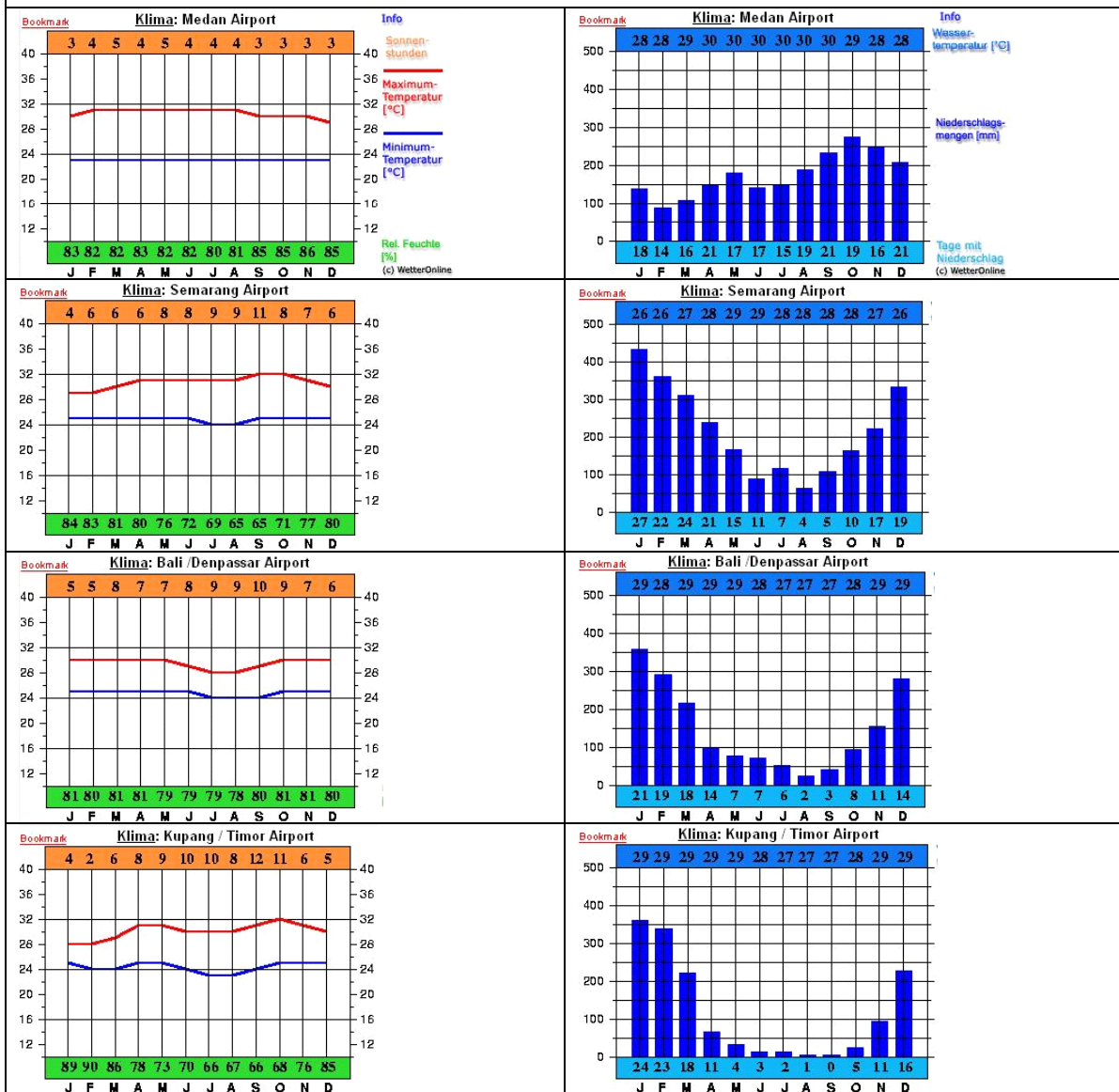


Bild 3: Durchschnittsregenfälle in der Trockenzeit und Klimadaten ausgewählter Städte (www.wetteronline.de)

3.3 Verantwortlichkeiten für die Abwasserentsorgung

Mit Verabschiedung der Dezentralisierungsgesetze zu Beginn des Jahres 2001 und der damit verbundenen Neustrukturierung der Zuständigkeiten auf Distrikt-, Provinz- und nationaler Ebene wurde auch der Bereich der Abwasserentsorgung grundlegend verändert.

Seitens des Gesetzgebers liegt die Verantwortung für das Wasser bei mehreren Behörden. Die wichtigsten Organisationen im Wassersektor sind die öffentlichen Wasserwerke, die so genannten PDAM. Sie gehören und unterstehen dem jeweiligen Distrikt. 2004 sind landesweit somit 306 dieser halbautonomen örtlichen Wasserwerke mit der Sammlung von Rohwasser, der Aufbereitung und der Rohrnetzverteilung an die Endverbraucher beauftragt. Die großen PDAM besitzen ein Abwasserdirektorat (Direktorat Air Kotor), das die Aufgaben zur Abwasserbehandlung wahrnimmt. Mit der Überwachung der PDAM-Aktivitäten in Management- und Organisationsfragen ist das Innenministerium betraut. Im Zuge der Anfang 2001 in Kraft getretenen Dezentralisierung hat sich jedoch die Machtbefugnis vom Ministerium in Jakarta zum jeweiligen Distriktleiter (Bupati) oder Bürgermeister (Walikota) verlagert. Das Innenministerium hat nun eine beratende Funktion.

Für technische Belange ist auf der Zentralebene das Bauministerium (Ministry of Human Settlement and Territorial Development, vormals Ministry of Public Works PU) zuständig und leistet auf Anfrage der lokalen Regierung Hilfestellung. Das Gesundheitsministerium kümmert sich um die Überprüfung der Wasserqualität, wobei die Labore auf Distriktebene angesiedelt sind. Vorrangige Ziele der Überwachungsprogramme sind die Bekämpfung von Seuchen und Krankheiten wie Diarrhö, Typhus, Malaria oder Denguefieber. Aufgrund fehlender Mittel finden keine routinemäßigen Analysen statt. Geht es um Fragen der Finanzierung - seien es zentralstaatliche Mittel oder Kontakte zu Investoren und ausländischen Gebern - ist das Finanzministerium in Jakarta zuständig. Die meisten Kapitalinvestitionen haben die PDAM durch Langfrist-Darlehen aus dem Fachressort erhalten. Im Zuge der Dezentralisierung ist nun auch der Distrikt für die Finanzierung zuständig. Alle bi- und multilateralen Geber sichern sich jedoch über das Finanzministerium die Garantie der Regierung.

Das Umweltministerium soll das Umwelt-Management auf der nationalen Ebene koordinieren, hat aber keine Befugnis Sanktionen direkt zu verhängen. Zur Implementierung der Umweltpolitik ist 1990 die Environmental Impact Management Agency (BAPEDAL) geschaffen worden, welche nach der Umstrukturierung wieder aufgelöst wurde und dessen Aufgaben nun von Abteilungen im Umweltminis-

terium wahrgenommen werden. Sie koordinieren u. a. die Programme zur Überwachung der Industrien und zur Begrenzung der Wasserverschmutzung.

Die über 300 öffentlichen Wasserversorger sind in ihrem Verband PERPAMSI (Persatuan Perusahaan Air Minum di Seluruh Indonesia, www.perpamsi.org) zusammengeschlossen. Als außerordentliche Mitglieder gehören noch rd. 90 Lieferfirmen, technische Institute und andere Verbände dazu. Hauptaufgabe der PERPAMSI ist es, den Wasserwerken bei der Verbesserung ihrer technischen und finanziellen Leistungsfähigkeit zu helfen. In dieser Hinsicht besteht erheblicher Nachholbedarf. Die meisten Wasserwerke sind finanziell nicht unabhängig und werden von der Distriktregierung subventioniert. Die Gründe sind vielfältig: Niedrige Wassergebühren bei steigenden Kosten (z. B. durch zunehmende Strompreise und Löhne), hohe Wasserverluste (rd. 40 %), nicht abgezahlte Schulden, die die Mehrzahl nicht bedienen kann, eine schwache Kundenbasis (60 % der PDAM haben weniger als 10 000 Abnehmer) und Managementdefizite. Dazu gehört, dass die Leitungsebene der PDAM sich überwiegend aus Beamten rekrutiert, deren Qualifikation eher in ihrer persönlichen Beziehung zum Distriktleiter als in ihrer Fachkompetenz liegt. Auch auf den anderen Ebenen mangelt es an Kompetenz und Anreizen.

Lediglich zehn bis zwanzig der 306 Wasserwerke sind als gesund einzuschätzen, vermuten Consultants. Dazu dürften die Versorger in Medan, Bogor und Malang gehören. Es liege letztlich am Leiter der PDAM, ob dieser sich für das Gemeinwohl oder für die eigene Tasche engagiere. (bfai, Indonesien-Wassermanagement und Wassertechnik-Ausgangslage, Institutionen, Ver- und -entsorgung, Privatisierung)

Seit 2003 arbeitet das Abwasserinformationsforum FORKALIM (Forum Komunikasi Air Limbah), dessen Mitglieder aus den PDAM, Behörden (DINAS) und örtlichen Abwasserbetreibern (PD) kommen. FORKALIM ist offen für alle Institutionen im Bereich Abwasser. Ziel des Forums ist es, die Mitgliedern zu unterstützen in Fragen des Betriebs, der Wartung und der Verwaltung von Abwasserbehandlungsanlagen. FORKALIM macht Vorschläge für Reformen der Umweltpolitik. Hauptpartner für FORKALIM sind:

- Geberorganisationen für Beratungen und finanzielle Unterstützungen,
- Zentrale Regierungsstellen für Politikentwicklung und Aufklärungskampagnen,
- Örtliche Verwaltungen für die Bewusstseinsbildung und Unterstützung der Kampagnen,

- Internationale und nationale Nicht-Regierungsorganisationen für Gemeindearbeiten und dezentrale Abwasserprogramme.

3.4 Zum Stand der Abwasserentsorgung

Die Tabelle 10 zeigt einige Strukturdaten der Wasserwirtschaft. Wie bfai zutreffend feststellt, ist die Abwasserentsorgung eines der ganz großen Probleme in Indonesien: Das Land hat zwölf öffentlich betriebene Zentralkläranlagen, wobei der Betrieb nicht kontinuierlich gewährleistet wird und, wie mehrfach beobachtet, Kläranlagen (KA Soreang) stillstehen.

Verschiedene Industriegebiete betreiben Gemeinschaftskläranlagen und ein Teil der Industriebetriebe unterhält eigene Kläranlagen. Dabei erfüllen exportorientierte Betreiber oder Betreiber mit ausländischer Beteiligung am häufigsten die geforderten Standards.

Tabelle 10: Ausgewählte Strukturdaten zur Wasserwirtschaft Indonesiens (bfai "Marktanalysen Wassermanagement und Wassertechnik (Asien/Pazifik))

| Parameter | Wert |
|--|--------------------------|
| Einwohnerzahl (E) | 212 Mio. |
| Verfügbare Wassermenge (m ³ /E/a) | 12 500, stark schwankend |
| Mittlerer Wasserverbrauch (l/E/d) | 105 |
| Rohwasserentnahme in % aus | |
| Grundwasser/Uferfiltrat | 20 |
| Oberflächenwasser (Flüsse, Seen) | 65 |
| Quellwasser | 10 |
| Wasserpreise (in EUR/m ³) | 0,20 (Durchschnittswert) |
| Kläranlagen in % | |
| angeschlossene Einwohner | 0,13 |
| angeschlossene Industrie | 10 |
| Reinigungsstufe | |
| nur mechanisch | ja |
| mechanisch und biologisch | vernachlässigbar gering |
| Abwassergebühr (EUR/m ³) | 0,05 (Durchschnittswert) |

Wenige Groß- und Provinzstädten besitzen Kanalisationsnetze. Aufgrund unzureichender Klärkapazitäten, gelangt der größte Teil des Abwassers ungereinigt in die

Flüsse und Seen des Landes. In verschiedenen Städten wird das gesammelte Abwasser unterhalb der Städte in Flüsse ungeklärt wieder eingeleitet. Eine Abwassereinleitungsstelle aus dem Kanalnetz der Stadt Bandung zeigt Bild 4.



Bild 4: Abwassereinleitungsstelle aus dem Kanalnetz der Stadt Bandung

In einer Studie des Umweltministeriums sind die Abwasserentsorgungspfade für häusliches Abwasser für die ländlichen und städtischen Gebiete erfasst und in die Kategorien:

- Sickergrubenbehandlung,
- Direktes Einleiten in Teiche und Reisfelder,
- Direktes Einleiten in Flüsse, Seen oder ins Meer,
- Direktes Einleiten in Erdmulden,
- Aufbringen in den Garten, an den Strand oder aufs Land sowie
- Andere Pfade, zu denen die Behandlung in zentralen Kläranlagen zählt

eingeteilt worden (Bild 5).

Danach werden im ländlichen Bereich 18 % und in den Städten 59 % in Einzelhausabwasserbehandlungsanlagen entsorgt. Im Mittel wird in Indonesien 34 % des häuslichen Abwassers direkt am Ort behandelt. Aussagen über den Anteil, der in zentralen Kläranlagen behandelt wird, lassen sich aus diesen Daten nicht treffen. Die Bauformen der Einzelhausabwasserbehandlungsanlagen reichen von einfachen Sickergruben über Zweikammergruben bis zu Mehrkammergruben. Dabei

wird Abwasser über einen Überlauf in einen überirdischen Drainagegraben oder seltener über Versickerungsanlagen in das Grundwasser abgeleitet.

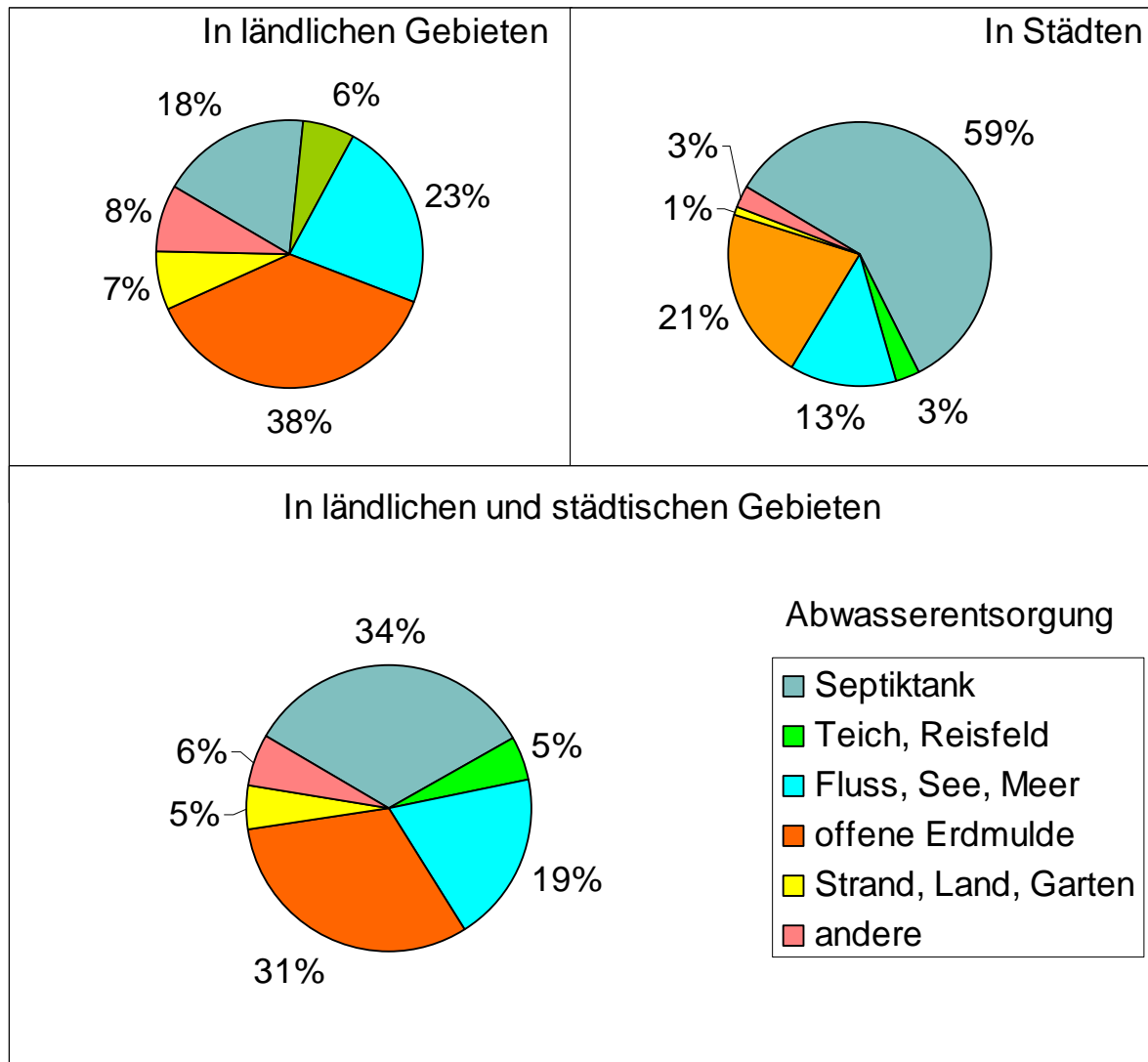


Bild 5: Prozentuale Anteile der Abwasserentsorgungen, aufgeteilt für ländliche und städtische Gebiete sowie für das Gesamtgebiet in Indonesien (Susenas, 2002, Statistical Yearbook of Indonesia, BPS Indonesia)

4 Abwasserbeschaffenheit

4.1 Allgemeine Angaben zum Rohabwasser

Die Beschaffenheit der häuslichen Abwässer hängt davon ab, wie gut die Wasserversorgung funktioniert und welcher Wasserverbrauch sich demnach eingestellt hat bzw. wie viel Wasser ein Haushalt zur Verfügung hat.

In den Städten werden zurzeit rund 70 l/(E-d) verbraucht, bei Vollversorgung bis über 300 l/(E-d). Auf dem Land kann der Verbrauch in den unterversorgten Gebieten weniger als 20 l/(E-d) betragen und liegt damit unter der von der WHO empfohlenen Mindestwassermenge von 40 l/(E-d). Bei seinen Planungen rechnet das indonesische Bauministerium mit Werten von 27 g BSB₅/(E-d) für arme und mit 70 g BSB₅/(E-d) für reiche Bevölkerungsschichten.

In verschiedenen Städten wie in Surakarta und Bandung wird das Kanalnetz durch Schwallspülungen mit Wasserentnahmen aus oberhalb liegenden Flussabschnitten gereinigt, so dass das Schmutzwasser im Kanal eine Mischwasserqualität annimmt.

Die Analyse vorhandener Abwasserqualitäten zu Planungszwecken ist häufig nur bedingt aussagefähig, weil fast alle Siedlungsgebiete stark wachsen, damit ihren Charakter und ihre Wasserverwendung verändern, und weil auch auf den Ausbau der Wasserversorgungsnetze und die Änderung der Einkommensverhältnisse zu achten ist. Zudem muss in die Prognose einbezogen werden, welche Auswirkungen eine eventuelle Erhöhung der Wassertarife und Abwasserentgelte auf das Verbrauchsverhalten haben könnte.

4.2 Oberflächenwasser

Die starke Belastung der Gewässer lässt sich an den vielen städtischen Abfällen entlang vieler Flussabschnitte (Bild 6) und den Geruchsemissionen aus langsam fließenden, nahezu sauerstofffreien Flüssen erkennen (Bild 7).

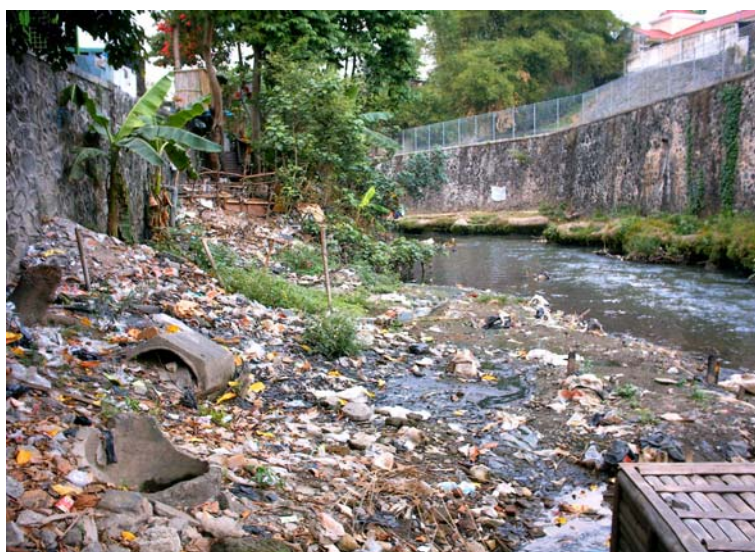


Bild 6: Stark verschmutztes Flussufer (Fluss in Yogya)



Bild 7: Träge fließender sauerstofffreier Fluss in Westjava (Citarum bei Bandung)

Das Abflussverhalten eines Einzugsgebiets variiert periodisch innerhalb eines Jahres und wird geprägt von der Verteilung der Niederschläge und der Variation der Landnutzungen. Der Quotient zwischen minimalem und maximalem Abfluss beträgt in stabilen Systemen annähernd 1. In Indonesien lag der Quotient (Tabelle 11) für 13 ausgewählte Provinzen im Jahre 1999 nach Daten des BPS im Mittel bei 0,005; d. h. es ergeben sich sehr starke Unterschiede zwischen Regen- und Trockenzeiten. Überschwemmungen und Hochwasser spülen den am Ufer abgelagerten Unrat wieder in das fließende Wasser, in der Trockenzeit fallen viele Flussabschnitte trocken.

1990 wurde das Flussreinhaltprogramm (PROKASIH) initiiert, in dem für die wichtigsten Flüsse unter Beteiligung der lokalen Behörden Gewässerüberwachungsprogramme mit regelmäßigen Datenerfassungen durchgeführt wurden. Mit dem Beginn der ökonomischen Krise sind diese Programme 1997 gestoppt worden. Seit 2002 sind in einzelnen Provinzen diese Überwachungsprogramme wieder aufgenommen worden.

Die Daten der Jahre 1990 bis 1996 zeigten, dass die Qualität der überwachten Flüsse im Trend besser geworden ist, aber danach eine erneute Verschlechterung festgestellt wurde. Tabelle 12 mit Flusswasserqualitätsdaten der Jahre 2000 und 2001 zeigt, dass kein Fluss die Gütekriterien der Klasse I (Rohwassertrinkwasserquelle) und II erreicht. In den Unterläufen werden im Allgemeinen die Standards nur für die Klasse III erfüllt, d. h. die Wasserqualität ist so schlecht, dass keine

Rohwasserentnahme aus den Flüssen und keine Freizeitnutzung ohne Bedenken möglich sind.

Tabelle 11: Vergleich der minimalen und maximalen Abflussraten einiger Flüsse in Indonesien im Jahr 1999 (BPS, 2000 und 2001, in State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Provinz | Hauptfluss | Vergleich der minimalen und maximalen Abflussraten |
|----------------|----------------------|--|
| Westjava | a. Citarum | 0,0006 - 0,0176 |
| | b. Cibuni | 0,0128 |
| | c. Ciujung | 0,0056 - 0,0448 |
| Zentraljava | a. Pemali | 0,0000 |
| | b. Batang Solo | 0,0094 |
| | c. Serayu | 0,0006 |
| | d. Lusi | 0,0029 |
| DI. Yogyakarta | a. Progo | 0,0017 - 0,0025 |
| Ostjava | a. Batang Solo | 0,0000 - 0,0061 |
| | b. Brantas | 0,0818 - 0,1292 |
| Nordsumatra | a. Asahan | 0,0237 |
| Westsumatra | a. Batang Pasaman | 0,0935 |
| | b. Batang Hari | 0,0613 |
| Riau | a. Batang Kunatan | 0,0179 |
| | b. Batang Kampar | 0,0099 - 0,0147 |
| | c. Batang Rokan | 0,0170 |
| Bengkulu | a. Dikit | 0,0404 |
| Jambi | a. Batang Hari | 0,0028 - 0,0567 |
| Südsumatra | a. Musi | 0,0213 - 0,1061 |
| Lampung | a. Way Tulang Bawang | 0,0039 - 0,0057 |
| | b. Way Sekampung | 0,0015 |
| Nordsulawesi | a. Paguyuman | 0,0004 |
| | b. Randangan | 0,0138 |
| Südsulawesi | a. Cenranae | 0,0005 - 0,0168 |
| | b. Mapili | 0,0017 |
| | c. L. Sampala | 0,0770 |

Tabelle 12: Flusswasserqualität in Sumatra, Java, Kalimantan in 2000/2001 (Report of River Quality Monitoring, Provincial Bapedal 2002 und Report of Regional Environmental State 2001)

| Provinz | Fluss | Stationierung | BSB ₅ mg/l | CSB mg/l | O ₂ mg/l | TSS mg/l | TDS mg/l |
|---------------|-------------|---------------|--------------------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|
| Westsumatra | Batang Hari | Oberlauf | - | - | 7,50 | 0,5 | 10,0 |
| | | Unterlauf | - | - | 5,90 | 2,5 | 40,0 |
| Jambi | Batang Hari | Oberlauf | 4,31 | 7,50 | 6,52 | - | 87,0 |
| | | Unterlauf | 7,43 | 45,50 | 5,79 | - | 370,7 |
| Riau | Siak | Oberlauf | - | - | 4,18 | 55,0 | - |
| | | Unterlauf | - | - | 2,45 | 79,0 | - |
| Südsumatra | Musi | Oberlauf | 3,70 | 8,00 | 4,20 | 45,0 | - |
| | | Unterlauf | 5,30 | 12,50 | 3,90 | 35,0 | - |
| Lampung | Terusan | Oberlauf | 4,36 | 12,17 | 5,36 | - | 20,0 |
| | | Unterlauf | 8,33 | 18,50 | 3,56 | - | 356,0 |
| | Pengubuan | Oberlauf | 2,55 | 15,09 | 5,24 | - | 22,0 |
| | | Unterlauf | 20,45 | 56,64 | 4,99 | - | 321,0 |
| Westjava | Citarum | Oberlauf | - | 30,98 | 5,69 | - | 202,5 |
| | | Unterlauf | - | 58,24 | 2,83 | - | 137,5 |
| | Ciliwung | Oberlauf | - | - | 6,60 | - | - |
| | | Unterlauf | - | - | 6,20 | - | - |
| Banten | Ciujung | Oberlauf | 1,80 | 8,20 | - | 55,2 | - |
| | | Unterlauf | 4,80 | 22,40 | - | 13,3 | - |
| DKI.Jakarta | Ciliwung | Oberlauf | 17,83 | 34,82 | - | 105,0 | - |
| | | Unterlauf | 15,45 | 29,85 | - | 88,0 | - |
| | Mookervart | Oberlauf | 35,59 | 88,22 | - | 86,0 | - |
| | | Unterlauf | 56,30 | 197,43 | - | 259,0 | - |
| DI.Yogyakarta | Opak River | Oberlauf | 2,74 | 14,60 | 5,18 | - | - |
| | | Unterlauf | 4,50 | 16,60 | 5,40 | - | - |
| Ostkalimantan | Mahakam | Oberlauf | 2,20 | 37,35 | 5,10 | 115,0 | 23,0 |
| | | Unterlauf | 11,05 | 46,95 | 4,65 | 113,0 | 10,3 |
| Westkalimatan | Kapuas | Oberlauf | 12,80 | 23,00 | - | 21,0 | 16,5 |
| | | Unterlauf | 14,40 | 32,50 | - | 16,0 | 14,5 |
| Südkalimantan | Martapura | Oberlauf | - | - | 4,60 | 76,0 | 13,0 |
| | | Unterlauf | - | - | 2,02 | 230,0 | 45,0 |

In DKI Jakarta kommt pro Jahr etwa 3,2 Mrd. m³ Abwasser aus der produzierenden Industrie, etwa 67,3 Mio. m³ aus den Haushalten und etwa 0,2 Mio m³ aus landwirtschaftlichen Betrieben. Die gemessenen Qualitätsparameter der Flüsse liegen in fast allen Flussabschnitten in der Provinz DKI Jakarta über den Qualitätsstandards (Tabelle 13).

Tabelle 13: Flusswasserqualität in der Provinz DKI Jakarta bezüglich der Parameter BSB₅ und CSB (BPLHD, 2002. Report from SLHD of Province DKI Jakarta, 2002, in State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Fluss | Oberlauf mg/l | | Unterlauf mg/l | | Nutzungs- kategorie | Qualitätsstandard |
|--------------|------------------|-------|-------------------|--------|------------------------|---------------------------------|
| | BSB ₅ | CSB | BSB ₅ | CSB | | |
| Ciliwung | 17,83 | 28,42 | 28,42 | 28,85 | B (II) | BSB ₅ : 10; CSB : 20 |
| Krukut | 12,88 | 23,32 | 23,32 | 25,08 | B (II) | |
| Mookervart | 35,86 | 88,22 | 88,22 | 197,43 | C (III) | BSB ₅ : 20; CSB : 30 |
| Pesanggrahan | 9,73 | 22,66 | 22,66 | 22,70 | C (III) | |
| Grogol | 21,25 | 66,40 | 66,40 | 69,45 | C (III) | |
| Cipinang | 11,25 | 21,91 | 21,91 | 60,28 | D (IV) | BSB ₅ : 20; CSB : 30 |
| Sunter | 7,98 | 14,87 | 14,87 | 81,05 | D (IV) | |

Tabelle 14: Flusswasserqualität in der Provinz DKI Jakarta bezüglich biologischer Parameter (Report from SLHD, the Province DKI Jakarta, 2002, in State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Fluss | Parameter (IND/100 ml) | | Kategorie | Qualitäts- standard |
|------------|---|--|-----------|---------------------------|
| | Gesamtkoliforme (TC) | Fäkalcoliforme (FC) | | |
| Ciliwung | 1 600 - 300·10 ⁴ | 900 - 300·10 ⁴ | B | TC : 2 000 FC : 10 000 |
| Cipinang | 900·10 ³ - 500·10 ⁷ | 50·10 ³ - 280·10 ⁵ | D | TC : 4 000 FC : 20 000 |
| Mookervart | 300·10 ⁴ - 1 600·10 ⁴ | 70·10 ⁴ - 1 600·10 ⁴ | C | TC : 4 000 FC : 20 000 |
| Grogol | 300·10 ⁴ - 500·10 ⁷ | 300·10 ⁴ - 220·10 ⁷ | C | |
| Cakung | 240·10 ⁴ - 1 600·10 ⁴ | 240·10 ⁴ - 500·10 ⁴ | D | |

Die gemessenen Keimzahlen an Gesamtkoliformen (TC) und Fäkalcoliformen (FC) (Tabelle 14) in den Flüssen Jakartas zeigen deutliche Überschreitungen der biologischen Qualitätsstandards und sind eindeutige Indikatoren für das Einleiten von nicht ausreichend behandeltem häuslichen Abwasser.

4.3 Grundwasser

Das oberflächennahe Grundwasser (Tabelle 15) in Jakarta ist so stark belastet, dass verschiedene chemische Parameter deutlich überschritten werden. In den küstennahen Stadtteilen Jakartas (Nord- und Westjakarta) ist an den erhöhten Chloridgehalten das Eindringen des Meerwassers in den Grundwasserkörper abzulesen.

Nach Aussagen im Umweltministerium sind 55 % der Haushalte in Jakarta auf Brunnenwasser angewiesen, in denen überhöhte Keimzahlen (FC) gemessen werden. Ein Grund für die hohen Keimzahlen ist der zu geringe Abstand zwischen Grundwasserentnahmehrunnen und Abwasserversickerungsstelle (Sickerbrunnen oder einfacher Septiktank mit durchlässigen Seitenwänden oder Boden). Vom Gesundheitsministerium wird ein Mindestabstand von 9 Meter und vom Bauministerium ein Mindestabstand von 12,5 Meter empfohlen, der in den städtischen Wohngebieten nicht eingehalten werden kann.

Tabelle 15: Chemische Qualitätsparameter im Grundwasser von 96 Brunnen in DKI Jakarta (Report from SLHD, the Province DKI Jakarta, 2002, in State of the Environment in Indonesia 2002, MoE 2004)

| Region | Anorganische Substanzen | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|------------|-------------|-----------|
| | Fe mg/l | Mn mg/l | CaCO ₃ mg/l | Cl mg/l | F mg/l | pH - |
| Zentral | 0,02 - 1,40 | 0,04 - 5,59 | 100 - 400 | 40 - 100 | 0,03 - 0,19 | 5,8 - 7,3 |
| Südjakarta | 0,01 - 2,90 | 0,01 - 0,38 | 90 - 360 | 4,7 - 40 | | 4,9 - 7,4 |
| Westjakarta | 0,01 - 3,94 | 0,02 - 5,11 | 100 - 1 060 | 7,5 - 990 | 0,01 - 6,52 | 5,5 - 7,0 |
| Ostjakarta | 0,02 - 0,93 | 0,01 - 2,46 | 757 - 630 | 5 - 240 | 0,0 - 0,07 | 4,4 - 7,6 |
| Nordjakarta | 0,02 - 1,86 | 0,26 - 3,96 | 70 - 1 480 | 50 - 990 | 0,19 - 0,89 | 5,5 - 7,6 |
| Vergleichs- standard | 1,0 | 0,5 | 500 | 500 | 1,5 | 6,5 - 9,0 |

Da die Wasserqualitäten nicht die gesundheitlichen Anforderungen erfüllen, treten bei der Bevölkerung überdurchschnittlich viele Fälle an Hauterkrankungen und

Magen-Darmbeschwerden auf. 2001 wurden in der Provinz DKI Jakarta 223 000 (10 %) neue Fälle an Hautinfektionen, 84 000 (2 %) neue Fälle an Diarrhö, 5 000 (0,2 %) neue Fälle an Dysenterie und 43 000 (2 %) neue Fälle an Darminfektionen registriert. Die Hauterkrankungen sind die zweithäufigste Infektionskrankheit nach den Hals- und Naseninfektionen.

5 Abwasserreinigung

5.1 Kommunale Zentralkläranlagen

5.1.1 Allgemeine Angaben

Die Angaben zu der Kanalisation und den Zentralkläranlagen beruhen auf eigenen Beobachtungen während der Erhebung im Juli 2004 und auf Auswertungen verschiedener Berichte (Urban development sector unit, 1999; Ministry of Environment, 2003; BORDA, 2004).

Die ersten modernen Abwasserableitungssysteme in Indonesien wurden von den Niederländern in verschiedenen Städten, wie Bandung, Cirebon, Surakarta (Solo) und Yogyakarta in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts gebaut. In den letzten 20 Jahren hat die indonesische Regierung diese mit Unterstützung multilateraler und bilateraler Organisationen ausgebaut und weitere Abwasserbehandlungssysteme in anderen Städten, einschließlich Jakarta, Medan und Tangerang, entwickelt. Weiterhin ist die weitaus größte Zahl der städtischen Bevölkerung auf die Abwasserentsorgung am Ort angewiesen. Gemäß dem Nationalen Aktionsplan Abwasser, 2004, ist von indonesischer Seite nicht geplant, große Teile an eine zentrale Abwasserkanalisation anzuschließen, vielmehr wird der Ausbau von dezentralen Abwasserreinigungsanlagen gefördert.

Die indonesische Regierung hat in den letzten Jahren immer mehr in die Wasserversorgung als in die Abwasserableitung und -behandlung investiert. Im Fünf-Jahresplan 1988 bis 1993 wurden 1 760 Mio. US\$ für die Wasserversorgung und 300 Mio. US\$ (17 % davon) für die Wasserentsorgung und im Fünf-Jahresplan von 1994 bis 1999 1 380 Mio. US\$ für die Wasserversorgung und 590 Mio. US\$ (43 % davon) für die Entsorgung veranschlagt. Davon wurden für die städtische Abwasserentsorgung 210 Mio. US\$ überwiegend für die dezentrale Abwasserbehandlung eingeplant. Die Investitionskosten pro Stadt sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Tabelle 16: Investitionen zur Abwasserableitung und -behandlung pro Stadt

| Stadt | Investitionskosten Mio. US\$ |
|------------|---------------------------------|
| Bandung | 32,0 |
| Cirebon | 4,5 |
| Jakarta | 17,0 |
| Medan | 20,0 |
| Surakarta | 6,0 |
| Tangerang | 1,7 |
| Yogyakarta | 30,8 |

5.1.2 Kanalisation

- Bandung

Das ursprüngliche Kanalnetz in Bandung wurde von den Niederländern im Jahr 1916 gebaut. Die nach dem damaligen Gouverneur Inhoff benannte Abwasserbehandlungsanlage bestand aus einem Dortmundbrunnen mit Gassammlung, einem Gasspeicher und Schlamm-trockenbecken für die anfallenden Schlamm-mengen und hatte eine Ausbaugröße von 15 000 EW. In den 80er Jahren wurden von der Asian Development Bank drei Bandung-Stadtentwicklungsprojekte (BUDP I, II, III) finanziert, in denen zwei getrennte Kanalnetze aufgebaut wurden, von denen nur das östliche Kanalnetz zu einer Zentralkläranlage führt. Das westlich-zentrale System, das das alte niederländische System enthält, erfasst 2 000 ha, das östliche System 800 ha; zusammen sind 17 % der Stadtfläche angeschlossen.

Das Kanalnetz Bandungs hat etwa 90 000 Hausanschlüsse für 450 000 Einwohner (20 % der Stadtbewohner). Etwa 20 000 sind direkte Hausanschlüsse, die übrigen sind über Verbindungskanäle oder Inspektionskammern angeschlossen. Einige Kleinindustrie- und Gewerbebetriebe sowie Krankenhäuser leiten ohne Genehmigung und Überwachung direkt in das Netz ein.

In Bandung und in Cirebon wird das ankommende Abwasser über Hebewerke mit jeweils drei Schraubepumpen (Bild 8) auf das Höhenniveau der Kläranlage angehoben.



Bild 8: Hebewerk der Großkläranlage BojongSoang in Bandung

- Cirebon

Die Stadt Cirebon hat drei Kanalsysteme: ein 1920 gebautes Mischsystem für Regen- und Abwasser eines Gewerbegebietes, ein 1978 gebautes System für PERUMNAS-Wohngebiete und ein mit Schweizer Unterstützung 1996 gebautes System. Die nationale Wohnungsbaugesellschaft PERUMNAS baut Wohnungen mit niedrigeren Standards. Es sind bevorzugte Wohnungen für Staatsbedienstete der niedrigen Einkommensstufen. Insgesamt sind 384 ha (9,7 % der Gesamtfläche) angeschlossen. Mit 19 000 Anschlüssen werden 90 000 Einwohner oder 32 % der Stadtbewohner bedient.

- Jakarta

Das Kanalnetz im Stadtzentrum Jakartas wurde in den letzten 20 Jahren im Weltbankprogramm Jakarta Sewerage and Sanitation Program (JSSP) ausgebaut. Die Stadt besitzt weiterhin ein einfaches Kanalsystem für die PERUMNAS-Wohngebiete. Mit insgesamt 2 200 Anschlüssen wird das Abwasser von 220 000 (2,8 % der Stadtbevölkerung) Personen auf einer Anschlussfläche von 1 800 ha entsorgt.

- Medan

Das Kanalsystem für die Stadtmitte Medans wurde in den ADB Medan Urban Development Projekten I und II gebaut. Die Anschlussfläche von 530 ha beträgt 1,9 % der Stadtfläche. Die 7 400 Anschlüsse dienen für 49 000 Bewohner

(2,25 % der Stadtbevölkerung). Medan ist so flach, dass fünf Pumpstationen für die Wasserförderung installiert sind. Die installierten Pumpen müssen sehr häufig repariert werden. Die Rohrleitungen haben auf Grund der Setzungen in den sandigen Böden viele Undichtigkeiten.

- Solo

Das Kanalnetz in Solo besteht aus einem 1940 von den Niederländern gebauten Netz im Süden der Stadt und einem 1984 gebauten System für PERUMNAS-Wohngebiete. Beide Netze sind bis 2000 im Weltbank Semarang-Surakarta Urban Development Projekt (SSUDP) ausgebaut worden. Die Systeme umfassen 1 165 ha (26 % der Stadtfläche) und bedienen 70 000 Personen (13 % der Stadtbewohner) mit etwa 8 000 Anschlüssen.

- Tangerang

Tangerang hat zwei Kanalnetze. Das PERUMNAS-System wurde in den späten 70ern gebaut. Ein zweites Anfang der 90er Jahre fertig gestelltes Netz erstreckt sich über zwei weitere Stadtteile. Mit 9 800 Anschlüssen werden 46 000 Personen (4 % der Stadtbewohner) bedient.

- Yogyakarta

Die Stadt Yogyakarta hat ein niederländisches Netz aus den 30er Jahren und ein Kanalnetz im Komplex der Gajah Mada Universität aus den 90ern. Die Versorgungsfläche beträgt 1 250 ha (6 % der Stadtfläche). 10 000 Anschlüsse leiten Abwasser von 85 000 Einwohnern (10 % der Stadtbewohner) ab.

- Denpasar, Ujung Pandang, Banjarmasin

Auf Bali wird für das Stadtzentrum der Hauptstadt Denpasar in zwei Phasen das Denpasar Sewerage Development Projekt umgesetzt. In einer ersten Phase wird für die Entsorgung der Stadtmitte und der Touristenzentren Kuta und Sanur ein Kanalnetz für eine Fläche von 1 750 ha und für 150 000 Personen verlegt. Das Projekt wird durch ein OECF-Darlehen und die Zentralregierung finanziert. Seit 2004 werden Hauptsammler und Hausanschlussrohre (Bild 9 und Bild 10) verlegt. Der Bau der Kläranlage ist für 2006 vorgesehen und für einen späteren Zeitpunkt die Anschlüsse an die einzelnen Häuser.

Im Ujung Pandang Projekt, Südsulawesi, werden drei Systeme für ein Versorgungsgebiet von 650 ha und eine Versorgung von 220 000 Personen gebaut. Der Masterplan wurde mit japanischer Finanzierung aufgestellt.

Das Weltbankprojekt Kalimantan Urban Development Project (KUDP) unterstützt Pilotprojekte in Banjarmasin und Balikpapan, Südkalimantan, für Versorgungsgebiete von 20 ha und 40 ha sowie eine Versorgung von 5 000 Personen.



Bild 9: Kanalrohre mit Anschlussstutzen, Denpasar-Entwicklungsprojekt



Bild 10: Übergabekontrollschacht, Denpasar-Entwicklungsprojekt

- Zusammenfassende Angaben

Die meisten Kanalnetze haben ein Höhengefälle und fließen frei ab. In einigen Netzen werden an bestimmten Punkten Förderpumpen eingesetzt, um das Abwasser so zu heben, dass es frei zur Abwasserbehandlungsanlage fließen kann.

Kleinere Kanalrohre (< 400 mm) sind meistens aus PVC, Betonrohre werden für größere Rohrdurchmesser verwendet. An einigen Stellen werden Glasfibrerohre eingesetzt. In Yogya sind die Kanalrohre eiförmig.

In den alten Kanalnetzen der Städte Bandung, Cirebon, Solo und Yogya wird Flusswasser in das Kanalnetz eingeleitet, um das Abwasser zu verdünnen und Ablagerungen abzuspielen.

Auf Grund schlechter Materialqualität sind häufige Reparaturarbeiten an Pumpstationen wie in Medan erforderlich.

Die Wartung wird größtenteils vernachlässigt. Rohre sind blockiert und verstopft mit Abfällen, Schlamm und Fetten. Abdeckungen von Mannlöchern fehlen. Mannlöcher sind überbaut. In Bandung und Medan werden regelmäßig die Mannlöcher, Rohre und Pumpen routinemäßig gereinigt.

In Tabelle 17 sind die Kennzahlen der Kanalsysteme für sieben Städte zusammengestellt.

Tabelle 17: Anzahl der Hausanschlüsse, der angeschlossenen Einwohner und der angeschlossenen Fläche

| Stadt | Anzahl der Hausanschlüsse | Zahl der angeschlossenen Einwohner | Prozentualer Anteil an der Gesamtbevölkerung der Stadt | Angeschlossene Fläche (% der Gesamtfläche) |
|------------|---------------------------|------------------------------------|--|--|
| Bandung | 90 000 | 450 000 | 20 | 17 |
| Cirebon | 18 800 | 90 000 | 32 | 9,7 |
| Jakarta | 2 300 | 220 000 | 2,8 | n. a. |
| Medan | 7 400 | 49 000 | 2,3 | 1,9 |
| Surakarta | 8 000 | 70 000 | 13 | 26 |
| Tangerang | 9 800 | 46 000 | 4 | n. a. |
| Yogyakarta | 10 100 | 85 000 | 10 | 6 |

5.1.3 Abwasserbehandlungssysteme

In Tabelle 18 sind Daten über Abwasserbehandlungsanlagen, die im Nationalen Aktionsplan Abwasser 2005 bis 2015 gelistet sind und für die weitere Strategieentwicklung dienen, zusammengestellt. Anhand dieser Daten können nicht die wirklichen Zulaufmengen und Wirkungsgrade abgelesen werden, da von den Betreibern vielfach nicht die Daten erhoben, überprüft und an die nationale Regierungsstelle gemeldet werden. Der am weitesten verbreitete Behandlungsprozess ist die Behandlung in belüfteten Abwasserteichen. In Medan wird ein anaerober Schlammbettreaktor (UASB) vor dem belüfteten Teich betrieben. In Banjarmasin werden Erfahrungen mit einem Scheibentropfkörper (RBC) gesammelt.

Tabelle 18: Abwasserbehandlungsanlagen in Indonesien (National Action Plan 2005-2015, 2004)

| Stadt | Gesamt- einwoh- nerzahl | Gesamte Fläche ha | Angeschlossene Einwohner, bzw. %-Anteil | | Angeschlossene Fläche, bzw. %-Anteil | | Geplante Zulauf- menge und Wir- kungsgrad | |
|-------------|-------------------------------|-----------------------------|---|-------|--|-------|---|-------|
| | Personen | | Personen | % | ha | % | m ³ /d | % eff |
| Balikpapan | 436 029 | 50 331 | 7 764 | 1,8 | 40 | 0,1 | 800 | k. A. |
| Banjarmasin | 579 362 | 7 200 | 50 | 0,0 | 20 | 0,3 | 500 | 93,3 |
| Bandung | 2 250 000 | 16 729 | 420 000 | 18,7 | 6 000 | 35,9 | 243 000 | 91,7 |
| Cirebon | 269 478 | 3 736 | 60 000 | 22,3 | 120 | 3,2 | 13 500 | k. A. |
| Denpasar | 459 384 | 23 653 | 181 600 | 35,2 | 1 655 | 7,0 | 51 000 | k. A. |
| Jakarta | 9 175 600 | 65 570 | 1 659 000 | 20,3 | 6 260 | 9,6 | 462 600 | 66,7 |
| Medan | 1 974 300 | 26 500 | 51 000 | 2,6 | 450 | 1,7 | 30 000 | k. A. |
| Prapat | k. A. | k. A. | 100 | k. A. | 70 | k. A. | 2 010 | 85,0 |
| Surakarta | 539 387 | 4 404 | 4 000 | 0,7 | 60 | 1,4 | 2 000 | 95,8 |
| Tangerang | 1 320 600 | 18 378 | 45 700 | 3,5 | 82 | 0,4 | 5 500 | k. A. |
| Yogyakarta | 906 237 | 20 304 | 60 726 | 6,7 | 1 220 | 6 | 15 500 | 87,9 |
| Gesamt | 17 910 377 | 236 805 | 2 489 940 | 13,9 | 15 977 | 6,75 | 826 410 | |

In Bandung werden grobe Stoffe in einer Grob- und Feinrechenanlage abgetrennt (siehe Fließschema in Bild 11). Sandige Bestandteile werden in Rundsandfängen abgetrennt. Das mechanisch gereinigte Wasser wird in einem Teichsystem aus insgesamt 14 Teichen biologisch gereinigt.

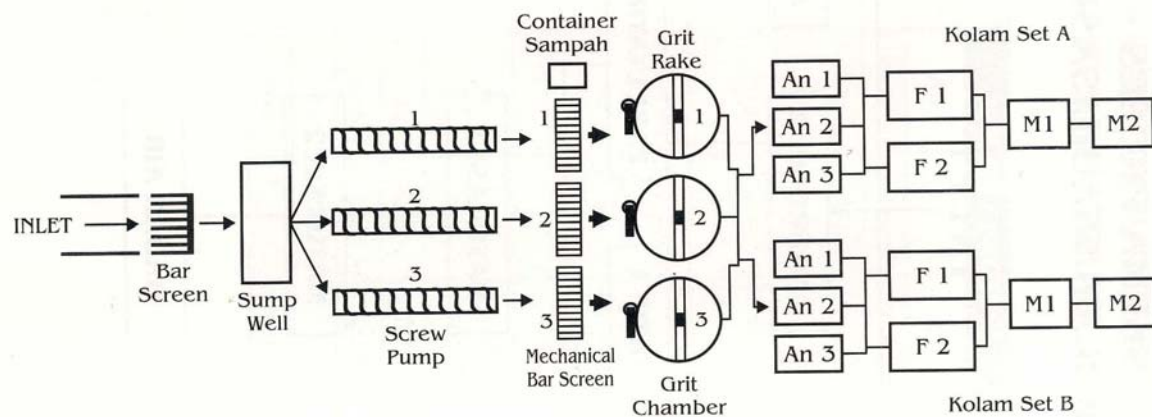


Bild 11: Fließschema der kommunalen Kläranlage in Bandung (An = anaerober Teich, F = fakultativer Teich, M = Schönungsteich).

Tabelle 19 zeigt überprüfte technische Daten ausgewählter Behandlungsanlagen. Die meisten Anlagenabläufe erfüllen in der Regenzeit die örtlichen Wasserqualitätsstandards. Dies liegt jedoch an der hohen Infiltration von Grundwasser in das Kanalnetz oder an dem Betrieb einer Kombination aus Abwasserableitungs- und Regenwasserentwässerungssystem.

Tabelle 19: Abwasserbehandlungsanlagen in Indonesien

| Behandlungsverfahren | Bandung | Cirebon | Jakarta | Medan | Solo | Tangerang | Yogyakarta |
|--|----------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| | Belüftete und unbelüftete Teiche | Belüftete und unbelüftete Teiche | Belüftete Teiche | UASB, fakultativ betriebene Teiche | Belüftete Teiche | Belüftete und anaerobe Teiche | Belüftete Teiche |
| Geplante Zulaufmenge (m ³ /d) | 81 000 max. 243 000 | 16 000 | 43 000 | max. 20 000 | 3 750 | 5 500 | 15 500 |
| Gemessene Zulaufmenge (m ³ /d) | 30 000 - 50 000 | 8 000 | 21 600 | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. |
| BSB ₅ -Zulaufkonzentration (mg/l) | 360 | 100 - 225 | 146 | k. A. | 385 | k. A. | k. A. |

Vielfach kann die geplante Anzahl an Hausanschlüssen nicht erreicht werden. An mehreren Standorten sind die Behandlungsanlagen deshalb nicht ausgelastet, entsprechend wird, wie in Bandung, die geplante Zulaufmenge nicht erreicht. Das

Kanalnetz an diesen Standorten hat undichte Stellen, durch die in der Trockenzeit das Abwasser versickert. In Bandung arbeitet die Anlage seit Jahren bei etwa 30 bis 40 % ihrer Kapazität. In einigen Anlagen können die Abwässer nicht mit der installierten einfachen Technik (Bild 12) behandelt werden, so dass weitergehende Behandlungsstufen, wie Filtrations- oder Schwermetalleliminationsstufen, erforderlich sind. In Bandung stören Einleitungen von Metall verarbeitenden Kleinindustrien und gewerblichen Betrieben den Abbauprozess. Im Ablauf werden regelmäßig hohe Schwermetallgehalte gemessen. In Yogyakarta verursachen die Einleitungen der Batikfärbereien Behandlungsprobleme.



Bild 12: Oberflächenbelüftung, Fa. MTO2, Abwasserteich der KA Semanggi

In Solo sind die Belastungen der KA Mojosongo so gering, dass die gebauten Schlamm-trockenbeete seit dem Bau noch nie benutzt wurden.

Einige Behandlungsanlagen sind zu einem öffentlichen Gesundheitsrisiko geworden, weil sie einen offenen Zugang erlauben. In Solo, Medan, Bandung und Yogyakarta fischen örtliche Anwohner in den Abwasserteichen. In einer von der PDAM Bandung finanzierten Studie wurden Schwermetallgehalte in den Abwasserteichfischen der KA BojongSoang gemessen. Danach liegen die Konzentrationen im Fischfleisch für Quecksilber, Blei, Cadmium, Chrom und Kupfer deutlich über den erlaubten Maximalwerten. Gründe für die hohen Schwermetallwerte liegen in den Einwaschungen der Straßenabläufe, die Verwendung von verbleitem Kraftstoff und das Eintragen durch die hohen Niederschläge, sowie Einträge der Metall verarbeitenden Industrie, einschließlich der im Einzugsgebiet liegenden Waffenfabrik. In Cirebon baden Kinder in den Teichen.

Das Wasserversorgungsunternehmen PDAM Solo gibt die abgesaugten Schlammengen direkt an die Besitzer von Salak-Plantagen als organischen Dünger und Bodenverbesserer weiter.

Das Wissen von angemessenen Kenntnissen über einen ordentlichen Betrieb fehlt, mit der Folge, dass der Betrieb und die Wartung nicht ausreichend sind. Die Laboreinrichtungen an den Kläranlagen sind nicht ausgerüstet, angemessene Analysen durchzuführen.

5.1.4 Institutionen für die Abwasserableitung und -behandlung

In Bandung, Cirebon, Medan und Solo sind die Wasserversorgungsunternehmen (PDAM) der Städte für den Betrieb und die Wartung der Kanalnetze verantwortlich. Hier existieren eigenständige Abteilungen für Abwasser (Divisi Air Kotor), die dem leitenden Direktor oder dem Technischen Direktor Bericht erstatten. Sie haben eigene Abteilungen für die Planung und den Betrieb. Jakarta besitzt ein eigenständiges Abwasserunternehmen, Perusahaan Daerah Air Limbah (PD PAL JAYA).

In Tangerang wird das PERUMNAS Kanalnetz von einer städtischen Abwassertechnikabteilung betrieben. Das andere System wird noch von dem Wasserversorgungsunternehmen PDAM betrieben.

In Yogyakarta wird die Kläranlage von dem Bauamt der Provinz geleitet. Seit 1999 hat eine abgetrennte Agentur, ähnlich wie die PD PAL JAYA, die Verantwortung über das Kanalnetz im Großraum Yogya.

In vielen Städten ist die Verantwortlichkeit über das Entschlammn der Hauskläranlagen (Septiktanks) und den Betrieb der Schlammbehandlungsanlagen (IPLT) nicht vollständig geklärt. Die Abteilungen für die Kanalnetze und das Stadtreinigungsamt haben eine informelle Verantwortung für diese Aktivitäten.

Öffentliches Bewusstsein: Im Allgemeinen haben die Bewohner nur begrenzte Kenntnisse über das Abwasserableitungs- und -behandlungssystem. Die Anwohner wissen teilweise nicht, an welcher Stelle sie eine Rohrverstopfung melden können. In verschiedenen Stadtteilen von Solo bauen Bewohner Hauskläranlagen, obwohl ihr Stadtteil an die Kanalisation angeschlossen ist. Bei Verstopfungen unterbrechen Benutzer das Rohrsystem und leiten ihr Abwasser in offene Gräben ab.

5.2 Dezentrale Abwasserreinigungsanlagen

5.2.1 Allgemeine Angaben, „Versorgungslücke (sanitation gap)“

In großskaligen Infrastrukturentwicklungsprojekten werden Entsorgungsdienstleistungen von 60 bis 70 % der städtischen Bevölkerung angestrebt. In Indonesien sind auf Grund des geringen Einkommens der großen Bevölkerungsmehrheit sowie der rechtlichen und technischen Faktoren große Zentralkläranlagen nicht wirtschaftlich umsetzbar. Die häusliche Abwasserbehandlung beruht traditionell auf einzelnen Hauskläranlagen und Kleinkläranlagen für zwei Toiletten, die in den letzten Jahren von einer unten offenen Sickergrube zu Mehrkammergruben mit verschiedenen Füllkörpern und Kontaktmedien weiterentwickelt worden sind. Seit etwa zehn Jahren laufen technische Entwicklungsprojekte, die unter dem Begriff „community based sanitation (CBS)“ kleine Abwassersammelnetze und mittelgroße Kläranlagen für etwa 100 bis 300 Hausanschlüsse entwickeln. Damit wird versucht, die Versorgungslücke („sanitation gap“, Bild 13) zwischen den Einzelkläranlagen, die durch die ortsnahe Versickerung oder Ableitung hohe gesundheitliche Risiken für die Anwohner verursachen, und den Zentralkläranlagen, die auf Grund der sozioökonomischen Faktoren nicht wirtschaftlich betrieben werden können, zu schließen.

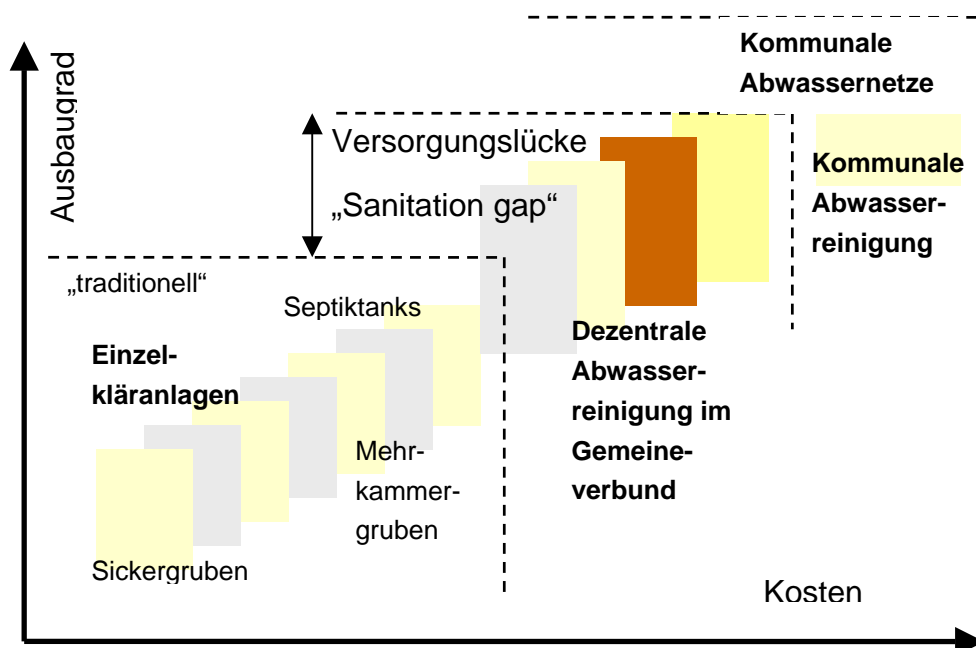


Bild 13: Allgemeine Kosten und Ausbaugrad verschiedener Abwasserreinigungssysteme

5.2.2 Beispiele und Bautypen der dezentralen Abwasserreinigung

Ein Kernprinzip der Gemeinde-Abwasserbehandlung ist die freie Wahl der technischen Ausführungen und Reaktortypen. Typische Abwasserbehandlungsanlagen werden aus einer begrenzten Anzahl von Einzelbehandlungsstufen zusammengesetzt. Dabei stellt ein Beraterteam technische und wirtschaftliche Informationen zur Verfügung. Typische Einzelbehandlungsstufen sind:

- Anaerobfilter,
 - Mehrkammerwirbelbettreaktoren (baffled reactor),
 - Teichanlagen,
 - Pflanzenkläranlagen,
 - Biogasreaktoren,
 - Sedimentationsbecken,
 - Schlamm-trockenbeete.
-
- **Einzelhauskläranlagen**

Für die Verbreitung von Einzelhauskläranlagen existieren bereits günstige Normanlagen. Das Abwasserentsorgungsunternehmen PD Pal JAYA in Jakarta produziert Nachbauten aus Fiberglas von genormten Musterbehälter und Anlagenteilen aus Malaysia (Bild 14) zur Verteilung an Einzelhaushalte in ihrem Versorgungsgebiet.



Bild 14: Nachbauten von malaysischen Prototypen für Einzelkläranlagen (PD PAL JAYA)

- **Biofilteranlagen**

Biofilteranlagen (Bild 15) werden vom indonesischen Bauministerium als Weiterentwicklung der Sickergruben als Abwasserbehandlungsanlagen für Einzelhäuser verbreitet.

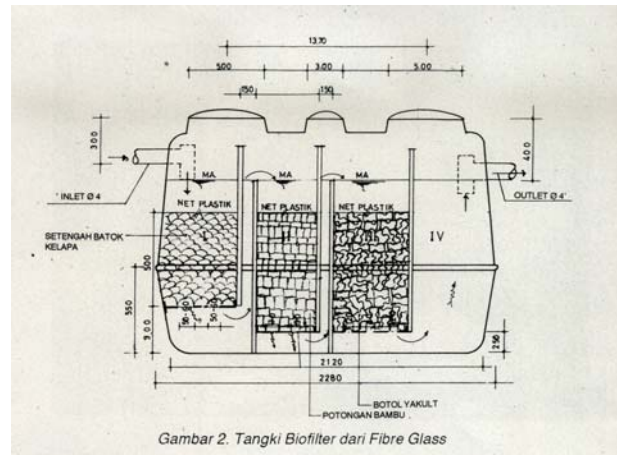


Bild 15: Außenansicht und Schema eines Biofilters (Dep. Pemukiman)

Die Forschungs- und Entwicklungsabteilung des Bauministeriums führt Abwasserbehandlungsversuche durch, in denen verschiedene lokale Filter- und Kontaktmedien wie Bambusringe, Kokosshalen, Plastikfüllkörper, modifizierte Eierpackungen oder Plastikbänder (Bild 16) eingesetzt werden.

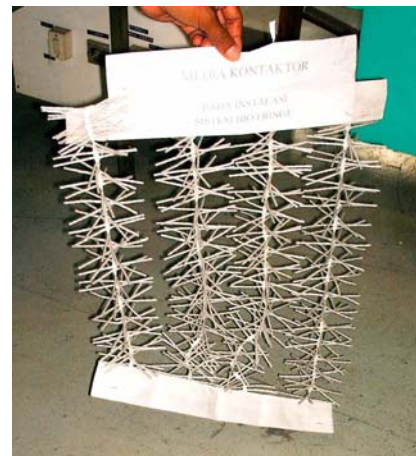


Bild 16: Filtermaterialien und Kontaktmedien für den Einbau in Filteranlagen

- **Scheibentauchkörperanlagen**

Verfahren mit rotierenden eintauchenden Scheiben (Bild 17) werden vom Zentrum für Abwasser PUSTEKLIM mit Hilfe japanischer Finanzierung entwickelt und als Platz sparende Alternative zur Behandlung häuslichen Abwassers angeboten.



Bild 17: Scheibentauchkörperanlage vor dem Bau: Becken (links), Plastikscheiben (rechts) (PUSTEKLIM, 2004)

- **Wirbelbettreaktoren**

Von 1997 bis 2003 sind im Rahmen des überwiegend von australischer Seite finanzierten Projekts DEWATS (Decentralized Wastewater Treatment Systems) 34 Anlagen auf Java und Bali gebaut worden.

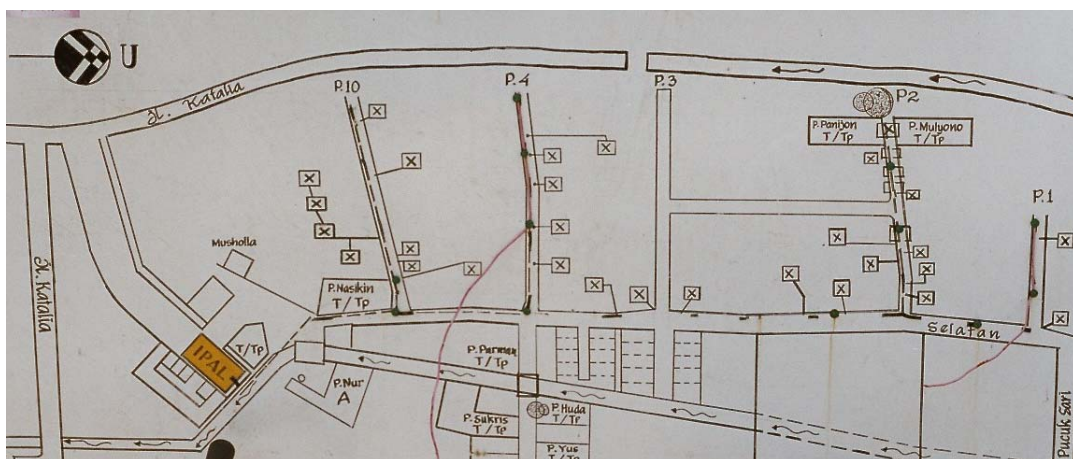


Bild 18: Abwasserkanalplan mit Lage der Hausanschlüsse, der Wartungsöffnungen und der Kläranlage (x = Hausanschluss, IPAL = Anaerobfilteranlage)

Im Bild 18 ist der Abwasserkanalplan und im Bild 19 sind die Außenansicht und ein Schema der Behandlungsanlage des Stadtteils Pucuk Sari Süd in Denpasar dargestellt. Die Behandlungsanlage besteht aus drei Absetzkammern und sechs hintereinander geschalteten Wirbelbettreaktorbecken. Die Abwassersammlung und der Kläranlagenablauf erfolgen im freien Gefälle.

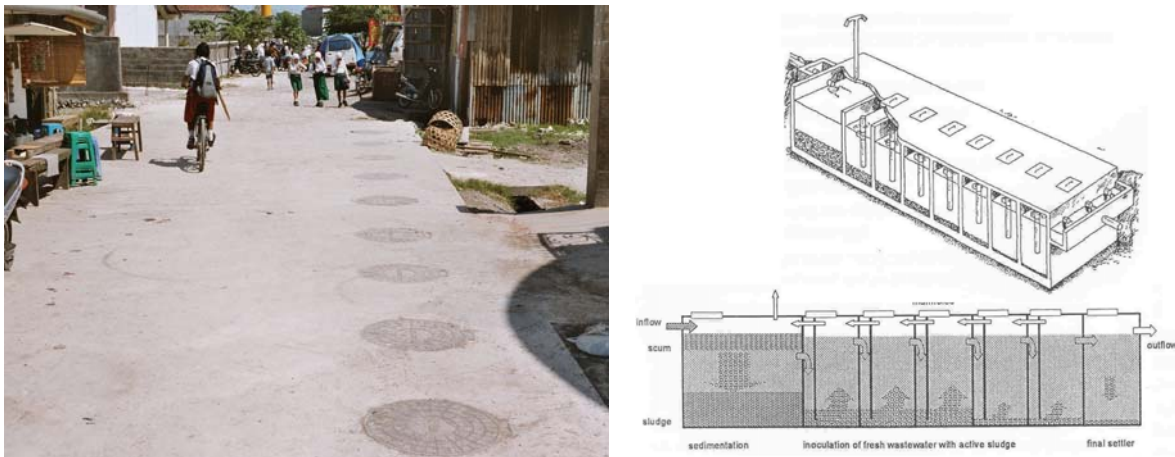


Bild 19: Außenansicht des Anaerobfilters (links), Schema eines Anaerobfilters (rechts) (DEWATS, 2004)

- **Pflanzenkläranlagen**

Für die Abwasserbehandlung des Krankenhauses (84 Betten) in Klepu bei Yogyakarta wurde eine Anlagenkombination aus Absetzbecken, anaeroben Wirbelbettreaktoren und einer nachgeschalteten Pflanzenkläranlage (Bild 20) gewählt. Das ablaufende Wasser erfüllt die nationalen Einleitebedingungen für Krankenhausabwässer.

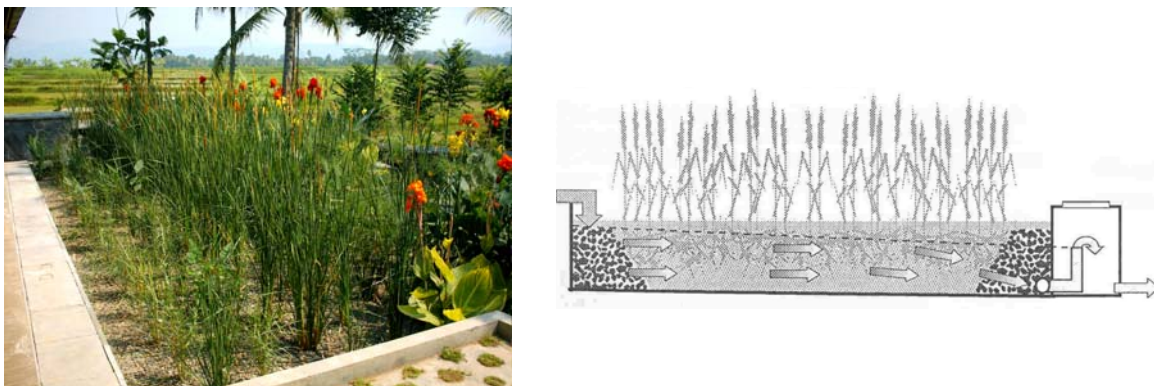


Bild 20: Pflanzenkläranlage zur Nachreinigung des Ablaufs der Anaerobfilteranlage des Hospitals Klepu, Yogyakarta (DEWATS, 2004)

- **Biogasanlagen**

In Mekarsari Jaya wird das Abwasser aus der Tahu- und Tempeproduktion (Sojabohnenprodukte) in einem Biogasreaktor und nachgeschaltetem Vierkammer-Anaerobfilter (Bild 21) gereinigt. Der Zulauf-BSB₅ wird von 7 500 mg/l auf 200 mg/l reduziert.

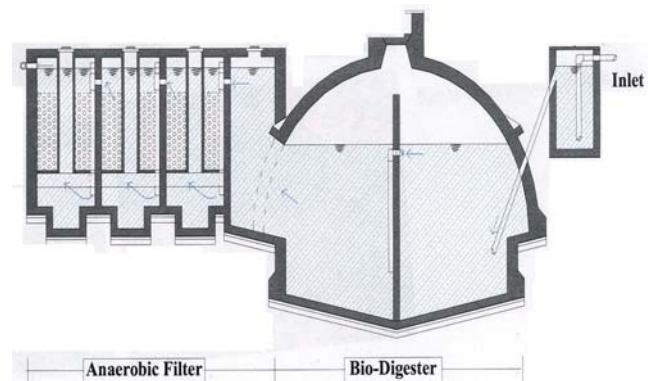


Bild 21: Anaerobfilter (links, Aufsicht), Biogasbehälter (links, überbaut am rechten Bildrand) und Schema der Anlage Mekarsari Sari Jaya, Tahu-Tempe (rechts) (DEWATS, 2004)

5.2.3 Gemeinde-Wasserversorgungs- und -entsorgungszentren (MCK)

Zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung von Wohngebieten mit niedrigen Einkommensverhältnissen werden Gemeindewasserszentren (MCKplus, Community Sanitation Centre CSC) errichtet, in denen Brauchwasser für Toiletten und BADEPLÄTZE bereitgestellt und am Ort das Abwasser gesammelt und so gereinigt wird, dass dieses direkt oberirdisch abgeleitet werden kann. Eine Ansicht und ein Schema einer typischen Anlage zeigt Bild 22. Grundwasser wird aus einer Tiefe von 100 Meter in einen Plastiktank gepumpt und gespeichert. Nach einer Filterung wird das Wasser für sechs Toiletten, sechs Waschplätze und drei Brauchwasserentnahmestellen für die Anwohner bereitgestellt. Das Abwasser durchläuft einen mehrstufigen Filter mit vorgeschaltetem Absetzbecken.

Für die Wartung ist eine Anwohnerin zuständig. Sie erhält von den Benutzern eine monatliche Vergütung, die durch direktes Bezahlen nach der Toiletten- oder Badbenutzung oder Wasserentnahme eingesammelt wird. Der Tarif liegt bei 50 IDR (0,005 EUR) pro einmalige Nutzung der Anlage. Von 1999 bis 2003 sind sieben Anlagen in Surabaya und 26 Anlagen in Tangerang errichtet worden. Diese Anla-

gen werden von der lokalen Hilfsorganisation BEST mit finanzieller Unterstützung des DEWATS-Projekts überwacht.



Bild 22: Wasserversorgungszentrum für einfache Wohngebiete mit integrierter Abwasserbehandlung mittels Anaerobfilter

5.2.4 Sonderbautypen

Die Tropfkörperbelebungsanlage der KA Soreang (Bild 23) wurde an der technischen Universität Bandung (ITB), Westjava, entwickelt und von der Verwaltung des Distrikts Bandung 1992 gebaut. Die Kapazität ist für 10 000 Einwohner oder 2 500 Hausanschlüsse geplant.



Bild 23: Tropfkörperbelebungsanlage für die Behandlung von 2 500 Hausanschlüssen in Soreang, Westjava

Die Anlage ist seit zwei Jahren außer Betrieb. Die vorgeschalteten Becken funktionieren nur noch als Hochwasserrückhaltebecken.

5.3 Zusammenfassende Aussagen zur Abwassertechnik

In Indonesien ist zurzeit etwa 1 % der Einwohner an kommunale Zentralkläranlagen angeschlossen. In den Städten besitzen etwa 60 % und in den ländlichen Gebieten etwa 20 % der Haushalte Einzelhauskläranlagen. Entsprechend haben sich in Indonesien noch keine typischen Verfahren oder typische Bauweisen im kommunalen Bereich entwickelt. Die kommunalen Anlagen verfügen im Allgemeinen über eine mechanische Reinigungsstufe mit einer Grob- und Feinrechenanlage. Als biologische Reinigungsstufe werden überwiegend mehrstufige belüftete und unbelüftete Teichanlagen gebaut. Die Vorteile der Teichanlagen sind ihre Prozessstabilität, auch bei den häufig auftretenden Unterbelastungszuständen, und die relativ günstigen Betriebskosten. Um den Nachteil des hohen Platzbedarfs zu reduzieren, sind auf den neueren Kläranlagen in Medan und Banjarmasin ein Upflow-Reaktor UASB bzw. eine Scheibentropfkörperanlage installiert worden. Ausreichende Betriebsergebnisse liegen noch nicht vor. Eine weitergehende Abwasserreinigung mit Nährstoffelimination und Schwermetallreduzierung wird noch nicht realisiert. Alle großen Kläranlagen haben keine kostendeckende Finanzierung der Wartungs- und Pflegekosten.

Die dezentrale Abwasserreinigung (DEWATS) zur Versorgung von etwa 100 Haushalten erfährt zurzeit in Indonesien eine nationale wie auch internationale Förderung. Dementsprechend haben sich verschiedene Techniken entwickelt, unter denen die Anaerobtechnik überwiegt. Da die Klärschlamm Entsorgung in Indonesien bis auf wenige Ausnahmen nicht funktioniert (der abgesaugte Schlamm wird häufig noch in Flüsse wiedereingeleitet), ist das geringe Schlammwachstum bei der Anaerobtechnik ein Vorteil gegenüber der Aerobtechnik. Da die Abwässer mit 25 bis 30 °C relativ warm sind, wirkt sich die langsamere Reaktionsgeschwindigkeit bei der anaeroben Technik nicht so negativ aus. Der geringere Bedarf an der Maschinenteknik, wie Pumpen und Belüftungseinrichtungen, und damit der geringere Bedarf an Elektrizität sind weitere Vorteile der Anaerobtechnik.

Als Bauformen sind Biogasanlagen, Anaerobfilter mit unterschiedlichen Filtermaterialien und anaerobe Wirbelbettreaktoren realisiert worden. Für das entstehende Gas besteht bei der Bevölkerung ein hoher Bedarf, so dass diese Technologie die

günstigste Anlagenvariante bei der Behandlung von Abwasser mit hohen organischen Frachten ist.

Zur biologischen Nährstoffreduzierung sind in den DEWATS-Anlagen Pflanzenklärschnecken eingesetzt worden. In Klepu laufen Versuche im halbtechnischen Maßstab zur biologischen Phosphatrückgewinnung.

6 Finanzielle Aspekte, Tarife

6.1 Anschlussgebühr

Die Anschlussgebühr variiert von Stadt zu Stadt, die einmalige Zahlung liegt zurzeit zwischen 15 und 70 EUR. Um einen Anreiz zu geben, die Anzahl der Anschlüsse zu erhöhen, bieten Städte wie Cirebon, Medan und Solo besondere Zahlungsmöglichkeiten für die Nutzer an. In Cirebon bietet die gemeinnützige Kooperative Mitra Swadaya (Partner für private Personen) Kredite für ihre Mitglieder zur Zahlung der Kanalanschlussgebühr an. In Cirebon und Medan sind die Anschlussgebühren nicht kostendeckend.

6.2 Kanalbenutzungsgebühr

Es haben sich verschiedene Praktiken entwickelt, die monatlichen Kanalbenutzungsgebühren zu entrichten. Dort, wo die öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen (PDAM) das Kanalnetz betreiben, wie in Bandung, Cirebon, Medan und Solo, wird die Gebühr in die Frischwasserabrechnung mit eingerechnet; entweder als Zuschlag zur Wasserrechnung oder durch ein Tarifsysteem in Abhängigkeit von der Wassernutzung. In Jakarta basiert das Abwassergebührensysteem auf der Größe der Wohnfläche, in Yogyakarta basiert es auf der Anzahl der gemeldeten Hausbewohner. An mehreren Stellen werden die Wassernutzer nicht zur Zahlung aufgefordert, wie in den PERUMNAS-Wohngebieten in Tangerang und bei den Anschlüssen der alten niederländischen Systeme in Solo und Cirebon. In Tangerang bezahlen Geschäfte und Betriebe 5 000 IDR/m³ (0,50 EUR/m³) Abwasser an den Anlagenbetreiber, nach Aussage im PT. German Centre, Tangerang. In Bandung müssen den 30 %igen Zuschlag auch die Bewohner in den Wohngebieten zahlen, die nicht an ein Kanalnetz angeschlossen sind.

Tabelle 20 fasst die Methoden der Abwassergebührensysteem der verschiedenen Städte zusammen.

Tabelle 20: Abwassergebührensistem

| Stadt | Methode |
|------------|--|
| Bandung | 30 % Zuschlag zur Wasserrechnung, einschließlich für die nicht angeschlossenen Abnahmestellen |
| Cirebon | 15 % Zuschlag zur Wasserrechnung, einschließlich für die nicht angeschlossenen Abnahmestellen, plus 25 % Umweltgebühren, zahlbar an die Stadt |
| Medan | Basierend auf der Wasserentnahme, der Wohnfläche und der Art der Wohnungsnutzung (privat, gewerblich) |
| Surakarta | Basierend auf der Wasserentnahme |
| Tangerang | Nicht berechnet |
| Yogyakarta | Basierend auf der Größe der Wohnfläche und der Wohnungsnutzung (privat, gewerblich); außerhalb des Stadtzentrums liegende Gebiete werden nicht abgerechnet |
| Serpong | 100 % Zuschlag zur Wasserrechnung |

Beispielhaft sind für die Stadt Solo die Einzeltarife des Tarifsystems für die Abwassergebühr in Tabelle 21 aufgelistet. Das im Jahre 2000 aufgestellte System wurde bereits zweimal revidiert, um den Anwohnern den finanziellen Anreiz zu erhöhen, ihr Haus anschließen zu lassen. Von anfänglich 12 500 IDR (1,25 EUR) pro Monat wurde der Tarif über 7 500 IDR auf 5 000 IDR (0,50 EUR) gesenkt.

In Tabelle 22 sind Kosten verschiedener dezentraler Anlagen zusammengestellt. Danach liegt die monatliche finanzielle Belastung pro Haushalt zwischen 1 200 und 3 100 IDR (0,12 und 0,31 EUR). Dieser Betrag wird von lokalen Vertrauenspersonen pro angeschlossenem Weg (Stichstraße) eingesammelt. Die monatlichen Operationskosten beinhalten den monatlichen Lohn von 200 000 IDR (20 EUR) für eine lokale Person, die für die Pflege und Wartung der Anlagen zuständig ist.

In den Gemeindewasserversorgungseinrichtungen (MCKplus) liegen die Benutzungsgebühren (Toilette, Badekammer oder Wasserentnahme) zwischen 50 und 500 IDR (0,005 und 0,05 EUR).

Tabelle 21: Struktur der Tarife für die Abwassergebühr der Stadt Surakarta
(Pemberitahuan PDAM Solo, 2002)

| Nr. | Stufe | Einteilung | Monatl. Tarif (IDR) | |
|-----|-----------------------|--|---------------------|-----------------|
| 1 | Private Haushalte | | | |
| | Haushalte, Größe I | Wohnfläche kleiner als 21 m ² Gebetshäuser, Waisenhäuser Soziale Einrichtungen | | 5 000 |
| | Haushalte, Größe II | Wohnfläche größer als 21 m ² , MCK (Sanitäre Gemeinschaftseinrichtungen) | 2000 2002 | 12 500 7 500 |
| | | PUSKESMAS (örtliche gesundheitliche Versorgungszentren) | ab 2004 | 5 000 |
| 2 | Gewerbe | | | |
| | Kommerziell, Größe I | Schulen, Regierungseinrichtungen Kleine Geschäfte, Motorradwerkstätten und -waschplätze Wohnkomplexe des Militärs und der Polizei Arztpraxen, Apotheken | | 20 000 |
| | Kommerziell, Größe II | Große Geschäfte, Essenzulieferbetriebe (Catering) Autowerkstätten und -waschplätze Private Labors, Versicherungsanstalten, private Polikliniken, Wohnheime Freizeiteinrichtungen (Diskotheken, Kinos, Kaffeehäuser, Singhallen) | | 30 000 |
| 3 | Geschäfte | | | |
| | Geschäfte, Größe I | Kleine Hotels, Essenshäuser Kleine Unternehmen (< 100 Mitarbeiter) Supermärkte, Automobilverkaufshäuser Staatliche Krankenhäuser | | 50 000 |
| | Geschäfte, Größe II | Große Hotels (Sterne ausgezeichnet) Große Unternehmen (> 100 Mitarbeiter) Restaurants, private Krankenhäuser Mehrstöckige Bürogebäude | | 100 000 |

Tabelle 22: Kosten verschiedener dezentraler Anlagen (DEWATS Informationen, 2002)

| Anlage | Anzahl der Hausanschlüsse | Anzahl der Bewohner | Zulaufmenge | Monatliche Kosten pro HA | Monatliche Operationskosten | Baukosten |
|----------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------|
| | HA | | m ³ /d | IDR | IDR | Mio. IDR |
| Mekarsari Pucuk | 100 | 500 | 50 | 3 100 | 302 000 | 269 |
| Mekarsari Jaya | - | - | 20 | 1 500 | - | 85 |
| Mekarsari Jaya Tahu/ Tempe | - | - | 50 | 1 200 | - | 112 |

6.3 Kosteneffizienz

Alle kommunalen Kanalnetz- und Kläranlagenbetreiber werden von der Regierung subventioniert, um die Betriebs- und Wartungskosten zu tragen. In Yogya, Medan, Tangerang und Solo tragen die Provinzbehörden alle Kosten. Dies ist teilweise notwendig, da es nicht gelungen ist, die geplante Anzahl an Hausanschlüssen zu realisieren. In Medan sind nur 7 400 anstatt 30 000 und in Yogya 10 000 anstatt 17 000 geplanter Anschlüsse erreicht worden. Zum Teil werden keine Tarife verlangt oder sind nicht kostendeckend. Vielfach sind die Anwohner finanziell nicht in der Lage, die für sie relativ hohen Kosten zu bezahlen, oder es fehlt ihnen das Verständnis für einen Hausanschluss. Bei den kleinen dezentralen Anlagen wird eine Kostendeckung der normalen Wartungs- und Pflegearbeiten erreicht. Die Kosten für die Investition und für besondere Maßnahmen wie größere Reparaturarbeiten müssen von anderer Seite (Projekt) subventioniert werden.

7 Wiederverwendung von Wasser und Wasserinhaltsstoffen

7.1 Wiederverwertung von gereinigtem Wasser

Die Wiederverwertung von Wasser wird in Indonesien bereits seit Jahren in der Bewässerung für Reisfelder praktiziert. Trotz vorhandener Mindeststandards für die Bewässerung wird in mehreren Provinzen Flusswasser minderer Qualität in die Reisfelder geleitet.

Im BMBF-Projekt BMFT 02WA 414 „Verwertung von biologisch vorbehandeltem häuslichen Abwasser mit Tropfkörperanlagen und Teichsystemen in Reisfeldern“ (Bild 24) wurden Grundlagen und zu stellende Anforderungen an eine Wiederverwertung von Abwasser mit den Mitarbeitern des indonesischen Bauministeriums erarbeitet und den dortigen Behörden vermittelt. Als Vorbehandlungsmaßnahmen wurden Filterungen mit hoch- und schwach belasteten Tropfkörpern und die Behandlung in Teichen mit dem Ziel einer weitgehenden Entkeimung untersucht. Hohe Phosphor- und Nitratgehalte wurden als Düngestoff in der Reisproduktion wiederverwertet.



Bild 24: Schwachbelasteter Bambustropfkörper zur Vorbehandlung von häuslichem Abwasser (BMBF-Projekt 02WA414)

Großtechnisch wird die Wasserwiederverwendung in Bandung praktiziert. Das in der KA Bojong_Soang gereinigte Wasser wird zu 60 bis 80 %, bezogen auf den Gesamtablauf, abgepumpt und zur Speisung von Fischteichen (Bild 25), in denen Karpfen und Gouramis aufgezogen werden, eingesetzt. Damit ist eine ganzjährige, hoch profitable Landnutzung möglich. Ohne diese zusätzliche Wasserquelle könnte dieses Land nur zum Reisanbau genutzt werden, dessen Ertrag unter dem der Fischteiche liegen würde.



Bild 25: Wasserentnahmepumpen am Schönungsteich der KA Bojong_Soang, Bandung, zur Befüllung der Fischteiche

7.2 Wiederverwertung von Wasserinhaltsstoffen

7.2.1 Wiederverwertung des gewonnenen Biogases

Im DEWATS-Projekt sind mehrere Kombi-Anlagen zur Behandlung von Abwässern der Industrie zur Produktion von Sojaprodukten (Tahu, Tempe) konzipiert und gebaut worden, die eine anaerobe Reaktorstufe mit Biogasgewinnung beinhalten. Dieses gewonnene Biogas wird an mehreren Standorten je nach Bedarf zur Innen- und Außenbeleuchtung oder zur Speisenzubereitung und Herstellung von Tahu- und Tempeprodukte verwendet (Bild 26).



Bild 26: Mit Biogas betriebene Außenbeleuchtung und Gaskocher

7.2.2 Wiederverwertung von produzierter Biomasse

Wasserhyazinthen werden in Teichanlagen und Pflanzenkläranlagen zur Wasserreinigung angepflanzt. In Mitteljava werden diese Pflanzen gesammelt, getrocknet und als hochwertiges Beschichtungsmaterial für die Herstellung von Möbelstücken (Bild 27) in Exportqualität wiederverwertet. In anderen Provinzen ist diese Art der Verwertung noch nicht bekannt.



Bild 27: Exportmöbel mit Bezügen aus Wasserhyazinthen, die zur Wasserreinigung angepflanzt wurden

7.2.3 Wiederverwertung von produzierter Biomasse

Süßwasserfische zählen zu den traditionellen Nahrungsmitteln in Indonesien. In den Abwasserteichen der besuchten Kläranlagenstandorte (Bandung, Solo) werden Fische gehalten und geerntet (Bild 28).



Bild 28: Harnischwelse aus dem Schönungsteich der Kläranlage Solo werden gesäubert

Als unempfindliche Arten werden Karpfen (ikan mas), Welse (ikan lele, ikan sapu), Fadenfische (ikan gurami) und Barsche (ikan mujair) eingesetzt. Dabei treten jedoch an verschiedenen Standorten, wie Bandung, gesundheitliche Risiken auf Grund hoher Schadstoffbelastungen, insbesondere hoher Schwermetallgehalte, im Abwasser auf.

7.2.4 Wiederverwertung von Treibgut aus dem Abwasser

Im Rechengut der KA Bojong_Soang in Bandung (Bild 29) wird von Anwohnern nach verkaufbaren Treibgut „informell“ gesammelt und anschließend sortiert. Unter Beaufsichtigung der Klärwärter wird das verwertbare Material gesammelt, das ansonsten direkt zur Deponie transportiert würde. Dabei sind Erlöse von 500 bis 3 000 IDR pro kg (0,05 bis 0,30 EUR) je nach Plastikart (PE, PP, PS) und Zusammensetzung des gesammelten Gutes in der Kunststoff wiederverwertenden Industrie möglich. Auch an anderen Standorten konnte diese Art der Wiederverwertung beobachtet werden.



Bild 29: Kinder sammeln am Grobrechen Plastikflaschen und Joghurtbecher aus dem Sammelgut

Eine Meerwasserentsalzung wird in Indonesien noch nicht technisch verwirklicht.

8 Aktuelle Abwasserprojekte

Seit 2000 wird im Rahmen der Wirtschaftsförderung von der GTZ das Indonesisch-Deutsche Umweltprogramm mit den Komponenten:

- Umweltberatung für Industriebetriebe,
- Flussgebietsbewirtschaftung,
- Räumliches Umweltmanagement und
- Umweltpolitik (Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaschutzkonvention; hier: Nationale Strategiestudie zum CDM; Aufbau des Umweltbildungszentrums Puntondo)

sowie das Programm zur Verbreitung von Kleinwasserkraft gefördert.

Im Rahmen des Umweltprogramms ist das Nationale Zentrum für saubere Produktion (Pusat Produksi Bersih Nasional PPBN) gegründet worden, das als Kontaktvermittlungsstelle und Informationsplattform für Firmen, die in Indonesien investieren wollen, ausgebaut werden soll.

Das Nationale Zentrum für saubere Produktion (PPBN) stellt folgende Dienstleistungen für kleine und mittlere Gewerbe (KMU), große Gewerbe und Dienstleistungsbetriebe zur Verfügung:

- PPBN vereinfacht das Zugreifen auf Informationen und Dateien über nationale und internationale saubere Produktion,
- Fördert die Entwicklung von Lehrinhalten über saubere Produktion für Trainingskurse und Lehrgänge,
- Bietet Trainingskurse über saubere Produktion an,
- Ermöglicht den Zugang zu den zuständigen Stellen und Experten der sauberen Produktion,
- Schafft und entwickelt Dokumentationen der sauberen Produktion,
- Stellt Informationen bereit und hilft bei der fachlichen Weiterbildung der örtlichen Berater zur sauberen Produktion,
- Verbreitet Informationen über saubere Produktion wie Zeitschriften und Adressenlisten,
- Unterstützt die finanziellen Zugänge für Investitionen zur sauberen Produktion und andere wirtschaftliche Instrumente,
- Überbrückt und entwickelt das Beziehungsnetz zwischen den Anwendern, Endverbrauchern und Geberinstitutionen,

- Veranstaltet Aktivitäten zur sauberen Produktion.

Im Indonesisch-Deutschen Umweltprogramm werden an mehreren Standorten Pilotprojekte zur Umsetzung von Maßnahmen zur integrierten Flussgebietsbewirtschaftung begleitet und gefördert.

Von deutscher Seite wird der indonesische Wasserverband PERPAMSI durch die Entsendung eines Langzeitberaters für Trink- und Abwasser unterstützt, u. a. zur Förderung des Abwasserforums FORKALIM.

Das BMZ unterstützt den von BORDA geleisteten, deutschen Beitrag im DEWATS-Projekt zur Weiterentwicklung der dezentralen Abwassersysteme, das zum größten Teil von australischer Seite mitfinanziert wird. Die deutsche Beteiligung dient der Förderung lokaler Nicht-Regierungs-Organisationen im Bereich Abwassertechnik und der Aufbereitung und Weiterentwicklung von technischen Informationen. Diese Unterlagen werden in Form von technischen Katalogen bei den privaten Kunden und Gemeinden verbreitet, welche eine Abwasserbehandlungsanlage errichten wollen.

Die Weltbank fördert seit 2004 das auf zehn Jahre geplante „Westjava Umweltmanagementprojekt“ (www.wjemp.com) das als Rahmenprogramm für Projektstandorte in den Provinzen Banten, Westjava und DKI Jakarta aufbaut ist. Von indonesischer Seite sind das Bauministerium, die Planungsbehörde, das Innenministerium, das Umweltministerium und das Bildungsministerium beteiligt. Technische Schwerpunkte sind die Schlamm- und Abfallbehandlung und Umsetzungen zur integrierten Flussgebietsbewirtschaftung.

9 Zusammenfassung und Folgerungen

Der Schwerpunkt der bisherigen Abwasserbehandlung in Indonesien lag in der Behandlung von Einzelhausentsorgungen. Dementsprechend sind die Entwicklungen von Hauskläranlagen relativ weit fortgeschritten. Es existiert ein Bedarf an dezentralen hoch entwickelten Anlagen für große Hotels, private Wohnkomplexe oder Unternehmen. Hier bietet sich der Einsatz von Membrantechnik zur Wasserreinigung und Rückgewinnung an. Die Kunden solcher Anlagen möchten sich in der Regel von der unzureichenden und häufig unzuverlässigen Ver- und Entsorgung der öffentlichen Betriebe unabhängig machen und können sich auf Grund ihrer finanziellen Ressourcen Anlagen entsprechend dem internationalen Stand leisten.

Bei den dezentralen Abwasserreinigungsanlagen, die größer als Einzelhauskläranlagen sind, besteht ein großes Entwicklungs- und Marktpotential. Es konnte mehrfach nachgewiesen werden, dass es Behandlungssysteme gibt, die technisch beherrscht und deren Wartungs- und Betriebskosten durch Gebühreneinnahmen vollständig gedeckt werden.

Der öffentliche Abwasserbereich wird vorwiegend durch Subventionen und subventionierte Kredite der internationalen Geberinstitutionen finanziert. Dabei beschränken sich die indonesischen Partner darauf, ihren Anteil zu leisten, den jeder Partner bei derartigen Finanzierungen über internationale Zuschüsse (grants) und verbilligte Kredite (soft-loans) beisteuern muss. In Gesprächen bei dem Umwelt- und dem Bauministerium wurde deutlich, dass die indonesischen Behörden ihre nationalen Entwicklungspläne auf das internationale Programm zur Erreichung der „Millennium Development Goals (MDGs)“ abstimmen und finanzielle Unterstützungen entwickelter Länder mit einrechnen.

Im kommunalen Klärwerksbau handelt es sich für Indonesien um einen so genannten "Donor-Driven-Market", d. h. die Auswahl der Technologien, der Bauweisen und die Entwicklung der Projekte folgt den Prozessen und Vorgaben, wie sie bei Weltbank, ADB, KfW usw. üblich sind.

Dabei besteht ein ständiger Bedarf an Schulung und Weiterbildung des Kläranlagenpersonals.

Indonesien bezieht Ausrüstungen für den Bedarf der Wasserwirtschaft vor allem aus asiatischen Ländern. Wichtigste Lieferanten sind Firmen aus Japan, China, Korea (Rep.), Malaysia und Singapur. Aus den westlichen Industrieländern werden zumeist Spezialpumpen und spezielle Reinigungsapparaturen eingeführt. Die Importe von Wassertechnik sind weitgehend zollfrei.

Komponenten aus Hochpreisländern wie Deutschland haben eine sehr gute Einsatzmöglichkeit, wenn sie in der Zuverlässigkeit oder im Leistungsstand deutlich höher als die vergleichsweise billigeren Konkurrenzprodukte liegen.

Bei den Industrieklärwerken sind Konzepte und Komponenten aus Deutschland konkurrenzfähig, wenn sie entweder genauso billig oder deutlich besser sind als die Vergleichsprodukte aus den benachbarten "Tigerstaaten" oder anderen Billig-Lohn-Ländern, aus denen vor allem Pumpen, Schaltkästen, Feinsiebe und sogar Mikrofilter nach Indonesien importiert werden.

10 Literatur und Quellen

Literaturangaben vgl. Anlage 8 (Liste vorliegender Materialien)

11 Anlagen (auf CD beigefügt)

Anlage 1: Empfehlungsschreiben des BMBF

Anlage 2: Fragebögen

Anlage 3: Fotodokumentation 1, 2 und 3

Anlage 4: Ausgewählte Materialien, Standards

Ausgewählte Materialien, Informationen über Kanalnetze
und Kläranlagen

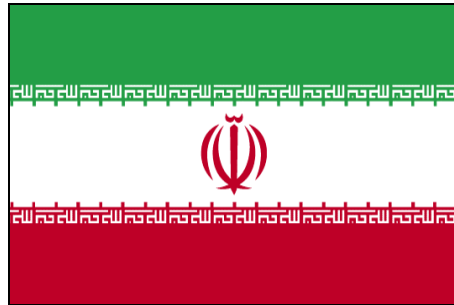
Anlage 5: Wichtige Kontaktadressen

Anlage 6: Gesetzestexte

Anlage 7: Reiseablauf und Arbeitsprogramm

Anlage 8: Liste vorliegender Materialien

Anlage 9: Visitenkarten der Gesprächspartner



Iran

**Peter Cornel,
Technische Universität Darmstadt**



1 Einleitung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse verschiedener Besuche im Iran in den Jahren 2002 bis 2004 zusammen und stützt sich insbesondere auf eine zehntägige Reise zwecks Datenerhebung vom 14.5. bis 24.05.2004, in deren Verlauf die vier größten Städte Irans, Tehran, Mashhad, Shiraz und Esfahan, besucht wurden. Des Weiteren wurde verschiedenes Datenmaterial ausgewertet, insbesondere auch Vorträge, die im Rahmen verschiedener vom BMBF unterstützter Workshops in Tehran und im Oman (International Seminar on Practices and Experiences of Water and Wastewater Technology; 05 - 07 October 2004, Muscat) präsentiert wurden.

Bild 1 verdeutlicht die geografische Lage Irans. Bild 2 kennzeichnet die besuchten Städte. In jeder dieser Städte konnte mit hochrangigen Vertretern der Behörden und/oder der Water and Sewage Companies gesprochen und Kläranlagen besichtigt werden. Detaillierte schriftliche Informationen zu den einzelnen Kläranlagen, ihren Zu- und Ablaufkonzentrationen etc. konnten i. d. R. nicht zur Verfügung gestellt werden, weshalb sich etliche der nachfolgend präsentierten Daten auf Mitschriften mündlicher Aussagen beziehen.



Bild 1: Die Lage Irans (Worldatlas, 2005)



Bild 2: Karte Irans. Die besuchten Städte und Kläranlagen sind durch Pfeile markiert. (Worldatlas, 2005)

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die aufgesuchten Klärwerksbetriebe und namhafte Organisationen, die für Klärwerksprojekte maßgebend sind.

Tabelle 1: Übersicht der besuchten Behörden und Klärwerksstandorte

| Standort | Institution | Typ | Kenndaten |
|----------|---|------------------------------|--|
| Tehran | Ministry of Energy (Deputy for Research and Industrial Affairs) | | |
| | Tehran Province Water and Sewage Co. | | |
| | Tehran Sewage Co. | | |
| | Kläranlage Shosh | Belebungsanlage | 40 000 EW (Design) 100 000 EW (IST) |
| Mashhad | Kläranlage Tehran South | Unbelüftete Teich- anlage | 280 000 EW |
| | Kläranlage South (Erweiterung) | Belebung und Tropfkörper | Im Bau |
| | Mashhad Water and Wastewater Co. | | |
| Mashhad | Kläranlage Mashhad East | „Stabilisation ponds“ | 25 000 m ³ /d (gebaut) 400 000 m ³ /d (geplant) |
| | Kläranlage Mashhad West | belüfteter Teich | 15 000 m ³ /d (Design) > 20 000 m ³ /d (IST) |
| | Shiraz Water and Wastewater Co. | | |
| Shiraz | Kläranlage Shiraz South-West | Belebungsanlage | 300 000 EW (im Bau) 1,5 Mio. EW (in Planung) |
| | Esfahan Water and Sewage Co. | | |
| Esfahan | Kläranlage Esfahan South | Belebungsanlage | 890 000 EW (130 000 m ³ /d) |
| | Kläranlage Esfahan North | Belebungsanlage | 100 000 m ³ /d |
| | Kläranlage Shahin Shahr | Belebungsanlage | 40 000 m ³ /d |

2 Gesetze und Verordnungen, Bemessungs-, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien

2.1 Institutionen und Organisationen, Verwaltungsstrukturen

Die Träger der Abwasserableitung und -reinigung sind die (Water), Wastewater and Sewerage Companies der Städte und Provinzen (Bild 3). Dies sind „non-governmental companies“ deren Gesellschafter/Anteilseigner jedoch ausschließlich der Staat, die Provinzen, die Kommunen sowie staatliche Planungsbüros sind.



Bild 3: Tehran Sewerage Company

Auf Staatsebene liegt die Zuständigkeit für die Abwasserentsorgung und -reinigung beim Ministry of Energy; die Grenzwerte für die Abwassereinleitung bzw. für die landwirtschaftliche Wiederverwendung werden vom Department of Environment festgelegt. Bei landwirtschaftlicher Bewässerung und Klärschlammnutzung ist ggf. auch das Ministry of Agriculture zuständig.

Neben diesen staatlichen Organen sind insbesondere bei der Wasserwiederverwendung und der Klärschlammnutzung ggf. religiöse Führer an den Entscheidungen beteiligt.

2.2 Gesetze und Verordnungen

Das Department of Environment hat 1998 Grenzwerte für die Einleitung in Oberflächengewässer (Vorflut), Einleitung in „Absorption Wells“ (Schluckbrunnen, Infiltrationsbrunnen) und für die Wiederverwendung in Landwirtschaft und zur Bewässerung erlassen (Effluent Discharge Standards, Iranian Department of Environment, 1998).

Die Werte sind sehr umfangreich in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Abwasser-Grenzwerte für verschiedene Einleitungen/Nutzung (Iranian Department of Environment, 1998)

| Parameter | Symbol | „Discharge into Surface Water“ mg/l | „Discharge into Absorption Wells“ mg/l | „Agricultural and Irrigation Reuse“ mg/l |
|--------------------------------|------------------|--|---|---|
| Biochemischer Sauerstoffbedarf | BSB ₅ | 30 | 30 | 100 |
| Chemischer Sauerstoffbedarf | CSB | 60 | 60 | 200 |
| gelöst. Sauerstoff | DO | 2 | - | 2 |
| Abfiltrierbare Feststoffe | TSS | 40 | - | 100 |
| Ammonium | NH ₄ | 2,5 | 1 | - |
| Nitrit | NO ₂ | 10 | 10 | - |
| Nitrat | NO ₃ | 50 | 10 | - |
| Phosphat als P | P | 6 | 6 | - |
| pH-Wert | pH | 6,5 - 8,5 | 5 - 9 | 6 - 8,5 |
| Trübung | NTU | 50 | 0 | 50 |
| Öl/Fett | | 10 | 10 | 10 |
| ABS (Detergent) | | 1,5 | 0,5 | 0,5 |
| Farbe | | 75 | 75 | 75 |
| Coliforme Keime | MPN | 1 000/100 ml | 1 000/100 ml | 1 000/100 ml |
| Radioaktive Substanzen | | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 2 (Forts.): Abwasser-Grenzwerte für verschiedene Einleitungen/Nutzung (Iranian Department of Environment, 1998)

| Parameter | Symbol | „Discharge into Surface Water“ | „Discharge into Absorption Wells“ | „Agricultural and Irrigation Reuse“ |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Einzelstoffe | | mg/l | mg/l | mg/l |
| Silber | Ag | 1 | 0,1 | 0,1 |
| Aluminium | Al | 5 | 5 | 5 |
| Arsen | As | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Bor | B | 2 | 1 | 1 |
| Barium | Ba | 5 | 1 | 1 |
| Beryllium | Be | 0,1 | 1 | 0,5 |
| Calcium | Ca | 75 | - | - |
| Cadmium | Cd | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| Freies Chlor | Cl | 1 | 1 | 0,2 |
| Chloride | Cl ⁻ | 600 | 600 | 600 |
| Formaldehyd | CH ₂ O | 1 | 1 | 1 |
| Phenol | C ₆ H ₅ OH | 1 | vernachlässigbar | 1 |
| Cyanid | CN | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| Kobalt | Co | 1 | 1 | 0,05 |
| Chrom | Cr ⁶⁺ | 0,5 | 1 | 1 |
| Chrom | Cr ³⁺ | 2 | 2 | 2 |
| Kupfer | Cu | 1 | 1 | 0,2 |
| Fluoride | F | 2,5 | 2 | 2 |
| Eisen | Fe | 3 | 3 | 3 |
| Quecksilber | Hg | vernachlässigbar | vernachlässigbar | vernachlässigbar |
| Lithium | Li | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Magnesium | Mg | 100 | 100 | 100 |
| Mangan | Mn | 1 | 1 | 1 |
| Molybdän | Mo | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Nickel | Ni | 2 | 2 | 2 |
| Blei | Pb | 1 | 1 | 1 |
| Selen | Se | 1 | 0,1 | 0,1 |
| Sulfid | H ₂ S | 3 | 3 | 3 |
| Sulfit | SO ₃ ²⁻ | 1 | 1 | 1 |
| Sulfat | SO ₄ ³⁻ | 400 | 400 | 500 |
| Vanadium | V | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Zink | Zn | 2 | 2 | 2 |

2.3 Bemessungsrichtlinien

Die Bemessung erfolgt überwiegend nach amerikanischen Textbüchern, z. B. Metcalf & Eddy (2003) „Wastewater Engineering“, ggf. auch nach amerikanischen und britischen Standards.

(Zitat eines leitenden technischen Managers einer „project managing unit“ in der Tehran Sewerage Co.: „Deutsche Angebote, die auf deutschen Bemessungsansätzen beruhen, werden erst mal zur Seite gelegt, da man nicht weiß, wie man diese überprüfen soll.“)

2.4 Ausbildungsrichtlinien

Die akademische Ausbildung der Abwasseringenieure an den Universitäten Irans, z. B. in Tehran und Shiraz, erfolgt nach dem angelsächsischen Hochschulsystem (Bachelor, Master) überwiegend anhand amerikanischer Textbücher, z. B. Metcalf & Eddy. Sie ist nach Auskunft der dort ausgebildeten Abwasseringenieure sehr praxisfern. Auch scheint es nur einen sehr geringen Austausch zwischen Hochschulen und den Wastewater and Sewage Companies zu geben. Die Companies „beklagen“ die zu geringe Praxisnähe der universitären Forschung.

Etliche Gesprächspartner, vermutlich die deshalb besser Englisch sprechenden, haben ihr Master- und/oder PhD-Studium an einer amerikanischen Universität absolviert. Auch hieraus wird der Rückgriff auf amerikanische Design-Standards nachvollziehbar.

Für die nichtakademischen Mitarbeiter der Kläranlage gibt es keine den deutschen Ausbildungsgängen vergleichbare Ausbildungen. Für die Instandhaltung werden im Idealfall Mechaniker und Elektriker eingestellt, die Laboruntersuchungen von Laboranten vorgenommen. Für den Kläranlagenbetrieb heißt es „learning by doing“. Dies führt nicht immer zu befriedigenden Ergebnissen, zumal die ausgebildeten Ingenieure meist in den Planungsabteilungen weit ab von den Kläranlagenstandorten arbeiten und die Kläranlagen selten besuchen und somit weder ihr Wissen weitergeben noch sich selber ein Praxiswissen erwerben können.

3 Allgemeine Angaben

3.1 Allgemeine Rahmensituation

Iran, das frühere Persien, ist seit 1979 eine Islamische Republik und gehört mit einer Bevölkerung von 69 Mio. Menschen und einer Fläche von 1 648 Mio. km²

sowohl nach Bevölkerungszahl als auch nach der Fläche zu den 20 größten Nationen der Erde. Tabelle 3 listet einige Vergleichszahlen zu Deutschland auf.

Tabelle 3: Kennzahlen Iran (World Factbook, 2004)

| | Iran | Deutschland |
|--|---|-----------------------|
| Fläche, km ² | 1 648 000 | 357 021 |
| Einwohner (Juli 2004) | 69 Mio. | 83 Mio. |
| 0 - 14 Jahre | 28 % | 15,4 % |
| Bevölkerungswachstum, %/a (2004) | 1,07 | 0,26 |
| Bevölkerungsdichte, Personen/km ² | 42 | 232 |
| GDP pro Person | 7 000 US\$ | 26 600 US\$ |
| Landnutzung | | |
| Ackerland, km ² | 176 000 (10,7 %) | 121 000 (33,9 %) |
| Bewässerte Ackerfläche, km ² | 75 620 (43 %) | 4 850 (4 %) |
| Klima | Überwiegend arid und semi-arid (subtropisch am Kaspischen Meer) | Kühl, bewölkt, feucht |
| Jahresniederschlag, mm/a | 250 (100 - 450) | 750 (600 - 1 000) |
| Verdunstung, mm/a | > 1 000 | < 500 |
| Erneuerbare Wasserressource, km ³ /a | 137 ^{*)} (82 ^{**}) | 154 ^{*)} |
| Bewässerungswassermenge ^{*)} , km ³ /a | 64 | << 1 |
| Davon Grundwasser | 50 % | - |

*) UN World Water Development Report, 2003

**) Petermanns Geographische Mitteilungen, 2001

Hauptexportgüter sind Öl und petrochemische Produkte, die über 80 % des Exportvolumens von ca. 30 Mrd. US\$ in 2004 ausmachten. Importiert wurden industrielle Rohstoffe und Zwischenprodukte, Produktionsgüter, Lebensmittel etc. im Wert von ca. 25 Mrd. US\$ in 2004. Bei den Importgütern ist Deutschland mit 11 % größter Handelspartner vor Frankreich, China, Italien und VAE mit je ca. 8 bis 8,5 %. 98 % der iranischen Bevölkerung sind Muslime, davon 90 % Schiiten und 10 % Sunniten.

3.2 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Iran ist überwiegend arid und semi-arid. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt ca. 250 mm/a (vgl. Tabelle 3). Obschon heute die erneuerbare Wasser-

menge mit ca. 2 000 m³/Person/a noch als ausreichend gilt, um die Nahrungsmittelversorgung zu sichern, wird bereits für das Jahr 2020 eine spez. Wassermenge von lediglich 1 200 m³/Person/a prognostiziert, was erheblich unter dem von der UN als ausreichend betrachteten Wert von 1 700 m³/a liegt (EPA, 2004). Die Ungleichverteilung innerhalb des Landes führt aber schon heute dazu, dass z. B. in der Provinz Tehran mit seinen 11,2 Mio. Einwohnern ein Pro-Kopf-Dargebot von lediglich 500 m³/a (Mahmoodi, 2004) zur Verfügung steht, ein Wert, der bei weitem nicht ausreicht, um die Nahrungsmittelversorgung sicherstellen zu können und von der UN zwischen „scarcity“ und „extreme scarcity“ eingestuft ist.

Auch wenn die publizierten Daten zum erneuerbaren Wasserdargebot erheblichen Streuungen unterliegen und häufig nicht schlüssig sind, bleibt festzuhalten, dass eine ausreichende landwirtschaftliche Produktion eine Bewässerung der Felder in den Vegetationsperioden voraussetzt und somit auch die Wiederverwendung gereinigten Abwassers vom Ministerium und den Behörden propagiert wird. Allerdings stehen der Umsetzung neben technischen Schwierigkeiten häufig auch religiös-kulturelle Bedenken zur Nutzung von gereinigtem Abwasser entgegen. Seit Jahrhunderten wird im Iran Wasser in unterirdischen Kanalsystemen, den so genannten „Ghanats“ (auch ganats, Kanat, canat, qanat), gesammelt und zur Bewässerung nutzbar gemacht. Die Ghanats sammeln das Wasser in einem verzweigten Stollen-/Tunnelsystem in der Regel am Fuß der Gebirge und leiten es via natürlichem Gefälle zu den Ortschaften und Feldern. Da die Ghanats das Wasser überwiegend unterirdisch transportieren, werden Verdunstungsverluste minimiert und das Wasser bleibt kühl und frisch. 1980 wurde von ca. 60 000 noch in Betrieb befindlichen Ghanats mit einer Gesamtlänge von mehreren tausend Kilometern ausgegangen. Die Verteilung des Wassers auf die Nutzer unterliegt strengen Regeln bezüglich Entnahmemengen und -zeiten.

Bezüglich der Trinkwasserversorgung ist die Lage durch scheinbar hohe spezifische Wasserverbräuche von 176 l/Person/Tag (Ghassemi) bis 250 l/Person/Tag (Mahmoudian, 2001) gekennzeichnet, die allerdings wegen der Verluste im Verteilungsnetz einerseits, als auch wegen der Methodik, welche z. B. das Gewerbe einschließt, nicht direkt mit den in Deutschland publizierten Verbrauchszahlen vergleichbar sind. Dennoch kann wegen des hohen Verbrauchs z. B. im Stadtgebiet Tehrans derzeit nur noch ca. 2/3 des Wasserbedarfs, d. h. ca. 620 Mio. m³/Jahr, durch hochwertiges Oberflächenwasser aus den Stauseen des Elburz-Gebirges gedeckt werden. Ca. 1/3, d. h. ca. 300 Mio. m³/a, wird mittels Brunnen südwestlich des Stadtgebietes dem Grundwasser entnommen (Bild 4). Diese Wasserressourcen sind wegen der in Tehran üblichen, nahezu flächendeckenden Abwasser-

sickerung von deutlich schlechterer Qualität als die Oberflächenwässer, insbesondere bezüglich der Stickstoffverbindungen (Mahmoodi, 2004). Um den für 2021 prognostizierten Gesamtverbrauch der Stadt Tehran von 1 400 Mio. m³/a decken zu können, werden einerseits weitere Staudämme gebaut, andererseits sind aber auch Einsparungen von nahezu 200 Mio. m³/a durch verbesserte „management techniques“ vorgesehen (Mahmoodi, 2004).



Bild 4: Wasserversorgung in Tehran (Mahmoodi, 2004)

3.3 Klima

Das Klima Irans ist überwiegend arid und semi-arid, am Kaspischen Meer auch subtropisch. In der Anlage (Abschnitt 11) sind Tabellen mit den relevanten Klimadaten (Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit) ausgewählter Städte angegeben. Aufgrund der Höhenlage der besuchten Städte, Tehran (800 bis 1 700 m), Shiraz (ca. 1 100 bis 1 600 m), Esfahan (ca. 1 600 m) sowie Mashhad (ca. 1 000 m), herrscht dort ein vergleichsweise mildes Klima mit Spitzentemperaturen von ca. 40 °C im Sommer und meist frostfreien Wintern.

Der Jahresniederschlag beträgt 1 280 mm/a am Kaspischen Meer, aber lediglich 100 bis 120 mm im Zentralplateau und in Südiran (Country-studies, 2005). Zudem fällt der Regen überwiegend im Oktober bis März, d. h. außerhalb der Vegetationsperioden im Sommer. Die Luftfeuchtigkeit beträgt im Sommer zwischen 25 und 30 % und erreicht im Winter Werte zwischen 60 und 70 %.

Bild 5 und Bild 6 enthalten ausgewählte Klimadaten der besuchten Städte.

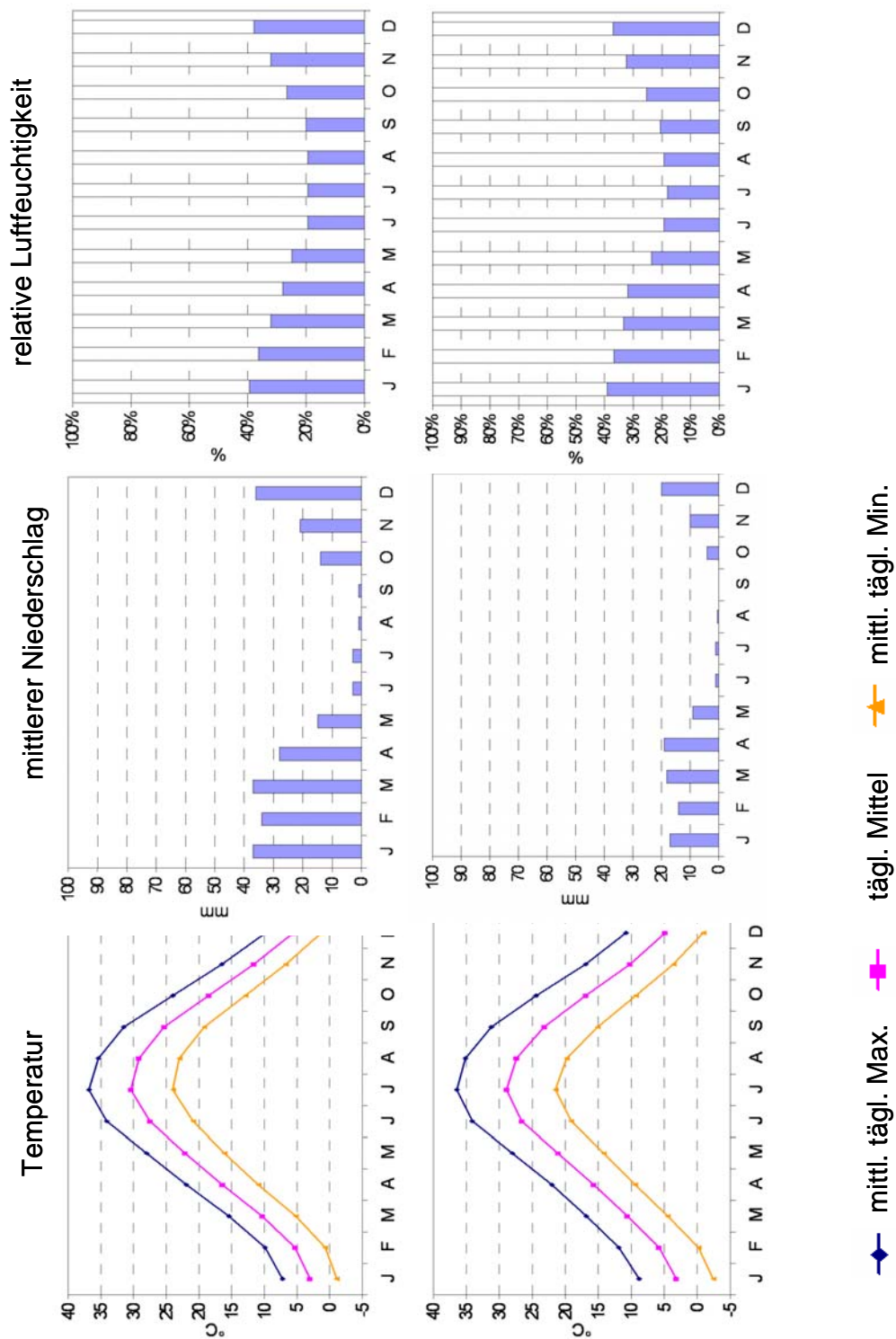


Bild 5: Klimadaten der Städte Tehran (oben) und Esfahan (unten) (verändert nach Wetter.com AG, 2005)

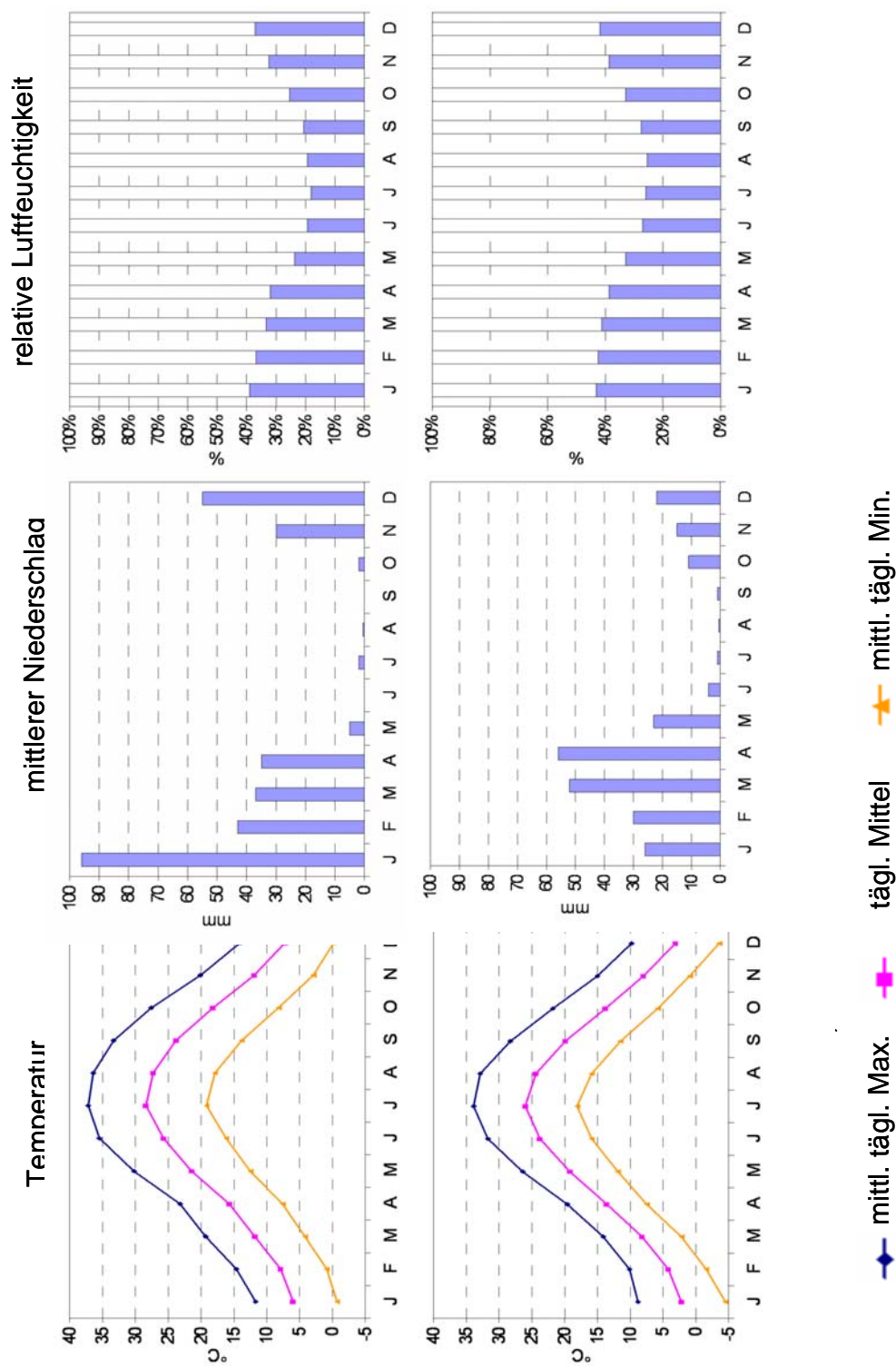


Bild 6: Klimadaten der Städte Shiraz (oben) und Mashhad (unten) (verändert nach Wetter.com AG, 2005)

3.4 Stand der Abwasserentsorgung

Die herkömmliche Abwasserentsorgung erfolgt dezentral. Die Abwässer werden direkt unter den Häusern in 15 bis 20 m tiefen „Schluckbrunnen“ im überwiegend sandigen, durchlässigen Boden versickert. Dabei erfolgt ein Teilabbau in der ungesättigten Bodenzone. Eine Leerung der Brunnen erfolgt selten oder gar nicht. Die Fäkalien werden mineralisiert. Hygieneartikel werden vom Abwasser ferngehalten, Toilettenpapier traditionell nicht verwendet. Manchen Brunnen ist ein „septic tank“ vorgeschaltet. Wegen der notwendigen Leerung dieser Faultanks werden nach Aussage leitender Mitarbeiter der Sewerage Companies Bad und Küche häufig auch „versehentlich“ und illegalerweise an die Ghanats angeschlossen. Speziell in Tehran nimmt deren Wasserqualität deshalb von Norden hin zum tiefer gelegenen Süden dramatisch ab.

Kanäle wurden bisher überwiegend dort gebaut, wo z. B. durch felsigen Untergrund eine Versickerung nicht möglich war. So ist der Anteil der an die Kanalisation angeschlossenen Einwohner derzeit noch gering. Er beträgt in Tehran knapp 10 % (von ca. 10 bis 11 Mio. Einwohner). In Mashhad sind ca. 12 % der Bevölkerung an die Kanalisation angeschlossen, mit deren Bau in den 90er Jahren begonnen wurde. In Shiraz wurde 1992 beschlossen, eine Kanalisation und Kläranlagen zu bauen. Derzeit sind 8 % der Bevölkerung an die Kanalisation angeschlossen. Aufgrund des (noch) geringen Abwasseranfalls in den bereits auf den Endausbau dimensionierten Hauptsammlern treten massive Probleme durch Betonkorrosion auf. In Esfahan sind hingegen 95 % der Bevölkerung, d. h. ca. 1,5 Mio. Einwohner an die Kanalisation angeschlossen. Obschon als Mischkanalisation konzipiert, spielt das Niederschlagswasser wegen der geringen und zeitlich begrenzten Niederschläge praktisch keine Rolle. Entsprechend dem hohen Anschlussgrad finden sich in Esfahan auch die meisten und am längsten betriebenen Kläranlagen (drei in der Stadt Esfahan, 22 in der Provinz Esfahan), unter anderem die von Passavant ausgerüstete Kläranlage KA Esfahan Süd, Baujahr 1983.

In den drei anderen besuchten Großstädten werden derzeit umfangreiche Planungen zur Erhöhung der Anschlussgrade durchgeführt. Häufig wurden die Hauptsammler schon realisiert und Kläranlagen sind in Planung oder im Bau.

Mahmoudian gibt einen Überblick über die gebauten und die in Planung befindlichen Kläranlagen. Tabelle 4 und Tabelle 5 kann man entnehmen, dass im städtischen Bereich Belebungsanlagen dominieren (56 % der angeschlossenen/anzuschließenden Einwohner), gefolgt von unbelüfteten (19 %) und belüfteten

(18 %) Teichanlagen. Im ländlichen Bereich sind unbelüftete Teichanlagen und bewachsene Bodenfilter realisiert bzw. überwiegend vorgesehen.

Wie Tabelle 6 zu entnehmen ist und auch in Abschnitt 6.1 noch gezeigt werden wird, ist bisher nur ein Bruchteil der aufgelisteten Anlagen bereits gebaut und wird betrieben. Die meisten Anlagen sind in Planung, einige davon auch im Bau.

Tabelle 4: Anzahl, Kapazität und Behandlungsverfahren von städtischen Abwasserbehandlungsanlagen (Mahmoudian, 2004)

| "Treatment process" | Anzahl | Kapazität (1·1 000 m ³ /d) | Einwohner (in Tausend) | Prozent | |
|---------------------|--------|--|---------------------------|---------|-----------|
| | | | | Anzahl | Kapazität |
| SP | 42 | 670 | 3 374 | 30,7 | 19,00 |
| WL | 1 | 5 | 25 | 0,7 | 0,14 |
| AL | 32 | 651 | 3 158 | 23,4 | 17,76 |
| Ex A | 28 | 180 | 874 | 20,4 | 4,91 |
| AS | 31 | 2 192 | 9 966 | 22,7 | 56,02 |
| Biolak | 1 | 48 | 250 | 0,7 | 1,40 |
| SBR | 1 | 10 | 50 | 0,7 | 0,28 |
| USBF | 1 | 17 | 85 | 0,7 | 0,49 |
| Total | 137 | 3 773 | 17 782 | 100,0 | 100,00 |

| | |
|------------------|---|
| SP - | Stabilization pond; unbelüftete anaerobe/fakultative Teichanlagen |
| WL - | Wetland; bewachsene Bodenfilter |
| AL - | Aerated Lagoon; belüftete Teichanlagen |
| Ex A - | Extended aeration; Belebung mit simultaner Schlammstabilisierung |
| AS - | Belebungsanlagen |
| Biolak, Biolac - | Stabilisierungsanlage in Erdbecken (Metcalf & Eddy, 2003) |
| SBR - | Sequencing batch reactor |
| USBF - | Upflow sludge blanket filtration; kombinierte Stabilisierungsanlage bestehend aus anoxischer und aerober Zone sowie aufwärts durchströmter Nachklärung (Fa. ECOfluid Systems Inc., USA) |

Tabelle 5: Anzahl, Kapazität und Behandlungsverfahren von ländlichen Abwasserbehandlungsanlagen (Mahmoudian, 2004)

| "Treatment process" | Jahr 2003 (geplant) | | | Prozent | |
|---------------------|---------------------|--|---------------------------|---------|-----------|
| | Anzahl | Kapazität (1·1 000 m ³ /d) | Einwohner (in Tausend) | Anzahl | Kapazität |
| SP | 166 | 88,4 | 978,8 | 42,4 | 65,7 |
| WL | 88 | 28,1 | 278,6 | 22,4 | 20,8 |
| AL | 8 | 2,7 | 38,3 | 2,0 | 2,0 |
| Ex A | 46 | 3,7 | 52,4 | 11,7 | 2,7 |
| SBR | 1 | 0,6 | 4,7 | 0,2 | 0,4 |
| TF | 4 | 1,7 | 17,3 | 1,0 | 1,3 |
| ST | 23 | 1,0 | 11,0 | 5,8 | 0,7 |
| On site | 33 | 0,7 | 7,5 | 8,4 | 0,5 |
| Others | 24 | 7,9 | 73,0 | 6,1 | 5,9 |
| Total | 393 | 134,8 | 1 461,6 | 100,0 | 100,0 |

TF - Trickling filter; Tropfkörper

ST - Septic tank

Tabelle 6: Einige der größten Abwasserbehandlungsanlagen und deren Behandlungsverfahren (Mahmoudian, 2004)

| "Treatment process" | Standort/Name | Kapazität (m ³ /d) | Situation |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|------------|
| SP | East Isfahan | 100 000 | Im Bau |
| SP | Karaj | 84 000 | Im Bau |
| SP | Mashhad (Parkand Abad) | 60 000 | Im Bau |
| SP | Bushehr | 50 000 | In Betrieb |
| SP | Mashhad (Owlang) | 25 000 | In Betrieb |
| AL | Khoramabad | 2 x 24 000 | Im Bau |
| AL | Eilam | 46 500 | Im Bau |
| AL | Bookan | 63 674 | Im Bau |
| AL | Qom | 18 700 | In Betrieb |
| Ex A | Lahijan | 26 000 | Im Bau |
| AS | North Esfahan | 160 000 | Im Bau |
| AS | Tabriz | 129 600 | In Betrieb |
| AS | Tehran | 6 x 112 500 | Im Bau |

4 Abwasserbeschaffenheit

Mit Ausnahme von Esfahan, wo eine Mischkanalisation mit ca. 95 %igem Anschlussgrad existiert, werden in den neuen Systemen die Abwässer überwiegend mittels Trennkanalisation den Abwasserreinigungsanlagen zugeführt. Große bereits gebaute Sammler führen in einigen Städten wegen der erst geringen Anschlussgrade zu langen Fließzeiten des Abwassers im Kanal. So wurde beispielsweise in Shiraz von massiven Schäden in der Kanalisation durch Schwefelsäurekorrosion berichtet, welche auf anaerobe Abbauvorgänge im Kanal hinweisen.

Aufgrund anderer Lebensgewohnheiten enthalten die Kläranlagenzuläufe nur sehr geringe Mengen an Hygieneartikeln. Auch Toilettenpapier fällt nur in geringen Mengen an, da dessen Gebrauch eher unüblich ist.

Für das Design der Kläranlagen werden unabhängig von der Abwassermenge Konzentrationen nach Tabelle 7 zugrunde gelegt.

Tabelle 7: Designkriterien für Abwasserbehandlungsanlagen (Mahmoudian, 2004)

| P mg/l | TS mg/l | TSS mg/l | COD mg/l | BOD ₅ mg/l |
|-----------|------------|-------------|-------------|--------------------------|
| 22,2 | 1 016 | 214,7 | 439,3 | 203 |

Aus diesen werden dann einwohnerspezifische Frachten mit Hilfe der spezifischen Abwassermenge von 130 bis 200 l/(E·d) rückgerechnet.

5 Abwasserableitung

Laut Mahmoudian, dem Technical Studies Manager der National Water and Wastewater Eng. Co. im Ministry of Energy, sind in 167 Städten und Gemeinden Irans konventionelle Trennkanalisationssysteme mit Freigefälleleitungen realisiert oder im Bau (Mahmoudian, 2004). Wie bereits in Abschnitt 3.4 ausgeführt, betragen die Anschlussgrade aber selbst in den großen Städten lediglich ca. 10 %, mit Ausnahme Esfahans mit Anschlussgraden von 95 %. Tabelle 8 und Tabelle 9 geben einen Überblick über die verwendeten Systeme im städtischen und ländlichen Raum.

Tabelle 8: Anzahl und Ausführung der Kanalisationssysteme von städtischen Abwasserbehandlungsanlagen (Mahmoudian, 2004)

| Kanalisationssystem | In Betrieb oder im Bau (Jahr 2003) | |
|---|------------------------------------|-------------|
| | Anzahl | Anteil % |
| Conventional Gravity Sewers System | 166 | 99,4 |
| Simplified System (SS) | 0 | 0,0 |
| Small Diameter Gravity System (SDGS) | 0 | 0,0 |
| Pressure Sewers System (with or without grinder pumps) (PSS) | 0 | 0,0 |
| Vacuum Sewers System (VSS) | 1 | 0,6 |
| Total | 167 | 100,0 |

Tabelle 9: Anzahl und Ausführung der Kanalisationssysteme von ländlichen Abwasserbehandlungsanlagen.

| Kanalisationssystem | Jahr 2003 geplant | | Anteil % | |
|---|----------------------|----------------------------|-------------|-----------|
| | Anzahl | Einwohner (in Tausende) | Anzahl | Einwohner |
| Conventional Gravity Sewers System | 57 | 148,7 | 14,5 | 10,2 |
| Simplified System (SS) | 60 | 327,6 | 15,3 | 22,4 |
| Small Diameter Gravity System (SDGS) | 243 | 977,8 | 61,8 | 66,9 |
| Pressure Sewers System (with or without grinder pumps) (PSS) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vacuum Sewers System (VSS) | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Onsite | 33 | 7,5 | 8,4 | 0,5 |
| Total | 393 | 1 461,6 | 100,0 | 100,0 |

Die Kanäle werden überwiegend in offener Bauweise verlegt. Mahmoudian gibt hierzu Daten nach Tabelle 10 an.

In Bild 7 bis Bild 9 werden verschiedene Kanalausführungsverfahren dargestellt.

Tabelle 10: Kanalverlegung (Mahmoudian, 2004)

| Art der Kanalverlegung | Durchmesser (mm) | Gesamtlänge (km) |
|---------------------------------|------------------|------------------|
| Offene Grabenverlegung | 200 - 2 000 | 27 000 |
| Grabenlos: | | |
| Manuelles Graben (traditionell) | 250 - 1 600 | 1 680 |
| Pipe jacking | 400 - 1 600 | 78 |
| Microtunneling | 200 - 600 | 20 |



Bild 7: Offene Grabenverlegung (Mahmoudian, 2004)



Bild 8: Pipe jacking (Mahmoudian, 2004)

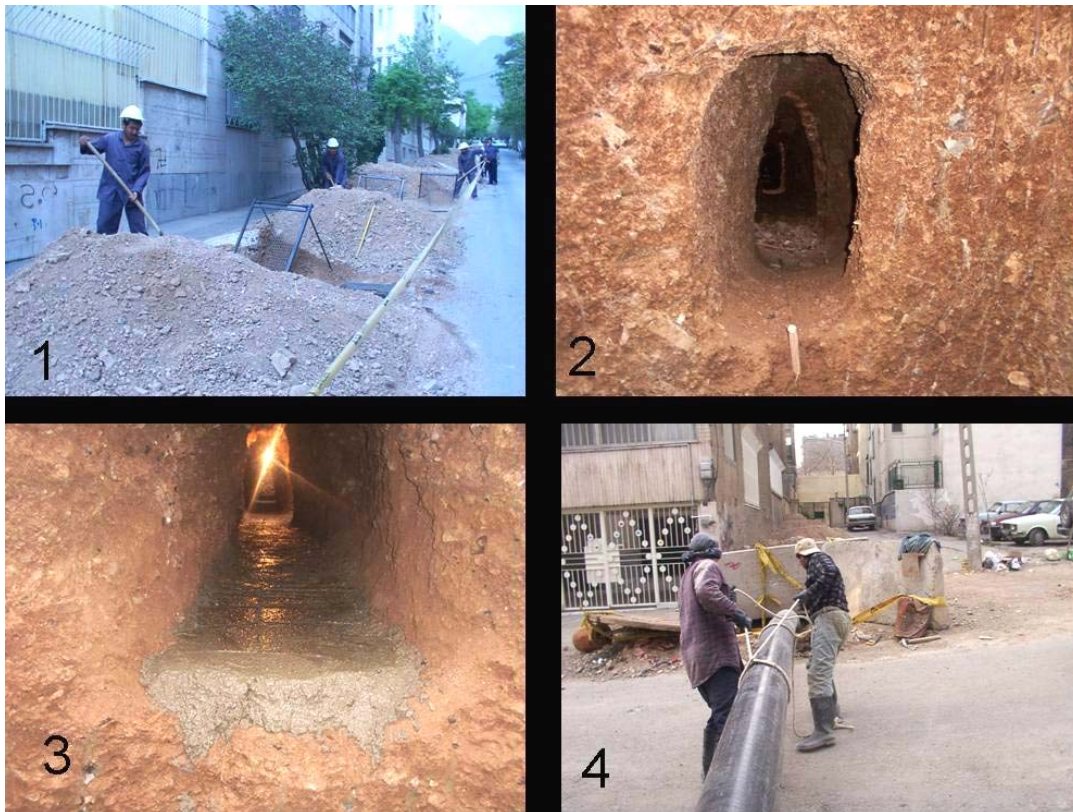


Bild 9: Grabenlose Kanalverlegung (Mahmoudian, 2004)

Aufgrund der Wasserknappheit und dem hohen Aufwand des Kanalbaus im Bestand, insbesondere in Tehran mit einem Gefälle von über 800 m von Nord- nach Süd-Tehran, setzt in den Planungsabteilungen ein Umdenken ein. Mahmoudian schlägt vor:

“We gradually found that it is worthwhile to change our concept from a centralized wastewater management to a decentralized wastewater management, meaning that we should collect and treat wastewater as closely as possible to its point of production or probable reuse.”

Mahmoudian fährt fort:

“The benefits we expect to draw from this change are:

- Employment of a combination of cost effective solutions and technologies.
- Tailoring the solutions to the problems.
- Reducing the freshwater requirement for waste transportation.
- Reducing the risks associated with system failure.
- Increasing the wastewater reuse opportunities.
- Reducing the cost of collection systems significantly.”

6 Abwasserreinigung

6.1 Kommunale Abwasserreinigung

Abschnitt 3.4 gibt einen Überblick über die gebauten und im Bau befindlichen kommunalen Kläranlagen, deren Größe und die eingesetzten Klärtechniken. Die favorisierten Verfahren hängen einerseits von den örtlichen Gegebenheiten wie Platz, Gefälle, Untergrundbeschaffenheit etc. ab, sind aber auch stark von den Erfahrungen der örtlichen „Sewerage Companies“ geprägt.

Belebungsanlagen gelten eher als schwierig zu betreiben, mit hohem Aufwand für die Instandhaltung sowie hohen Energiekosten. Auch die Unterbringung des Klärschlammes wird regional als Problem gesehen. Während in Esfahan dessen landwirtschaftliche Verwendung Tradition hat, wird die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in anderen Regionen aus religiös-kulturellen Gründen eher kritisch beurteilt. Dort wo genügend Fläche zur Verfügung steht, gelten deshalb Teichanlagen als Alternative. Als Vorteile werden deren einfacher Betrieb, geringe Wartungs- und Energiekosten sowie der geringe Schlammanfall genannt. Auch die Keimreduktion bei den üblicherweise langen Wasserverweilzeiten wird positiv bewertet, insbesondere bei landwirtschaftlicher Nutzung des gereinigten Abwassers. Geruchsprobleme, Methangasaustritt sowie die großen Verdunstungsverluste und die damit verbundene Aufsalzung werden dagegen kaum thematisiert, wenngleich sie durchaus bekannt sind.

In den nachstehenden Abschnitten werden einige Kenndaten der besuchten Abwasserreinigungsanlagen dargestellt.

6.1.1 Tehran

- **Kläranlage Shosh**

Die Kläranlage Shosh wurde 1977 gebaut, ist für 40 000 EW ausgelegt und wird derzeit mit ca. 100 000 EW betrieben. Auf Bild 10 ist der prinzipielle Aufbau der Belebungsanlage zu erkennen: Einlaufpumpwerk, zwei parallele Rechenanlagen mit Mengenmessung, vier rechteckige Belebungsbecken mit Oberflächenbelüftern, drei Nachklärungen sowie acht Schlamm-trockenbeete. Letztere werden seit einigen Jahren wegen Geruchsbelästigung und Moskitos nicht mehr betrieben. Der Schlamm wird flüssig abgefahren und offiziell in der Wüste deponiert. Inoffiziell war zu hören, dass die Spediteure den Schlamm auch an näher liegende Landwirte abgeben/verkaufen würden.

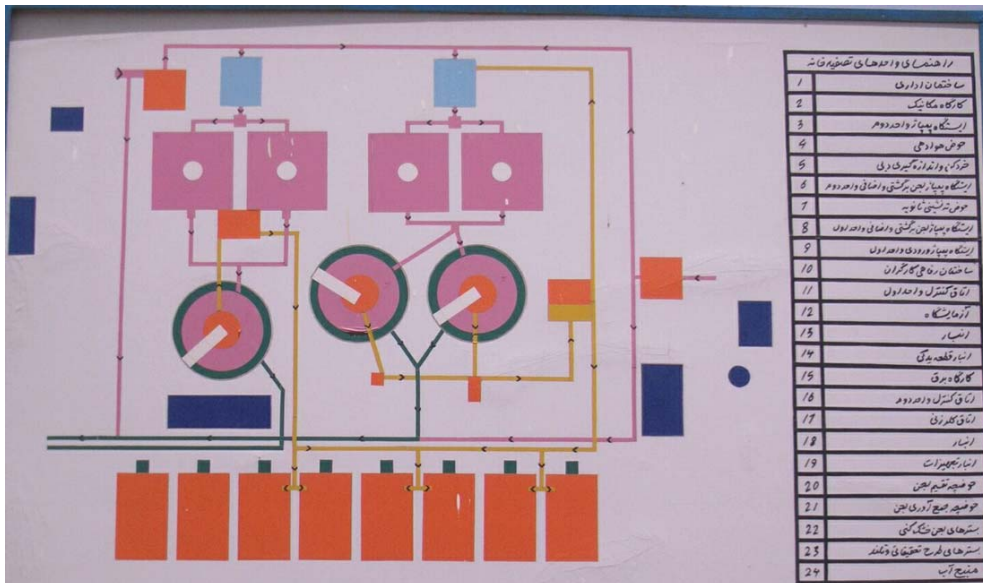


Bild 10: Schaubild der Kläranlage Shosh in Tehran

Die Anlage macht einen sehr gepflegten Eindruck, wie auch die zwei Bilder von Belebung und Nachklärung (Bild 11 und Bild 12) belegen. Der Ablauf ist klar. Laut Analysenprotokoll wird der BSB_5 von 280 mg/l im Einlauf auf 6 mg/l erniedrigt. Die ausgewiesene Ammoniumreduktion von 75 mg/l im Zulauf auf 16 mg/l im Ablauf ist allerdings nicht nachvollziehbar.



Bild 11: Kläranlage Tehran Shosh: Rechteckiges Belebungsbecken mit Oberflächenbelüfter



Bild 12: Kläranlage Tehran Shosh: Nachklärbecken

- **Kläranlage Tehran South**

Die Kläranlage Tehran Süd (Bild 13) wurde 1996 als Notbehelf gebaut, als ein Teil der Kanalisation fertig gestellt war und Abwasser anfiel.



Bild 13: Schild der Kläranlage Tehran South

Sie wurde als zweistraßige belüftete Teichanlage mit je vier kaskadierten Becken in Serie geplant, wird jedoch als unbelüftete Teichanlage betrieben. Dies erklärt die für unbelüftete Teiche ungewöhnliche Tiefe von 3,4 m. Bei einer Breite von jeweils 66,6 m und Längen der Becken von 146, 241, 241 und 210 m resultiert ein Gesamtvolumen von ca. 380 000 m³. In 2004 waren 258 000 EW angeschlossen, was bei ca. 52 000 m³/d Abwasser zu einer mittleren Verweilzeit von ca. 7,3 Tagen führt.

Die Anlage ist fernab von Wohnbebauungen. Die Geruchsentwicklung ist beträchtlich; Schwefelwasserstoff ist deutlich wahrnehmbar. Speziell in den ersten Becken steigen permanent schwarze Schlammfladen auf, begleitet von Gasausbrüchen (Bild 14). Der Ablauf ist milchig grün (Algen) und wird zur Bewässerung benutzt (Bild 15 und Bild 16). Moskitos wurden keine beobachtet. Schlamm wurde seit der Inbetriebnahme nicht entnommen.



Bild 14: Kläranlage Tehran South: Unbelüftete Teiche mit Schlammfladen und Gasausbrüchen



Bild 15: Kläranlage Tehran South: Ablauf



Bild 16: Kläranlage Tehran South: Bewässerung mit dem Kläranlagenablauf

- **Planung und Bau**

Laut Masterplan soll zukünftig das komplette Abwasser der Stadt Tehran in modular aufgebauten Kläranlagen gereinigt werden. Derzeit sind 20 Module à 520 000 EW geplant. Mehrere Module werden zu Kläranlagen zusammengefasst.

In direkter Nachbarschaft zur oben beschriebenen Kläranlage Tehran South wird derzeit eine neue Kläranlage bestehend aus sechs Modulen gebaut (Hintergrund Bild 14). Zwei Module werden als Belebungsanlage von einem iranischen (?) Konsortium gebaut, mit vier Modulen wurde die Fa. VA TECH WABAG beauftragt. Letztere Anlage ist zweistufig konzipiert, bestehend aus Belebungs- und nachgeschalteten Tropfkörpern zur Nitrifikation. In sechs Faultürmen à 9 000 m³ soll genügend Biogas erzeugt werden, um 80 % des Bedarfs an elektrischer Energie erzeugen zu können. Die geforderten Ablaufwerte betragen für die erste Ausbaustufe < 25 mg/l BSB₅, < 25 mg/l NH₄⁺-N, < 30 mg/l Gesamt-N, faecal coliforms < 400 MPN/100ml und nematode eggs < 1 pcs/l (MPN = most probable number). In einer späteren Ausbaustufe soll der Ammoniumablaufwert auf < 2 mg/l abgesenkt werden und eine Teildenitrifikation erfolgen.

Das Projekt wird von der Weltbank finanziert. Der Auftragswert für diese erste Ausbaustufe beträgt laut Angaben von VA TECH WABAG 35 Mio. EUR zuzüglich 21 Mio. EUR für den fünfjährigen Betrieb (Vatechwabag, 2005). Vom Ministerium wurden 60 Mio. EUR Investitionskosten inkl. der Schlammbehandlung genannt, zuzüglich 20 Mio. EUR für den fünfjährigen Betrieb. Hieraus errechnen sich spezifische Investitionskosten im Bereich von 17 bis 29 EUR/EW. Die Inbetriebnahme soll 2006 erfolgen.

6.1.2 Mashhad

Mashhad ist die Hauptstadt der Provinz Khorasan im Nordosten Irans, ca. 900 Kilometer entfernt von Tehran. Mashhad liegt in einer Höhe von 989 Metern und umfasst einen Bereich von ca. 200 km². Die Einwohnerzahl beträgt ca. 2,5 Millionen. Die Grabmoschee des Imam Reza aus dem frühen neunten Jahrhundert wird von den schiitischen Muslimen als heilige Stätte verehrt und zieht jedes Jahr ca. 15 Mio. Pilger an. Von wirtschaftlicher Bedeutung sind neben der traditionellen Teppichherstellung die Woll- und Baumwollverarbeitung sowie die Herstellung chemischer und pharmazeutischer Produkte.

Der Wasserbedarf wird zu 90 % mittels ca. 300 Tiefbrunnen (150 bis 250 m) dem Grundwasser entnommen. Die restlichen 10 % werden als Oberflächenwasser aus zwei Talsperren zugeführt. Die Mashhad Water and Wastewater Co. berechnet

einen jährlichen Wasserbedarf von 215 Mio. m³ und verfügt nach eigenen Angaben lediglich über 174 Mio. m³/a. Dieser Mangel führt zu Wasserrationierung. Im Sommer erfolgt die zeitweise Abschaltung der Wasserversorgung in einzelnen Stadtteilen. Die industriellen Wassernutzer benötigen lediglich 5 % des gesamten Wasseraufkommens. (Anmerkung des Autors: Der „Wassermangel“ ist nur schwer nachvollziehbar, da 174 Mio. m³/a bezogen auf 2,5 Mio. EW einen spezifischen Wert von 190 l/EW/d ergeben. Selbst die Berücksichtigung der 15 Mio. Pilger bei einem angenommenen fünftägigen Aufenthalt führt nur zu einer rechnerischen Erhöhung der Einwohnergleichwerte um 200 000 EW, d. h. die verfügbare Wassermenge würde immer noch > 175 l/EW/d betragen. Dieser scheinbare Widerspruch ließ sich während des Besuchs nicht aufklären.)

Mashhad betreibt zwei Kläranlagen: Die Kläranlage Mashhad West innerhalb des Stadtgebiets mit einer Designgröße von 15 000 m³/d, die derzeit um 25 000 m³/d erweitert wird, und die neue Kläranlage Mashhad East, ca. 20 km östlich von Mashhad, die im Endausbau für 400 000 m³/d geplant ist, wovon derzeit die erste Phase für 25 000 m³/d betrieben wird.

- **Kläranlage Mashhad West**

Die Kläranlage wurde für 15 000 m³/d bemessen und wird derzeit mit 25 000 bis 34 000 m³/d beaufschlagt. Es handelt sich um eine zweistraßige belüftete Teichanlage folgenden Aufbaus: Rechen, Belüftungstreppe (Bild 17), zwei parallel angeordnete belüftete Teiche (zwei mal 148 x 68 x 4 = 80 500 m³) mit schwimmenden Oberflächenbelüftern (Bild 18), zwei quadratische Sedimentationsbecken (zwei mal 101 x 101 x 3 = 61 000 m³) (Bild 19), einem gemeinsamen Schönungsbecken von 174 x 174 x 2 = 60 500 m³ sowie einem Chlorierungsbecken zur Desinfektion (Bild 20), welches aber noch nie betrieben wurde.

Der TS-Gehalt in der belüfteten Stufe beträgt 0,4 g/l, eine Schlammrückführung ist nicht vorgesehen. Die Design-Verweilzeiten in den drei hintereinander liegenden Becken von 5,4 und 4 Tagen halbieren sich allein aufgrund der Überlast. Eine zusätzliche Verkürzung der hydraulischen Verweilzeit resultiert dadurch, dass in den Sedimentationsbecken und dem Schönungsbecken die Höhe des abgelagerten Schlammes 1 m resp. 0,8 m beträgt und somit nur 40 bis 60 % der Beckenvolumina zur Verfügung stehen. Seit Inbetriebnahme vor ca. 8 (?) Jahren wurde bisher kein Schlamm entnommen. Der Ablauf ist rot gefärbt (S-Bakterien?) und trüb. Den Zulaufwerten von 300 mg/l BSB₅, 600 mg/l CSB und 350 mg/l TSS stehen Ablaufwerte von 100 mg/l, 350 mg/l und 200 mg/l gegenüber. Man kann hier allenfalls von

einer Vorreinigung sprechen. Die Anlage wird derzeit mit „stabilization ponds“ (Design 25 000 m³/d) erweitert.



Bild 17: Kläranlage Mashhad West: Belüftungstreppe



Bild 18: Kläranlage Mashhad West: Belüftete Teiche



Bild 19: Kläranlage Mashhad West: Sedimentationsbecken



Bild 20: Kläranlage Mashhad West: Chlorierungsbecken

- **Kläranlage Mashhad East**

Die Kläranlage East wurde als mehrstraßiger sogenannter „anaerobic/facultative stabilization pond“ konzipiert. Bild 21 (Luftbild aus der Bauphase) zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Straße für 25 000 m³/d. Nach 25 mm Rechen und Mengemessung mittels Ultraschall wird das Rohabwasser zunächst in die acht paarweise unterhalb der fakultativen Becken angeordneten „anaerobic ponds“ eingeleitet. Die Beckengröße dieser 2 m hohen anaeroben Vertiefungen beträgt 8 x 4 880 m³, woraus eine rechnerische hydraulische Verweilzeit bei Design-Belastung von 1,5 Tagen resultiert. Aus diesen anaeroben Becken gelangt das Abwasser in die darüber angeordneten Becken, die als „facultativ“ oder „anoxisch/aerob“ bezeichnet werden. Jedes der vier Becken hat eine Oberfläche von 35 000 m² und eine Tiefe von 3 m, woraus sich ein Gesamtvolumen von 416 000 m³ und eine Verweilzeit von 16 Tagen ergibt. Über je sechs Wehre (Bild 22) läuft das Wasser in zwei sogenannte „maturation ponds“ (Schönungsbecken) mit je 25 000 m² und 4 m Wassertiefe über (Verweilzeit acht Tage). Anschließend ist eine Chlorung und erneute Mengemessung vorgesehen.



Bild 21: Kläranlage Mashhad East: Luftbild aus der Bauphase einer Straße



Bild 22: Kläranlage Mashhad East: Überlaufwehre aus dem fakultativen Becken (rechts) in den Schönungsteich (links)

Derzeit ist nur eine Straße von 16 geplanten gebaut und in Betrieb. Die zulaufende Abwassermenge beträgt derzeit lediglich $4\,300\text{ m}^3/\text{d}$, wovon die Hälfte verdunstet, wie sich aus dem Vergleich der zulaufenden (50 l/s) und ablaufenden (25 l/s) Wassermengen ergibt (rechnerische Verdunstung: $2\,150\text{ m}^3/\text{d}$ bezogen auf $190\,000\text{ m}^2 = 11,3\text{ l/m}^2/\text{d} = > 4\,000\text{ mm/m}^2/\text{a}$).

Im Endausbau mit 16 solcher Anlagen ($= 400\,000\text{ m}^3/\text{d}$) errechnet sich eine Beckenoberfläche von über 3 Mio. m^2 ($> 3\text{ km}^2$) und eine Verdunstung von mehr als $30\,000\text{ m}^3/\text{d}$.

Das gereinigte Abwasser hält die physikalisch-chemischen Grenzwerte ein und wird landwirtschaftlich genutzt. Die Chlorierung ist bautechnisch vorgesehen, jedoch apparativ nicht ausgerüstet. Rechengut fällt, wie auch auf den anderen Anlagen, keines an. Einlaufbauwerk und die gesamte Teichanlage waren geruchsfrei. Als Vorteil führt der Betreiber an, dass die Anlage praktisch keine Wartung benötigt, da außer Pumpen keine Maschinen eingesetzt werden. Zudem ist der Energieverbrauch äußerst niedrig. Die Anlage ist erst ein Jahr in Betrieb. Es wird davon ausgegangen, allenfalls nach 10 bis 15 Jahren Schlamm aus den Becken entnehmen zu müssen.

6.1.3 Shiraz

Die Abwasserentsorgung und -behandlung in Shiraz ist wegen der unterschiedlichen Höhenlage zweigeteilt in Ost und Süd-West (Bild 23). Für die Entwässerungsplanung wurde ein weiteres Wachstum der Einwohnerzahl von derzeit 1,2 Mio. auf 2 Mio. zugrunde gelegt. Auch in Shiraz ist geplant, den Bau und die Erweiterung der Abwasserbehandlung modulweise vorzunehmen. Jedes Modul wird für 300 000 EW ausgelegt. Die Kläranlage Ost wird aus zwei Modulen aufgebaut; die Kläranlage soll im Endausbau aus fünf Modulen bestehen. Besichtigt wurde ein im Bau befindliches Modul der Kläranlage Ost. Bild 24 zeigt ein Schema der Belebungsanlage mit Rechen, Sandfang, zwei runden Vorklärbecken, aerobem Selektor, vier Belebungsbecken mit Oberflächenbelüftern, vier Nachklärbecken, Chlordosierung, Schlammverdicker, vier geplanten Faultürmen (zwei davon sind im Bau) und Schlamm-trockenbeeten. Bei der Planung wurde eine spezifische Abwassermenge von 180 l/EW/d, zuzüglich 90 l/EW/d Fremdwasser wegen des hohen Grundwasserstands von 1 m unter Geländeoberkante im tief gelegenen Südteil, zugrunde gelegt. Die BSB₅-Zulaufkonzentration wurde mit 240 mg/l angesetzt und die Belebungsanlage mit einer Belebtschlammkonzentration von 2,5 g/l ausgelegt. Bei einer Belebungsbeckengröße von vier Becken à 88 x 18 x 4,4 = 28 000 m³ resultiert ein Schlammalter von ca. 3,5 Tagen.

Das gereinigte Abwasser soll zur landwirtschaftlichen Bewässerung vorgesehen werden. Auch der entwässerte Faulschlamm soll nach sechsmonatiger Lagerung (Kompostierung) landwirtschaftlich genutzt werden. Für die industriellen Einleiter wird die Einhaltung nachfolgender Standards gefordert: BSB₅ < 220 mg/l; CSB < 500 mg/l; TSS < 270 mg/l; pH 6,5 bis 8; FOG < 50 mg/l und T < 40 °C (FOG = fat, oil and grease). Eine Regierungskommission für Industrie entscheidet über die Einleitgenehmigung und erteilt ggf. Auflagen zur Vorbehandlung, die jedoch laut Water and Wastewater Co. häufig nicht durchgeführt wird, zumal praktisch keine Kontrolle erfolgt.

Die Verfahrenswahl erfolgte durch die Planungsabteilung der Water and Wastewater Co. - in Abstimmung mit der Weltbank. Für eine Belebungsanlage hat man sich aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse und wegen des hohen Grundwasserstands entschieden. Bei ausreichend Platz wären vermutlich „stabilization ponds“ realisiert worden, wegen der geringeren Wartungs- und Stromkosten.

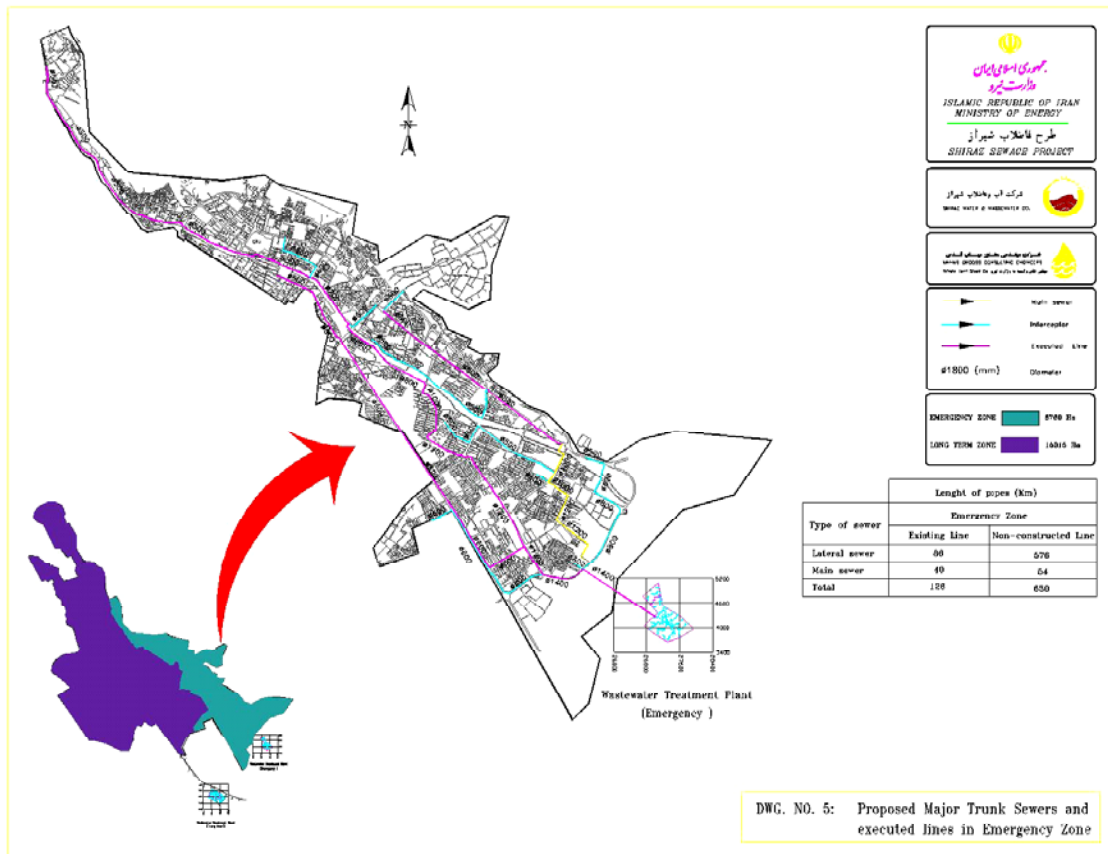


Bild 23: Stadtplan der Stadt Shiraz mit Lage der Abwasserentsorgung und -behandlung

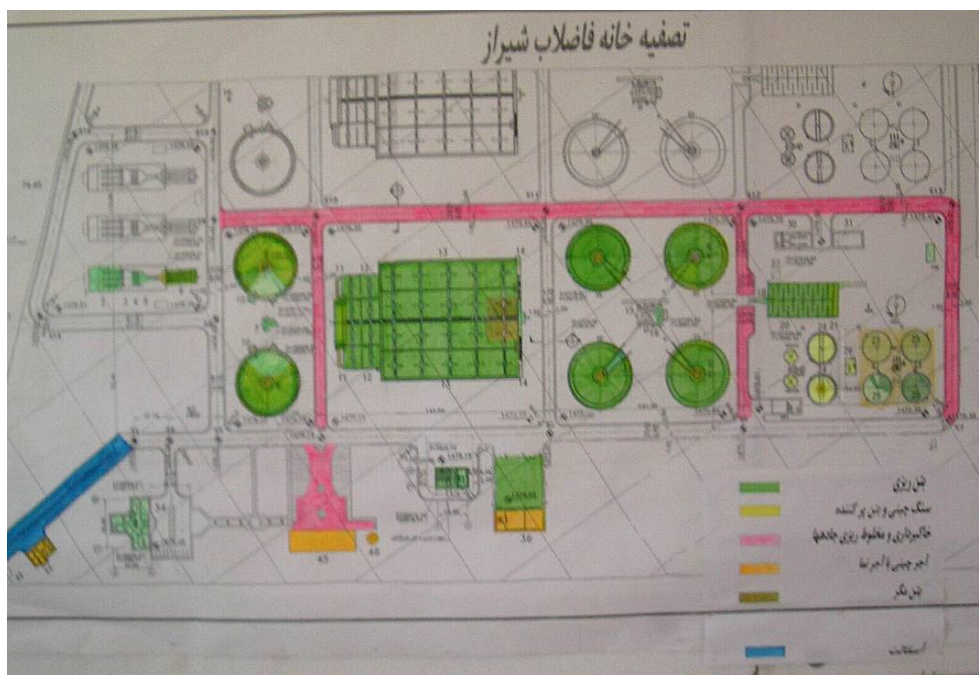


Bild 24: Shiraz, Kläranlage Ost: Schema der Anlage

Die Anlage wird von einem iranischen Konsortium gebaut. Die Investitionskosten belaufen sich auf 9 Mio. US\$ für das 300 000 EW Modul und teilen sich zu 55 % auf Bau und 45 % auf Ausrüstung auf. Hieraus resultieren spezifische Investitionskosten von 30 US\$/EW bzw. ca. 25 EUR/EW.

Die Anlage wird von der Weltbank finanziert, die für den gesamten Aufbau der Stadtentwässerung, der Kläranlagen, aber auch für die Erschließung neuer Quellen für die Wasserversorgung 135 Mio. US\$ zur Verfügung stellt, verbunden mit strengen Auflagen, wie z. B. einer Reduzierung des spezifischen Wasserverbrauchs um jährlich 1 % in den nächsten 15 Jahren.

6.1.4 Esfahan

Esfahan (auch Isfahan) ist die Hauptstadt der gleichnamigen Provinz Esfahan. Die Stadt Esfahan ist eine Oasenstadt an den östlichen Hängen des Zagrosgebirges und liegt auf ca. 1 570 m Höhe. Rund um die Stadt gibt es viele Baumwollfelder und Textilindustrie. Die Einwohnerzahl beträgt etwa 1,5 Millionen.

Die Wasserversorgung beruht zu 80 % auf Oberflächenwasser (Fluss- und Tal-sperrenwasser) und zu 20 % auf Grundwasser. In der Provinz Esfahan gibt es 22 Kläranlagen (inkl. derer die sich im Bau befinden), davon 13 unbelüftete Teichanlagen (5 000 bis 150 000 EW), sechs Belebungsanlagen (5 000 bis 890 000 EW), zwei belüftete Teichanlagen (2 000 und 60 000 EW) sowie einen „septic tank“ für 5 000 EW. Das Stadtgebiet ist zu 95 % an die Kanalisation angeschlossen. Die Stadt Esfahan betreibt drei Kläranlagen (Süd, Nord, Shahin Shahr). Eine AB-Anlage am Standort Nord für 800 000 EW ist im Bau.

- **Kläranlage Süd**

Die Kläranlage Süd wurde in mehreren Bauphasen errichtet. Nachdem die in Bauphase I gebauten Tropfkörper sich wegen Verstopfungen der Drehsprenger nicht bewährt haben, wurde Ende der 70er Jahre (Phase II) und Anfang der 80er Jahre (Phase III) die jetzige Belebungsanlage gebaut. Der Aufbau ist klassisch: Einlaufschneckenpumpwerk, Rechen, belüfteter Sandfang, Vorklärung, Umlaufgraben mit Walzenbelüfter (Bild 25), Nachklärbecken, Chlorierung (nie betrieben), Schlamm-eindicker, Faulung (20 Tage Faulzeit), Schlammwässerung mittels KHD-Zentrifugen (Bild 26 und Bild 27) und Schlamm-trockenbeete. Die Kläranlage ist für 890 000 EW ausgelegt. Die Ausrüstung stammt überwiegend noch aus den 70er und 80er Jahren von Passavant, Klöckler Humboldt Deutz und Landustri.



Bild 25: Esfahan, Kläranlage Süd: Umlaufgraben mit Walzenbelüfter



Bild 26: Esfahan, Kläranlage Süd: KHD-Zentrifugen



Bild 27: Esfahan, Kläranlage Süd: Schild an einer KHD-Zentrifuge (Baujahr 1977)

Der Zulauf beträgt derzeit $1,5 \text{ m}^3/\text{s} = 130\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. Derzeit wird die Anlage um einen Selektor erweitert, um das Absetzverhalten des Schlammes zu verbessern. Der SVI beträgt 270 bis 520 ml/g; der TS-Gehalt in der Belebung $< 2 \text{ g/l}$. Auch das Absetzverhalten im Schlammendicker ist augenscheinlich sehr schlecht, so dass erhebliche Schlammengen mit dem Überstandswasser vor den Rechen zurückgeführt werden. Entsprechend ist die Reinigungsleistung eher als mäßig zu beurteilen. Der BSB_5 wird von 250 mg/l auf 30 bis 50 mg/l erniedrigt. Die Anlage wird von 70 Mitarbeitern im Schichtbetrieb (18 Mitarbeiter/Schicht) betrieben. Das Wasser wird in den Vorfluter eingeleitet, der getrocknete Schlamm in der Landwirtschaft verwertet.

- **Kläranlage Nord**

Die Kläranlage Nord ist ebenfalls eine Belebungsanlage mit Umlaufbecken und Walzenbelüftern. Sie ist ausgelegt für $70\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ und wird derzeit mit $100\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ betrieben. Aufbau: Rechen, Sandfang, zwei Vorklärbecken ($\varnothing 35 \text{ m}$, Tiefe $3,25 \text{ m}$), zwei Umlaufbecken à $6\,000 \text{ m}^3$ (TS 3 bis 5 g/l ; $B_{\text{TS}} = 0,5 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS/d}$), zwei Nachklärbecken ($\varnothing 60 \text{ m}$; Tiefe $2,2$ bis 4 m), zwei Faultürme (Bild 28), Fackel und Schlamm-trockenbeete (zwei bis drei Monate). Die Anlage stammt aus den 80er Jahren und wurde u. a. von Passavant ausgerüstet.



Bild 28: Esfahan, Kläranlage Nord: Faultürme



Bild 29: Esfahan, Kläranlage Nord: Kläranlagenablauf (Trübung)

Daten über die Abwasserqualitäten liegen nicht vor. Das Abwasser schäumt erheblich, der Kläranlagenablauf ist augenscheinlich trüb (Bild 29) und darf gemäß Anordnung der Gesundheitsbehörde nicht zur Bewässerung genutzt werden. Das Faulgas wird abgefackelt, da die Verstromung bei Stromkosten von 40 Rial/kWh = 0,004 EUR/kWh nicht wirtschaftlich ist. Die Anlage bietet ein erhebliches Potential zur Optimierung des Betriebs.

In unmittelbarer Nachbarschaft wird derzeit eine AB-Anlage für 800 000 EW gebaut. Bild 30 zeigt ein Modell; Bild 31 gibt einen Eindruck der Baustelle wieder.



Bild 30: Esfahan, Modell der neuen AB-Anlage



Bild 31: Esfahan, Baustelle für die neue AB-Anlage

- **Kläranlage Shahin Shahr**

Die Kläranlage Shahin Shahr stammt ebenfalls aus den 80er Jahren und wird mit 40 000 bis 50 000 m³/d beaufschlagt. Es handelt sich um eine Belebungsanlage mit Oberflächenbelüftern, die mit 2,3 g TS/l und einem Schlammalter von vier bis sechs Tagen betrieben wird. Den Nachklärbecken nachgeschaltet sind zwei Schöpfungsteiche mit 35 000 m³ und 45 000 m³, die derzeit um einen dritten mit 70 000 m³ erweitert werden. Der Schlamm wird in drei Faultürmen à 2 500 m³ ausgefault und dann landwirtschaftlich genutzt. Die Anlage macht einen sehr gepflegten Eindruck und wird seit 15 Jahren von dem gleichen Team kompetent betrieben. Dies spiegelt sich auch in der Reinigungsleistung wieder (Tabelle 11)

Tabelle 11: Monatsmittelwerte der KA Shahin Shahr

| Parameter | Zulauf | Ablauf |
|--------------------------|--------|--------|
| Trübung in NTU | 68 | 6,8 |
| BSB ₅ in mg/l | 279 | 10,5 |
| CSB in mg/l | 525 | 49,0 |
| AFS in mg/l | 230 | 46,0 |

Problematisch sind der Geruch und die Moskitos, speziell im Bereich des Schlammverdickers, sowie die Korrosion des Kanals, da bedingt durch die Lage 20 km außerhalb des Stadtgebietes das Abwasser bis zu 10 h unterwegs ist.

6.2 Industrieabwasserreinigung

Spezielle Industrieabwasserreinigungsanlagen finden sich überwiegend in der Erdölindustrie im Süden des Landes. Hierzu liegen jedoch keine Daten vor. Auch deutsche Anlagenbauer und Ausrüster waren am Bau dieser Anlagen beteiligt.

In den besuchten Großstädten gibt es Auflagen zur Indirekteinleitung (vgl. Abschnitt 6.1.3), die ggf. eine Vorbehandlung industrieller Abwässer erforderlich machen. Mangelnde Kontrollen und mangelnde Durchsetzungsfähigkeit der Behörden führen laut Aussagen der Wastewater Co. in der Praxis dazu, dass diese Vorbehandlungsanlagen entweder nicht gebaut oder zwar gebaut, aber nicht betrieben werden.

6.3 Dezentrale Abwasserreinigung

Die meisten Anwesen auf dem Land, aber auch in vielen großen Städten, verfügen über eigene Abwasserbrunnen (vgl. Abschnitt 3.2). Diese Praxis hat erheblich zur Grundwasserverunreinigung vor allem mit Stickstoffverbindungen beigetragen.

Gemäß derzeitiger Planung wird die Sammlung mittels Schwemmkanalisation und die zentrale Behandlung der Abwässer angestrebt. Weitergehende Überlegungen der Planungsstäbe in Tehran befassen sich aber bereits mit der dezentralen Erfassung, Behandlung und Wiederverwendung, wie das nachstehende Zitat des Technical Studies Managers der National Water and Wastewater Eng. Co. des Ministry of Energy zeigt: „We gradually found that it is worthwhile to change our concept from a centralized wastewater management to a decentralized wastewater management, meaning that we should collect and treat wastewater as closely as possible to its point of production or probable reuse.“ (vgl. Abschnitt 5).

7 Kosten

7.1 Kosten

Für die Kanalisation gibt Mahmoudian Preise von 300 EUR/m (offener Graben) bis 400 EUR/m („pipe jacking“) für einen 1 200 mm Kanal im Stadtgebiet Tehrans an. 200 mm Kunststoffrohre werden je nach Verlegemethode mit 90 bis 115 EUR/m kalkuliert, 450 mm Rohre mit 120 bis 130 EUR/m (Mahmoudian, 2004).

Die spezifischen Baukosten für Kläranlagen sind bei Belebungsanlagen im Bereich von 20 bis 30 EUR/EW anzusetzen. Für Teichanlagen liegen keine Daten vor. Die Finanzierung erfolgt i. d. R. durch das Government. Etliche Projekte werden von der Weltbank finanziert oder mit Zuschüssen/Förderung aus dem Ausland.

Für Stromkosten müssen auf Kläranlagen ca. 40 Rial/kWh = 0,004 EUR/kWh zugrunde gelegt werden. Um zum Energiesparen zu animieren, werden diese Preise zukünftig angehoben werden.

7.2 Gebühren

Die Gebühren unterteilen sich in fixe Kosten und Verbrauchskosten.

In Tehran betragen die fixen Kosten für den Trinkwasseranschluss 7 091 Rial pro Wohneinheit (0,7 EUR) und 484 Rial/m³ (0,05 EUR/m³). Für die Abwasserentsorgung fallen nochmals 7 091 Rial Anschlusskosten und 506 Rial/m³ an, wobei als Abwassermenge 70 % des Trinkwasserbezugs angesetzt werden (Tehran Sewerage Co., 2004). Für eine fünfköpfige Familie resultieren bei 200 l/Person/d somit Kosten von:

$$5 \text{ EW} \times 0,2 \text{ m}^3/\text{EW}/\text{d} \times (484 \text{ Rial}/\text{m}^3 + 0,7 \times 506 \text{ Rial}/\text{m}^3) \times 30 \text{ d}/\text{Monat} + 2 \times 7\,091 \text{ Rial (Anschluss)} = 39\,328 \text{ Rial}/\text{Monat} = 3,87 \text{ EUR}/\text{Monat}.$$

In Shiraz werden 600 Rial/m³ für Trinkwasser und ebenfalls 600 Rial/m³ für Abwasser (70 % des Trinkwasserverbrauchs) erhoben, zuzüglich Anschlusskosten von ca. 10 000 Rial monatlich. Für eine fünfköpfige Familie resultieren somit:

$$5 \text{ EW} \times 0,2 \text{ m}^3/\text{EW}/\text{d} \times 1,7 \times 600 \text{ Rial}/\text{m}^3 \times 30 \text{ d}/\text{Monat} + 10\,000 \text{ Rial (Anschluss)} = 40\,600 \text{ Rial}/\text{Monat} = 4 \text{ EUR}/\text{Monat}.$$

8 Wiederverwendung

Die Wiederverwendung gereinigten Abwassers zur landwirtschaftlichen Bewässerung wird von der Regierung politisch angestrebt. Das „Iranian Department of Environment“ hat Grenzwerte für die Nutzung festgeschrieben (vgl. Tabelle 2 in Abschnitt 2.2). Die Standards legen für BSB₅ < 100 mg/l, CSB < 200 mg/l und gesamtcoliforme Bakterien < 1 000/100 ml fest. Sie sind in Übereinstimmung mit der WHO Richtlinie (WHO, 1989) von 1989, jedoch nicht sehr streng im Vergleich zu den Empfehlungen der EPA (2004) von BSB₅ < 45 mg/l, CSB < 90 mg/l und gesamtcoliforme Bakterien < 200/100 ml.

Mahmoudian berichtet von Untersuchungen, die Ertragssteigerungen für verschiedene Feldfrüchte bei Verwendung gereinigten Abwassers gegenüber Brunnenwasser belegen:

„The objective of the research was to convince the farmers to exchange well water with treated effluents on the basis of the project’s results. ... Following the above research, intensive technical, economic and social studies were undertaken, and the plans for transferring the treated effluents to farms and the transfer of agricultural well waters to Mashhad were prepared. After ascertaining the feasibility of the plan, repeated negotiations with farmers and obtaining their agreement the executive operations began and are continuing.” (Mahmoudian, 2004).

Tabelle 12 enthält einige Daten zu dem Projekt in Mashhad.

Tabelle 12: Einzelheiten des Ersetzens von Brunnenwasser durch behandeltes Abwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung in der Stadt Mashhad (Mahmoudian, 2004)

| Project components | Unit | Quantity |
|--|--------------------------------------|----------|
| Volume of agricultural water replaced with treated effluent | 10 ⁶ m ³ /year | 150 |
| Volume of effluent considered as a potential source for artificial recharge of ground aquifers | m ³ /year | 130 |
| Source of treated effluent (WWTP) | Number | 2 |
| Source of agricultural water: | Number | |
| Impounding reservoir | | 2 |
| Well | | 180 |
| Qanat | | 1 |
| Spring | | 1 |
| Total length of effluent conveyance pipeline from treatment plant to the farmlands | km | 165 |
| Total length of water supply pipeline from agricultural resources to the City of Mashad | km | 113 |
| Number of pumping stations | Number | 8 |
| Maximum pumping head | m | 300 |
| Total cost of the project | Mio. EUR | 7.7 |

Gleichwohl bleibt festzuhalten, dass die Wasserwiederverwendung, wie in anderen islamischen Staaten auch, nicht unumstritten ist. Da die Schiiten jedoch bezüglich der Anpassung alter religiöser „Regeln“ an heutige Randbedingungen fle-

xibler sind als die sunnitischen Moslems, setzt sich im Iran allmählich die Auffassung durch, dass das Abwasser durch die Behandlung soweitgehend verändert wird, dass eine landwirtschaftliche Nutzung im Einklang mit den religiösen Regeln erfolgen kann.

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Iran ist ein arides Land mit geringen Niederschlägen. Nahezu die Hälfte der nutzbaren Ackerfläche muss künstlich bewässert werden. Nur auf 10 % der Ackerfläche - überwiegend im Westiran - fällt genügend Regen für den Ackerbau. Trinkwasser wird regional verschieden aus aufgestautem Oberflächenwasser und aus Grundwasser gewonnen. Die Grundwasservorkommen einiger Großstädte wie z. B. Tehran und Mashhad sind durch die jahrzehntelang praktizierte dezentrale Versickerung der Abwässer stark mit Ammonium und Nitrat verunreinigt.

In den großen Städten Tehran, Mashhad und Shiraz waren im Jahr 2004 nur rund 10 % der Bevölkerung an die Kanalisation angeschlossen. Derzeit werden dort gewaltige Anstrengungen unternommen, die Kanalisation auszubauen und den Anschlussgrad an Kläranlagen zu erhöhen. In den Städten werden überwiegend Belebungsanlagen gebaut; dort wo genügend Platz ist aber auch „stabilization ponds“, aufgrund des niedrigen Wartungsaufwands und des niedrigen Energieverbrauchs.

Das gereinigte Abwasser wird zunehmend zur landwirtschaftlichen Bewässerung wiederverwendet. Eine Desinfektion des Kläranlagenablaufs ist baulich bei den meisten Kläranlagen vorgesehen, wird, angeblich aus Gründen der Verfügbarkeit von Chlor, aber auch wegen der hohen Kosten nirgends betrieben. (Anm.: Bei den teilweise hohen Ablaufwerten an BSB₅/CSB ist eine Chlorung derzeit auch nicht empfehlenswert.)

Die relativ hohen spezifischen Verbrauchswerte von 170 bis 280 l/EW/d, die jedoch auch die „unaccounted losses“ enthalten und wegen der andersartigen statistischen Erfassung nicht direkt mit den spezifischen Verbrauchszahlen Deutschlands verglichen werden können, führen zu Überlegungen der dezentralen Abwassererfassung, -behandlung und Mehrfachnutzung. Dies könnte den Wasserverbrauch in den Städten erheblich absenken und die hochwertigen Ressourcen schonen.

Deutsche Firmen haben einen guten Ruf, u. a. auch wegen der Langlebigkeit der Produkte. Auf zahlreichen alten Kläranlagen, insbesondere in der Provinz

Esfahan, sind Ausrüstungen der Fa. Passavant und Zentrifugen der Firma KHD auch noch nach 25 bis 30 Jahren im Einsatz.

Wegen der angelsächsischen Ausbildung der Ingenieure und den angelsächsischen Auslegungsrichtlinien und Textbüchern steht man deutschen Bemessungsregeln aber eher skeptisch bis ablehnend gegenüber. Zitat eines leitenden technischen Managers einer „project managing unit“ in der Tehran Sewerage Co.: „Deutsche Angebote, die auf deutschen Bemessungsansätzen beruhen, werden erst mal zur Seite gelegt, da man nicht weiß, wie man diese überprüfen soll.“

Sämtliche besuchten Belebungsanlagen zeigen erhebliches Potential für betriebliche Verbesserungen. Hier schlägt sich der eher schlechte Ausbildungsstand des Betriebspersonals nieder. Aber hier liegt auch eine Chance zum Einstieg in den iranischen Kläranlagenmarkt.

10 Literatur und Quellen

Country-studies (2005) www.country-studies.com/iran/water.html (01.02.2005)

EPA (2004) Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108, September 2004

Ghassemi, A., TWW Co. Periods of Water Crisis in Tehran - Causes, Strategies and Outcomes (year and place of presentation unknown)

Iranian Department of Environment (1998) Effluent Discharge Standards

Mahmoodi, S. (2004) Supply & Management of Water in Mega Cities - Tehran Experiences. International Seminar on Practices and Experiences of Water and Wastewater Technology, 05 - 07 October 2004, Muscat - Sultanate of Oman

Mahmoudian, S. (2001) Water from Water (A review of wastewater reuse in Iran). Paper presented at a FAO/WHO conference in Jordan, November 2001

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 October 2004, Muscat - Sultanate of Oman

Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw-Hill, Boston

Petermanns Geographische Mitteilungen (2001) 145, 2001/2, Klett Verlag

Tehran Sewerage Co. (2004) Auskunft

UN World Water Development Report (2003) Barcelona, 2003

Vatechwabag (2005) www.vatechwabag.com (08.01.2005)

Wetter.com AG (2005) www.wetter.com

WHO (1989) Health guidelines for the safe use of wastewater in agriculture and aquaculture. Report of the WHO Scientific group, World Health Organization technical report Series 778, WHO, Geneva

World Factbook (2004) www.odci.gov/cia/publications/factbook/index.html

Worldatlas (2005) www.worldatlas.com/webimage/countrys/asia/lgcolor/ircolor.htm
(08.01.2005)

11 Anlagen (auf CD beigefügt)

Anlage 1: Klimadaten



Jordanien

**Thomas Schneider,
Ruhr-Universität Bochum**



1 Einleitung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse einer Datenerhebung zur Situation der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Jordanien zusammen, die in der Zeit zwischen dem 01.08.2004 und dem 05.08.2004 durchgeführt wurde. Die geografische Situation Jordaniens verdeutlicht hierzu Bild 1; die im Rahmen der Erhebung besuchten Standorte von Abwasserbehandlungsanlagen sind markiert.



Bild 1: Kartenübersicht Jordaniens mit Markierungen an besuchten Standorten

Bedingt durch die Bevölkerungskonzentration in der Hauptstadt Amman (ca. 1,5 Mio. Einwohner) sowie in den Städten As-Zarqa (ca. 370 000 Einwohner), Irbid (ca. 250 000 Einwohner) und Ar-Rusaifa (ca. 130 000 Einwohner) etc. lässt sich bei einer Gesamtbevölkerung von rund 6,4 Mio. Menschen hinsichtlich der Abwasserreinigung von verschiedenen Inselsituationen im Vergleich zu den eher ländlich geprägten Gegenden sprechen.

So wurden in der jüngeren Vergangenheit für die einzelnen Ballungszentren mit internationaler Unterstützung spezifische und regional begrenzte Entwässerungs- und Abwasserreinigungskonzepte entworfen und befinden sich gegenwärtig bereits im Stadium der Umsetzung.

Das Ziel der Erhebung bestand darin, einen Überblick über die in Jordanien vorherrschenden Randbedingungen und Strukturen bzgl. der Abwasserreinigung zu erhalten. Dazu wurden – konzentriert auf den Großraum der Hauptstadt Amman, in dem rund 23 % aller Einwohner Jordaniens leben – Entwicklungshilfeorganisationen, Consultants, Behörden und Klärwerksstandorte besucht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die aufgesuchten Institutionen und Klärwerksbetriebe.

Darüber hinaus wurden Materialien gesichtet und ausgewertet, die die Situation der Abwasserbehandlung, die zugrunde liegende Infrastruktur und die vorhandene Verfahrenstechnik behandeln.

Tabelle 1: Übersicht über besuchte Institutionen und Klärwerksstandorte

| Standort | Klärwerkstyp/Projekt | Betreiber/Institution |
|-------------|----------------------|---|
| Amman | - | Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) |
| Amman | - | GITEC Consult GmbH, AHT Group AG |
| Amman | - | Ministry of Water and Irrigation Water Authority of Jordan Water Reuse & Environment Unit |
| As-Samra | Teichanlage | Ministry of Water and Irrigation Water Authority of Jordan |
| Wadi Hassan | Belebungsanlage | Ministry of Water and Irrigation Water Authority of Jordan |

2 Gesetze und Verordnungen, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien

2.1 Institutionen und Organisationen, Verwaltungsstruktur

Von der jordanischen Regierung wurden drei Institutionen für sämtliche Wasser und Abwasser betreffenden Angelegenheiten eingerichtet. Im Einzelnen sind dies:

- Das Ministry of Water and Irrigation (MWI),
- Die Water Authority of Jordan (WAJ) sowie
- Die Jordan Valley Authority (JVA).

Ersteres ist dabei der hauptverantwortliche Verwaltungskörper für alle Belange der Wasserver- und Abwasserentsorgung, für alle inhaltlich verwandten Projekte, für

Planung und Management, für die Formulierung nationaler Strategien und Grundsätze (The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, 2003), für Forschung und Entwicklung, Informationssysteme sowie die Bereitstellung von Finanzmitteln. Die WAJ wurde als eigener, unabhängiger, jedoch dem MWI angegliederter Verwaltungskörper geschaffen. Die WAJ ist verantwortlich für die öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie für Wasserressourcen betreffende Planung und Überwachung, Konstruktion, Betrieb und Unterhaltung. Die zugehörige Project Management Unit (PMU) reguliert dabei Ver- und Entsorgung in privater Hand. Die JVA wurde für die sozial-ökonomische Entwicklung des Jordan Rift Valleys gegründet, was insbesondere die Entwicklung, den Gebrauch, den Schutz und den Erhalt der Wasserressourcen betrifft.

WAJ und JVA sind per Gesetz zuständig für Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsdienste in Jordanien, wobei die Regierung der Privatisierung innerhalb des Wassersektors zur Steigerung der Leistungsfähigkeit öffentlicher Bereiche großen Wert beimisst – so wird Greater Amman seit 1999 privatwirtschaftlich mit Wasser versorgt (Lyonnaise des Eaux, Montgomery Watson, Arabtech Jardanah (LEMA)).

Eine strikte institutionelle Trennung zwischen dem Betrieb von Wasser- und Abwasseranlagen einerseits sowie der Überwachung von Wasserressourcen andererseits soll dabei Interessenkonflikte von vornherein ausschalten.

Das Ministry of Agriculture (MOA) ist verantwortlich für Bewässerung und Böden. Über die Royal Society for the Conservation of Nature (RSCN) wird Naturschutz und Artenschutz betrieben.

Das Ministry of Tourism and Antiquities schützt über das Department of Antiquities archäologische und historische Schätze Jordaniens, unter Federführung des Ministry of Municipalities and Rural Affairs (MMRA) sind die Städte und Gemeinden für Restmüllsammlung und Entsorgung verantwortlich. Innerhalb des Ministry of Industry and Trade (MOIT) ist die Jordan Institution for Standards and Metrology (JISM) die für Standards und Regulierungen zuständige Organisation.

2.2 Gesetze und Verordnungen

Das einzige direkt den Umweltschutz betreffende Gesetz Jordaniens ist das „Law of Protection of the Environment, Temporary Law No. 1, 2003“. Das Gesetz berührt den Wassersektor in vielen Punkten, schreibt jedoch keine konkreten Handlungsmandate für das zugehörige Ministry of Environment (MOE) vor.

Dem hingegen behandeln zahlreiche weitere Gesetze und Verordnungen den mit Wasserressourcen zusammenhängenden Umweltschutz indirekt. Im Einzelnen sind dies:

- Das Water Authority Law No. 18 von 1988, das die Rolle und die Aufgabe der WAJ festschreibt,
- Das Temporary Public Health Law No. 54 von 2002 als Ersatz für das Public Health Law No. 21 von 1971,
- Das Jordan Valley Development Law No. 19 von 1988, das Bedeutung und Betätigung der JVA festlegt,
- Das Punishment Law No. 16 von 1960, in dem Strafen bei Verstößen gegen den Ressourcenschutz festgeschrieben sind, sowie
- Das Antiquities Protection Law No. 21 von 1988.

Die Gesetzgebung lässt derzeit Vorschriften für Wassereinzugsgebiete oder Quellwasserschutz vermissen, die am ehesten hier greifenden Vorschriften sind jedoch:

- Das Monitoring of Underground Water By-Law No. 85 von 2002, in dem ein Monitoring der Grundwasserqualität festgelegt wird,
- Das Sewage By-Law No. 66 von 1994,
- Die Jordanian Specifications for Sample Collection of Drinking Water No. 287 von 1997,
- Die Jordanian Specifications for Use of Sludge in Agriculture No. 1145 von 1996,
- Die Jordanian Specifications for Drinking Water No. 286 von 2001,
- Die Jordanian Specifications for Industrial Wastewater No. 202 von 1991 und
- Die Jordanian Specifications for Reclaimed Domestic Wastewater No. 893 von 2002.

Hinzu kommen zahlreiche internationale Gesetze und Standards, die die Politik und die Entscheidungsfindung in Jordanien maßgeblich beeinflussen:

- Environmental Protection Agency (EPA) 1992: Guidelines for Water Reuse,
- World Health Organization (WHO) 1989: Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture,
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 1985: Quality Criteria und

- FAO 1991: Irrigation and Drainage Paper 47.

Das Land ist einer großen Zahl internationaler Konventionen und Agreements den Umweltschutz betreffend beigetreten:

- United Nations Conference on Environment and Development,
- Agenda 21,
- Ramsar Convention on Wetlands of International Importance,
- Convention on Biological Diversity,
- UN Convention on Combat Desertification,
- Statues of the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources,
- Regional Convention for the Conservation of the Red Sea and the Gulf of Aden,
- Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants,
- Agreement on the Utilization of the Yarmouk River (mit Syrien, 1987),
- Peace Treaty (mit Israel, 1994) etc..

Nachdem der bisherige, 1977 entworfene National Water Master Plan als der Zeit nicht mehr angemessen eingestuft wird, arbeitet Jordanien unter Federführung des für die Gesetzgebung verantwortlichen Ministry of Water and Irrigation an der Formulierung einer den Vorgaben der Vereinten Nationen (United Nations, 1989) entsprechenden Neufassung. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und der deutschen Consulting-Gesellschaft AHT International. Ein Water Information System (WIS) soll unter Benutzung digitaler Informationsdatenbanken (GIS etc.) etabliert werden. Das WIS steht dabei sowohl dem Ministerium als auch der Water Authority of Jordan (WAJ) und der Jordan Valley Authority (JVA) zur Verfügung und besteht sowohl aus Hard- und Software-Komponenten als auch aus Datenbanken, Datenbankwerkzeugen sowie Mitarbeitern für Betrieb und Unterhaltung der Systeme. Ebenfalls eingebunden sind das Department of Statistics und das Ministry of Agriculture zur Datenbereitstellung.

Das Jordan Institute of Standards and Metrology legt in Zusammenarbeit mit MWI, WAJ, JVA und dem Ministry of Health (verantwortlich für alle mit der öffentlichen Gesundheit in Zusammenhang stehenden, Wasser und Abwasser betreffenden Aspekte) und dem Ministry of Environment (verantwortlich für den Schutz natürlicher Ressourcen) den Wassersektor betreffende Standards fest. Das Water

Authority Law und das Jordan Valley Development Law sowie zugehörige Ergänzungen und Ersetzungen räumen den einzelnen Institutionen dabei die Legitimation ein, die zur Durchsetzung der genannten Aufgaben und Verantwortlichkeiten erforderlich ist.

Datensammlung im Wassersektor erfolgt durch MWI, WAJ und JVA, eine Zusammenstellung erfolgt im Water Information System (WIS). WAJ und JVA sammeln insbesondere Daten zu Wasser- und Abwasserproduktion sowie zu Wasserqualitäten. Oberflächenwasserdaten werden dabei von unterschiedlichen Organisationen gesammelt und sind in Jordanien noch nicht vereinheitlicht.

Die 1997 formulierte National Water Strategy for Jordan bildet die Grundlage für insgesamt vier den Umwelt- und Ressourcenschutz betreffende Leitlinien:

- Die Groundwater Management Policy,
- Die Water Utility Policy,
- Die Irrigation Water Policy und
- Die Wastewater Management Policy.

Alle Leitlinien betonen die Notwendigkeit der Durchführung von Machbarkeitsstudien im Wassersektor. Öffentliche Bildung sowie die Vermittlung von Bewusstsein bzgl. des Ressourcenschutzes und des -erhaltes werden fokussiert. Forschung und Entwicklung sowie ständige Anpassung, Erweiterung und Optimierung von Standards und Spezifikationen werden herausgestellt.

Ein Monitoring für Trinkwasser, Bewässerungswasser, Abwasser und Wasserressourcen an sich wurde installiert. Die WAJ kontrolliert dabei die Trinkwasserressourcen genauso wie dies das Ministry of Health (MOH), das Ministry of Environment (MOE) und das Ministry of Water and Irrigation (MWI) tun. Für die Überwachung von Bewässerungswasser ist die Jordan Valley Authority (JVA) verantwortlich, nationale Standards gibt es jedoch nicht. Das Ministry of Agriculture betreibt ebenfalls – allerdings nur eingeschränkte – Untersuchungen, das Ministry of Health Untersuchungen nur dort, wo unkontrollierte Abwasserwiederverwendung beobachtet wird.

Die unter 2.1 aufgeführte, angestrebte Trennung zwischen Betreibern und Kontrollinstanzen wird somit sowohl vom MWI als auch von WAJ und JVA untergraben – es wird erwartet, dass mittelfristig das Ministry of Agriculture die Kontrollfunktion übernimmt, um die angesprochenen Interessenkonflikte zu vermeiden.

Häusliches Abwasser unterliegt der Kontrolle durch die WAJ – sowohl auf öffentlichen als auch auf privaten Abwasserbehandlungsanlagen. Die dieser Kontrolle zugrunde liegenden Probenahmen sind in den Jordanian Standards „Water – Reclaimed domestic wastewater“ festgeschrieben.

Das MOH unternimmt weitergehende biologische Untersuchungen des behandelten Abwassers. Probleme gibt es vor dem Hintergrund der nur schlecht umzusetzenden Kontrolle von Septic Tanks und Klärgruben, die durch Städte und Gemeinden durchzuführen wären.

Industrielles Abwasser wird von WAJ und MOE beprobt, wobei zur Vermeidung von Doppelbeprobungen Absprachen getroffen werden. Verstöße bzw. Nichteinhaltungen bestehender Reinigungsansprüche werden ggf. gerichtlich geahndet. Vorgaben für die Einleitung in das öffentliche Entwässerungssystem sind den „Instructions for the Commercial and Industrial Wastewater into Sewerage“ zu entnehmen.

2.3 Ausbildungsrichtlinien

Hinsichtlich der Suche nach fachlich qualifiziertem Personal kommt es zu Problemen, weil entsprechendes Personal dem Fachbereich nicht ohne Weiteres erhalten bleibt. Finanzmanagement, computergestützte Planung, Informationsmanagement und -technologie sind auch in anderen Sektoren (Energiewirtschaft etc.) durchaus gefragt. Das Personal wird oft abgeworben.

Davon abgesehen bietet Jordanien aufgrund des geringen Durchschnittsalters seiner Bürger ein großes Potenzial zur Schaffung eines beschäftigungsorientierten Ausbildungsprogramms. Ca. 38 % der Bewohner sind unter 15, 59 % der Bewohner sind zwischen 15 und 64 Jahren alt. Über eine Mio. Menschen sind in Schulen eingeschrieben, die teilweise öffentlich sind, d. h. von der Regierung kontrolliert und finanziert werden, und teilweise privat sind, d. h., sich über Schulgebühren finanzieren.

3 Allgemeine Angaben

3.1 Allgemeine Rahmensituation

Das Bruttoinlandsprodukt Jordaniens beläuft sich auf ca. 7,4 Mrd. US \$ per anno, was umgerechnet auf die Bevölkerung rund 1 150 US \$ pro Einwohner und Jahr entspricht. Dieses setzt sich zusammen aus Landwirtschaft (ca. 2 %), Industrie (ca. 25 %) und Dienstleistungen (ca. 73 %). Die Hauptindustriezweige sind dabei

Phosphat- und Kaliabbau, Düngemittel- und Zementherstellung sowie Mineralölraffinerien. Landwirtschaftliche Schwerpunkte liegen auf Früchten, Gemüse und Getreide.

Bei einem jährlichen Bevölkerungswachstum von ca. 2,8 % leben 73 % der Einwohner in städtischen, die übrigen 27 % in eher ländlich geprägten Regionen. Verwaltungstechnisch ist Jordanien in zwölf Gouvernements unterteilt.

Die Gesamtfläche Jordaniens beträgt ca. 97 740 km², die sich in Wüste bzw. Halbwüste, Gebirge, Hochebenen und Hügellandschaften untergliedern.

3.2 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Jordanien ist hinsichtlich seiner Wasserressourcen als eines der zehn ärmsten Länder der Welt anzusehen, hat jedoch andererseits mit rund 2,8 % das neuntöchste Bevölkerungswachstum zu verzeichnen. Während im Jahr 1946 noch rund 3 600 m³ pro Einwohner und Jahr an erneuerbaren Wasserressourcen zur Verfügung standen, sind gegenwärtig nur noch rund 160 m³ pro Einwohner und Jahr zu verzeichnen. Begründet durch die seit Jahren wachsende Bevölkerung und auch in der Zukunft erwartete Steigerungen sind für Jordanien extreme Ressourcenengpässe zu erwarten. Weiterhin sind steigende Investitionen der privaten und der öffentlichen Hand in die Entwicklung der Touristikbranche zu beobachten. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Wasserverbrauch durch Bevölkerung und Tourismus bis zum Jahr 2020 im Vergleich zu heute nahezu verdoppelt. Hinzu kommen erwartete Verbrauchssteigerungen im industriellen Sektor, hervorgerufen durch bereits in der Planung befindliche Großprojekte. Den jährlichen Verbrauch innerhalb der einzelnen Sektoren sowie die Berechnungen für die Zukunft gibt dabei Tabelle 2 wieder.

Tabelle 2: Berechneter jährlicher Wasserbedarf für Jordanien innerhalb verschiedener Sektoren einschließlich physikalischer Verluste (The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, German Technical Cooperation GTZ, 2004)

| Sector | Water Demand (including physical losses) [MCM, (%)] | | | |
|-----------------------|---|-------------|-------------|-------------|
| | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 |
| Municipal and Tourist | 372 (24) | 415 (27) | 460 (29) | 513 (32) |
| Industry | 59 (4) | 77 (5) | 100 (6) | 120(7) |
| Agriculture | 1,102 (72) | 1,072 (69) | 1,040 (65) | 983 (61) |
| Total | 1,534 (100) | 1,564 (100) | 1,600 (100) | 1,616 (100) |

Ungefähr 64 % der gesamten Wasserressourcen werden derzeit zu Bewässerungszwecken in der Landwirtschaft verbraucht, lediglich 36 % bleiben somit für Bevölkerung, Tourismus und Industrie. Landwirtschaftliche Bewässerung findet dabei in erster Linie in drei definierten Regionen statt: im Jordan Rift Valley, in der North-Eastern Desert und Azraq Region sowie in der Southern Desert in den Disi und Mudawara Gegenden. Für die Bewässerung im Jordan Rift Valley (JRV) wird dabei von der JVA Bewässerungswasser zur Verfügung gestellt – Oberflächenwasser aus dem Yarmouk River und aus Seitenarmen als Ergänzung zu behandeltem Abwasser. Grundwasser wird lediglich im Süden des Tales von einzelnen Farmern herangezogen. Lizenzierte und nicht-lizenzierte Brunnen pumpen dabei in den höher gelegenen Regionen Grundwasser, sowohl aus erneuerbaren als auch aus nicht-erneuerbaren Vorräten. Oberflächenwasser macht hier nur noch einen geringen Prozentsatz aus.

Dem steigenden Bedarf gegenüber stellen sich die verfügbaren Wasserressourcen wie in Tabelle 3 gruppiert dar. Festzustellen ist, dass sich der Pro-Kopf-Verbrauch innerhalb der insgesamt zwölf Gouvernements Jordaniens erheblich unterscheidet.

Tabelle 3: Wasserressourcenverfügbarkeit in Jordanien für die Jahre 2005 bis 2020 (in Mio. m³) (The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, German Technical Cooperation GTZ, 2004)

| Year | Additional Resources | Baseflow | Groundwater | Dam Safe Yield | Non-Conventional Water | Total |
|------|----------------------|----------|-------------|----------------|------------------------|---------|
| 2005 | 343.6 | 157.1 | 259.1 | 224.8 | 34.3 | 1,018.9 |
| 2010 | 511.2 | 144.1 | 259.1 | 259.9 | 69.3 | 1,243.7 |
| 2015 | 453.9 | 144.1 | 259.1 | 274.4 | 88.6 | 1,220.1 |
| 2020 | 455.9 | 132.5 | 259.1 | 300.9 | 101.2 | 1,249.6 |

Das bereits angesprochene Water Information System beinhaltet dabei neben Anderem Regenabflussmodelle, Bewässerungsmodelle, Vorhersagemodelle sowie Speichermodelle für Wasserreservoirs und umfangreiche Visualisierungskomponenten. Im Einzelnen sind Stationen zur Niederschlagsmessung (258), meteorologische Stationen (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Verdunstung), Gewässerabflussmessstationen (38 für Hochwasserabflüsse bzw. 31 für Basisabflüsse), Quellwassermessstationen (859),

Grundwassermessstationen (5 912) und Zufluss- sowie Abflussmessstationen für Kläranlagen (17) installiert worden.

Innerhalb der Aufstellungen in Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die aus dem Water Information System gewonnenen Daten bereits implementiert, darüber hinaus wurden geplante und in der Umsetzung befindliche Wasserprojekte eingerechnet. Nicht erneuerbare Ressourcen sollen nur für die Überbrückung von begrenzten Zeiträumen herangezogen werden, bis hinreichend Kapazitäten durch Alternativen sichergestellt werden können. Meerwasserentsalzung und kontrollierter Wiederverwendung von Abwasser wird dabei ein stetig steigender Stellenwert zugestanden, während noch bis in die späten Fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts Klär-tanks und -gruben zur Entsorgung von Schwarzwasser genutzt wurden und Grauwasser auf Grünflächen (Gärten) aufgebracht wurde. Gegenwärtig werden in Jordanien ca. 35 Meerwasserentsalzungsanlagen betrieben oder sind im Bau, zwei Drittel davon privat zu Bewässerungszwecken im Jordan-Tal (Kapazität ca. 1 000 m³/h), weitere von der WAJ zu Trinkwasserzwecken (geplante Kapazität ca. 5 500 m³/h). Abwasserwiederverwendungsprojekte werden derzeit für das Jordan-Tal, den Zarqa-River und – zu einem kleineren Anteil – für die Highlands erarbeitet. Hinzu kommen Pläne, Abwasser für industrielle Zwecke wieder zu verwenden (Prozesswasser).

Während die Trinkwasserversorgung für rund 90 % der Bevölkerung als gesichert anzusehen ist, gilt der Anschluss an eine geregelte Abwasserreinigung nur für die städtischen Regionen als gleichwertig, in ländlichen Gegenden sind lediglich rund 50 % an eine geregelte Abwasserentsorgung angeschlossen. Wasserverluste liegen mit rund 50 % relativ hoch.

Stellt man somit den Bedarf und die Verfügbarkeit in der Zukunft gegenüber, ergibt sich für das Jahr 2020 ein enormes Defizit von rund 367 Mio. Kubikmetern. Es wird davon ausgegangen, dass Investitionen in einer Größenordnung von rund 3,8 Mrd. EUR notwendig sein werden, um dieses Defizit zu kompensieren. Auf ausländische Donor-Gesellschaften kann dabei nicht verzichtet werden.

3.3 Klima

Das Klima Jordaniens zeichnet sich in der Regel durch heiße, trockene Sommer mit kühlen Nächten aus. Die Winter sind mild, lediglich in den Bergen kommt es vereinzelt zu Schneefällen. Die tiefer gelegenen Täler erreichen innerhalb der Sommermonate Temperaturen von rund 50 °C, das Klima in den Hochebenen und

Bergen ist – mitteleuropäische Verhältnisse angesetzt – als sehr angenehm zu bezeichnen.

Die Vielschichtigkeit des Klimas liegt in der geografischen Lage in der östlichen Mittelmeerregion sowie in der Geländestruktur Jordaniens mit - 416 m am Toten Meer und 1 800 m in den südlichen Highlands begründet. Während das Jordan Rift Valley sich durch subtropisches Klima mit milden Wintern und sehr heißen Sommern sowie Regenfällen zwischen 350 mm/a im Norden und unter 50 mm/a in Richtung des Roten Meeres auszeichnet, stehen die nördlichen und die südlichen Highlands mit sehr kalten, regenreichen Wintern und warmen Sommern bei rund 600 mm/a Niederschlag und Schnee als keine Seltenheit den östlichen und südlichen Wüstengegenden (mehr als 80 % der Landesfläche) mit kalten Wintern und sehr heißen Sommern bei Regenfällen unter 100 mm pro Jahr gegenüber.

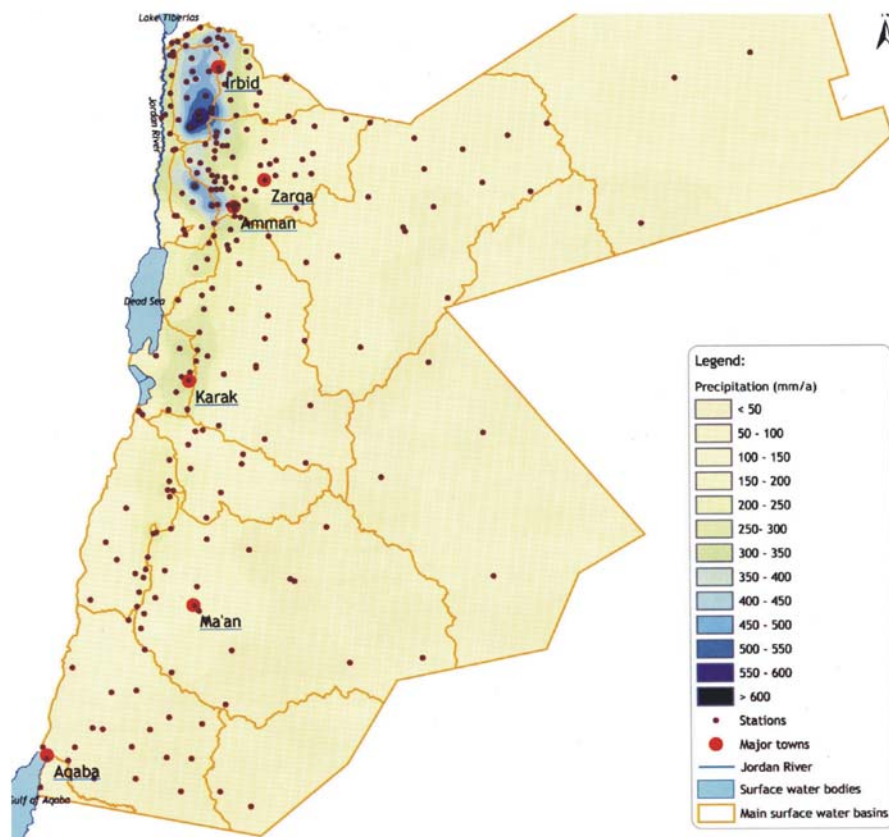


Bild 2: Niederschlagsverteilung in Jordanien für den Zeitraum 1963 – 2000 (The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, Jordan Valley Authority, German Technical Cooperation, 2003b)

Der bedeutendste Wasserlauf ist der Jordan mit seinen unterschiedlichen Zuflüssen (Wadis). Niederschläge fallen hauptsächlich in den Wintermonaten von November bis März, in der Region um Aqaba und in den Wüstenregionen fällt fast gar kein Niederschlag. Im Mittel variiert der Jahresniederschlag – je nach geografischer Lage – zwischen 100 mm (Wüstenregionen, s. o.) und 800 mm (vom Mittelmeerklima beeinflusste Steigungsregen am Jordangraben im Nordwesten des Landes) (vgl. hierzu auch Bild 2).

Die mittlere tägliche Sonnenscheindauer liegt landesweit bei rund neun Stunden. Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Süden im Mittel rund 55 %, nimmt in Richtung Mitte (Ma'an ca. 50 %) ab, steigt dann allerdings in Richtung Norden (Amman rund 60 %) wieder.

Klimadiagramme und Niederschläge von vier Städten, deren geografische Lagen sich von Nord nach Süd erstrecken und typische Klimazonen abdecken, sind in Bild 3 zusammengestellt.

3.4 Verantwortlichkeit für die Abwasserentsorgung

Wasser und somit auch Abwasser fallen – wie oben bereits ausgeführt – in Jordanien in die Zuständigkeit des Ministry of Water and Irrigation (MWI oder auch MOWI). Die Water Authority of Jordan (WAJ) ist als nationale Regierungsorganisation verantwortlich für die Sicherstellung von Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, einschließlich der Entwicklung und dem Betrieb von Entwässerungssystemen und Kläranlagen.

Im Zusammenhang hiermit ist noch das Ministry of Agriculture (MOA) zu nennen, das für die landwirtschaftliche Bewässerung und die Qualität des zur Bewässerung genutzten Wassers (also auch wiederverwendeten Abwassers) zuständig ist.

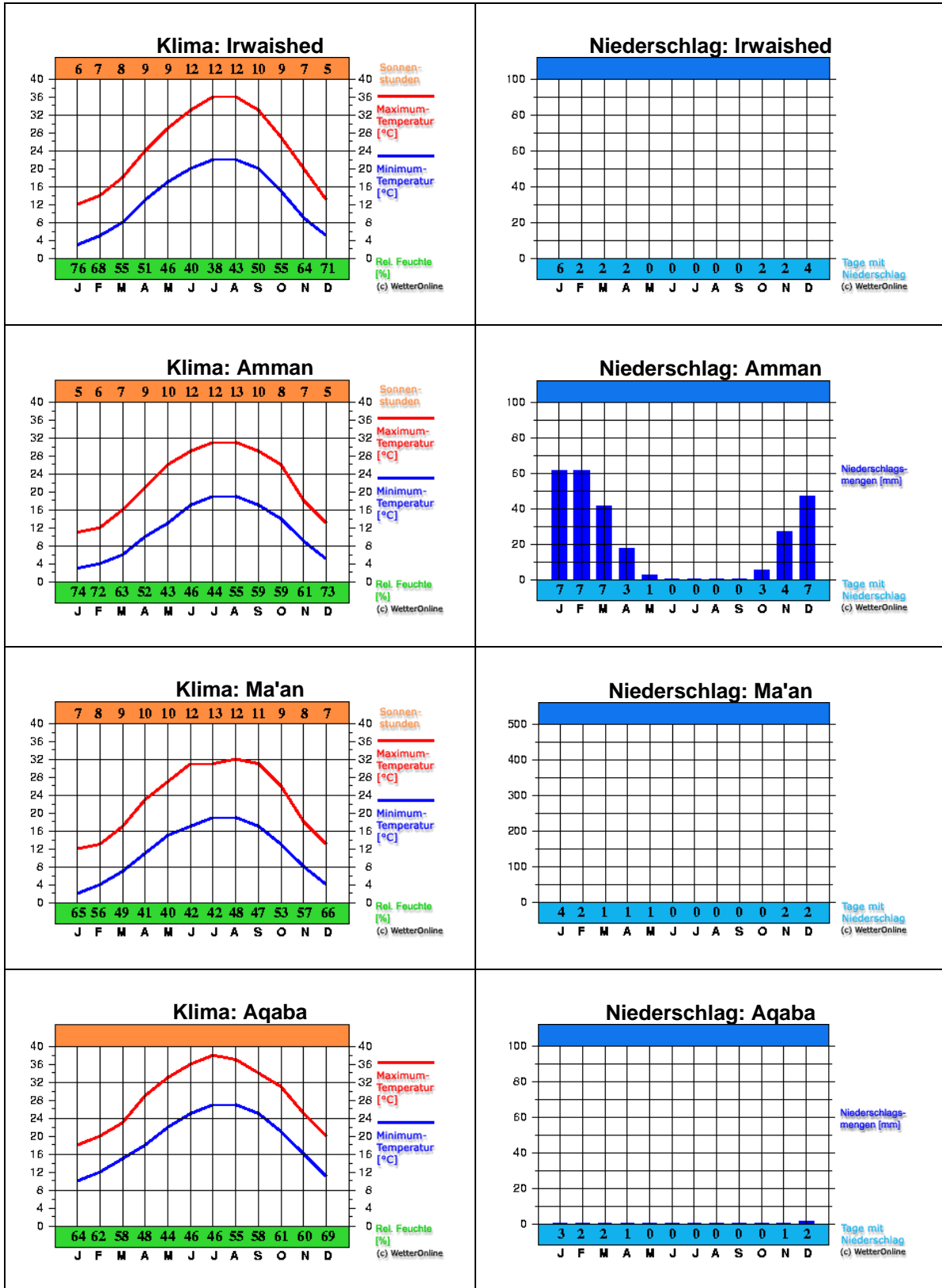


Bild 3: Klimadaten sowie Durchschnittsregenfälle ausgewählter Städte (WetterOnline GmbH; 2004)

3.5 Stand der Abwasserentsorgung

Der Anschlussgrad Jordaniens an die öffentliche Abwasserreinigung unterscheidet sich für Städte und ländliche Gebiete erheblich (s. o.). Tabelle 4 gibt wieder, welche Verteilungen hinsichtlich der Abwasserableitung bzw. -behandlung für ganz Jordanien im Schnitt, für städtische und ländliche Gebiete im Einzelnen vorzufinden sind.

Tabelle 4: Prozentuale Anteile von Entwässerungssystemen in Jordanien (NN, 2004)

| District | Public Systems | Cesspools | Others |
|--------------|----------------|-----------|--------|
| Whole Jordan | 52.2 | 47.0 | 0.8 |
| Urban | 66.7 | 33.0 | 0.3 |
| Rural | 2.8 | 95.0 | 2.2 |

Im Jahre 2002 wurden in insgesamt 19 Abwasserbehandlungsanlagen ca. 85 Mio. m³ an Abwasser gereinigt. 17 weitere Anlagen sollen bis zum Jahr 2015 fertig gestellt werden, wobei sämtliche Anlagen die Ablaufqualitäten zur Entwässerung in Fließgewässer, Wadis oder sonstige Wasserkörper erfüllen sollen (Jordanian Standard JS 893/2002). Dies würde nach nationaler Gesetzeslage erlauben, das gereinigte Abwasser zur Bewässerung von zu kochendem Gemüse, Obstbäumen und entsprechenden Feldfrüchten zu nutzen. Eine weitere Verwendung des gereinigten Abwassers stellt die künstliche Grundwasseranreicherung dar, wozu bereits reglementierte Grenzwerte einzuhalten sind. Die für die Zukunft erwarteten Zuflussvolumina zu den Anlagen sowie die Abflussvolumenströme und somit erhaltene Reserven zur Wiederverwendung stellt Tabelle 5 zusammen.

Um geltenden und zukünftigen Anforderungen zu genügen, werden die bestehenden Abwasserbehandlungsanlagen verfahrenstechnischen Modernisierungen unterzogen.

Festzustellen bleibt, dass infolge der Verdunstung zum Teil erhebliche Volumenverluste während der Behandlung des Abwassers in den Kläranlagen zu beobachten ist.

Saisonale Einflüsse auf Zuflüsse und Abflüsse der einzelnen Abwasserbehandlungsanlagen bewegen sich in einem Rahmen von rund 15 % bezogen auf die durchschnittlichen jährlichen Werte.

Tabelle 5: Zukünftige Entwicklung von Abwasserbehandlungskapazitäten in Jordanien
(The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, Jordan Valley Authority, German Technical Cooperation, 2003b)

| Year | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 |
|--|------|------|------|------|
| Wastewater inflow to treatment plants MCM/a | 146 | 181 | 215 | 247 |
| Wastewater effluent of treatment plants MCM/a | 138 | 170 | 202 | 231 |
| Treated wastewater inflow to reservoirs in- cluded in the calculation of reservoir safe yield MCM/a | -71 | -86 | -100 | -114 |
| Remaining treated wastewater resource MCM/a | 67 | 84 | 102 | 117 |

Die Steigerung der behandelten Abwasservolumina in den vergangenen rund zehn Jahren sowie die Zahl der angeschlossenen Haushalte bzw. der angeschlossenen Einwohner und Gemeinden stellt Tabelle 6 zusammen. Darüber hinaus wird die kontinuierliche Steigerung des Anschlussgrades bezogen auf die Gesamtbevölkerung deutlich. Seit 2001 ist zudem mit dem Verkauf von gereinigtem Abwasser der ausgewiesene Erlös zu erzielen.

Tabelle 6: Behandeltes Volumen, Anschlussgrade und Verkaufserlöse für Abwasser in Jordanien von 1995 bis 2002 (The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, 2002)

| Year | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Quantity of wastewater treated m ³ | 65,900,000 | 69,100,000 | 73,700,000 | 78,988,600 | 79,498,900 | 80,009,200 | 84,409,706 | 88,542,903 |
| Number of Subscribers | 297,718 | 306,813 | 325,431 | 359,533 | 376,163 | 389,347 | 415,172 | 432,742 |
| Number of served people | 2,143,502 | 2,178,186 | 2,310,603 | 2,507,395 | 2,640,301 | 2,704,966 | 2,844,998 | 2,916,461 |
| Percent of served people % | 52.4 | 51.6 | 52.4 | 55.1 | 56.0 | 55.9 | 57.4 | 57.5 |
| Number of served communities | 35 | 36 | 38 | 44 | 44 | 46 | 48 | 49 |
| Wastewater retail revenue JOD/m ³ | No data | No data | No data | No data | No data | No data | 0.150 | 0.140 |

4 Abwasserbeschaffenheit

Eine eindeutige Charakterisierung der Abwasserbeschaffenheit lässt sich für Jordanien nicht vornehmen. Zu unterschiedlich sind die jeweils vorliegenden Randbedingungen, zu unterschiedlich die jeweils Einfluss nehmenden Parameter.

Als übergreifende Einflussfaktoren sind jedoch zu nennen:

- Der geringe Wasserverbrauch an sich und daraus resultierend
- Hohe BSB-Frachten und
- Hohe Stickstofffrachten.

Der Salzgehalt ist darüber hinaus mit bereits bis zu 600 ppm im Trinkwasser als außergewöhnlich hoch einzustufen.

5 Abwasserableitung

Funktionierende Abwassersammlungs- und -ableitungssysteme existieren im Grunde genommen lediglich in den städtischen Regionen. Die Anschlussquote liegt hier bei ca. 90 %. In den ländlichen Regionen sinkt sie im Mittel auf 50 %. Hier werden in erster Linie Klär- und Sickergruben zur Ableitung des Abwassers eingesetzt.

Da in den Städten die vorhandenen Mischwassersammler bei stärkeren Regenernissen oft überfordert sind, sind zusätzlich zum Sammlersystem abschnittsweise offene Gräben entlang der Hauptstraßen installiert worden, um einen raschen Oberflächenabfluss zu gewährleisten und Überschwemmungen der Verkehrswege zu vermeiden.

Entlang der ebenfalls gut ausgebauten Überlandstraßen sind über weite Streckenabschnitte gar keine Entwässerungssysteme eingerichtet worden, hier versickert Niederschlag in den Fahrbahnrandbereichen.

6 Abwasserreinigung

6.1 Kommunale Abwasserreinigung

Die Reinigung kommunaler Abwässer wird in Jordanien seit ca. 1930 betrieben, wobei in Salt City primitive Reinigungstechniken eingesetzt worden sind. Modernere Sammlungs- und Behandlungstechniken wurden erst Ende der Sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts in Amman etabliert. Umfassende Pläne zur Versorgung der jordanischen Bevölkerung mit Abwassersammlungs- und -reinigungssystemen

sind im Anschluss hieran während der internationalen Trinkwasser- und Abwassersystem-Dekade von 1980 bis 1990 umgesetzt worden. Eine Versorgungs- bzw. Anschlussquote von über 50 % wurde erreicht. Gegenwärtig sind – in erster Linie in Großstädten und Städten – 19 Abwasserbehandlungsanlagen in Betrieb (vgl. oben).

Die bereits in Kapitel 4 aufgeführten Charakteristika des jordanischen Abwassers unterscheiden die zu behandelnden Volumenströme dabei zum Teil erheblich von denen anderer Länder. Hohe organische Frachten infolge geringen häuslichen Abwasseranfalls bringen die Abwasserbehandlungsanlagen an die Grenzen ihrer biologischen Leistungsfähigkeit. Hohe Salzgehalte machen insbesondere eine Wiederverwendung des gereinigten Abwassers zu Bewässerungszwecken ohne nachgeschaltete Entsalzungsstufe schwierig.

Problematisch stellt sich zudem die nur eingeschränkte Finanzautonomie der Kläranlagen dar (bis ca. 5 000 JOD bzw. ca. 5 275 EUR), bei weitergehenden Ausgaben ist die Water Authority of Jordan einzuschalten. Hieraus resultieren bspw. bei Ersatzteilbeschaffungen Verzögerungen in Größenordnungen von bis zu einem Jahr.

6.2 Industrieabwasserreinigung

Von den rund 18 400 Industriebetrieben Jordaniens ist lediglich ein kleiner Prozentsatz als industrieller Wasserverbraucher einzustufen. Bei dem Großteil handelt es sich um Kleinindustrie und mittlere Industrie, deren Prozesse als „trocken“ zu bezeichnen sind. Ihr Wasserverbrauch geht in den kommunalen Sektor mit ein. Gemäß National Water Master Plan sind lediglich Industrien zu betrachten, die lokal erzeugtes oder gewonnenes Wasser (tiefe Quellen) in den Produktionsprozess einbinden, Ausnahmen stellen lediglich das Wärmekraftwerk und die Düngemittelfabrik in Aqaba dar, die Wasser für den Produktionsprozess aus dem öffentlichen Netz beziehen. Darüber hinaus gehen Industrien ein, die Oberflächenwasser in den Prozess einbinden. Hier sind lediglich die Tomatenmarkfabrik in Deir Alla sowie die Kaligewinnung am Toten Meer zu nennen.

Gegenwärtig sind im Hinblick auf die Abwasserentsorgung der genannten Industrien drei verschiedene Varianten zu nennen:

- Die gebräuchlichste Methode der Anbindung an das öffentliche Kanalnetz und die Mitbehandlung in den vorhandenen kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen,

- Darüber hinaus die interne Wiederverwendung, also eine Kreislaufführung, oder die Wiederverwendung des Abwassers zu Bewässerungszwecken in der Landwirtschaft und schließlich
- Der Transport mit Tankern und die endgültige Entsorgung an ausgewiesenen und spezifizierten Plätzen.

Die problematischste Methode hinsichtlich der Kontrolle stellt dabei die letztgenannte Variante dar. Die regelmäßigsten Verstöße und Überschreitungen von Vorgaben sind der WAJ zufolge bei der Lebensmittel verarbeitenden oder herstellenden Industrie zu beobachten, wobei die Verschmutzung organisch und somit biologisch abbaubar ist. Ein Anschluss an ein bestehendes Abwassersystem könnte hier somit bereits ausreichen, um die Verunreinigungen einzudämmen.

Da ein Großteil der Industrie Jordaniens im Raum Zarqa City konzentriert ist, empfiehlt sich die Errichtung einer auf die vorhandenen Industrien abgestimmten Abwasserbehandlungsanlage, die hinsichtlich ihrer Kapazität auf die Aufnahme der einzelnen Volumenströme und Frachten abgestimmt wird.

Für industrielles Abwasser gilt Jordanian Standard JS 202/1991, in dem die oben angeführten Definitionen, Gruppierungen sowie Grenzwerte und Charakteristika zur Wiederverwendung oder zur Einleitung von Abwasser festgeschrieben wurden.

7 Kosten

Wie bereits ausgeführt, werden in Jordanien unterschiedliche Verfahrenstechniken zur Abwasserreinigung eingesetzt. Den unterschiedlichen Anforderungen an Ausstattung, Energie, Betriebsaufsicht etc. entsprechend, resultieren hieraus unterschiedliche Kosten für die Abwasserreinigung – je nach zugrunde liegendem Reinigungsverfahren. So liegen beispielsweise die Kosten für Betrieb und Unterhaltung bei Abwasserteichen weit unter den entsprechenden Kosten beim Belebungsverfahren oder bei Tropfkörpern.

Im Einzelnen sind für die verschiedenen Reinigungsverfahren in etwa die im Folgenden aufgeführten spezifischen Behandlungskosten für Jordanien ermittelt worden:

- 0,24 JOD/m³ (ca. 0,25 EUR/m³) beim Belebungsverfahren mit simultaner Schlammstabilisierung,
- 0,12 JOD/m³ (ca. 0,13 EUR/m³) beim Belebtschlammverfahren,
- 0,19 JOD/m³ (ca. 0,20 EUR/m³) beim Tropfkörperverfahren und

- 0,05 JOD/m³ (ca. 0,05 EUR/m³) bei Abwasserteichen.

Die Kosten für das Betriebspersonal machen dabei im Mittel rund 46 % aus, weitere 28 % der Kosten fallen für die Energieversorgung an.

Die erst seit Ende der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts erhobenen Abwassergebühren in Jordanien unterscheiden sich in den einzelnen Gouvernements. Quartalsmäßig zu entrichten liegen sie im Großraum Amman – gekoppelt an den Trinkwasserbezug – für bestimmte Bezugsmengen an Trinkwasser geringfügig höher als in den übrigen Regionen. Die Abwassergebühren werden gemeinsam mit der Wasserrechnung erhoben, wobei für den Großraum Amman und die Gouvernements die zugrunde liegenden Berechnungen den Aufstellungen in Tabelle 7 und in Tabelle 8 exemplarisch zu entnehmen sind.

Tabelle 7: Trinkwasserbezugs- und Abwassergebühren für den Großraum Amman

| Amman | Meter Fee | Water Bill | Wastewater Bill | | | |
|-------------------------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|------|-------|
| 0 - 20 m ³ /qtr. | 0.300 | 2.000 | 0.600 | | | |
| 21 - 40 m ³ /qtr. | 0.300 | 0.14 x - 0.8 | 0.04 x - 0.2 | | | |
| 41 - 130 m ³ /qtr. | 0.300 | 0.006556 x ² - 0.12224 x | 0.002889 x ² - 0.07556 x | | | |
| >130 m ³ /qtr. | 0.300 | 0.85 x | 0.35 x | | | |
| <hr/> | | | | | | |
| m ³ /Q | 20 | 40 | 70 | 100 | 120 | 150 |
| JOD/Q | 3.2 | 8.0 | 34.2 | 76.5 | 81.5 | 181.8 |
| JOD/m ³ | 0.16 | 0.20 | 0.49 | 0.76 | 0.68 | 1.21 |

Tabelle 8: Trinkwasserbezugs- und Abwassergebühren für die Gouvernements Jordaniens (exemplarisch)

| Governorates | Meter Fee | Water Bill | Waste Water Bill | | | |
|-------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------------------|------|------|-------|
| 0 - 20 m ³ /qtr. | 0.300 | 1.300 | 0.600 | | | |
| 21 - 40 m ³ /qtr. | 0.300 | 0.075 x - 0.2 | 0.035 x - 0.1 | | | |
| 41 - 130 m ³ /qtr. | 0.300 | 0.004517 x ² - 0.10568 x | 0.001828 x ² - 0.038103 x | | | |
| >130 m ³ /qtr. | 0.300 | 0.85 x | 0.35 x | | | |
| <hr/> | | | | | | |
| m ³ /Q | 20 | 40 | 70 | 100 | 120 | 150 |
| JOD/Q | 3.2 | 5.9 | 22.8 | 50.9 | 75.9 | 181.8 |
| JOD/m ³ | 0.16 | 0.15 | 0.33 | 0.51 | 0.63 | 1.21 |

Werden die Wasserrechnungen innerhalb von drei Monaten nach Rechnungsstellung nicht bezahlt, erfolgt eine Sperrung der Trinkwasserzufuhr durch die WAJ.

8 Wiederverwendung

8.1 Abwasser

Abwasserwiederverwendung wird in Jordanien staatlich motiviert und findet sich bereits in zahlreichen Gesetzen und Verordnungen sowie Vorschriften verankert. Insbesondere zu Bewässerungszwecken stellt sich somit bereits ein Anteil von rund 16 % ein (ca. 71 Mio. m³ wiederverwendetes Abwasser bei ca. 444 Mio. m³ Bewässerungswasser insgesamt). Zu unterscheiden ist zwischen „restricted irrigation“, d. h., Wiederverwendung ohne Verdünnung mit Frischwasser im Areal der Abwasserbehandlungsanlage, in der Nähe der Anlage oder unmittelbar stromabwärts, und „unrestricted irrigation“, d. h., Wiederverwendung nach Verdünnung mit Frischwasser (insbesondere im Jordan-Tal nach Mischung mit Frischwasser im Verhältnis von ca. 1 : 3 (King Talal Reservoir)). Erstere macht ca. 10 Mio. m³ aus, Letztere ca. 59 Mio. m³. Das King Talal Reservoir nimmt dabei das gereinigte Abwasser der Anlagen As Samra, Baqa und Jerash auf (Anteil ca. 57 Mio. m³), demgegenüber sind das Wadi Shua'ab Reservoir (Abwasser der Anlagen Salt und Fuheis, Anteil ca. 1,9 Mio. m³) und das Kafrein Reservoir (Abwasser der Wadi Essir Anlage, Anteil ca. 0,5 Mio. m³) von untergeordneter Bedeutung.

Verantwortlich für die Abwasserwiederverwendung im Jordan-Tal sind dabei die bereits eingeführten Institutionen, insbesondere die Jordan Valley Authority, das Ministry of Water and Irrigation, die Water Authority of Jordan, das Ministry of Agriculture, das Ministry of Environment, das Ministry of Health sowie darüber hinaus die Royal Scientific Society, die Jordan Exporters and Producers Association for Fruit and Vegetables und die Jordan Food and Drug Administration.

Die der Bewässerung zugrunde liegenden Anforderungen und Grenzwerte sind dabei in den Jordanian Standards for Reclaimed domestic wastewater JS 893/2002 exakt formuliert (auszugsweise in Tabelle 9).

Tabelle 9: Zugelassene Grenzwerte und Eigenschaften für Wasser zur Wiederverwendung zu Bewässerungszwecken in Jordanien (The Hashemite Kingdom of Jordan, The Jordanian Institute of Standards and Metrology, 2002)

| Parameter | Unit | Cooked vegetables, parks, playgrounds and sides of roads within city limits | Fruit, trees, sides of roads outside city limits and landscape | Field crops, industrial crops and forest trees |
|----------------------------|---|---|--|--|
| | | A | B | C |
| Biological Oxygen Demand | mg/l | 30 | 200 | 300 |
| Chemical Oxygen Demand | mg/l | 100 | 500 | 500 |
| Dissolved Oxygen | mg/l | > 2 | - | - |
| Total suspended solids | mg/l | 50 | 150 | 150 |
| pH | - | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 |
| Turbidity | NTU | 10 | - | - |
| Nitrate | mg/l | 30 | 45 | 45 |
| Total Nitrogen | mg/l | 45 | 70 | 70 |
| Escherichia Coli | Most probable number or colony forming unit/ 100 ml | 100 | 1,000 | - |
| Intestinal Helminthes Eggs | egg/l | < or = 1 | < or = 1 | < or = 1 |

Die Betreibergesellschaft der Abwasserbehandlungsanlage hat dabei sicherzustellen, dass das wiederverwendete Abwasser den Anforderungen für seine Bestimmung gerecht wird. Laboruntersuchungen und Ergebnisse sind in einer Art Logbuch festzuhalten und den Regierungsorganisationen auf Verlangen jederzeit vorzulegen. Die Probenahme hat dabei gemäß genau regulierten Ausführungen zu erfolgen, weitere Probenahmen durch die Kontrollinstanzen sind jederzeit zuzulassen.

Gegenwärtig werden in Jordanien in unmittelbarer Nähe zu Abwasserbehandlungsanlagen rund 6 650 donum an Nutzfläche mit behandeltem Abwasser bewässert.

Die steigende Bedeutung der Abwasserwiederverwendung ist dabei den zahlreichen Projekten zum Thema und der Bildung eines technischen Komitees „Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser“ zu entnehmen. Letzterem Komitee gehören dabei neben dem Haschemitischen Königreich Jordanien, vertreten durch die Water Authority of Jordan (WAJ) und das Ministry of Water and Irrigation (MWI), die Europäische Union (EU), die United States Agency for International Development (USAID), die Weltbank, die United Nations Development Programme (UNDP), die Japan International Cooperation Agency (JICA), die Midwest Renewable Energy Association (MREA), die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sowie die Internationale Weiterbildung und Entwicklungsgesellschaft InWEnt an. Das Komitee empfiehlt dabei Einschätzungen und Positionen zur Rolle von wiederverwendetem Abwasser, zur Wiederverwendung zur landwirtschaftlichen Bewässerung, zur Wiederverwendung in der Industrie, zur Grundwasseranreicherung, zu Standards und Überwachung, zum Gesundheitswesen und Umweltschutz, zu Technologien und Betrieb sowie zur öffentlichen Bewusstseinsbildung, zur Finanzierung und zur Einbindung privater Strukturen und Gesellschaften.

Die einzelnen Organisationen führen davon abgesehen gegenwärtig zudem unterschiedliche Projekte in Jordanien bzgl. der Wiederverwendung von Abwasser durch. Exemplarisch seien genannt:

- Kufranje Effluent Reuse (WAJ/ EU),
- Water Pollution Monitoring System (JICA),
- Irrigation Optimization in the Jordan Valley (WAJ mit Frankreich),
- Comprehensive Studies regarding the Jordan Valley (MWI mit Frankreich),
- Use of Reclaimed Water in the Jordan Valley (GTZ),
- Sewage Disposal Greater Irbid I & II (KfW),
- Wastewater Karak & Kofranja (KfW),
- Feasibility Study for the reuse of treated wastewater in irrigated agriculture in the Jordan Valley (KfW),
- Efficient Management of Wastewater, its Treatment and Reuse in the Mediterranean Countries (InWEnt),
- Aqaba Wastewater Facilities Expansion (USAID),

- Water Efficiency & Public Information for Action (USAID),
- Implementation of Water Reuse (USAID),
- Irrigation Advisory Service (USAID) und
- Small Community Wastewater (USAID).

Abwasserwiederverwendung zur Trinkwassergewinnung ist dabei in Jordanien aus religiösen Gründen und aufgrund gesellschaftlicher Vorbehalte sehr unpopulär.

8.2 Klärschlamm

Gegenwärtig existieren in Jordanien keine unmittelbaren Planungen bzgl. der Wiederverwendung des bei Abwasserreinigungsprozessen als Nebenprodukt anfallenden Klärschlammes. In Klärteichen wird der Schlamm gesammelt, aus anderen Abwasserbehandlungsanlagen wird er mittels Lastkraftwagen auf Deponien ausgebracht. Eine ungenügende Deponieabdichtung gegen den Untergrund wird im Regelfall angenommen.

Die in Jordanian Standard JS 1145/1996 getroffenen Festlegungen erlauben dabei keine Weiterverwendung des Klärschlammes ohne weitergehende Behandlung, welche als kaum durchführbar und zu kostenintensiv angesehen wird. Zudem sind irreführende und nicht eindeutige Regelungen enthalten.

Da mit der Einführung mechanischer Reinigungsstufen auf Abwasserbehandlungsanlagen eine Steigerung des Schlammaufkommens zu erwarten ist, wird von der Royal Scientific Society und dem Badia Development Program in Zusammenarbeit mit der University of Arizona untersucht, welche biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften der in Jordanien produzierte Klärschlamm besitzt. Ziel ist die Festsetzung von Standards zur Ausbringung des Klärschlammes zu Düngezwecken in der Landwirtschaft.

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Die zukünftigen Schwerpunkte im Bereich der Abwasserentsorgung liegen für Jordanien zweifelsohne darin, die Abwasserentsorgungssysteme weiter auszubauen.

Unmittelbar damit verknüpft ist die Ausdehnung der Kapazitäten zur Abwasserbehandlung. Bei 19 bestehenden Anlagen zur Abwasserreinigung befinden sich derzeit 17 in der Planung bzw. bereits im Bau, existierende Anlagen werden modifiziert und den weitergehenden Reinigungsansprüchen angepasst. Dies ist notwendig, um einerseits das steigende Volumen an Abwasser behandeln zu können und

andererseits die Voraussetzungen schaffen zu können, mittels wiederverwendeten Abwassers Teile der Versorgungslücke im Wassersektor schließen zu können.

So ist die landwirtschaftliche Bewässerung die wichtigste Nutzung des gereinigten Abwassers. Mit entsprechenden Auflagen versehen und hinreichenden Anforderungen genügend sind darüber hinaus Grundwasseraufhöhungen vorgesehen.

Zahlreiche Untersuchungen bzw. Projekte im vorgenannten Zusammenhang laufen bereits bzw. werden zurzeit angestrengt – beispielhaft genannt sei lediglich die Anfang 2004 vorgelegte Machbarkeitsstudie zur Verwendung von gereinigtem Abwasser zu Bewässerungszwecken in der Landwirtschaft des Jordan-Tals.

10 Literatur und Quellen

Al-Jalouli, J. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung auf der Abwasserbehandlungsanlage Wadi Hassan. August, 2004

Bauer, G. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung in Jordanien. August, 2004

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ), Development Cooperation, Jordanian Water Sector, Hashemite Kingdom of Jordan and Federal Republic of Germany, Informationsbroschüre

Donor Lender Sub-Group Water, Technical Committee "Reuse of Treated Wastewater" (2004) Position Paper

Edaily, M. S. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung auf der Abwasserbehandlungsanlage As-Samra. August, 2004

Jordanian Interdisciplinary Working Group (2004) Irrigation Water Quality Guidelines

Kuck, A. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung in Jordanien. August, 2004

Malkawi, S. H. (2004) Mündliche Auskunft zur Anfrage zum Stand der Abwasserreinigung in Jordanien. August, 2004

NN (2004) Wastewater Reuse Policy & Implementation Status. Vortrag

NN: Report on Monitoring Networks

Reuse of Treated Waste Water for Irrigation in the Jordan Valley, A Presentation of Major Recommendations (2004)

The Hashemite Kingdom of Jordan, Federal Republic of Germany (2001) Joint Approach of Jordanian-German Cooperation in the Water Sector and Related Environmental Aspects

The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation (2002a) Digitale Datensammlungen zum Stand der Abwasserbehandlung in Jordanien

- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation (2002b) The water Authority: By-Law No. (85) of 2002, Underground Water Control By-Law
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation (2003) Strategies and Policies
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation: Instructions for the Commercial and Industrial Wastewater into Sewerage. Nicht amtliche Übersetzung
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation: Jordan's Water Strategy & Policies
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, ECO Consult: Wastewater Treatment in Jordan. Vortrag
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, German Technical Cooperation GTZ (2004) The National Water Master Plan. Digitaler Datenträger
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, Jordan Valley Authority, German Technical Cooperation GTZ (2003) Brakish Water Project, Guidelines for Brakish Water Irrigation in the Jordan Valley
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, Jordan Valley Authority, German Technical Cooperation (2003a) National Water Master Plan. Water Sector Planning Support Project
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, Jordan Valley Authority, German Technical Cooperation (2003b) National Water Master Plan. Broschüre
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, Jordan Valley Authority, German Technical Cooperation GTZ (2004a) Irrigation Water Quality Information System
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Water and Irrigation, Jordan Valley Authority, German Technical Cooperation GTZ (2004b) Use of Reclaimed water in the Jordan Valley. Informationsflyer
- The Hashemite Kingdom of Jordan, State of Israel (1994) Treaty of Peace, Water-related matters
- The Hashemite Kingdom of Jordan, The Jordanian Institute of Standards and Metrology (1991) Industrial Waste Water. JS: 202/1991
- The Hashemite Kingdom of Jordan, The Jordanian Institute of Standards and Metrology (2001) Technical Regulation Water – Drinking Water. JS 286/2001
- The Hashemite Kingdom of Jordan, The Jordanian Institute of Standards and Metrology (2002) Water – Reclaimed Domestic Wastewater. JS 893/2002
- The Hashemite Kingdom of Jordan, Water Authority of Jordan (2004) Feasibility Study for the Reuse of Treated Wastewater in Irrigated Agriculture in the Jordan Valley, Reuse of Treated Wastewater

The Hashemite Kingdom of Jordan: Law No. 18 of 1988, The Water Authority Law & Amendments thereof

The Hashemite Kingdom of Jordan: Law No. 19 of 1988, Jordan Valley Development Law

The Hashemite Kingdom of Jordan: Temporary Law No (1) for the Year 2003, The Environment Protection Law, nicht amtliche Übersetzung

The Hashemite Kingdom of Jordan: Temporary Public health Law No. 54 for the Year 2002, Nicht amtliche Übersetzung der für den Wassersektor relevanten Passagen

Wadi Hassan Wastewater Treatment Plant (2004) Monatsbericht Juli 2004

UNDP (2004) Wastewater Reuse Projects in Jordan. Extracted from UNDP-List, Einzelblattsammlung

WetterOnline GmbH (2004) Deutschland, www.wetteronline.de (21.12.2004)

11 Anlagen

Anlage 1: Ergänzende Angaben zu den besuchten Klärwerken

Anlage 2: Gesetze und Verordnungen, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien

Anlage 3: Allgemeine Angaben

Anlage 4: Abwasserreinigung

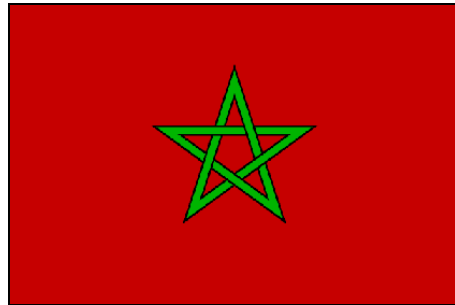
Anlage 5: Kosten

Anlage 6: Wiederverwendung

Anlage 7: Fragebögen

Anlage 8: Visitenkarten der Gesprächspartner

Anlage 9: Anhänge



Marokko

**Thomas Schneider,
Ruhr-Universität Bochum**



1 Einleitung

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse einer Datenerhebung zur Situation der Abwasserreinigung und der Abwasserwiederverwendung in Marokko zusammen, die in der Zeit zwischen dem 04.07.2004 und dem 10.07.2004 durchgeführt wurde. Die geografische Situation Marokkos verdeutlicht hierzu Bild 1; die im Rahmen der Erhebung besuchten Standorte von Aufbereitungsanlagen sind markiert.

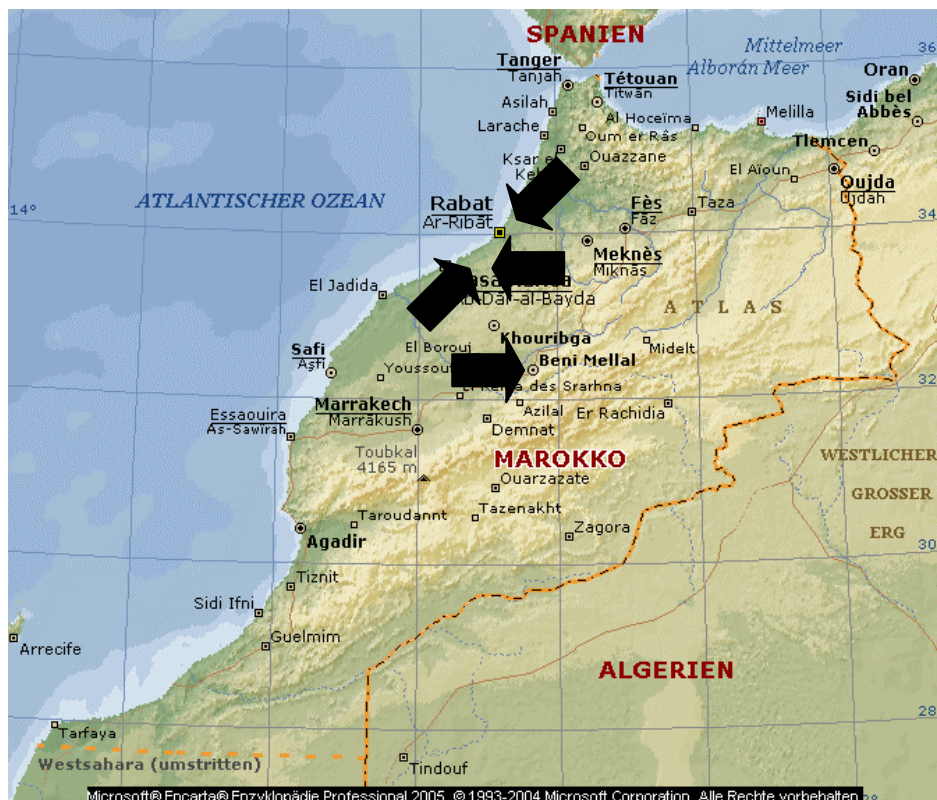


Bild 1: Kartenübersicht Marokkos mit Markierungen an besuchten Standorten

Bedingt durch die Bevölkerungskonzentration in den Städten Casablanca, Rabat, Marrakech, Fes, Tanger etc. lässt sich hinsichtlich der Abwasserreinigung von verschiedenen Inselsituationen im Vergleich zu den eher ländlich geprägten Gegenden sprechen. So wurden in der jüngeren Vergangenheit für die einzelnen Ballungszentren mit internationaler Unterstützung spezifische und regional begrenzte Entwässerungs- und Abwasserreinigungskonzepte entworfen und befinden sich gegenwärtig bereits teilweise im Stadium der Umsetzung.

Das Ziel der Erhebung bestand darin, einen Überblick über die in Marokko vorherrschenden Randbedingungen und Strukturen bzgl. der Abwasserreinigung zu erhalten. Dazu wurden – konzentriert auf den Großraum der Hauptstadt Rabat, in dem inklusive Salé ca. 10 % aller rund 28 Mio. Einwohner Marokkos leben – Behörden und Klärwerksstandorte besucht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die aufgesuchten Institutionen und Klärwerksbetriebe.

Darüber hinaus wurden Materialien gesichtet und ausgewertet, die die Situation der Abwasserbehandlung, die zugrunde liegende Infrastruktur und die vorhandene Verfahrenstechnik darstellen.

Tabelle 1: Übersicht über besuchte Institutionen und Klärwerksstandorte

| Standort | Klärwerk/Projekt | Typ | Betreiber/Institution |
|-------------|--|---------------------------------|---|
| Rabat | Station Pilote d'Épuration des Eaux Usées du Complexe de Bouregreg | Belebungsanlage und Teichanlage | Office Nationale de l'Eau Potable (ONEP) |
| Ben Slimane | - | Teichanlage | Privat |
| Bouznika | - | Teichanlage | Office Nationale de l'Eau Potable (ONEP) |
| Beni Mellal | Station de Traitement des Eaux Usées par Boues Activées de la Ville de Beni Mellal | Belebungsanlage | Regie Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité du Tadla (R.A.D.E.E.T.) |
| Rabat | Deutsche Botschaft | - | Bundesrepublik Deutschland |

2 Gesetze und Verordnungen, Bemessungs-, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien

2.1 Institutionen und Organisationen, Verwaltungsstruktur

Die gesamte Wasserinfrastruktur ist in Marokko als staatliche Aufgabe zu betrachten. Die hauptverantwortlichen Organisationen bzw. Einrichtungen sind dabei das Ministère de l'Équipement und das Office Nationale de l'Eau Potable (ONEP).

Abwasserbehandlungsanlagen unterliegen genauso wie die entsprechenden Kanalnetze der Zuständigkeit von Städten und Gemeinden. Diese können sie in Eigenregie betreiben oder den Betrieb an öffentliche, private oder andere Institutionen delegieren. Es wird jedoch in den letzten Jahren – motiviert durch die gesetzlichen Rahmenvorgaben – eine Zunahme des Eigenbetriebes durch Städte und Gemeinden beobachtet. Unberührt hiervon sind insbesondere große Industrieunternehmen als Betreiber zu nennen (Lésieur (Speiseöl- und Seifenindustrie), Copag (Lebensmittelverarbeitung)). Diese bereiten das in den Produktionsstraßen anfallende Abwasser spezifisch auf, bevor es dem kommunalen Netz übergeben oder anderweitig entsorgt wird.

Das gereinigte Abwasser steht prinzipiell zur freien Verfügung und wird von entsprechenden Gesellschaften einzugsgebietsweise verwaltet.

2.2 Gesetze und Verordnungen

Umweltschutz wird in Marokko in erster Linie in insgesamt drei Gesetzestexten festgeschrieben.

Im Einzelnen sind dies:

- Dahir n° 1-03-59 of the 10 rabiis I 1424 (12.05.2003), der das Gesetz n° 11-03 bzgl. Umweltschutz und Entwicklung in Kraft setzt. Innerhalb des Gesetzes werden Umweltschutz und Wiederherstellung natürlicher Zustände geregelt. Technische und finanzielle Instrumente zur Durchführung dieser Aufgaben werden institutionalisiert (Umweltverträglichkeitsprüfungen, Dringlichkeitspläne, Normen und Standards zur Sicherung der Qualität der Umwelt, Investitionsanreize etc.).
- Dahir n° 1-03-60 of the 10 rabiis I 1424 (12.05.2003), der das Gesetz n° 12-03 mit Inhalten zu Untersuchungen von Auswirkungen auf die Umwelt verfügt. Umweltaspekte werden in globale Strategien bzgl. wirtschaftlicher und sozialer Entwicklung eingebettet. Die Umweltverträglichkeitsprüfung und ihr Inhalt werden festgeschrieben (globale Beschreibung des Ausgangszustandes, detaillierte Beschreibung der Einflussnahme auf die Umwelt durch das Projekt, Gegenüberstellung positiver und negativer Einflüsse, Prüfung von Gegenmaßnahmen im Falle negativer Auswirkungen (Kompensation) etc.).
- Dahir n° 1-03-61 of the 10 rabiis I 1424 (12.05.2003), wodurch das Gesetz n° 13-03, das sich mit der Verringerung der Luftverschmutzung durch jegliche Formen der Körperschaften des öffentlichen und des privaten Rechts auseinandersetzt, in Kraft tritt.

Des Weiteren ist Dahir n° 1-95-154 vom 16.08.1995 zu nennen, der verschiedene Modifikationen in Bezug auf das Wassergesetz (Law n° 10-95) in Kraft setzt und verschiedene Ergänzungen sowie die Vervollständigung der ursprünglichen Fassung legitimiert.

Allein bezogen auf die Behandlung von Abwasser sind insgesamt drei verschiedene Gesetzestexte anzuführen, die Mitte bzw. Ende der neunziger Jahre installiert worden sind:

- Dahir n° 1-95-154 vom 16.08.1995 (s. o.).
- Dahir n° 2-97-787 vom 04.02.1998, worin Wasserqualitätsstandards und die Bestandsaufnahme von Grad und Art von Wasserverschmutzungen festgelegt werden.
- Dahir n° 2-97-875 vom 04.02.1998, worin die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser gesetzlich festgeschrieben wird.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass sich zum Teil erhebliche Probleme ergeben, wo es gilt, das an das französische Recht angelehnte, geltende Recht umzusetzen.

2.3 Bemessungsrichtlinien

Regelwerke bzgl. des Entwurfes und der Dimensionierung von Abwasserbehandlungsanlagen existieren weder im Hinblick auf selbst verfasste Vorgaben noch im Hinblick auf die Adaption von externen Regelwerken bspw. aus Industrieländern.

Die allgemeinen Randbedingungen der Konzeption einer Abwasserbehandlungsanlage werden jedoch durch das nationale Programm zur Abwasserbehandlung vorgegeben. So wird beispielsweise durch das Gesetz 10-95 die Formulierung von Zielen bzgl. der Wasserqualität und der Abflusswerte und -limits festgeschrieben.

Insbesondere in neueren Planungen werden – häufig veranlasst durch die jeweiligen Förderinstitutionen – stufenweise Ausbaupläne der Abwasserbehandlungsanlagen vorgesehen.

2.4 Ausbildungsrichtlinien

Ausbildungsrichtlinien bzgl. qualifizierten Fachpersonals für Abwasserbehandlungsanlagen gibt es in Marokko nicht. Eine Kategorisierung des derzeit auf Abwasserbehandlungsanlagen beschäftigten Personals ist vor diesem Hintergrund, d. h., der un stetigen Qualifikation der einzelnen Angestellten und Arbeiter, nicht möglich.

Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz werden im „Code of Work“ festgeschrieben. Spezifische Ausführungen bzgl. der besonderen Einsatz- und Gefahrensituation auf Abwasserreinigungsanlagen sind nicht existent.

3 Allgemeine Angaben

3.1 Allgemeine Rahmensituation

Das Bruttoinlandsprodukt Marokkos beläuft sich auf ca. 35 Mrd. US\$ per anno, was umgerechnet auf die Bevölkerung rund 1 250 US\$ pro Einwohner und Jahr entspricht. Es setzt sich zusammen aus Landwirtschaft (ca. 16 %), Industrie (ca. 31 %) und Dienstleistungen (ca. 53 %). Die Hauptindustrieweige sind dabei Nahrungsmittel, Textilien, Elektronik, Chemikalien und Autoteile. Landwirtschaftliche Schwerpunkte liegen auf Weizen, Zuckerrüben, Zuckerrohr, Gerste, Früchten und Gemüse.

Bei einem jährlichen Bevölkerungswachstum von ca. 1,6 % leben ca. 54 % der Einwohner in städtischen, die übrigen 46 % in eher ländlich geprägten Regionen. Die in Städten zu beobachtende Wachstumsrate resultiert in erster Linie aus der Zuwanderung der Landbevölkerung. Verwaltungstechnisch ist Marokko in sechzehn Bezirke unterteilt.

Die Gesamtfläche Marokkos beträgt ca. 446 550 km², die sich in Wüste bzw. Halbwüste, Gebirge, Hochebenen, Hügellandschaften und Küstengebiete untergliedern.

3.2 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Begründet durch die seit Jahren wachsende Bevölkerung und auch in der Zukunft erwartete Steigerungen sind für Marokko extreme Ressourcenengpässe zu erwarten. Das pro Kopf verfügbare Wasservolumen sinkt von 2 764 m³/Jahr anno 1955 auf erwartete 689 m³/Jahr anno 2025 stetig (Tabelle 2).

Der Wasserbedarf wird gegenwärtig durch Oberflächenwasser und Grundwasser zu jeweils 70 bzw. 30 % gedeckt. Die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen verbraucht dabei rund 85 % des gesamten Volumens, die übrigen 15 % teilen sich Bevölkerung und Industrie.

Tabelle 2: Bevölkerung und verfügbare, erneuerbare Wasservorkommen in Marokko (Zaidi, 2002)

| Year | 1955 | 1990 | 2025 | | |
|---|--------|--------|----------------|-------------------|-----------------|
| | | | Low hypothesis | Medium hypothesis | High hypothesis |
| Population in million | 10,132 | 24,334 | 36,342 | 40,650 | 44,928 |
| Available water m ³ /(capita-year) | 2,764 | 1,151 | 770 | 689 | 623 |

Hinsichtlich der Wasserversorgung ist eine Anschlussquote von ca. 90 % für die Städte zu nennen, der eher ländliche Sektor erreicht auf der anderen Seite – da lange Zeit vernachlässigt – gerade einmal knapp 20 %. Das heißt, rund 12 Mio. in dörflichen, ländlichen Regionen lebende Menschen verfügen über keinen Zugang zu sicherem Trinkwasser. Lediglich 3 % besitzen Hausanschlüsse, 7 % erhalten ihr Trinkwasser von öffentlichen Steigleitungen und rund 6 % von öffentlich zugänglichen Brunnen. Der Wasserverbrauch liegt für die großen Städte bei ca. 120 Litern pro Einwohner und Tag, in den kleinen Städten und Dörfern sinkt der Verbrauch auf ca. 50 Liter pro Einwohner und Tag. Auf der anderen Seite sind insbesondere in Touristenzentren Verbräuche von bis zu 200 Litern nicht unüblich. Die Versorgung der Städte wird hierbei zu ca. 80 % durch die ONEP, zu 14 % durch Regiebetriebe und zu 6 % durch die Kommunen selbst übernommen. Auf dem Land liegt die Versorgung zu ca. 12 % bei der ONEP, zu knapp 0,2 % bei Regiebetrieben und zum größten Teil, d. h., zu 87,8 %, bei den Gemeinden.

In Marokko werden nur ca. 5 % des insgesamt anfallenden kommunalen Abwassers gereinigt (Zaidi, 2002), der Grad der Reinigung erreicht dabei bei weitem nicht die angestrebten Zielvorgaben, was häufig auf technische Defekte, verfahrenstechnische Unzulänglichkeiten oder auch nicht mit dem Prozess an sich zusammenhängende Faktoren zurückzuführen ist. Statistiken oder Datenmaterial bzgl. der industriellen Situation liegen nicht vor. Die Abwasserentsorgung wurde lange Zeit gegenüber der Trinkwasserversorgung vernachlässigt, was zu einem eklatanten Defizit bzgl. der abwassertechnisch erforderlichen Infrastruktur führte, wobei dies auch oder insbesondere die großen Städte Casablanca oder Rabat betrifft. Es sind zwar mittlerweile rund 70 % der städtischen Bevölkerung an Entsorgungssysteme angeschlossen, auf dem Land liegt diese Quote jedoch bei lediglich 18 %. Eine geregelte Entwässerung in Form von Kanalnetzen gibt es nur in Städten, auf dem Land sind nur selten Installationen vorhanden. Um die entspre-

chenden Quoten zu erhöhen, wurden bereits verschiedene Anstrengungen – bspw. in Form von geringen Anschlussgebühren oder preiswerten langfristigen Krediten – unternommen.

Seit ca. 1960 wurden in Marokko zur Abwasseraufbereitung rund 60 in der Regel kommunale Abwasserbehandlungsanlagen gebaut, die sich in kleinen und mittleren Städten sowie größeren Dörfern befinden.

Da mittlerweile bzgl. der Notwendigkeit der Abwassersammlung und -reinigung von einem Umdenken ausgegangen werden kann, ist für die kommenden Jahrzehnte mit erheblichen Investitionen im Bereich der Abwassersammlung, -entsorgung und -wiederverwendung zu rechnen.

3.3 Klima

Marokko besteht im Grunde genommen aus drei unterschiedlichen Klimaregionen. An der marokkanischen Küste herrscht beinahe das ganze Jahr über warmes Mittelmeerklima. Im Winter kann es jedoch insbesondere im Norden kühler und feuchter werden. Das Landesinnere – vom Kontinentalklima geprägt – zeigt sich heißer und trockener (Steppe), im Süden überwiegt das ebenfalls trocken-heiße Wüstenklima mit zum Teil erheblichen nächtlichen Abkühlungen während der Wintermonate Dezember und Januar. Tageshöchsttemperaturen bis zu 50 °C in den eher wüstenartigen Gegenden stehen Maximaltemperaturen von 30 bzw. 35 °C an der Küste bzw. im Binnenland gegenüber. Minimaltemperaturen liegen in den Gebirgsketten des Atlas bei ca. - 10 °C. Gebirge und Hochebenen prägen das Land, das Atlasgebirge durchzieht Marokko dabei von Südwesten nach Nordosten und fällt zur Küste hin stufenweise ab. Die bedeutendsten Wasserläufe sind Gebirgsflüsse. Niederschläge an der nördlichen Küste von teilweise über 500 mm/a sind keine Seltenheit, im Landesinneren reduziert sich der jährliche Gesamtniederschlag auf ca. 200 mm (Marrakech) oder weniger, Letzteres in erster Linie am Wüstenrand.

Die mittlere tägliche Sonnenscheindauer liegt landesweit bei über acht Stunden. Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Süden im Mittel rund 50 %, nimmt jedoch in Richtung Westen (Agadir ca. 70 %) und Norden (Casablanca und Rabat rund 80 %) erheblich zu.

Klimadiagramme und Niederschläge von vier Städten, deren geografische Lagen sich von Nord nach Süd erstrecken und typische Klimazonen abdecken, sind in Bild 2 zusammengestellt.

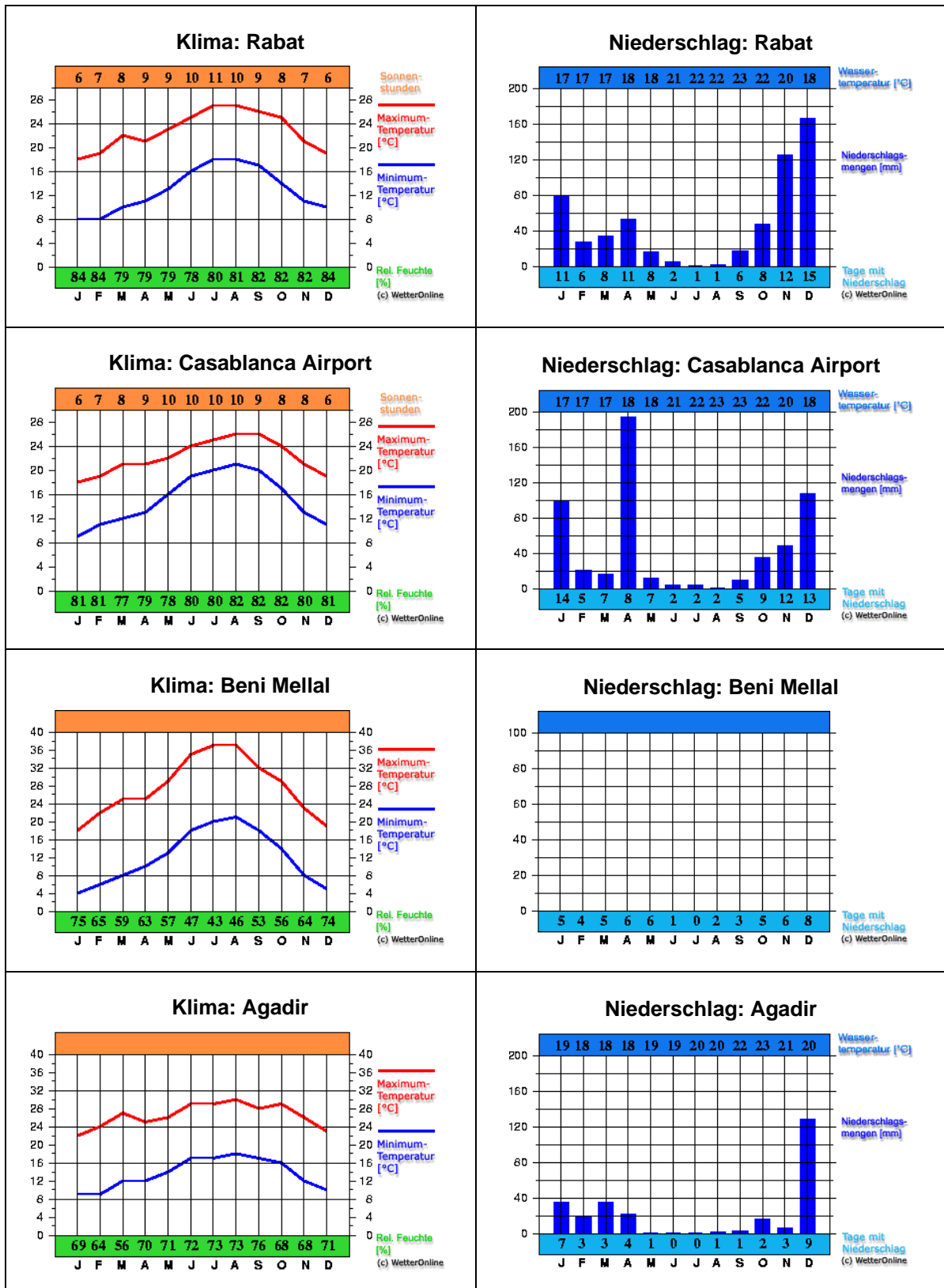


Bild 2: Klimadaten sowie Durchschnittsregenfälle ausgewählter Städte (WetterOnline GmbH, 2004)

3.4 Verantwortlichkeit für die Abwasserentsorgung

Abwasserreinigung fällt – wie oben bereits ausgeführt – in Marokko in der Regel in die Zuständigkeit von Städten und Gemeinden, trotzdem gibt es derzeit keine gesetzliche Vorgabe oder Regulierung bzw. keine Kontrolle bzgl. der einzelnen vorhandenen Abwasserbehandlungsanlagen. Eine Novellierung des Gesetzes 10-95 soll diese Lücke jedoch schließen. Außerdem werden Städte und Gemeinden von staatlicher Seite seit 2002 mit rund 100 Mio. Dirham (ca. 10 Mio. EUR) pro Jahr gefördert, um Abwasserreinigungssysteme zu etablieren.

Weiterhin sind private Betreibergesellschaften sowie staatliche Betreibergesellschaften (z. B. ONEP) gezwungen, Gewinne (auch aus der Trinkwasserversorgung) in die Abwasseraufbereitung zu investieren. Trotzdem wird der größte Teil der gegenwärtig getätigten Investitionen von Städten und Gemeinden vorgenommen.

Was Upgrading und Rehabilitation angeht, sind Städte und Gemeinden bzgl. einzelner im Betrieb stehender Anlagen gehalten, diese vorzunehmen. In einzelnen Fällen werden bestehende Anlagen jedoch auch aufgegeben und durch neue Abwasserreinigungsanlagen ersetzt.

Im Zuge dieser Neubauaktivitäten und Sanierungen werden – von größeren Städten – die Abwasserbehandlung oder sogar die Abwasserbehandlung in Verbindung mit der Trinkwasserversorgung und ggf. der Stromversorgung auch an ausländische Betreiber, ggf. private Gesellschaften, vergeben (so z. B. die Städte Tanger und Casablanca oder Rabat und Temara, die Aufträge nach Frankreich bzw. Spanien vergeben haben).

3.5 Stand der Abwasserentsorgung

Hinsichtlich des Standes der Abwasserentsorgung ist durchaus von einem kritischen Zustand zu sprechen. Dieser manifestiert sich in mangelhafter Infrastruktur und mangelhaften Wartungszuständen, in der Tatsache, dass nur ein Bruchteil der vorhandenen Abwasserbehandlungsanlagen als ordnungsgemäß funktionierend eingestuft werden kann, und auch an beispielsweise an winterlichen Überschwemmungen erkennbaren Überlastungen des Entwässerungssystems. Im Regelfall wird das Reinigungsziel durch die installierten Behandlungsanlagen nicht erreicht. Bei rund 300 städtischen Ballungszentren existieren nur rund 60 Abwasserbehandlungsanlagen, von denen lediglich rund 25 arbeiten, dieses oft insbesondere in touristischen Zentren.

Vorgaben bzw. Schwerpunkte bzgl. einer Frage nach zentraler oder dezentraler Abwasserreinigung gibt es nicht. Entscheidender Faktor ist in der Regel der das aufbereitete Abwasser aufnehmende Wasserkörper, der unterschiedliche Wichtungen erfährt (Ozean, Fluss, Grundwasser). Ein Markt für Rückstände der Abwasserbehandlung (z. B. Klärschlamm als Düngemittel in der Landwirtschaft) muss noch geschaffen werden.

Eigene, d. h., marokkanische Verfahrenstechnik und Maschinenteknik für die Installation von Abwasserbehandlungsanlagen sucht man vergebens. Der Großteil der Technik wird importiert, Beschränkungen gibt es keine, Schwerpunkte bzgl. der Produkte bestimmter Lieferländer sind nicht erkennbar.

Unübersichtliche Entscheidungsstrukturen erschweren eine Neustrukturierung des Abwassermarktes, finanzielle Risiken wie beispielsweise Zahlungsrückstände oder auch nicht kostendeckende Tarife schrecken private Investoren ab.

Abhilfe soll ein bis 2015 terminiertes Staatsprogramm zur Förderung der Abwassersammlung, -ableitung und -reinigung bringen (s. o.).

4 Abwasserbeschaffenheit

Eine eindeutige Charakterisierung der Abwasserbeschaffenheit lässt sich für Marokko nicht vornehmen. Zu unterschiedlich sind die jeweils vorliegenden Randbedingungen, zu unterschiedlich die jeweils Einfluss nehmenden Parameter.

So lassen sich in den Abwassersammlersystemen durchaus Feststoffabfälle finden, was jedoch system- und betreiberabhängig ist. Zum Teil sehr groß ausfallende Straßeneinläufe an den in den Städten asphaltierten Straßen lassen entsprechenden Eintrag zu. Da die Müllsammelsysteme oft nicht ausreichend dimensioniert sind, wird Abfall gelegentlich am Straßenrand abgelagert, von wo aus er über kurz oder lang in die Entwässerung getragen wird. Außerdem werden – insbesondere bei Regenereignissen – aus unbefestigten Nebenstraßen Sand und Staub in die Sammlersysteme importiert.

Straßenreinigung an sich wird in der Regel trocken durchgeführt. Kehrmaschinen kommen nur selten zum Einsatz, manuelles Fegen ist sehr verbreitet.

Bzgl. der relevanten Parameter des Abwassers ist in etwa für häusliches Abwasser die in Tabelle 3 dargestellte Struktur anzuführen.

Tabelle 3: Zusammensetzung häuslichen Abwassers in Marokko (Zaidi, 2004)

| Parameter | g/(E·d) |
|---------------------|---------|
| BSB ₅ | 32 - 40 |
| CSB | 60 - 90 |
| AFS | 42 - 52 |
| Kjeldahl-Stickstoff | 9 |

Als verlässlich einzustufendes Datenmaterial liegt jedoch nicht vor.

5 Abwasserableitung

Die Abwasserableitung Marokkos wird in der Regel im Mischsystem betrieben. Das kommunale Abwassernetz nimmt dabei auch die nur in Einzelfällen von den Betrieben vorgereinigten Industrieabwässer auf. Ganglinien werden nicht aufgezeichnet, sodass es so gut wie keine gesicherten Informationen über einzelne Teilströme gibt. Lediglich vereinzelt werden Volumina registriert, hieraus lässt sich jedoch kein verlässliches Gesamtbild erstellen. In erster Linie ältere Systeme bergen enormes Fremdwasserrisiko.

Die von Städten und Kommunen betriebenen Kanalsysteme sind mittlerweile infolge mangelhafter Wartung und Instandhaltung sowie infolge des Alters in einem sehr desolaten Zustand, die von privaten Betreibern unterhaltenen Netze stellen sich geringfügig besser dar. Letzteres liegt darin begründet, dass versucht wird, eine systematische und periodische Untersuchung und Unterhaltung zu etablieren. Stadtverwaltungen und Gemeinden intervenieren im Regelfall nur bei Störungen oder Netzproblemen. Netzverstopfungen, anaerobe Zustände, Geruchsentwicklung oder Exfiltration findet man jedoch in nahezu allen Netzen. Lediglich die gezielten systematischen und periodischen Untersuchungen, die von den privaten Betreibern in rund fünf Städten mittlerweile angestrengt werden, führen zu die Störungshäufigkeit herabsetzenden Instandhaltungsarbeiten und Reinigungsmaßnahmen.

Trotz dieser Anstrengungen kommt es infolge der Unterdimensionierung der Systeme und natürlich auch infolge der Netzverstopfungen durch Ablagerungen und Abfall noch oft zu Überschwemmungen. Es wird zudem davon ausgegangen, dass infolge des schlechten baulichen Zustands und der maroden Bausubstanz rund 30 bis 40 % des Abwassers in den Boden exfiltrieren.

Die Entwässerungseinläufe an Straßen, die gleichzeitig auch den Eintrag von Feststoffabfällen und Ähnlichem ermöglichen, stellt Bild 3 exemplarisch dar. Bild 4 zeigt die in der Regel befestigte Straßenoberfläche beispielhaft. Da jedoch Gehwege und Plätze oft unbefestigt sind, wird auch hier ein immenser Eintrag an Sand und sonstigem anorganischen Material provoziert.



Bild 3: Kanaleinlauf an einer marokkanischen Hauptstraße (Rabat)



Bild 4: Befestigte Straßenoberfläche und unbefestigte Randbereiche (Rabat)

Ein weiteres Problem stellt die geringe Fließgeschwindigkeit innerhalb der Netze dar, welche somit mitverantwortlich wird für Sedimentation und schließliche Verstopfung der Kanäle, was wiederum die anaeroben – oben bereits angeführten – Zustände provoziert. Diese Zustände wiederum zehren die eigentlich erhaltenswerten Bestandteile des Abwassers und setzen korrosive, aggressive Chemikalien frei, die ihrerseits – unterstützt durch die verhältnismäßig hohe Temperatur – das Rohrmaterial angreifen. Die Haltbarkeit der Anlagenbestandteile (im Regelfall Beton) wird stark herabgesetzt.

Durch das Abwassernetz werden außerdem Gefährdungen für die Umwelt provoziert, wenn beispielsweise entstandene Säuren frei werden oder das oft für Verstopfungen verantwortliche Fett bzw. Öl bei entsprechenden Temperaturen oder auch in Kombination mit aggressiven Medien Schäden hervorruft.

6 Abwasserreinigung

6.1 Kommunale Abwasserreinigung

In Marokko gibt es ca. 60 kommunale Abwasserbehandlungsanlagen, wie Tabelle 4 verdeutlicht.

Tabelle 4: Abwasserbehandlungsanlagen in Marokko (Royaume du Maroc, Ministère de l'Intérieur, 1999)

| Technology | Number of units | In service | Out of service | Not connected |
|--------------------------|-----------------|------------|----------------|---------------|
| Activated sludge | 18 | 10 | 5 | 3 |
| Trickling filter | 11 | 5 | 6 | |
| Settler-digester | 17 | 2 | 13 | 2 |
| Ponds/ wetlands | 11 | 6 | 4 | 2 |
| Infiltration-percolation | 2 | 2 | | |
| Total | 59 | 25 | 28 | 6 |

Wie aus der Aufstellung hervorgeht, werden alle bekannten herkömmlichen Technologien eingesetzt. Die Anlagen befinden sich in kleineren und mittleren Städten, große Städte – wie beispielsweise Casablanca oder Rabat – verfügen nicht über Abwasserreinigungssysteme. Im ländlichen Sektor gibt es ebenfalls keine Abwasserreinigung auf kommunaler Ebene. Zusammengefasst lässt sich somit sagen, dass der Großteil des kommunalen Abwassers (ca. 57 %) (Zaidi, 2002) ungerei-

nigt in den Atlantischen Ozean geleitet wird und dass im Landesinneren Böden und Oberflächengewässer die nur zu geringfügigem Anteil aufbereiteten Abwässer aufnehmen. Die Qualität der Abwasserreinigung ist unbekannt, da nur unzureichende Untersuchungen vorgenommen werden und kein ausreichendes Datenmaterial vorliegt.

Mehr als die Hälfte der Anlagen ist außer Betrieb, einzelne Anlagen haben nach ihrer Fertigstellung den Betrieb noch gar nicht aufgenommen. Die nicht an ein Entwässerungssystem angeschlossenen Anlagen werden über Tanklastzüge mit Abwasser versorgt, was zusätzliche Kosten für die Betreibergesellschaften bedeutet. Was Scheibentauchkörper und ähnliche Behandlungstechnologien angeht, sind in erster Linie touristische Zentren zu nennen.

Was das auf den Anlagen eingesetzte technische und verfahrenstechnische Equipment angeht, werden in der Regel importierte Anlagenteile und Maschinen eingesetzt. Prioritäten bezüglich der Lieferanten lassen sich nicht beobachten. Weitergehende Informationen bzgl. der Anlagentechnik sind nicht vorhanden.

Chemikalieneinsatz beschränkt sich auf Additive zur Steigerung der Koagulation.

Zum Transport des Abwassers werden auf den Anlagen Tauchpumpen eingesetzt, für die es keine maßgeblichen marokkanischen Hersteller gibt, allerdings existieren Wartungs- und Instandhaltungsunternehmen bzgl. der Pumpentechnik.

Becken werden im Regelfall in Betonbauweise hergestellt. Präferenzen bzgl. eingesetzter Siebe oder Rechen gibt es nicht, hauptsächlich verwendete Maschenweiten lassen sich ebenfalls nicht benennen. Schwimm- und Blähschlammprobleme sind insbesondere auf Absetzbecken zu beobachten. Datenmaterial über Rechengutanfall und (Primär-)Schlammanfall liegt nicht vor.

Anaerobe Behandlung kommt fast ausschließlich im industriellen Sektor zum Einsatz, kommunale Anlagen, auf denen anaerob gearbeitet wird, sind nicht bekannt. Die Verwendung von Faulgas zur Energiegewinnung wird momentan erst auf einer Versuchsanlage betrieben.

Die Trocknung des anfallenden Überschussschlammes auf Belebungsanlagen erfolgt im Regelfall in Schlammbetten mithilfe der Sonneneinstrahlung.

Eine Untersuchung der Ablaufqualität der Abwasserbehandlungsanlagen hat sich erst auf wenigen, neuen Anlagen etabliert, insbesondere organische Bestandteile und bakteriologische Parameter sind hier Ziel der Untersuchungen. Ebenso untersucht werden giftige Rückstände aus entsprechenden Industrien.

6.2 Industrieabwasserreinigung

Industrieabwasserreinigungsanlagen werden – wo sie vorhanden sind – in erster Linie zu Vorreinigungszwecken genutzt und entwässern – im günstigen Fall – in das kommunale Kanalsystem.

Die Hauptverschmutzer sind Zuckerindustrie, Gerbereien, Lebensmittelhersteller und -verarbeiter, Fischindustrie, Textilindustrie, Speiseölraffinerien, Phosphat- und Metallindustrie sowie eine große Mineralölraffinerie bei Casablanca.

Betrachtet man Casablanca beispielhaft, so entwässern ca. 2 250 Industriebetriebe (ca. 1,3 Mio. EGW) in ein ca. 4 700 km langes kommunales Kanalnetz, das das Abwasser von rund 4 Mio. Einwohnern der Stadt abführt (Chenguiti, 2004). Insgesamt zwölf Leitungen transportieren das gesamte Abwasser in den Atlantischen Ozean.

Tabelle 5 verdeutlicht exemplarisch am Beispiel der Schwermetalle für drei Städte Marokkos die täglich anfallende Verunreinigung für die jeweils genannten Wasserkörper.

Tabelle 5: Schwermetallverunreinigungen durch verschiedene marokkanische Industrien (Royaume du Maroc, Ministère de l'Intérieur, 1999)

| City | Amount of heavy metals kg/d | Receiving body |
|------------|--------------------------------|----------------------------|
| Casablanca | 2,208 | Atlantic Ocean |
| Mohammadia | 300 | Atlantic Ocean |
| Fes | 340 | Fes River (low flow river) |

7 Kosten

Die Finanzierung des Abwassersektors und somit auch der Abwasserbehandlungsanlagen richtet sich nach dem Betreiber, der die Sicherstellung der Abwasserreinigung garantiert. Privaten Betreibern sichern entsprechende Abwasserreinigungsgebühren sowie langfristige Darlehen die Kostendeckung. Die von öffentlichen Gesellschaften (bspw. ONEP) getragenen Anlagen finanzieren sich über Tarife, Subventionen und staatliche Unterstützung. Für Gemeinden als Betreiber wird die Finanzierung über Tarife und Darlehen gesichert.

In der Industrie wird eine Finanzierung über eigene Geldmittel, Bankkredite oder Subventionen hergestellt.

Die Abwasserreinigungsgebühren an sich werden zusätzlich zum Wasserversorgungstarif erhoben. Gegenwärtig werden zwischen 0,04 und 0,33 EUR pro Kubikmeter Trinkwasser festgesetzt. Die Trinkwasserpreise liegen dabei – je nach lokalen Randbedingungen und Verbrauch – zwischen 0,21 und 0,85 EUR/m³. Die Höhe der Abwassergebühren soll dabei stetig mit der zunehmenden Reinigungsleistung der Abwasserbehandlungsanlagen und der zunehmenden Qualität des Services steigen. Die Höhe der Gebührensätze wird dabei von der Regierung festgelegt. Da diese an den Trinkwasserpreis gekoppelt sind, werden sie auch zusammen mit den hierfür fälligen Rechnungen eingezogen, was vor dem Hintergrund der Option der Trennung eines säumigen Zahlers vom Versorgungsnetz eine zuverlässige Methode zu sein scheint.

Was Personalkosten auf Abwasserbehandlungsanlagen oder den Abwassersektor insgesamt als solchen angeht, so liegen diese in der gleichen Größenordnung wie in vergleichbaren Ingenieurberufen. Allerdings bleibt festzustellen, dass speziell für die Abwasserreinigung ausgebildetes Personal nicht vorhanden ist (Abwassermeister etc.).

Hinsichtlich der Kosten für die Errichtung von Abwasserbehandlungsanlagen sind die unterschiedlichen Verfahrenstechniken zu beachten. Während Teichanlagen in erster Linie Erdarbeiten provozieren und lediglich ein verhältnismäßig geringer Anteil in Maschinen und Ausrüstungsgegenstände zu investieren ist, stellen sich bei technisch aufwendigen Anlagen wie Belebungsanlagen konsequent andere Verhältnisse dar. Hier sind mechanische und elektrische Anlagenkomponenten als der Hauptfaktor anzuführen. Importzölle bis zu ca. 20 % sind zu beachten.

Was die Energieversorgung auf den Abwasserbehandlungsanlagen angeht, variieren die Kosten für eine Kilowattstunde zwischen 0,5 und 1,1 Dirham (ca. 0,05 bis 0,11 EUR), eine Abhängigkeit von anliegender Spannung und Tageszeit ist gegeben.

Die Kosten für Flächen zum Bau von Abwasserbehandlungsanlagen werden gemeinhin als gering eingestuft – nimmt man insbesondere größere, dicht besiedelte Städte aus der Betrachtung heraus. Umsiedlungen von Bewohnern waren in der Vergangenheit nur vereinzelt notwendig, finanzielle Entschädigungen wurden dabei per Gesetz festgeschrieben.

8 Wiederverwendung

8.1 Abwasser

Abwasserwiederverwendung wird in Marokko staatlich motiviert und ist bereits im Dahir n° 1-95-154 vom 16.08.1995 verankert, der das Gesetz n° 10-95 und seine Modifikationen, Erweiterungen und Ergänzungen in Kraft treten lässt. Hinzu kommt Dahir n° 2-97-875 vom 04.02.1998, in dem die Vergabe von Konzessionen zur Wiederverwendung von Abwasser geregelt wird. Darüber hinaus bliebe noch Erlass n° 1443-02 zu nennen, in dem die Einflüsse der Wiederverwendung auf den Wassergesamthaushalt behandelt werden.

Zur Sicherstellung der geforderten Qualitätsansprüche werden insbesondere Untersuchungen der Kläranlagenabläufe auf organische Bestandteile und bakteriologische Parameter angestrengt. Diese Kontrollen sollen gleichzeitig der landesweit betriebenen unkontrollierten Wiederverwendung von Abwasser entgegenwirken, welche sich in Abwesenheit staatlich verordneter Überwachung und vor dem Hintergrund des Kampfes um Nahrungsmittel in Kombination mit mangelnder Information über Risiken und Gefahren etabliert hat (Tabelle 6).

Tabelle 6: Mit ungereinigtem Abwasser bewässerte Flächen in Marokko im Jahr 1992 (Royaume du Maroc, Ministère de l'Intérieur, 1995)

| City | Irrigated area ha |
|----------------|----------------------|
| Marrakech | 3,000 |
| Meknes | 1,500 |
| Fes | 800 |
| Oujda | 470 |
| Khouribga | 360 |
| Beni Mellal | 300 |
| Fqih ben Salah | 100 |
| Tetouan | 70 |
| Ben Guerir | 35 |
| Total | 6,635 |

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt unterliegen Kontrollen noch den insgesamt sechs „Hydraulic Basin Agencies“ sowie dem Gesundheitsministerium, die diese jedoch lediglich vereinzelt wahrnehmen.

Hinsichtlich des Nährstoffgehaltes im wieder zu verwendenden Abwasser wird dabei von 90 bis 300 kg Stickstoff und 200 bis 300 kg Natrium pro Hektar bei einem Meter aufgebrachtem Wasserspiegel ausgegangen (Zaidi, 2004). Ein Verteilungssystem des aufbereiteten Abwassers existiert dabei noch nicht, lediglich in einzelnen Touristenzentren haben sich Kunststoffleitungen zur Bewässerung mit gereinigtem Abwasser durchgesetzt.

Probleme hinsichtlich der Wiederverwendung von Abwasser zu anderen Zwecken als denen der landwirtschaftlichen Bewässerung haben sich gegenwärtig – auch mangels Gelegenheit – noch nicht abgezeichnet. Schwierig gestaltet sich der Salzgehalt des gereinigten Abwassers, da insbesondere in Städten mit weniger als 100 000 Einwohnern verhältnismäßig hohe Leitfähigkeiten im Abwasser festgestellt werden.

Durch wiederverwendetes Abwasser übertragene Krankheiten wurden bisher lediglich dort beobachtet, wo die Wiederverwendung ohne eine vorhergehende ausreichende Reinigung stattgefunden hat, wo also das Abwasser zu Bewässerungszwecken genutzt wurde, bevor es die Abwasserbehandlungsanlage erreicht hat.

Was die Kosten für den Bezug von gereinigtem Abwasser zu Bewässerungszwecken angeht, unterliegen diese der Hoheit der „Basin Agencies“, die die Gebühren festlegen.

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Die zukünftigen Schwerpunkte im Bereich der Abwasserentsorgung liegen für Marokko zweifelsohne darin, ein vollständiges Netz hinsichtlich der Abwassersammlung und hinsichtlich des Abwassertransportes zu schaffen, das die heute zu Betriebsproblemen führenden Faktoren wie zu geringe Fließgeschwindigkeiten, Verstopfungen, anaerobe Zustände, In- und Exfiltration etc. eliminiert. Diese Vorgabe gilt insbesondere für die größeren und mittleren Städte und erfordert erhebliches finanzielles Engagement.

Hinzu kommt die Notwendigkeit, genügend Behandlungspotenzial für das somit zu sammelnde Abwasser zu schaffen. Ein Prozentsatz von derzeit maximal 5 % (Zaidi, 2002) ist nicht mehr länger haltbar, betrachtet man insbesondere die zunehmende Verknappung der Ressource als Folge der steigenden Bevölkerungszahlen. Die vorhandenen Anlagen sind dabei – soweit nötig und möglich – zu rehabilitieren, zu sanieren oder auch überhaupt erst in Betrieb zu nehmen. Zusätzlich müssen ausreichende Kapazitäten geschaffen werden, die einerseits den an-

stehenden hydraulischen Belastungen gerecht werden und andererseits – auch im Hinblick auf die an Bedeutung immer mehr zunehmende Wiederverwendung – das angestrebte Reinigungsziel sicher erreichen. Reserven im Bezug auf die hydraulischen und stofflichen Anforderungen sind offen zu halten.

Eine konsequente Überwachung von Zulauf- und Ablaufdaten ist sicher zu stellen. Risikopotenzial (vor allem durch Industrieeinleiter) ist zu erfassen und ggf. durch geeignete Vorbehandlungseinheiten in den entsprechenden Industriebetrieben zu begrenzen.

Eine ausreichende Kontrolle der Einhaltung der zur Wiederverwendung geschaffenen Vorgaben ist zwingenderweise zu gewährleisten. Unkontrollierte Entnahme, d. h., Entnahme bspw. zu Bewässerungszwecken ohne Autorisierung, ist auszuschließen.

Da Marokko weder in verfahrenstechnischer noch in maschinentechnischer Hinsicht hierbei allein auf sich gestellt agieren kann, sind Engagement und Know-how internationaler Fördergesellschaften gefordert. Eine ausreichende Betreuung der Anlagen insbesondere in der Anlaufzeit erscheint angeraten. Nachdruck sollte gelegt werden auf ausreichende Schulung und Weiterbildung des Anlagenpersonals und vor allem der Anlageningenieure.

10 Literatur und Quellen

- Chenguiti, S. (2004) Problematik der Industrieabwässer der Wirtschaftsmetropole Casablanca. Vortrag, Informationstag zur Umweltmesse EnviroMaroc 2004 in Casablanca, Hattingen
- Lehmann-Richter, R. (2004) Mündlicher Austausch zum Stand der Abwasserreinigung und der Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser in Marokko. Juli, 2004
- Loseblattsammlung zur Abwasserbehandlungsanlage Bouregreg (Rabat)
- Regie Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité du Tadla (RADEET) (2003) Loseblattsammlung zur Abwasserbehandlungsanlage Beni-Mellal
- Royaume du Maroc, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de L'Eau et de L'Environnement / Cooperation Maroco-Allemande (GTZ) (2004) Guide de Préselection de Site de Decharge contrôlée des Déchets ménagers. Rabat
- Royaume du Maroc, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de L'Eau et de L'Environnement (2003) Les Nouvelles Lois de Protection de l'Environnement
- Royaume du Maroc, Ministère de l'Intérieur (1995) L'Épuration des Eaux Usées au Maroc. Direction Générale des Collectivités locales, Direction de l'Eau et de l'Assainissement

Royaume du Maroc, Ministère de l'Intérieur (1999) Assainissement liquide. Direction Générale des Collectivités locales, Direction de l'Eau et de l'Assainissement

WetterOnline GmbH (2004) Klimadaten. Deutschland, www.wetteronline.de (10.12.2004)

Zaidi, A. (2002) Necessity and Chances of Dezentralized Sanitation and Reuse from the Point of a Country with Water Shortage. In Commemorative Publication for the 60th Birthday of Dipl.-Ing. Hans G. Huber, Berching

Zaidi, A. (2004) Mündliche Auskunft zum Stand der Abwasserreinigung in Marokko. Juli, 2004

11 Anlagen

Anlage 1: Ergänzende Angaben zu den besuchten Klärwerken

Anlage 2: Gesetze und Verordnungen

Anlage 3: Ergänzende Informationen zur Wiederverwendung

Anlage 4: Fragebögen

Anlage 5: Visitenkarten der Gesprächspartner



Russland

**Karl-Ulrich Rudolph,
Private Universität Witten/Herdecke gGmbH**



1 Einleitung

Der Teil 1 "Wasserversorgung" des Vorhabens hat sich nicht mit Russland beschäftigt. Aufgrund von Erfolgen deutscher Firmen in Moskau und den erfolgreich angelaufenen Kooperationen mit der Bauhaus-Universität Moskau wurde jedoch beschlossen, Russland als Zielregion für die Abwasserklärung mitzubetrachten.

Nach Voruntersuchung der in diesem großen Land sehr unterschiedlichen Verhältnisse wurde die Reisetätigkeit auf die Region Moskau beschränkt, weil anderswo kaum besichtigungswerte Anlagen existieren.

Darüber hinaus wurden Erhebungen in Armenien (als eines der fortgeschrittenen Länder in der ehemaligen GUS) und in Estland (als das fortgeschrittenste Land der ehemaligen UdSSR, inzwischen EU-Mitgliedsstaat) gesammelt, um festzustellen, ob aus der Bindung an die ehemalige UdSSR hinsichtlich der Projektentwicklung von Abwassermaßnahmen auch heute noch Ansätze bestehen.

Tabelle 1: Besichtigte Kläranlagen

| Name/Ort | Betreiber | Technologie | Größe |
|-------------------------|----------------------------|---|--|
| Technikumsklärwerk | Bauhaus-Universität Moskau | Festbettbiologie ohne Nachklärung mit Sandfilter | Technische Anlage |
| Kläranlage Butowo Süd | WTE | Belebung mit nachgeschalteter Filtration und UV-Bestrahlung | 250 000 EW/ 80 000 m ³ /d |
| Kläranlage Zelenograd | WTE | Wie oben, zusätzlich Schlammkonditionierung und -entwicklung | 400 000 EW/ 140 000 m ³ /d |
| Kläranlage Dserschinsk | Region Moskau | Emscherbrunnen, Hochlastbelebung, UV-Bestrahlung | 35 000 EW |
| Großklärwerk Lyuberzy | Mosvodokanal | Konventionelle und modifizierte Belebungsanlagen, teilweise Schlammfäulung, Schlammwässerung und Flächendeponierung (Schlammfilter) | 7,5 Mio. EW/ 3,5 Mio. m ³ /d |
| Alte Kläranlage Gorki 2 | Region Moskau | Hochlastbelebung, Kompaktbauweise | 15 000 EW |
| Neues Klärwerk Gorki 3 | Region Moskau | Konventionelle Belebungsanlage in Kompaktbauweise, Hypochlorid-Abwasserdesinfektion | 25 000 EW |

Für Estland, gezeigt am Beispiel der Kläranlage Tallinn, erwiesen sich die Bindungen als unmaßgeblich; hier wird auf EU-Niveau agiert; die technologischen und

kommerziellen Wurzeln in das alte Russland sind weitgehend "gekappt". In Armenien spielt die Abwasserentsorgung derzeit noch keine Rolle. Deshalb konzentriert sich der vorliegende Bericht auf die Region Moskau.

Die dort besichtigten Kläranlagen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

2 Gesetze und Verordnungen

2.1 Vorbemerkung zur Verwaltungspraxis

Wie nachfolgend noch näher erläutert werden wird, gibt es in Russland eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen, bis hin zu sehr strengen Standards für die Abwasserklärung. Die Realität bei der Projektentwicklung, Projektrealisierung und im späteren Tagesbetrieb von Kläranlagen wird jedoch stärker von den tatsächlich vorhandenen politischen Prioritäten bestimmt als von den formal vorhandenen rechtlichen Anforderungen.

Unabhängig davon, dass landesweit einheitliche Rahmengesetze gelten, finden sich wichtige Maßnahmen und Projektpotentiale vorwiegend in den wirtschaftsstarke städtischen Regionen (allen voran Moskau und St. Petersburg), in ausreichend großen finanzstarken Industriezentren (insbesondere dort, wo die Gewässerprobleme offensichtlich sind und damit direkte finanzielle und politische Auswirkungen zeigen), wie etwa der Autostadt Togliatti, oder dort, wo die Wasserprobleme im Eigeninteresse gelöst werden müssen (Eigenversorgung von Hotelressorts, Wasserrecycling- und Abwasserbehandlungsanlagen in der Nahrungsmittelindustrie etc.).

Der gesetzliche Rahmen ist im Umbruch, auch was die Umweltstandards anbetrifft (bisher einheitliche Standards landesweit; über eine notwendige ökonomische und ökologische Differenzierung der Standards wird derzeit sehr kontrovers diskutiert).

Die politischen Aussagen über die anstehenden Entwicklungsperspektiven sind höchst unterschiedlich. Am deutlichsten wird dies im Zusammenhang mit der Frage, inwieweit man den Wassersektor für das Engagement privater Investoren und Dienstleister öffnet. Einerseits wurde beispielsweise noch im Februar 2004 vom Wirtschaftsministerium avisiert, dass man die Wasserressourcen im Sinne der damaligen Überlegungen in England ("Abstraction Rights") gegen Konzessionszahlungsverpflichtungen privatisieren möchte, und dass die Organisation der Wasserversorgung und des Gewässerschutzes auf dieser Grundlage dann von den örtlichen Behörden reguliert werden könne (Slavina, 2004).

Andererseits wurde bei Gesprächen des Autors mit Vertretern der Duma (= russisches Parlament) zum Ausdruck gebracht, dass sich die russische Regierung die Kontrolle über den Wassersektor keinesfalls aus der Hand nehmen lasse.

2.1.1 Umweltstandards

Bei der Abwassereinleitung gibt es verschiedene Standards:

- (Oberirdische) Gewässerschutzordnung (eingeführt vom Naturschutzstaatskomitee UdSSR, 21.02.1991) - diese stellt allgemeine Anforderungen und Verbote fest,
- Hygienerichtsätze 2.1.5.1315-03 „Grenzkonzentration der Grundchemikalien in Wasserobjekten des Trink- und Wirtschaftswassergebrauchs, kulturelle und soziale Bedürfnisse“ (eingeführt: 30.04.2003),
- Rahmenanordnung 2.1.5.800-99 „Die Organisation der Sanitätsseuchenaufsicht für die Abwasserklärungs- und -desinfektion“ (eingeführt: 27.12.1999) - stellt die hygienischen Anforderungen zur Sanitätsseuchenaufsicht und zur Sanitätsseuchenorganisation,
- Sanitätsvorschriften 2.1.7.573-96 „Hygienische Anforderungen zur Abwassernutzung für Brauchwasser und Versickerung“ (eingeführt: 31.10.1996).

In Tabelle 2 sind die Standards gelistet, welche für die Region Moskau gelten.

Tabelle 2: Indirekteinleiterstandards Region Moskau

| Parameter | |
|---------------------|------------|
| Schwebstoffe | 500 mg/l |
| BSB | 500 mg/l |
| CSB | 800 mg/l |
| pH-Wert | 6,5 - 8,5 |
| Temperatur | max. 40 °C |
| Färbung | 1:16 |
| Mineralische Stoffe | 2 000 mg/l |
| Chloride | 350 mg/l |
| Sulfate | 500 mg/l |
| Ätherische Öle | 20 mg/l |

Die für kommunale Kläranlagen geltenden Emissionsgrenzwerte sind am konkreten Beispiel in Kapitel 6.3 aufgelistet.

Qualitätsstandards für den Fluss Moskwa sind in der nachstehenden Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Immissionsstandards für den Fluss Moskwa unterhalb der Stadt Moskau

| Parameter | Zielwert mg/l | Grenzwert mg/l |
|--------------------|------------------|-------------------|
| Chrom ₆ | - | 0,1 |
| Kupfer | 0,5 | 1 |
| Eisen | 3 | 3 |
| Zink | 2 | 5 |
| Nickel | 0,5 | 0,2 |
| Cadmium | 0,01 | 0,003 |
| Blei | 0,1 | 0,03 |
| Arsen | 0,05 | 0,035 |
| Quecksilber | 0,005 | 0,03 |
| Ölprodukte | 4 | 4 |
| Phenole | 0,01 | - |
| Leichttenside | 2,5 | 2,5 |
| NH ₃ -N | 20 | - |
| Phosphor | - | 4 |

2.1.2 Gewässerschadensentgelt ("Abwasserabgabe")

Durch verschiedene Verordnungen wird auch Gewässerschadensentgelt (\cong Abwasserabgabe) festgelegt. Ausgehend von dem "Grundnormativ" sind verschiedene Erleichterungen ("Präferenzbedingungen") möglich:

- Für die Abwasserbetriebe sind spezielle, zeitweilige Ableitungsnormen und günstige Bezahlungsverfahren vorgesehen (ähnlich wie in Deutschland mit der Verrechnungsmöglichkeit von Investitionskosten mit der Abwasserabgabe, werden in Russland die Ausgaben für Wasserschutzmaßnahmen als Gewässerschadensentgelt angerechnet).

- Für einige Regionen werden pauschale Abschläge bei der Bezahlung auf das Grundnormativ gewährt, die ökologische Faktoren, Klimabesonderheiten des Territoriums und Bedeutung der Naturobjekte berücksichtigen.
- Die Landesverwaltung kann die Höhe des Gewässerschadensentgeltes für ausgewählte Institutionen und Organisationen, die aus Bundes- oder Landeshaushalt finanziert sind, reduzieren oder ganz streichen.

2.1.3 Strafgeelder

Die Abwassereinleitung ist in folgenden Fällen illegal:

- Abwassereinleitung ohne Wassernutzungsgenehmigung,
- Höhere Abwassereinleitung als in der Wassernutzungsgenehmigung vorgesehen ist,
- Abwassereinleitung mit dem Verstoß gegen Anforderungen zur Abwasserqualität.

Wenn man Abwassereinleitung illegal durchführt, bezahlt man das fünffache Grundnormativ. Das ist noch keine Ordnungsstrafe.

Darüber hinaus können (nach dem "Verwaltungsverletzungsgesetzbuch") Bußgelder verhängt werden:

- Art. 6.3 stellt die Verantwortung für Verletzung hygienisch-epidemiologischer Regeln fest - Bußgeld 100 bis 20 000 Rubel (1 EUR = 36,7 Rubel, Devisenkurs 22.01.2005),
- Art. 7.6 stellt die Verantwortung für Wassernutzung ohne Genehmigung (darunter auch Abwassereinleitung) fest - Bußgeld 300 bis 10 000 Rubel.

Wie ein Spezialist des territorialen Organs von Umweltschutz- und Naturschutzministerium in Novosibirsk berichtet hat, erfüllen die großen Betriebe in aller Regel die gültigen Umweltstandards. Falls die zulässigen Ableitungsnormen verletzt sind, werden das fünffache Grundnormativ und Bußgelder rechtzeitig bezahlt (das gelte auch für die Kommunen).

2.1.4 Nutzungsgenehmigungen und Vollzug

Es gibt Fälle, bei denen die Inbetriebnahme industrieller Produktionsanlagen oder der Bezug fertiger Wohnblocks von den Genehmigungsbehörden verhindert wurde, weil die in den Genehmigungsbedingungen festgeschriebene Abwasserentsorgung noch fehlte. Dies war z. B. im Moskauer Ortsteil Butowo Süd der Fall. Erst

als auch das Klärwerk fertig gestellt war, durften die Hochhäuser (Bild 1, im Hintergrund erkennbar) bezogen werden.



Bild 1: Klärwerk Butowo Süd im Winter (WTE, 2002)

2.2 Bemessungs-, Ausbildungs- und Betriebsrichtlinien

Allgemein gültige und von den Klärwerksbetreibern einzuhaltende gesetzliche Vorschriften, nach denen Kläranlagen bemessen und betrieben werden müssen, existieren nicht, ebenso wenig wie Ausbildungsrichtlinien für das Betriebspersonal.

Allerdings kann die zuständige Genehmigungs- und/oder Aufsichtsbehörde für alle genannten Bereiche Auflagen erlassen, die bei entsprechender Kontrolle und Vollzug einen verbindlichen Charakter für den praktischen Klärwerksbetrieb bekommen können.

Die Wasser- und Abwasserbetriebe Moskau (Mosvodokanal), welche mit Abstand die größten und leistungsfähigsten ihrer Art in Russland sind, haben ein internes Regelwerk geschaffen, welches von den eigenen Fachexperten und in ständigem Austausch mit Vertretern der Wissenschaft (insbesondere Bauhaus-Universität Moskau), aber auch im Abgleich mit der internationalen Fachszene fortgeschrieben und fallweise angewandt wird. Was in Moskau geschieht, ist selbstverständlich auch in den anderen Großstädten des Landes und auch in den von Kleinstädten und ländlichen Siedlungen geprägten Regionen bekannt.

Allerdings sind die Wasser- und Abwasserbetriebe in den anderen Städten und Regionen in aller Regel in einer sehr viel schwächeren Position als die Wasser- und Abwasserbetriebe Moskau, von deren Erfolg auch das Funktionieren der wichtigen politischen Zentralen und Konzernführungen in der Hauptstadt der Russischen Föderation abhängen.

In der Praxis legen die Wasser- und Abwasserbetriebe Moskau ihre technischen Richtlinien intern fest, nachdem der Rahmen mit der Stadtregierung abgestimmt ist (Schröder, 2004).

Was dann in der Praxis bei den gegebenen Verhältnissen tatsächlich realisiert werden muss und realisiert werden kann, ist für jeden Einzelfall unterschiedlich. Selbst innerhalb der einzelnen Kläranlagen waren erhebliche Unterschiede im Betriebs- und Wartungszustand zu beobachten, je nachdem, ob es sich beispielsweise um eine neu errichtete und mit Engagement betriebene und gewartete Anlagenstraße handelt oder um eine "alte", sichtbar im Verfall befindliche, gleichwohl für die Gesamtkapazität und Funktion des Klärwerks noch wichtig.

Besonders konsequent werden die einmal fallweise beschlossenen Bemessungs- und Betriebsrichtlinien dort eingehalten, wo eine klare Arbeitsteilung zwischen Auftraggeber (bzw. Hoheitsträger) und Auftragnehmer (bzw. operativem Aufgabenträger) besteht. Das ist bei den privaten Betreibermodellen der Fall (mehr dazu in Kapitel 6.3), oder auch bei industrieeigenen Klärwerken, wo es sich um exportorientierte und wirtschaftlich gesunde Betriebe handelt, welche auf internationalem Niveau geführt werden.

3 Allgemeine Angaben

3.1 Allgemeine Rahmensituation

Russland erstreckt sich von Norden nach Süden über rd. 4 000 km und von Westen nach Osten über 9 000 km und nimmt $\frac{3}{4}$ des Gesamtterritoriums der ehemaligen Sowjetunion ein. Es reicht von Zentraleuropa (Kaliningrad, das ehemalige deutsche Königsberg) über das gesamte nordasiatische Gebiet hin bis zum Pazifik im Osten und dem Arktischen Meer im Norden (Bild 2). Die Bevölkerung liegt bei knapp 150 Mio. Einwohnern, was auf einer Fläche von gut 17 Mio. km² zu einer sehr niedrigen mittleren Einwohnerdichte von 8 Einwohnern je km² führt. Mit einem Bruttoinlandsprodukt von 2 500 US\$ pro Kopf und einem Wachstum von 8,3 % (2000) gehört Russland zu jenen Ländern, denen allgemein ein großes Potential

für die wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit mit den Industriestaaten eingeräumt wird.



Bild 2: Geographische Ausdehnung der Russischen Föderation

3.2 Klima

Russland erstreckt sich über mehrere Klimazonen mit extremen Unterschieden in den Temperaturen (Bild 3 und Bild 4) und der Wasserverfügbarkeit (Bild 5 und Bild 6) (Koronkevitch, 2002). Im Allgemeinen herrscht Kontinentalklima vor. Von Nord nach Süd erfolgt der Übergang von arktischem zu kontinentalem Klima (trocken; sehr kalte Winter, warme bis sehr heiße Sommer). Die Küste des Schwarzen Meeres weist ein gemäßigtes, subtropisches und das ferne Wladiwostok ein polares Klima auf. Viele Städte in den nördlichen Regionen haben Dauerfrost oder nur sehr kurze frostfreie Perioden.

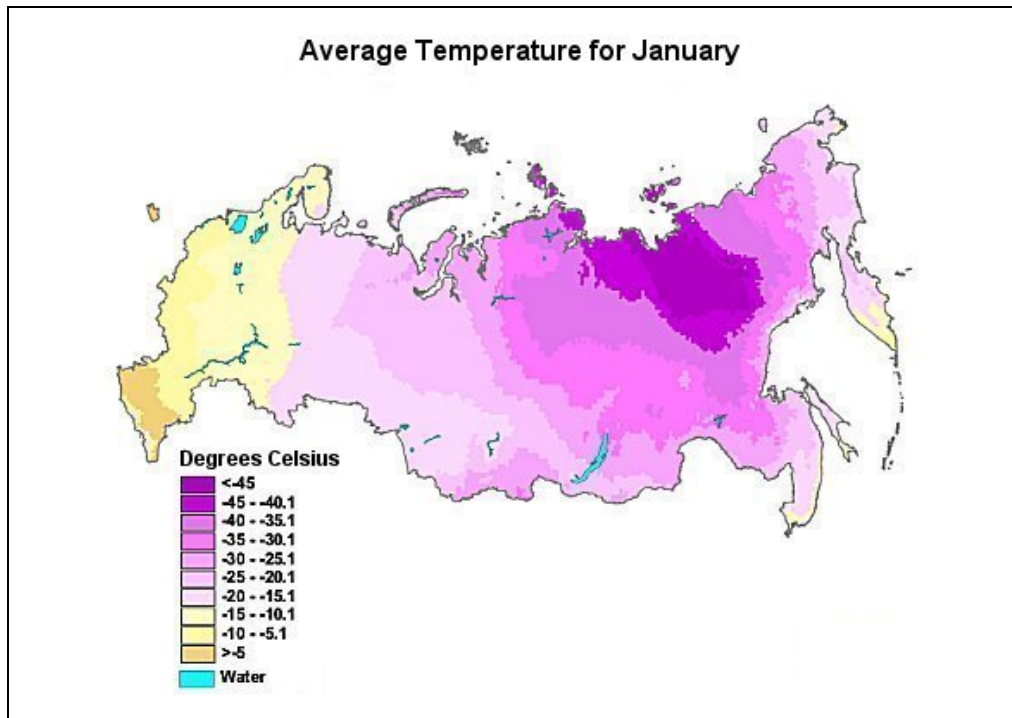


Bild 3: Januartemperatur (www.iiasa.ac.at)

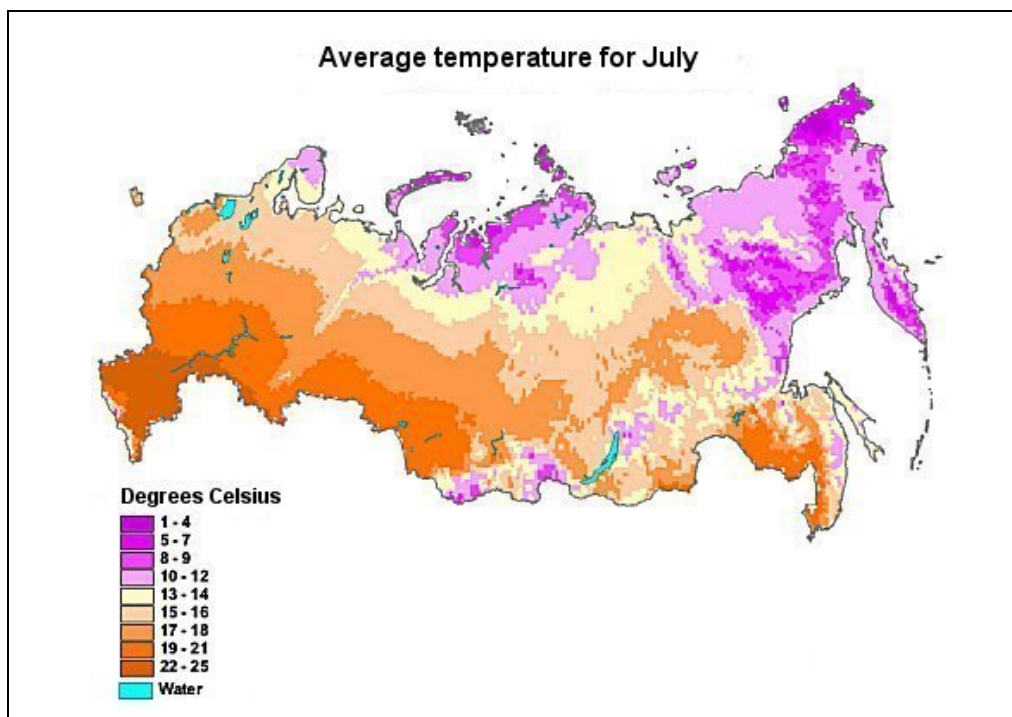


Bild 4: Julitemperatur (www.iiasa.ac.at)

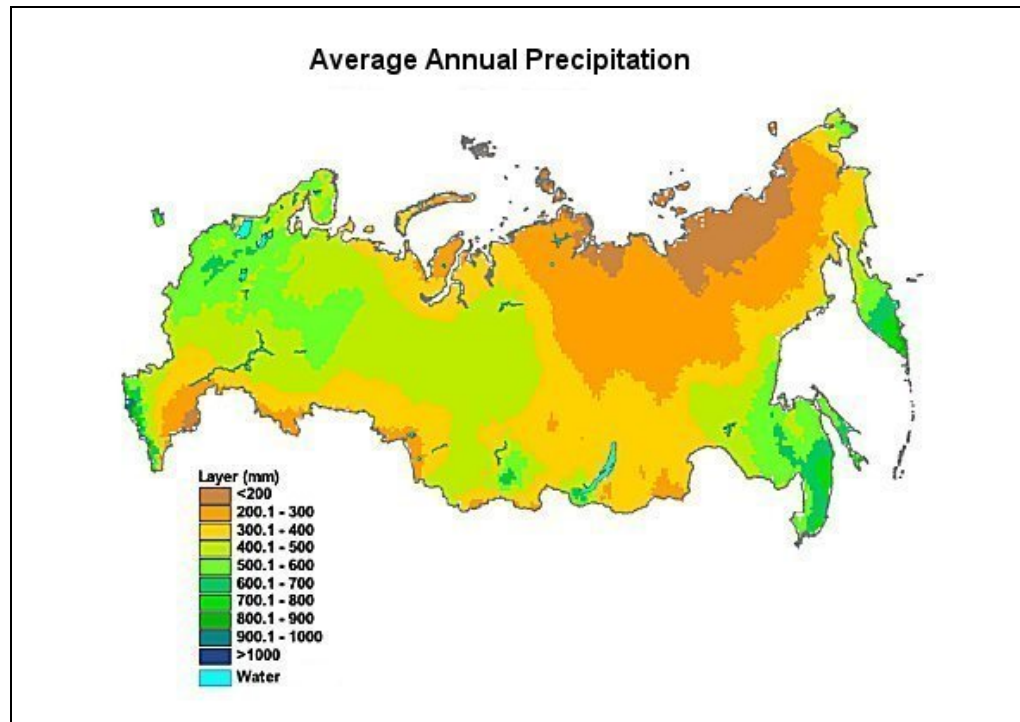


Bild 5: Jährliche Niederschläge (www.iiasa.ac.at)

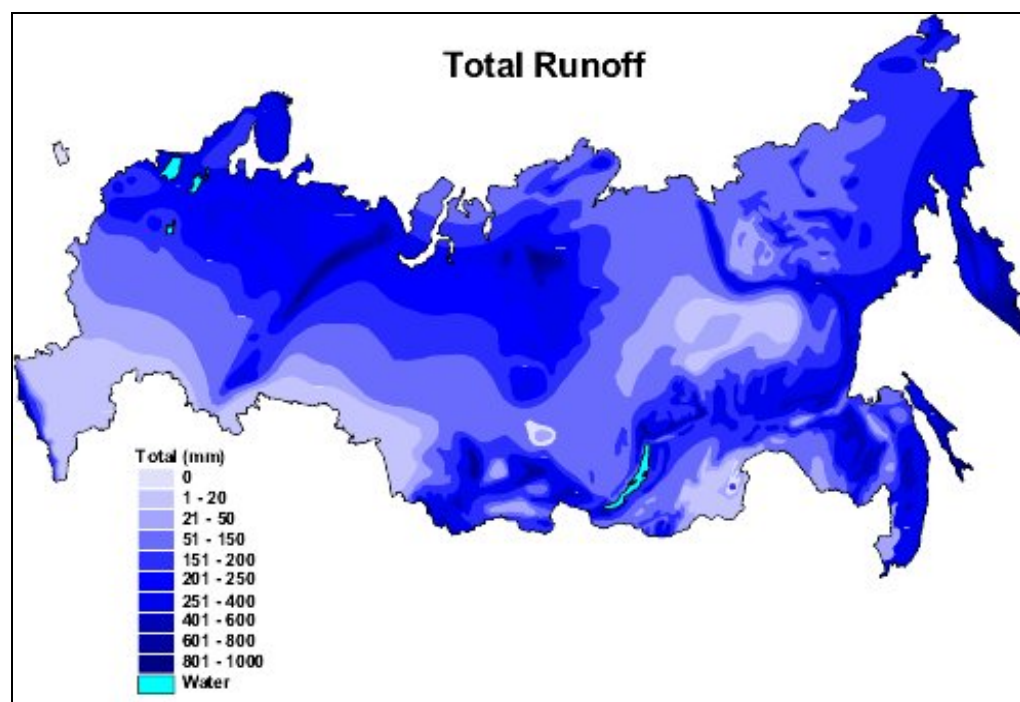


Bild 6: Gesamtabflussmengen (www.iiasa.ac.at)

3.3 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Die meisten Teile Russlands verfügen über ausreichende Wasserressourcen. Um die saisonalen Schwankungen des Wasseraufkommens auszugleichen, gibt es insgesamt 205 große Talsperren (WCD, 2000), von denen 91 in Russland selber gebaut worden sind (der Rest in den anderen GUS-Staaten).

Nach offiziellen Daten gibt es in Russland und den GUS-Staaten insgesamt 65 000 km³ an Frischwasserressourcen. Die Flüsse führen jährlich 4 400 km³, davon 4 000 km³ in Russland (was etwa 10 % der jährlichen Flusswassermenge weltweit ausmacht; Russland ist diesbezüglich nach Brasilien weltweit die "Nr. 2").

Die wasserwirtschaftliche Situation wird wie folgt charakterisiert:

- Pro Flächeneinheit verfügt Russland über 20 % weniger Wasserressourcen als im globalen Durchschnitt. Das Problem sind die extremen Unterschiede in der lokalen und temporalen Verteilung (deshalb die Talsperren, s.o.).
- In verschiedenen großen Flüssen ist die Abflussmenge in den letzten Jahrzehnten deutlich gesunken, infolge des Gewässerausbaus und der gestiegenen Wasserentnahme für die Wasserversorgung, insbesondere in der Landwirtschaft.
- Die Qualität der Wasserressourcen nimmt ab. Eine Untersuchung von 1990 geht davon aus, dass 20 % der Wasserressourcen als "mäßig bis hoch belastet" eingestuft werden müssen.

Aufgrund der extremen regionalen Unterschiede findet man, trotz des überwiegenden Wasserreichtums und der vielfach sehr guten Qualität (und der starken Verdünnung der eingeleiteten Abwässer in den sehr großen Flüssen, z. B. der Wolga) stellenweise hochbelastete und für die Wasserversorgung unbrauchbare Ressourcen. Insbesondere bei den wachsenden Großstädten und dem industriellen Bereich bestehen deshalb große Notwendigkeiten und Chancen für Kläranlagen.

3.4 Verantwortlichkeiten für die Abwasserentsorgung

Grundsätzlich liegt die Verantwortlichkeit für die Abwasserentsorgung bei der Institution, welche für die Infrastruktur im betrachteten Gebiet zuständig ist. In aller Regel sind dies die Gebietskörperschaften sowie die staatlichen Industriekomplexe, in Ausnahmefällen auch mit privaten Investitionen errichtete Siedlungen und Industriegebiete.

Der institutionellen Struktur nach gibt es (ähnlich wie in Deutschland) keine konsequente Trennung zwischen der öffentlichen Funktion einer Gebietskörperschaft als Hoheitsträger und ihrer exekutiven Funktion als Aufgabenträger mit Betriebsverantwortung für die Abwasseranlagen. Die Delegation der Aufgabendurchführung an Dritte ist in zeitlich und funktional begrenztem Umfang (ähnlich wie in Deutschland) möglich und wird auch in einigen Fällen praktiziert (wie die bereits zitierten Klärwerksbetreibermodelle in Moskau, siehe Kapitel 6.3).

Daneben gibt es von verschiedenster Seite her Bestrebungen, den Wassersektor auch außerhalb der westlichen Großstädte Moskau und St. Petersburg stärker zu professionalisieren, möglicherweise sogar zu kommerzialisieren. Eine interessante Entwicklung ist die Gründung einer überregionalen PPP-Aktiengesellschaft für die kommunale Ver- und Entsorgung:

Die OAG «PKC» wurde im Mai 2003 mit dem Ziel gegründet, die Qualität der kommunalen Dienstleistungen zu verbessern. Man geht davon aus, dass die OAG «PKC» bei der Neuerung der Kommunalwirtschaft helfen kann, indem die Wasserver- und -entsorgung im Querverbund mit der Strom- und Gasversorgung organisiert wird. Durch die Anlagenattraktivität wiederum im Wohnungsbau ergeben sich dann auch Finanzierungsmöglichkeiten für Investitionen im Wassersektor.

Die OAG agiert mit einem Netz regionaler Untergesellschaften, die mit den lokalen Verwaltungen (Hoheitsträgern für die örtliche Infrastruktur) zusammenarbeiten. Laut Vereinbarung mit den kommunalen und regionalen Verwaltungen erhalten diese Gesellschaften das Recht auf Erbringung kommunaler Dienstleistungen. Vorrangige Aufgabenstellung an die OAG «RKS» ist die Reduzierung der Kosten um 20 bis 30 %.

In den Regionen Russlands gibt es 26 Untergesellschaften der OAG «RKS», die ein Stammkapital von insgesamt 10 Mio. Rubel aufweisen (Stand 12/2004).

4 Abwassersammlung und -ableitung

Nach Angaben aus dem Ministerium sind in der Region Moskau 42 % der Bürger an Kläranlagen angeschlossen. Die Abwassermenge der Städte in Russland wird mit 8,6 Mrd. m³/a angegeben. In den ländlichen Regionen läge der Anschlussgrad aber nur bei 25 %, in einigen Regionen unter 2 %.

Entsprechend den extrem unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen (siehe Kapitel 3.2) und Siedlungsstrukturen existieren unterschiedliche technische Konzepte und Systeme zur Abwassersammlung und -ableitung.

Dezentrale und separate Systeme zur Sammlung, Ableitung und ggf. Verwertung von Abwasser gibt es selten. Weil der Wasserpreis in Russland stark subventioniert ist, lohnt sich das für gewerbliche oder private Träger nur dort, wo die Leistung der öffentlichen Wasserversorgung oder die Abwasserableitungsmöglichkeiten ansonsten nicht ausreichen.

Wegen der Größe des Landes und der Tatsache, dass sich gerade die leistungsfähigen Industriebetriebe gerne unabhängig von staatlichen Genehmigungen machen und aus grundsätzlichen Überlegungen heraus ein gehobenes technisches Niveau auch bei der Umweltverträglichkeit ihrer Produktion einhalten, stellt Russland dennoch ein breites Anwendungsfeld für Komponenten von Wasserrecyclinganlagen branchenspezifisch dar.

Für die häuslichen Siedlungsbereiche lassen sich dezentrale Klärwerkskonzepte (Wilderer, 2004) und so genannte Alternative Wassersysteme (Rudolph, 2002) unter den Klimabedingungen nur teilweise einsetzen (Inhouse-Konzepte oder Kompaktanlagen). Pflanzenkläranlagen und Abwasserteiche oder andere naturnahe Konzepte wie "Ecosan" (GTZ, 2004) würden in den winterkalten Gebieten zufrieren. Hauskläranlagenkonzepte sind denkbar (und sollen an einigen Stellen von wohlhabenden und ökologisch engagierten Personen fallweise realisiert worden sein).

In den Städten gibt es fast ausschließlich die konventionelle Abwassersammlung und -ableitung in Gefällekanälen, soweit die Topographie das zulässt. In den großen Städten und flachen Gebieten kommen zusätzlich Pumpwerke, Druckleitungsabschnitte, Gefälledruckleitungen zum Einsatz.

Wegen der Urbanisierung (und das gilt insbesondere für Moskau, St. Petersburg, aber auch Novosibirsk) sind Netzbereiche, die ursprünglich als Mischkanalisation konzipiert wurden, hydraulisch heute nicht mehr in der Lage, Regenwasserspitzen abzuführen. Dann kommt es zu Mischformen in der oberflächigen Ableitung von Regenwasser, ohne dass ein echtes Trennsystem für Schwachregenperioden besteht.

Eine Besonderheit stellt die Aufgabe der Schneebeseitigung im Winter dar. In Moskau werden pro Winter über 12 Mio. m³ Schnee durch Vermengung mit Abwasser geschmolzen und anschließend gereinigt. Am 15.01.2004, einem Tag mit besonders starkem Schneefall, standen beispielsweise 3 500 Schneepflüge und 35 000 Arbeiter im Einsatz. Die Straßen werden in Formationen von bis zu sechs Fahrzeugen nebeneinander geräumt, die Schneemassen am Straßenrand zusammengeschoben und von LKWs zur Einheit der 27 Schneeschmelzanlagen ab-

transportiert. Die LKWs kippen ihre Ladung in eine Häckselanlage ab, welche große Eisbrocken zerkleinert. Alte Reifen, Betonklötze, Abfallbrocken und sonstige Abfälle (die auf der Straße lagen und mit aufgenommen wurden) werden manuell entfernt. Die zerkleinerte Schnee- und Eismasse wird in einem unterirdischen Mischbecken mit dem in Moskau warmen Abwasser (siehe Kapitel 5) vermischt, welches nach vorliegenden Erfahrungen selbst nach dem Einmischen von Schnee an strengsten Frosttagen nicht unter 14 °C absinkt. Der Durchmesser des abführenden Abwasserkanals darf nicht unter 1,2 m liegen. Rund 10 % des Räumgutes bestehen nicht aus Schnee, sondern aus Sand und mineralischem Streumaterial, welches mit dem rohen Abwasser abgeführt wird und mit dem Sandfanggut auf der Kläranlage abgeschieden wird. (CU, 2004)

5 Abwasserbeschaffenheit

Im Vergleich zu den Verhältnissen in Deutschland und dem westlichen Mitteleuropa sind vor allem drei Aspekte bezüglich der Abwasserbeschaffenheit in Russland bemerkenswert:

- Abwassertemperatur

In den Megastädten, insbesondere in Moskau, ist die Abwassertemperatur bei fast allen Klärwerksstandorten selbst in der kältesten Jahresperiode vergleichsweise hoch. Häufig fällt sie nicht unter 20 °C, nur selten unter 15 °C, selbst wenn es draußen über -30 °C, manchmal über -40 °C kalt ist. Das hängt damit zusammen, dass die Abwärme der im Winter auf Vollast laufenden Kraftwerke über Fernwärmesysteme abgeleitet wird und dass in den Siedlungen oft stark geheizt wird (nicht nur Wohnräume, sondern auch Warmwasser).

Umgekehrt kann sich bei dünn besiedelten Gebieten oder in Regionen, wo aufgrund der Wasserknappheit der spezifische Verbrauch gering ist, eine sehr niedrige Abwassertemperatur einstellen. Es wurde auch von Gebieten berichtet, bei denen die konventionelle Abwassersammlung schon allein wegen der Frostgefahr nicht wirtschaftlich möglich erscheint.

- Schmutzstoffkonzentration

Entsprechend der Leistungsfähigkeit der Wasserversorgung und den sanitären Verhältnissen gibt es sehr große Unterschiede im spezifischen Wasserverbrauch. Wie überall, sind bei niedrigem spezifischen Wasserverbrauch hohe

und umgekehrt bei hohem spezifischen Wasserverbrauch niedrige Schmutzstoffkonzentrationen zu beobachten.

Wegen der stark subventionierten Wasserpreise haben die einkommensstärkeren Verbraucher kaum Anreiz, Wasserverlusten (durch undichte Wasserhähne usw.) entgegenzuwirken oder gar das Wasser sparsamer einzusetzen. In den zentral wasserversorgten Gebieten schwanken die Verbräuche deshalb zwischen 30 und 600 l pro Tag.

Seit der Wende hat sich aber das Leben in Städten wie Moskau modernisiert. Viele Verbraucher haben ihre Sanitäreinrichtungen verbessert, und auch die Wassertarife werden konsequenter eingesammelt, wobei sich die Wassertarife gegenüber früher schon erheblich erhöht haben (wenngleich sie auch heute noch sehr niedrig sind, siehe Kapitel 7).

Nur dadurch hat sich der Wasserverbrauch in Moskau so moderat entwickelt, dass trotz des starken Einwohnerzuwachses die Versorgung bis heute gesichert werden konnte (Bild 7).

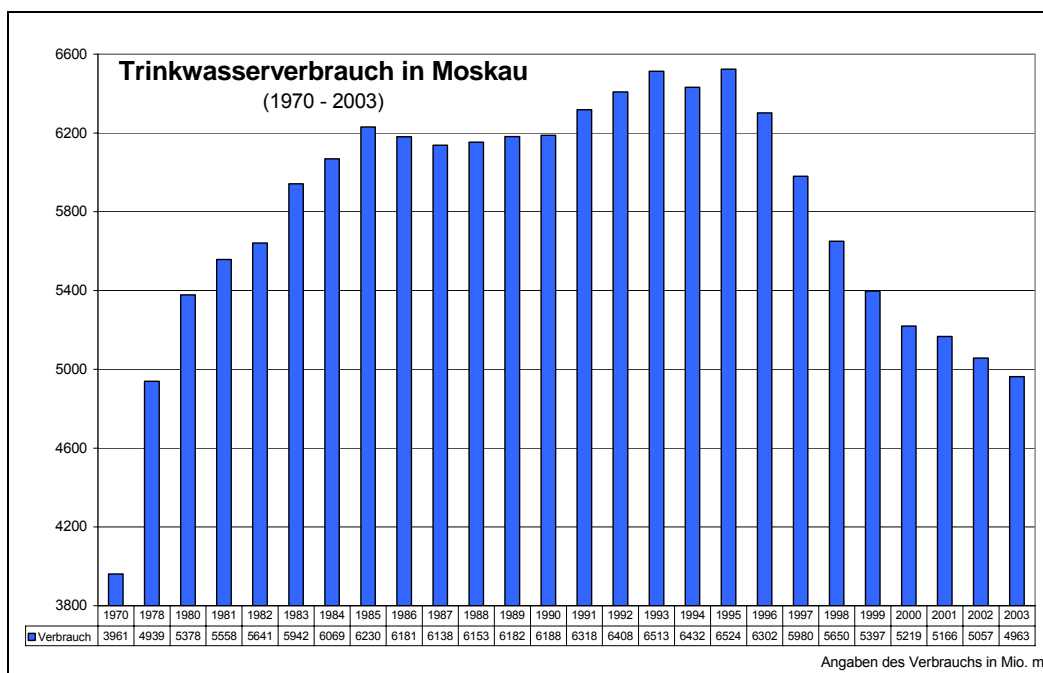


Bild 7: Trinkwasserverbrauch Stadt Moskau (Mio. m³/a)

- Gift- und Störstoffe

Besonders in den Umlandgemeinden und in Kleinstädten und im ländlichen Bereich (wo sich starke Gifteinleitungen nicht über eine sehr große Abwassermenge verdünnen) muss man im Klärwerksbetrieb mit Giftstoffen oder Störstof-

fen (Säure, Geruch, verschiedenste Abfallstoffe) rechnen. Das mag in anderen Ländern, wo die Indirekteinleiterüberwachung noch nicht oder nur unzureichend besteht, ähnlich sein. Typisch für das prosperierende Umland von Großstädten wie Moskau oder St. Petersburg ist jedoch die extrem schnelle Entwicklung und Dynamik im gewerblichen Sektor. Viele kleinere und mittlere Betriebe, etwa in der verarbeitenden Chemie, bei der Metallverarbeitung, im Düngemittelbereich usw., können praktisch von "heute auf morgen" entstehen, eine Produktion aufbauen - oder bestehende Betriebe stellen die Produktion um usw. Dann kommt es ggf. zu starken und unerwarteten Zuleitungen von Gift- und Störstoffen.

6 Abwasserreinigung

6.1 Vorbemerkung

Wie in Kapitel 4 beschrieben, spielen dezentrale Anlagen in Russland bislang keine wichtige Rolle. Neben den zentralen Großklärwerken in den Städten Moskau und St. Petersburg gibt es jedoch "semi-dezentrale" Anlagen, d. h. Anlagen, die für neue Stadtteile oder auch im Umland für Einwohnergrößen von über 250 000 EW bis herunter auf 10 000 bis 15 000 EW gebaut wurden.

Aus der alten sowjetischen Zeit existieren darüber hinaus eine Großzahl von Kläranlagen in typisierter Bauweise. Zumeist handelt es sich dabei um Kompaktanlagen in Betonbauweise (mit Trichterbecken ähnlich "Emscherbrunnen").

In der Forschung und Entwicklung befasst man sich damit, diese große Zahl an Anlagen wieder zu ertüchtigen, und dabei neue Technologien auf Basis alter Bausubstanz (soweit nutzbar) zu realisieren. Ähnlich wie seinerzeit in Deutschland (als die Entwicklung mit dem "Mehrphasenreaktor" oder dem "Bio-2-Schlammverfahren" begann und zu Anlagen nach dem Linde/Linpor-Verfahren oder dem Purac-Verfahren führte), wird im Versuchslabor der Bauhaus-Universität Moskau auch mit Festbetttechnologien gearbeitet.

Die Bedingungen und Verhältnisse der Abwasserreinigung lassen sich am besten anhand von Beispielen darstellen.

6.2 Kläranlage Lyuberzy

Das Großklärwerk Lyuberzy ist das größte und älteste der Stadt Moskau. Die ursprüngliche Anlage (mechanische Vorbehandlung mit nachgeschalteten Schlamm-

beeten) ist bereits im Jahr 1912 fertig gestellt worden. Heute behandelt die Anlage rd. 3 Mio. m³ Abwasser täglich bei einem CSB-Zulauf von 3 bis 400 mg/l.

Das Fließschema der Anlage ist in Bild 8 abgebildet.

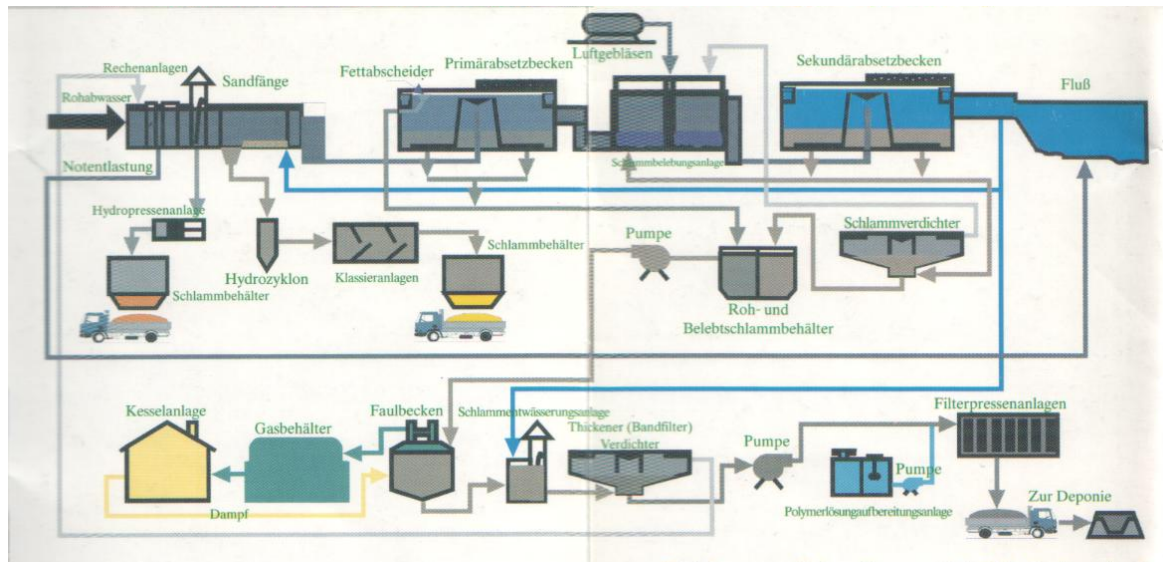


Bild 8: Fließschema Großklärwerk Lyuberzy

Wie die meisten Klärwerke in Russland, so arbeitet auch Lyuberzy nach dem Belebungsverfahren. In den unterschiedlichen Straßen sind unterschiedliche Schlammführungen realisiert. Der neue Anlagenblock sieht eine Denitrifikation mit unbelüfteten Zonen und internen Schlammkreisläufen vor.

Für die Schlammbehandlung existieren Faulbehälter, die zum Zeitpunkt der Besichtigung aber nur teilweise in Betrieb waren.

Darüber hinaus steht eine große Station mit modernen Schlammfilterpressen (Fabrikat Netzsch) zur Verfügung (Bild 9).

Die Endverbringung des Klärschlammes ist ungelöst. In den letzten Jahrzehnten wurde der Schlamm auf großen Lagerplätzen auf dem Klärwerksgelände zwischengelagert (Bild 10) und auf großen Schlammplätzen im Freiraum deponiert.

Die inzwischen mit Klärschlamm belegte Fläche ist sehr groß. Abgelagert sind 5 bis 6 Mio. m³ Schlamm auf einer Fläche von mehreren hundert ha. Ursprünglich wurde auf 15 % entwässertes Schlamm auf einer Höhe von 3 bis 4 m aufgeschüttet. Durch Nachrotte und Nachentwässerung hat man heute einen Trockensubstanzgehalt von teilweise bis zu 50 % und einen mineralischen Anteil von 8 %.



Bild 9: Schlammfilterpressen (Fabrikat Netzsch, Polypropylenplatten)



Bild 10: Blick von einem der hoch stehenden Gebäude über die freien Lagerflächen für den ausgefaulten und entwässerten Schlamm, der von dort aus auf Schlammflächen (Deponien) verbracht wird

6.3 Kläranlagen Süd Butowo und Zelenograd

Bei beiden Kläranlagen handelt es sich um Einrichtungen, die für neue bzw. gewachsene Wohnsiedlungen als vollbiologisches Klärwerk einschließlich Nährstoffelimination und nachgeschalteter Abwasserfiltration mit UV-Entkeimung errichtet wurden. In Tabelle 4 sind für diese beiden Klärwerke die Zulaufwerte, garantierten Ablaufwerte und tatsächlichen Ablauf-Betriebsdaten zusammengefasst. Beide Klärwerke wiesen im Betriebs- und Wartungszustand ein hohes Niveau auf internationalem bzw. deutschem Standard auf, wie dies aus den nachfolgenden Bildern 11 bis 14 und Tabelle 4 hervorgeht.



Bild 11: Klärwerk Butowo: Vorgeschaltete runde Bio-P-Becken und nachgeschaltete rechteckige Belebungsbecken



Bild 12: Blick auf die Räumlerlaufbahn eines Nachklärbeckens vom Klärwerk Butowo. Für den Winterbetrieb hatte man mit Heißluftgebläsen gearbeitet, die aber wegen technischer Probleme (Wiedervereisung, Aufbau einer immer dickeren Eisschicht) wieder demontiert wurden. Stattdessen ist eine elektrische Laufbahn-Reinigungsbürste installiert mit Möglichkeiten, Frostschutzmittel vor die Laufräder zu sprühen.



Bild 13: Induktive Ablaufmengenmessung Klärwerk Butowo. Weil es sich um ein Betreibermodell handelt, musste man von Anfang an auf verlässliches Monitoring aller wesentlichen Parameter und vertragssichere Dokumentation aller Messwerte geachtet werden. Davon profitiert die Qualität des technischen Betriebes.



Bild 14: Abwasserablaufklärwerk Zelenograd: Im Ablaufkanal sichtbar: Bestrahlungslampen

Tabelle 4: Zulaufwerte, Ablaufbetriebswerte und Ablaufgrenzwerte

| Parameter | Zulauf Butowo Süd | Zulauf Zelenograd | Ablaufbetriebswerte | | Ablauf- garantie- werte |
|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------|-------------------------------|
| | | | Butowo Süd | Zelenograd | |
| BSB ₅ (mg/l) | 130 | 168 | 4 | 15 | ≤ 5 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 15 | 25 | 0,9 | 0,02 | ≤ 2 |
| P _{ges} (mg/l) | 3,5 | 2,3 | 0,5 | 0,65 | ≤ 0,7 |
| Coli (1/1 000 ml) | - | - | 23 | 3,6 | < 100 |

Ermöglicht wurde dieses hohe technische Niveau und der Erfolg bei der Abwasserreinigung durch die Konzeption eines Betreibermodells (dem Grundmuster nach entsprechend dem seinerzeit entwickelten niedersächsischen Betreibermodell; Rudolph, 1985), welches eine klare Trennung zwischen Auftraggeber- und Auftragnehmerinteressen und erfolgsabhängige Zahlung vorsieht.

Für die Abwicklung des Projektes während der Investitionsphase wurde von der WTE Wassertechnik GmbH eine Projektgesellschaft mit Sitz in Deutschland gegründet, die auch die gesamte Finanzierung und die Inbetriebnahme durchgeführt hat. Die Projektgesellschaft selbst war Bauherr und Auftraggeber für alle Bauleistungen, Lieferungen und Montagen. Der ordnungsgemäße Betrieb der Anlage wird durch die russische Betreibergesellschaft ZAO STAER sichergestellt, an der die Projektgesellschaft und Mosvodokanal beteiligt sind.

Auftraggeber und Vertragspartner auf der russischen Seite für die Investitionen sowie deren Finanzierung und Refinanzierung ist die Regierung der Stadt Moskau; Vertragspartner für die Übernahme und Reinigung der Abwässer ist Mosvodokanal. Eine Übersicht über das Vertragsschema enthält nachfolgendes Bild 15.

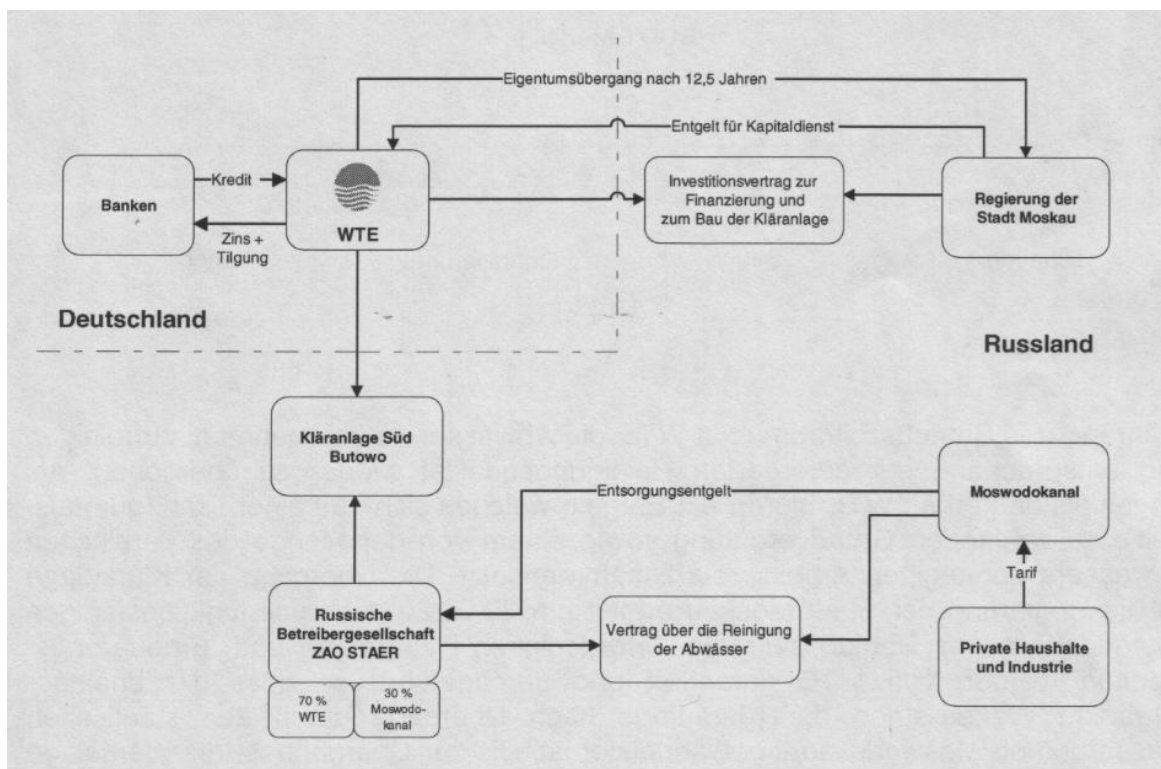


Bild 15: Vertrags- und Finanzierungsstruktur der Betreibermodelle der Klärwerke Butowo Süd und Zelenograd (WTE, 2003)

Die Gesamtfinanzierung für ein Investitionsvolumen von 31,1 Mio. EUR (Klärwerk Butowo Süd) bzw. 65,3 Mio. EUR (Klärwerk Zelenograd) wurde vollständig von der Projektgesellschaft durchgeführt. In diesem Betrag sind die Kosten für die schlüsselfertige Erstellung der Kläranlage, das Financial Engineering, die Kosten für die Grundstücksnutzung, die in der Russischen Föderation anfallenden Zölle und Steuern sowie die Finanzierungskosten während der Bauzeit enthalten. Eine

Ausfallbürgschaft des Landes Nordrhein-Westfalen und eine Garantie der Bundesrepublik Deutschland hat eine international wettbewerbsfähige Finanzierung durch ein deutsches Bankenkonsortium ermöglicht.

Durch die vollautomatische Steuerung und Regelung werden lediglich 13 Mann-Monate (Butowo) bzw. 17 Mann-Personal (Zelenograd) an fünf Tagen in der Woche benötigt. Eine Online-Verbindung nach Deutschland ermöglicht die Fernüberwachung und Fernsteuerung der Anlage an 24 Stunden am Tag.

6.4 Kläranlage Gorki 3

Die Kläranlage Gorki 3 wurde als Ersatzbau zur verrotteten Kläranlage Gorki 2 in Kompaktbauweise erstellt. Nach Bauart und Verfahrenstechnik entspricht sie am ehesten dem früher in Deutschland verbreiteten Typ "Zarnack". Die Anlage selbst arbeitet ohne bewegliche Teile. Die belüfteten Zonen im Belebungsbecken werden von einem Kompressor belüftet, der gleichzeitig Airlift-Pumpen zur Schlammförderung (Mammut-Pumpen-Prinzip) bedient. Die Belebungsbecken arbeiten mit Imhoff-Trichtern ohne Räumler (Bild 16 und Bild 17).



Bild 16: Pumpen für die Airlift-Anlage (das Belebungsbecken arbeitet ohne konventionelle Gebläse). Diese Ausrüstung ist vergleichbar der alten "Zarnack"-Technik, nicht jedoch die Beckenbauweise.



Bild 17: Blick über die Sedimentationskammer (trichterförmiges Absetzbecken mit Lamellenklär-Einbauten, diese sind nicht erkennbar)



Bild 18: Wartungszustand Rücklaufschlamm-Verteilerschacht



Bild 19: Hypochlorid-Tank zur Abwasserdesinfektion (wird nur bei Niedrigwasser und während der Badeperiode eingesetzt)

Die Anlage war relativ neu, weshalb sich die nach deutschem Anforderungsniveau schlechten Wartungsverhältnisse erst stellenweise bemerkbar machten (Bild 18). Besonderer Wert wird im Betrieb und offensichtlich auch von den Behörden auf die Nachchlorung des Abwassers gelegt (Bild 19).

7 Ökonomische Rahmenbedingungen

Die Wassertarife für Moskau betragen im Durchschnitt für Wohnungen 4 Rubel/m³ (was oft 200 Rubel pro Wohnung und Monat ausmacht). Industriebetriebe, die exportorientiert oder profitabel arbeiten, müssen mehr zahlen, häufig 10 Rubel/m³ (d. h. ca. 0,25 EUR/m³).

Die Abwassergebühren decken die Kosten nicht. Abwassergebühren werden mit den Tarifen eingezogen, und die Tarife für Wasser (inkl. Abwasseranteil) liegen für einen normalen Haushalt in der Regel unter 1 EUR pro Kopf und Monat. Für die Kommunen und Industriebetriebe besteht der finanzielle Anreiz (soweit ausreichend) deshalb darin, die Bau- bzw. Betriebsgenehmigung für neue Wohnblöcke oder Produktionsstätten zu erhalten, oder hohe Strafgebühren zu vermeiden (siehe Kapitel 2.1.3).

Die OECD hat in verschiedenen Städten der Russischen Föderation eine Studie erstellt (OECD, 2004). Diese kommt zu folgenden Feststellungen:

- Die Fortsetzung der offiziell angepeilten Entwicklung wird früher oder später in einem Zusammenbruch der Abwassersysteme enden. Man kann nicht einerseits ökologisch sehr anspruchsvolle Standards und Service-Ziele festschreiben und andererseits aus politischen Gründen die Abwassertarife und Finanzbudgets begrenzen (wodurch ausreichende Wartungs- und Betriebsleistungen unmöglich werden).
- Die Anpassung der vom Verbraucher zu zahlenden Wasser-/Abwasserentgelte sind auf Dauer die einzigen verlässlichen Einnahmen. Die allgemeinen Subventionen sollten durch spezifische Maßnahmen ersetzt werden (um die armen Bevölkerungsgruppen gezielt zu unterstützen).
- Die nationalen und kommunalen Finanzbudgets bleiben weiterhin zur Subvention des Wassersektors erforderlich, müssen jedoch auf die Unterstützung von Investitionen und Kapitalkosten und die gezielten sozialen Maßnahmen (s. o.) begrenzt werden. Nationale und kommunale Subventionen sollten - ebenso wie die internationalen Geber-Mittel - auf eine geringere Zahl besonders dringender Projekte konzentriert werden.
- Internationale Finanzierungsinstitutionen (IFI) können die Entwicklungen in Russland nicht nur dadurch unterstützen, dass sie Geld geben, sondern auch dadurch, dass sie für transparente und qualifizierte Prozesse im Engineering und Management sorgen, was für die nachhaltige Funktion der Wasser-/Abwassersysteme unerlässlich ist.
- Die Rolle der privaten Finanzierung wird aufgrund der politischen, gesetzlichen und ökonomischen Lage begrenzt sein. Öffentlich private Beteiligungsmodelle stellen in den meisten Fällen primär die Lösung für Management- und Dienstleistungsaufgaben dar, sekundär oder gar nicht für Finanzierungsengepässe.

Faktisch resultiert das Refinanzierungspotential für Abwasseranlagen in Moskau aus den hohen Preisen und der großen Nachfrage nach Wohnungen. Grundstücke in einer besseren Vorstadt von Moskau (eine Autostunde von der Innenstadt entfernt) kosten bereits 9 000 EUR/m². Für eine Eigentumswohnung im gleichen Bereich werden 2 500 EUR/m² verlangt. Im Stadtinneren finden sich Immobilienpreise, die über denen deutscher Großstädte liegen und im Stadtkern das Niveau von London erreichen können. Deshalb können sich im Einzelfall auch Kläranlagen "rechnen", die ein westdeutsches Kostenniveau haben und lediglich in den Baukosten günstiger waren (ca. 50 % des Niveaus in Westdeutschland), dafür

aber eher höhere Kosten in der Ausrüstung mit sich brachten (u. a. wegen der strengen Grenzwerte, siehe Kapitel 6.3).

8 Wiederverwendung

Die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser spielt in Russland nur regional eine Rolle. In den trockenen und heißen Regionen wird (nur teilweise oder fallweise) gereinigtes Abwasser für Bewässerungszwecke eingesetzt.

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Russland ist, gemessen an der Ost-West-Ausdehnung, das größte Land der Erde mit extremen Unterschieden in Klima, Besiedlungsdichte und wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Trotz dieser Unterschiede, welche eine Differenzierung von Standards verlangen, gelten landesweit die nach dem Gesetz einheitlichen Ablaufgrenzwerte für Kläranlagen. Diese werden aber nur in wenigen Fällen dauerhaft erfüllt.

Das politische und wirtschaftliche Zentrum Moskau ist auch abwassertechnisch am weitesten entwickelt. Aufgrund des Bevölkerungszuwachses in der Region wären jedes Jahr acht neue Anlagen für je 300 000 EW erforderlich.

Landesweit besteht ein großer Bedarf für die Sanierung und Modernisierung der in großer Zahl vorhandenen Typ-Kläranlagen aus der sowjetischen Zeit, soweit diese noch brauchbar sind. Für die vorhandenen Großklärwerke ist die Schlamm Entsorgung ungelöst (nur in St. Petersburg wird eine Verbrennungsanlage gebaut).

Wo der politische Wille zur konsequenten Umsetzung der Umweltstandards besteht, lassen sich für Klärwerksprojekte in Russland ohne weiteres die notwendigen finanziellen und logistisch-technischen Voraussetzungen für erfolgreiche Klärwerksprojekte schaffen. Betreibermodelle, bei denen die Gebietskörperschaften als Auftraggeber fungieren und die öffentliche Hand die Kontrolle über Eigentum und Arbeitsbedingungen hält, sind in Russland bereits in mehreren Beispielen erfolgreich realisiert worden. In solchen Konstellationen lassen sich auch komplizierte Klärwerkstechnologien einschließlich nachgeschalteter Abwasserfiltration, Abwasserdesinfektion und Schlammverbrennung durchführen.

Weil Wissenschaft und Kultur in Russland auch bei den Führungskräften im Wassersektor hohen Respekt genießen, ergeben sich für Kooperationsverbünde unter Beteiligung von Wissenschaft und Wirtschaft beider Länder große Chancen. Auch

die im Bericht zitierten Erfolgsbeispiele sind ursprünglich aus einer Wissenschafskooperation entstanden, die unter Beteiligung der Wirtschaft initiiert worden waren.

10 Literatur und Quellen

- CU Chemie Uetikon AG (2004) Angeschwemmt - Moskaus Schneeschmelzanlagen. Water Highlights vom 12.05.2004, Seite 8 ff., HS-Kommunikation, Zürich
- GTZ (2004) ECOSAN-Days - Base Line Studies, Surveys and Inception Phases to introduce Ecological Sanitation Concepts. Workshops 17. - 18.06.2004 + 26.07.2004, www2.gtz.de/ecosan/english/publications-conferences.htm
- Koronkevitch, N. (2002) Water Resources of Russia in: Land resources of Russia, hydrology. www.iiasa.ac.at/collections/IIASA_research/research/FOR/Russia_cd/hydro_d
- OECD (2004) Overview of the Country Experience with Financing Strategies for Urban Water and Sanitation Sector, Russia. www.oecd.org/document/16/0,2340,en_2649_34681_2682512_1_1_1_1,00.html
- Rudolph, K.-U. (1985) Zur Privatisierung der Abwasserbeseitigung, Stand - Entwicklung - Meinungen. Niedersächsische Städteverbands Nachrichten, 1985, Heft 10, S. 275 ff.
- Rudolph, K.-U. (2002) Alternative Wassersysteme (AWS) mit Beispielen aus Japan. Beitrag für das Magazin KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Ausgabe 2002 (49) Nr. 12, Seite 1667 ff., Mitautor: Dirk Schäfer, Hrsg.: GFA - Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.
- Schröder, R. (2004) Erfahrungen aus der deutsch-russischen Zusammenarbeit in der Wassertechnik. Vortrag auf der ECWATECH am 2. Juni 2004 in Moskau
- Slavina, N. (2004) Russia Government Suggests allowing Privatisation of Water. Water Conserve - Water Conservation Portal, www.waterconserve.info/articles.reader.asp?linkid=29626
- WCD (World Commission on Dams) (2000) Russian Federation and other NIS-countries. Final Paper - Executive Summary, www.dams.org/kbase/studies/ru/ru_exec.htm
- Wilderer, P. (2004) Sustainable Water Management in Urban Areas. DeSa/R-Symposium, Hans Huber AG, Berching, www.huber.de
- WTE Wassertechnik GmbH (2002) BOOT-Modell Kläranlage Süd Butowo/Moskau. Informationsblatt in russischer und deutscher Sprache, Essen/Moskau, nicht publiziert
- WTE Wassertechnik GmbH (2003) BOOT-Modell Kläranlage Zelenograd/Moskau. Informationsblatt in russischer und deutscher Sprache, Essen/Moskau, nicht publiziert

11 Anlagen (auf CD beigelegt)

Anlage 1: Empfehlungsschreiben des BMBF

Anlage 2: Fragebogen (Kurzfassung in Englisch)

Anlage 3: Fotodokumentation

Anlage 4: Ausgewählte Materialien:

Hans Holzhacker

Russland - Auf dem Weg zur gelenkten Marktwirtschaft
CEE-Report II/2004, Seite 12 ff.

WTE Wassertechnik GmbH (2003) BOOT-Modell

Kläranlage Zelenograd/Moskau

Informationsblatt in russischer und deutscher Sprache
Essen/Moskau, nicht publiziert

WTE Wassertechnik GmbH (2002) BOOT-Modell

Kläranlage Süd Butowo/Moskau

Informationsblatt in russischer und deutscher Sprache
Essen/Moskau, nicht publiziert

WTE Wassertechnik GmbH

Das BOOT-Modell; Das Vertragsmodell

Informationsblatt

Informationsfaltblatt mit Plan der Anlagen des Klärwerkes Lyuberzy
(1998)

Anlage 5: Visitenkarten der Gesprächspartner



Südafrika

**Karl-Ulrich Rudolph,
Private Universität Witten/Herdecke gGmbH**



1 Einleitung

Wie in Teil 1 "Wasserversorgung" des Vorhabens bereits ausgeführt (Kühn et al., 2003), bestehen in Südafrika zahlreiche Anlagen und Unternehmen für die Abwasserentsorgung. Besonders die Klärwerke in den wasserarmen Gebieten und den Großstädten arbeiten seit vielen Jahrzehnten bei einem z. T. hohen betrieblichen Standard. Das Ziel dieser Länderstudie bestand darin, einen Überblick über die Randbedingungen und Strukturen der Abwasserklärung in Südafrika zu erhalten. Dazu wurden im August verschiedene Behörden, insgesamt fünf Klärwerksstandorte sowie ein Universitätsinstitut und die zentrale Koordinierungsstelle für südafrikanische Wasserforschung, das WRC (Water Research Center), besucht.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die aufgesuchten Klärwerksbetriebe und namhaften Organisationen, die für Klärwerksprojekte maßgebend sind (Größenangaben in Megalitern pro Tag MI/d überschläglich auf Einwohnerwerte umgerechnet).

Tabelle 1: Übersicht der besuchten Klärwerksstandorte

| Standort | Träger | Betreiber | Anlage | Technik | Größe |
|----------------------------------|--|-----------|--|---|--|
| Johannesburg Region | Johannesburg Water (Pty) Ltd | Suez | Goudkop- pies Works | Belebung (Druckluft) | 250 MI/d (\triangleq ca. 833 TEW) |
| | ERWAT | - | Waterval Works | Belebung (Oberflächen- belüftung) | 150 MI/d (\triangleq ca. 500 TEW) |
| Kapstadt | Städtisches Umwelt- schutzamt | - | Athlone WWT Plant | Belebung, Tropfkörper u. a. m. | 1 000 MI/d (\triangleq ca. 500 TEW) |
| Durban | Städtische Wassergesell- schaft | - | KwaMasku Treatment Works | Belebung + Biofilter | 65 MI/d (\triangleq ca. 3,3 Mio. TEW) |
| | Durban Water Recycling (Pty) Ltd | Veolia | Durban Wa- ter Recy- cling Plant | Belebung, O ₃ , Aktivkohlefilter | 10 MI/d |
| | Umgeni Water | - | Darvill STP | Belebung + Schönungstei- che und Bio- topstrecke | 75 MI/d (\triangleq ca. 250 TEW) |
| Nelspruit Stadt und Bezirk | GNUC | BiWater | Diverse | Belebung, Tropfkörper, Teiche | 5 000 bis 35 000 EW |

Wie die Kartendarstellung in Bild 1 von Südafrika mit den markierten Besuchsorten zeigt, wurde der Schwerpunkt auf drei Metropolen und exemplarisch ein ländliches Gebiet gewählt:

- Johannesburg (und Pretoria):

Das politische und industrielle Zentrum von Südafrika.

Hier befindet sich der Sitz der Nationalregierung, des Wasserministeriums und des WRC. Es gibt im städtischen Bereich sehr große und im Umland zahlreiche mittelgroße und kleinere Kläranlagen.

- Kapstadt (und Stellenbosch):

Das zweite große Industriezentrum mit Rohstoffvorkommen und einem touristisch erschlossenen Umland in Südafrika.

Im Unterschied zu Johannesburg/Pretoria ist die Stadt an der Küste gelegen und mit reicheren natürlichen Wasservorkommen ausgestattet.

- Durban (und Pietermaritzburg):

Die tropische Küstenstadt in heißem Klima.

Hier ist z. T. extreme Wasserknappheit vorhanden, so dass Industriebetriebe keine zusätzlichen Entnahmerechte erhalten und auf Recycling setzen müssen, wenn sie expandieren wollen.

- Nelspruit (Stadt und Umland):

Die Mittelstadt mit der umgebenen ländlichen Region.

Relativ wohlhabend durch die intensive touristische Nutzung (südlich vom Krueger-Nationalpark gelegen); auch hier gibt es zahlreiche mittlere und kleinere Kläranlagen, die im Rahmen eines Konzessionsvertrages privat betrieben werden.



Bild 1: Kartenübersicht von Südafrika: Pfeile markieren die Standorte der besichtigten Klärwerke

2 Gesetzliche Regelungen

2.1 Hintergrund

Der Bedeutung der Ressource "Wasser" für die Wirtschaft und Umwelt in Südafrika wurde seinerzeit mit dem nationalen Wassergesetz von 1956 (Water Act) Rechnung getragen. Der Fokus lag seinerzeit auf dem *Emissionsprinzip*, d. h. auf der Kontrolle der Abläufe aus Abwasseranlagen in die Vorfluter. Ähnlich wie seinerzeit mit den "Verwaltungsvorschriften" zum deutschen Wasserhaushaltsgesetz war das damals der richtige Ansatz, zumal es noch nicht ausreichende Systeme und Daten zur Kontrolle und zum Flussgebiets-Management gab. Ähnlich wie in Deutschland, wurden die Standards seinerzeit an der bestverfügbaren Technolo-

gie und den finanziellen Möglichkeiten orientiert. Die Ablaufstandards waren landeseinheitlich definiert.

Das *Immissionsprinzip* mit Orientierung auf den gesetzlichen Gewässerschutz wurde formal mit dem nationalen Wassergesetz von 1998 eingeführt. Hier wurden sowohl eine Klassifizierung der Gewässer nach Nutzungsanforderungen und ökologischen Aspekten eingeführt, als auch die Einführung einer Mindestwasserabgabe.

Dabei stehen zwei Nutzungsaspekte im Vordergrund:

- Absicherung der Mindestversorgung für den häuslichen Wasserverbrauch (Trinken, Kochen, Waschen),
- Ökologisch definierte Mindestwasserführung bzw. Mindestwasserstand in den Oberflächengewässern.

Alle anderen Nutzungskategorien werden als zweitrangig betrachtet und können erst dann bedient werden, wenn die erstgenannten Kategorien abgesichert sind.

Die Entscheidung darüber, wie die Mengen- und Qualitätsanforderungen vor Ort definiert werden und inwieweit sie in das praktische Wasser-Management eingehen, muss im Rahmen eines das Einzugsgebiet umfassenden Flussgebiets-Management-Plans getroffen werden. Insofern ist die südafrikanische Gesetzgebung und die dahinter liegende Vorstellung zum Wasser-Management ähnlich wie die in Deutschland und in Europa (→ ganzheitliche Optimierung für alle Nutzungsarten unter Einhaltung ökologischer Standards).

Anders als in Deutschland ist die Aufgabe der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung jedoch nicht an die Kommunen delegiert, sondern an regionale (teilweise lokale) Wasserverbände (Water Service Authorities), welche ihre Aufgabe teilweise an öffentliche oder private Wasserdienstleister (Water Service Providers) delegieren (siehe Abschnitt 3.3).

Im Wasser Service Act (Water Service Act) 1997 sind weit gehende Regelungen enthalten, wie diese Institutionen aufgebaut sind und wie sie zu arbeiten haben. Hinzuweisen ist auf die Regelungen,

- wonach eine Mindestwasserversorgung und Mindest-Sanitärdienstleistungen für jeden Bürger sicherzustellen sind,
- nach welchen Kriterien die allgemeinen Service-Standards für Wasser und Abwasser über das Ministerium für Wasser und Forstwirtschaft festgelegt werden,

- wie die Wassertarife zu kalkulieren und festzulegen sind.

2.2 Emissionsgrenzwerte für Direkteinleiter

Am Beispiel der Stadt Kapstadt, und gültig für das Klärwerk Athlone, sind in der nachstehenden Tabelle 2 die generellen Ablaufstandards aufgelistet, welche für dieses Klärwerk einzuhalten sind. Die Tabelle enthält Vergleichszahlen der heute geltenden Standards mit den früheren Standards von 1984 und den geplanten Standards ab 2010.

Hinzuweisen ist darauf, dass die Analysen in der Regel aus der filtrierten Probe entnommen werden, nicht aus der homogenisierten Mischprobe.

Im betrachteten Beispielsfall ist der Grenzwert für Phosphat für den Klärwerksbetreiber "günstig". Bei anderen Anlagen lag der Grenzwert häufig bei 0,5 und zuweilen bei 0,3 mg P/l.

Dass ein Grenzwert für die Keimbelastung einzuhalten ist, gilt fast ausnahmslos für sämtliche Kläranlagen in Südafrika. Der Grund liegt in der Tatsache, dass das Flusswasser fast überall als Rohwasser dient, vielfach (oft unkontrolliert) für die private Trinkwasserversorgung entnommen wird. Deshalb wäre zu befürchten, dass ein Verzicht auf die Abwasserdesinfektion (geschieht überwiegend durch Chlor) zu Cholera-Epidemien führen würde.

Für Klärwerke, welche direkt in die hohe See bei entsprechender Wassertiefe und Strömung einleiten (z. B. Durban, siehe Tabelle 10) gelten die o. g. Standards nicht. Es reicht eine mechanische Klärung in Kombination mit einem Ausleitungsrohr von der Küste in den Tiefseebereich aus.

Tabelle 2: Emissionsgrenzwerte Klärwerk Athlone, Kapstadt (Auszug)

| Parameter | Unit | Limit | | |
|--|--------|-----------------------------|-----------|-----------|
| | | 1984 | 2005 | 2010 |
| Chemical oxygen demand | mg/l | 75 | 65 | 65 |
| Cyanide | mg/l | 0.5 | 0.03 | 0.006 |
| Dissolved oxygen concentration | mg/l | 5 % saturation | | |
| Increase in electrical conductivity | mS/m | not > 75 above intake water | | |
| Increase in sodium concentration | mg/l | not > 90 above intake water | | |
| Ionised and unionised ammonia | mgN/l | 10.0 | 3.0 | 1.0 |
| Nitrate | mgN/l | - | 15 | 15 |
| pH | - | 5.5 - 9.5 | 5.5 - 7.5 | 5.5 - 7.5 |
| Phenol index | mg/l | 0.1 | 0.1 | 0.01 |
| Residual chlorine | mgCl/l | 0.1 | 0.1 | 0.014 |
| Soluble ortho-phosphate | mgP/l | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Sulphides | mgS/l | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Suspended solids | mg/l | 25 | 18 | 18 |
| Temperature | oC | not > 35 | not > 25 | not > 25 |
| Sum of cadmium, chromium, copper, mercury and lead | mg/l | 1 | 1 | 1 |
| Total iron | mg/l | - | 0.3 | 0.3 |
| Total lead | mg/l | 0.1 | 0.01 | 0.009 |
| Total mercury | mg/l | 0.02 | 0.002 | 0.001 |
| Total zinc | mg/l | 5.0 | 0.05 | 0.05 |
| Typical faecal coliforms per 100 ml | count | 1,000 | | 100 |

2.3 Emissionsgrenzwerte für Indirekteinleiter

Tabelle 3 und Tabelle 4 enthalten eine Auflistung von Grenzwerten, welche für die Indirekteinleiter in öffentliche Schmutz- und Mischwasserkanäle sowie für die Indirekteinleitungen in Regenwasserkanäle gelten. Diese Regeln sind landesweit festgesetzt und können fallweise, insbesondere bei speziellen Industriebetrieben, ergänzt oder modifiziert werden (siehe "Wastewater and Industrial Effluent By-Law" zu den General Effluent Standards, 1984).

Tabelle 3: Grenzwerte für Einleitungen in Schmutzwasserkanäle

| Section A: General | Not less than | Not to exceed |
|---|---------------|-----------------------|
| Temperature at point of entry | 0 °C | 40 °C |
| Electrical Conductivity | | 500 mS/m ³ |
| pH Value at 25 °C | 5.5 | 12.0 |
| Chemical Oxygen Demand | | 5,000 mg/l |
| Section B: Chemical substances other than Heavy Metals - maximum concentrations | | |
| Settleable Solids (60 minutes) | | 50 ml/l |
| Suspended Solids | | 1,000 mg/l |
| Total dissolved solids at 105 °C | | 4,000 mg/l |
| Chloride as Cl | | 1,500 mg/l |
| Total sulphates as SO ₄ | | 1,500 mg/l |
| Total phosphates as P | | 25 mg/l |
| Total cyanides as CN | | 20 mg/l |
| Total sulphides as S | | 50 mg/l |
| Total phenols as C ₆ H ₅ OH | | 50 mg/l |
| Total sugars and starches as glucose | | 1,500 mg/l |
| Oils, greases, waxes and fat | | 400 mg/l |
| Sodium as Na | | 1,000 mg/l |
| Section C: Metals and inorganic content - maximum concentrations | | |
| Iron as Fe | | 50 mg/l |
| Chromium as Cr | | 10 mg/l |
| Copper as Cu | | 20 mg/l |
| Zinc as Zn | | 30 mg/l |
| Total collective concentration of all metals shall not exceed 50 mg/l | | |

Tabelle 4: Grenzwerte für Einleitungen in Regenwasserkanäle (Auszug)

| Substance/Parameter | General limit | Special limit |
|------------------------------------|---|--|
| Faecal Coliforms (per 100 ml) | 1,000 | 0 |
| Chemical Oxygen Demand (mg/l) | 75 ^{*)} | 30 ^{*)} |
| pH | 5.5 - 9.5 | 5.5 - 7.5 |
| Ammonia as Nitrogen (mg/l) | 3 | 2 |
| Nitrate/Nitrite as Nitrogen (mg/l) | 15 | 1,5 |
| Chlorine as Free Chlorine (mg/l) | 0.25 | 0 |
| Suspended Solids (mg/l) | 25 | 10 |
| Electrical Conductivity (mS/m) | 70 mS/m above intake to a maximum of 150 mS/m | 50 mS/m above background receiving water, to a maximum of 100 mS/m |
| Ortho-Phosphate (mg/l) | 10 | 1 (median) and 2.5 (maximum) |
| Soap, oil or grease (mg/l) | 2.5 | 0 |
| Dissolved Cadmium (mg/l) | 0.005 | 0.001 |
| Dissolved Chromium (VI) (mg/l) | 0.05 | 0.02 |
| Dissolved Copper (mg/l) | 0.01 | 0.002 |
| Dissolved Iron (mg/l) | 0.3 | 0.3 |
| Dissolved Lead (mg/l) | 0.01 | 0.006 |
| Mercury and its compounds (mg/l) | 0.005 | 0.001 |
| Dissolved Zinc (mg/l) | 0.1 | 0.04 |
| Boron (mg/l) | 1 | 0.5 |

^{*)} After removal of algae

2.4 Grenzwerte für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung

Wie der Klärschlamm von den vielen sehr großen Klärwerken und zahlreichen mittleren und kleinen Klärwerken von Südafrika sinnvoll verwertet und entsorgt werden kann, ist eine in Südafrika noch offene Diskussion. Zum Zeitpunkt der Mission im August 2004 gab es erhebliche Widerstände gegen den verstärkten Einsatz von Verbrennungsanlagen aufgrund der Kosten, aber auch aufgrund von Protesten der Umweltschutzgruppen. Vereinzelt vorhandene Pyrolyse-Anlagen und Kompostierungsanlagen haben Probleme im Dauerbetrieb.

Deshalb wird versucht, die vorherrschende Deponierung (nur teilweise als geordnete Deponierung zu bezeichnen) von Klärschlamm durch eine geordnete und qualitätsüberwachte Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft zu ersetzen. Je nach Herkunft und anderen Kriterien wird der Schlamm klassifiziert. Nur die so genannte D-Klasse darf frei verwendet und mit maximal 8 t/ha/a aufgebracht werden. Die hierfür greifenden Standards sind in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Grenzwerte für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung

| Metal | Unit | Total |
|------------|-------|-------|
| Cadmium | mg/kg | 20 |
| Cobalt | mg/kg | 100 |
| Chromium | mg/kg | 1,750 |
| Copper | mg/kg | 750 |
| Mercury | mg/kg | 10 |
| Molybdenum | mg/kg | 25 |
| Nickel | mg/kg | 200 |
| Lead | mg/kg | 400 |
| Zinc | mg/kg | 2,750 |
| Arsenic | mg/kg | 15 |
| Selenium | mg/kg | 15 |
| Boron | mg/kg | 80 |
| Fluoride | mg/kg | 400 |

2.5 Immissionsstandards

Bei der Klassifizierung und Kartierung von Gewässergüte und Nutzungsarten ist man in Südafrika weit fortgeschritten (vgl. Bild 2).

Die nationale Gewässergüteklassifikation sieht sechs Stufen A - F vor. Auf Dauer soll kein Gewässer schlechter als Stufe D sein (deshalb sind die Zielkategorien für das Flussgebiets-Management lediglich die Stufen A - D, ohne die Stufen E und F). Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Stufen.

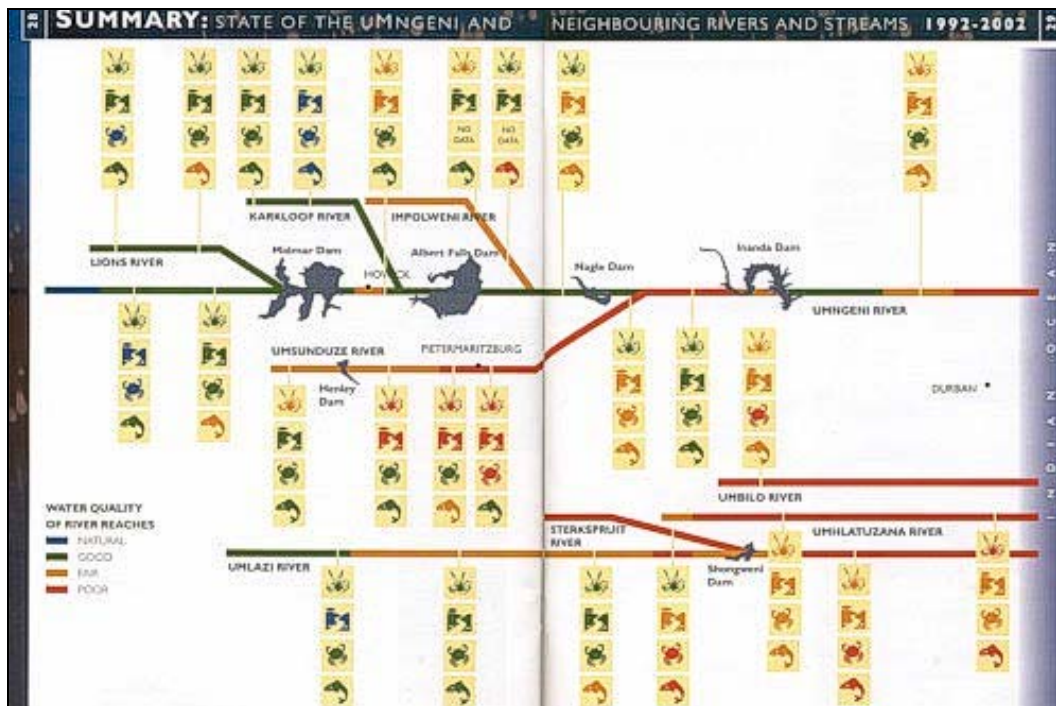


Bild 2: Klassifizierung der Gewässergüte im Gebiet Umgeni

Tabelle 6: Immissions-Richtwerte für unterschiedliche Gewässergüteklassen

| Klasse | Stichworte | Richtwerte ¹⁾ | | | | |
|--------|--|--------------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|
| | | O ₂ | SS | TDS | oP | NH ₃ |
| A | Natürlicher Gewässerzustand im Wesentlichen unverändert | 80 - 120 % | 10 - 15 mg/l | 0 - 163 mg/l | > 0,01 mg/l | > 0,007 mg/l |
| B | Natürlicher Zustand weitgehend erhalten mit einigen Änderungen | 80 - 100 % | 10 - 20 mg/l | 163 - 228 mg/l | > 0,05 mg/l | > 0,015 mg/l |
| C | Natürlicher Zustand mäßig verändert | 60 - 80 % | 15 - 30 mg/l | 228 - 325 mg/l | > 0,07 mg/l | > 0,03 mg/l |
| D | Natürlicher Zustand verändert | 40 - 60 % | 20 - 40 mg/l | 325 - 520 mg/l | > 0,10 mg/l | > 0,07 mg/l |
| E | Natürlicher Zustand ernsthaft belastet | - | - | - | - | - |
| F | Natürlicher Zustand kritisch belastet | - | - | - | - | - |

1) Quelle: van Veelen (2004)

2.6 Ressourcen-orientierte Ablaufstandards

In der vorgenannten Untersuchung wurden, unter Berücksichtigung der vorhandenen Konzentrationen im Gewässer und der Zielwerte, die empfohlenen Ressourcen-orientierten Werte (RRDV, Recommended Resource Directed Values) errechnet und für die genannten Gewässernutzungsklassen aufgelistet (Tabelle 7).

Tabelle 7: Zielwerte für den Klärwerksablauf für unterschiedliche Gewässernutzungsklassen

| Parameter | Einheit | A | B | C | D |
|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| COD | mg/l | 37 | 65 | 94 | 122 |
| SS | mg/l | 27 | 30 | 33 | 37 |
| pH | - | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 |
| T | °C | 29 | 32 | 35 | 39 |
| OrthoP | mg/l | 0,05 | 0,425 | 0,6 | 0,9 |
| TDS | mS/m | 7 | 40 | 90 | 190 |
| NO ₂ + NO ₃ | mg/l | 15 | 15 | 15 | 20 |
| NH ₄ -N | mg/l | 2,6 | 5,75 | 11,6 | 27 |

3 Allgemeine Angaben

3.1 Wasserwirtschaftliche Situation

Die Fläche der Republik Südafrika beträgt ca. 1,22 Mio. km². Nur 15 % der Gesamtfläche (18 Mio. km²) wird als kultivierbar eingeschätzt. 7 % sind bewaldetes Gebiet. 12 700 km² werden bewässert. Natürliche Vorkommen an Bodenschätzen sind Gold, Chrom, Antimon, Kohle, Eisenerz, Mangan, Nickel, Phosphate, Zinn, Uran, Diamanten, Platin, Kupfer, Vanadium, Salz und Erdgas. Die Küstenlinie am Atlantischen Ozean und am Indischen Ozean beträgt 2 798 km. Die höchste Erhebung ist der Njesuthi mit 3 408 m.

Die Einwohnerzahl beträgt 43,6 Mio. (2001), von denen 49 % auf dem Land wohnen. Die mittlere Bevölkerungsdichte liegt bei 33 Einwohnern pro km²; sie reicht von mehr als 100 pro km² in den Stadtgebieten der früheren Homelands bis zu 21 pro km² in den anderen Landesteilen. Durch regional sehr starken Flüchtlingszu- zug (aus Zimbabwe, Äthiopien und Somalia) und hohe Vermehrungsraten in den Armutsgebieten wird trotz des unübersehbaren wirtschaftlichen Fortschritts im

Landesdurchschnitt der erstrebte Wohlstand nicht erreicht. Die Inflationsrate beträgt ca. 5 %, die Arbeitslosigkeit liegt bei über 30 %.

Etwa 80 % der Bevölkerung von Südafrika verwendet (in den Ballungsregionen oft mit häuslichem und industriellem Abwasser belastetes, im ländlichen Raum oft aus der Landwirtschaft belastetes) Oberflächenwasser als Rohwasser, 20 % verwenden Grundwasser.

Die jährliche Wasserentnahme beträgt ca. 13,3 km³. Davon werden 72 % von der Landwirtschaft, 11 % für die Industrie und 17 % von den Haushalten genutzt. 30 % der Bevölkerung Südafrikas verwendet Wasser ohne hinreichende Aufbereitung. 50 % der Bevölkerung hat keine hinreichenden sanitären Einrichtungen, was zu hoch kontaminierten Abschwemmungen in der Regenzeit führt. Die Einträge durch Kläranlagen in Flüsse haben insbesondere in den Trockenzeiten einen hohen Anteil an der gesamten Flusswassermenge.

3.2 Klima

Südafrika ist aufgrund seiner geografischen Ausdehnung geprägt von starken klimatischen Unterschieden, die sich sowohl in der Vegetation und damit in der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit als auch in der Bevölkerungsdichte auswirken. In Nord-Süd-Richtung (latitude) sind es im Wesentlichen Temperaturgradienten, in West-Ost-Richtung (longitude) sind es deutliche Unterschiede in den Niederschlagsmengen. Damit zählt der Norden eher zu den Tropischen Gebieten, während der Süden als subtropisch oder sogar gemäßigt zu bezeichnen ist. Im Westen ist es hyperarid, im Osten nicht. Im Nordosten treten die Niederschläge jahreszeitlich vor allem in den Sommermonaten von November bis Februar auf, während im Südwesten die Niederschläge unvorhersehbar und heftig auftreten. Hier sind heiße, trockene Sommer und regnerische Winter nicht ungewöhnlich.

Insgesamt gesehen müssen die meisten Regionen über mehrere Monate im Jahr ohne Regenfälle auskommen. Deshalb wird Wasser in Dämmen und Talsperren gespeichert, um über die trockenen Perioden wegzukommen. Im Südwesten ist dies besonders wichtig, da dort die niederschlagsarme Zeit in den heißen Sommermonaten stattfindet. Zusätzlich variieren die Niederschlagsmengen über die Jahre, so dass Wasser auch gespeichert werden muss, um in trockenen Jahren genügend Vorräte zu haben (der Variationskoeffizient für den mittleren Abfluss in südafrikanischen Flüssen beträgt 117 % im Vergleich zu 38 % in den USA, 22 % in Europa und 53 % in Victoria, Australien).

Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 451 mm/a, der von < 10 mm in den westlichen Wüsten bis 1 200 mm/a in den östlichen Landesteilen reicht. Ein großer Teil des Landes (21 %) wird als arid (< 200 mm/a Niederschlag) oder semi-arid (44 % des Landes mit einer Niederschlagsmenge von 200 bis 500 mm/a) eingestuft. Somit haben 65 % nicht ausreichend Niederschlag für eine erfolgreiche Bewirtschaftung von Feldern.

Aufgrund dieser klimatischen Verhältnisse und der geologischen Strukturen gibt es in Südafrika nur wenige natürliche Oberflächenwässer, wobei Flüsse hier dominant sind. Seen sind im Landesinneren selten, da die Verdunstungsmengen größer sind als die Niederschlagsmengen. An der Küste finden sich jedoch einige Seen.

In Südafrika werden Wassermengen über große Distanzen transportiert, um in den Ballungsgebieten eine ausreichende Wasserversorgung sicherzustellen. Beispielsweise ist geplant, Wasser aus den Zuflüssen des Orange Flusses zu transportieren, um für die Gauteng-Region mit Johannesburg genügend Wasservorräte zu haben. 2,2 Billionen m³ Wasser sollen nach Fertigstellung des Projektes jährlich geliefert werden.

Sumpfbereiche ("Wetlands") sind eine weitere Form von Oberflächenwasser, die jedoch üblicherweise nicht für die öffentliche Trinkwasserversorgung genutzt werden, für die Ökologie aber eine wesentliche Rolle spielen, da sie große Wassermengen speichern und so Hochwässer abschwächen können. Von insgesamt 800 Wetlands in Südafrika unterliegen lediglich 14 % dem Naturschutz.

3.3 Verantwortlichkeiten für die Abwasserentsorgung

Die Verantwortlichkeiten für die Abwasserentsorgung und die institutionelle Struktur sind im nationalen Wassergesetz (S.A. Water Services Act) von 1997 definiert worden:

- Zuständig für die Festsetzung nationaler Qualitätsstandards ist das Wassermministerium (in der Verwaltung tätig über das DWAF, Department of Water Affairs).
- Die hoheitliche Aufgabenverantwortung (nach deutscher kommunalrechtlicher Terminologie: Träger der Aufgabe für Daseinsvorsorge, Garantenfunktion) obliegt regionalen Wasserverbänden (Water Service Authorities). Sie sind zuständig für die Planung, Aufsicht und Kontrolle der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung und letztlich verantwortlich dafür, dass diese effizient nach Leistung und Kosten funktionieren.

Die Wasserverbände dürfen ihre Aufgaben ganz oder teilweise an Dritte delegieren und haben die Satzungshoheit in ihrem Gebiet.

- Die exekutive Aufgabendurchführung ist zumeist an Wasserdienstleister übertragen (Water Service Providers). Als Träger der hoheitlichen Aufgabe erteilen die Wasserverbände Zulassungen, wer als Wasserdienstleister agieren darf. Die Informationspflicht der Wasserdienstleister besteht aber nicht nur gegenüber den Wasserverbänden, sondern auch gegenüber der Gebietskörperschaft (Province), dem Wasserministerium und den Verbrauchern.
- Daneben gibt es noch die "Water Service Intermediaries". Das sind im Wesentlichen Eigenver- und entsorger, z. B. große Farmen, Bergwerke, eigenständig organisierte Industrie- und Wohngebiete.

Die Rechte und Pflichten sind ähnlich wie die von professionellen Wasserdienstleistern (allerdings einfacher und weniger anspruchsvoll definiert). Dort, wo es keine geordnete Wasserver- und -entsorgung gibt und die o. g. Institutionen diese nicht sicherstellen können, kann das Ministerium ein Wasserkomitee einrichten (Water Service Committee). Der Minister kann dabei auch Persönlichkeiten und Nicht-Regierungsorganisationen einbinden, wenn dies politisch oder aus wasserfachlicher Sicht opportun erscheint.

3.4 Stand der Abwasserentsorgung

Zweifelsohne ist Südafrika das auf dem Kontinent am weitesten entwickelte Land. Aufgrund der relativen politischen Sicherheit, rechtsstaatlichen Verlässlichkeit und Kaufkraft der Bevölkerung (zumindest in den städtischen Regionen) fokussieren die großen Wasserwirtschaftsunternehmen (auch die weltweit dominierenden Wasserkonzerne aus Frankreich) in Afrika generell (abgesehen von firmenspezifischen oder individuellen Verbindungen, die Aktivitäten in einzelnen afrikanischen Ländern auslösen mögen) und manchmal sogar ausschließlich (d. h., die Firmenstrategie lehnt Investitionen in anderen als den nachgenannten afrikanischen Ländern ab) Südafrika, den Maghreb (Tunesien, Algerien und Marokko), Namibia und (mit großen Einschränkungen) eventuell noch Kenia, Uganda, Sambia und Tansania.

Südafrika ist abwassertechnisch ein Land der Gegensätze. In den wasserabhängigen und wasserarmen Großstädten (z. B. Johannesburg und Kapstadt) finden sich Klärwerke, die anerkanntermaßen Spitzentechnologien beinhalten (insbesondere bei der biologischen Phosphatelimination ist Südafrika weltweit führend und

durch die Entwicklung des Bardenpho-Prozesses international entsprechend anerkannt, siehe Bild 3).

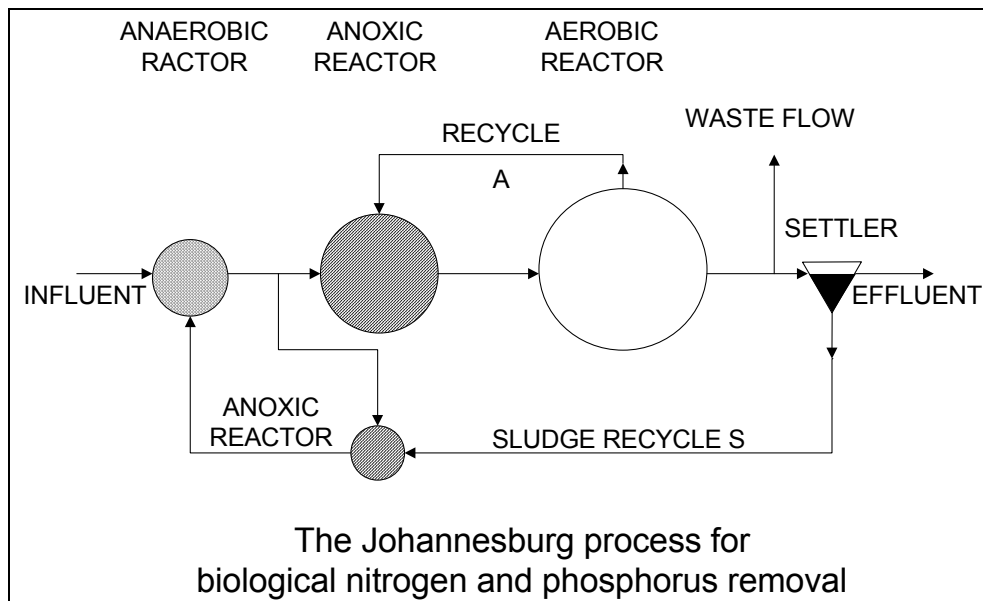


Bild 3: Der in Südafrika als "Johannesburg-Verfahren" bezeichnete Prozess zur Phosphatelimination in Belebungsanlagen

Andererseits gibt es im ländlichen Bereich oder in den von sehr großen Flüchtlingsströmen aus anderen Ländern (Tansania, Äthiopien und Sudan) belasteten Flüchtlingsgebieten eine äußerst mangelhaft oder komplett fehlende Wasserver- und -entsorgung mit sanitären Verhältnissen, die für die rückständigen Entwicklungsländer Afrikas typisch sind.

Wegen der schnellen Entwicklung, sowohl im positiven Sinne (rascher Klärwerksausbau in Ballungsgebieten etc.) als auch im negativen Sinne (unkontrollierbares Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und Flüchtlingszuzug mit immer größeren Defiziten bei der Infrastrukturentwicklung) sind die offiziellen Zahlen nur bedingt aussagefähig.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass der Anschlussgrad an Kläranlagen in den Stadtgebieten bei annähernd 90 % liegt, während in den (entwickelten und geordnet besiedelten) ländlichen Gebieten weniger als 50 % an Klärwerke angeschlossen sind.

Nach Schätzungen der KfW (Informationsstand 2001) sind jährliche Investitionen in Höhe von 1,2 Mrd. EUR notwendig, um die städtische Wasserver- und -entsorgung zu sichern. Dies wäre eine Zahl für den Bedarf. Ob aus dem Bedarf

tatsächlich eine entsprechende Nachfrage resultiert (aus der dann auch ein gewisses Exportpotential für die deutsche Wirtschaft entstehen könnte), hängt von der Zahlungswilligkeit und Zahlungsfähigkeit der für die Investitionen zuständigen Institutionen ab.

Nach Ansicht fast aller Fachleute, die im Rahmen der Mission kontaktiert wurden, liegt der Engpassfaktor (trotz des enorm großen Problemdruckes wegen des Flüchtlingszuzuges) nicht in der Finanzierung oder im Bau, sondern im nachhaltigen Betrieb der Sanitäreinrichtungen. In den von der Polizei nicht kontrollierbaren Distrikten gibt es einen enormen Zerstörungsdruck und Diebstahl (selbst von Kupferkabeln aus Motoren oder Schaltkästen; Ausbau von Armaturen, um den Schrottwert einzulösen etc.). Auch anderswo müssen die Anlagen mit hohem Aufwand gesichert werden (vgl. z. B. Bild 4).



Bild 4: Sicherheitsmauer um das Großklärwerk Johannesburg Nord

Insgesamt gibt es rd. 700 Klärwerke in Südafrika, von denen die Hälfte die definierten Ablaufwerte zu 75 % (Anteil der Anzahl an behördlich veranlassten Probenahmen) erreicht.

Größere Industrieanlagen funktionieren im Allgemeinen gut, ebenso wie die wichtigen großen öffentlichen Klärwerke (welche aufgrund der Unterlieger-Interessen ständig überwacht werden und unter besonderer politischer Beobachtung stehen).

Generell gibt es einen Nachteil auf Seite der öffentlichen Betreiber, weil diese aufgrund der öffentlichen Besoldungsregeln und wegen der gesetzlich fixierten Förderbestimmungen für benachteiligte Personengruppen (z. B. im sog. Black Empowerment Act, um benachteiligte schwarze Personen in höhere Positionen der Wirtschaft zu bringen und die soziale Entwicklung des Landes zu fördern) im Personalmanagement und der Personalentwicklung nur bedingt leistungsorientiert agieren (können).

Bereits 1985 wurde durch Erlass des Ministeriums (Nr. R.2834 vom 27.12.1985) ein Standard für die Zahl und Qualifikation des Betriebspersonals von Kläranlagen definiert (siehe Tabelle 8). Dieser ist in der Praxis häufig nur formal oder gar nicht eingehalten.

Um diese augenscheinlichen Defizite im Management des Klärwerksbetriebes zu beheben, werden unterschiedliche Wege beschritten. Die Stadt Johannesburg hat beispielsweise einen Managementvertrag mit einem privaten Wasserkonzern abgeschlossen (Suez Environnement). In Durban hat man einen privaten Investor im Rahmen eines Kooperationsmodells für ein Klärwerk und eine nachgeschaltete Abwasseraufbereitungs- bzw. Brauchwasserproduktionsanlage eingeschaltet (Veolia Environnement). In der ländlichen Region Nelspruit ist eine Konzession für die Wasserver- und -entsorgung an einen privaten Betreiber vergeben worden (Biwater). Seither hat sich in allen drei genannten Fällen die Qualität des technischen Betriebes deutlich verbessert.

Weil es sowohl auf kommunaler Ebene als auch im Ministerium die Auffassung gibt, dass man die Ausgaben für Betreiber aus dem Ausland sparen und die Gefahr der starken politischen Einflussnahme (gilt insbesondere für die sehr großen und mächtigen Wasserkonzerne) vermeiden sollte, wird im Wasserministerium an einer Novelle des vorgenannten Erlasses von 1985 gearbeitet, mit der fortlaufend die Qualität des Betriebes überwacht und sichergestellt werden soll.

Tabelle 8: Klassifikationsraster für Klärwerke (Schedule I) und Betriebspersonal (Schedule III)

| <u>SCHEDULE I</u> | | | | | |
|--|---|---------|---------|---------|---------|
| CLASSIFICATION OF WATER CARE WORKS USED FOR THE PURIFICATION OR TREATMENT OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION OR FOOD PROCESSING | | | | | |
| Rating | | | | | |
| Class of works | E | D | C | B | A |
| Range of points | 14 - 21 | 22 - 40 | 41 - 59 | 60 - 78 | 79 - 92 |
| Points to be awarded at the discretion of the Director-General in accordance with the following criteria: | | | | | |
| | | | | | Maximum |
| Population supplied | Up to 1,000 | | | | 0 |
| | 1,001 to 2,000 | | | | 4 |
| | 2,001 to 5,000 | | | | 7 |
| | 5,001 to 15,000 | | | | 11 |
| | 15,001 to 50,000 | | | | 14 |
| | Over 50,000 | | | | 17 |
| Quality of intake water | Fair, with little or no variation | | | | 6 |
| | Seasonal variation | | | | 9 |
| | Monthly variation | | | | 12 |
| | Daily variation | | | | 18 |
| | Hourly variation | | | | 30 |
| Process | (a) Pumping and/or chlorination | | | | 4 |
| | (b) (a) plus filtration | | | | 12 |
| | (c) (b) plus flocculation and sedimentation or clarification | | | | 20 |
| | (d) (c) plus adjustments ^{*)} | | | | 28 |
| | (e) (a) or (b) or (c) or (d) plus special treatment ⁺⁾ | | | | 36 |
| Designed capacity (cubic metres per day) | Up to 500 | | | | 1 |
| | 501 to 2,500 | | | | 3 |
| | 2,501 to 7,500 | | | | 5 |
| | 7,501 to 25,000 | | | | 7 |
| | Over 25,000 | | | | 9 |
| ^{*)} Adjustments: e. g., removal of CO ₂ , pH, stability or corrosion control, disinfection etc. ⁺⁾ Special treatment: e. g., reverse osmosis, activated carbon, softening, demineralising, fluoridation, etc. | | | | | |

Tabelle 8 (Forts.): Klassifikationsraster für Klärwerke (Schedule I) und Betriebspersonal (Schedule III)

| <u>SCHEDULE III</u> | | | | | | |
|---|------------------------------|----|----|-----|----|----|
| CLASSIFICATION OF PERSONS (EXCLUDING UNSKILLED LABOURERS) ACCORDING TO EDUCATIONAL QUALIFICATIONS AND EXPERIENCE TO BE EMPLOYED FOR THE OPERATION OF WATER CARE WORKS | | | | | | |
| Minimum requirements | | | | | | |
| | Years appropriate experience | | | | | |
| | CLASS Trainee | I | II | III | IV | V |
| Std 6 | 0 | - | - | - | - | - |
| Std 6 plus Maintenance Workers Certificate | 0 | 4 | - | - | | |
| Std 7 plus Maintenance Workers Certificate | 0 | 3 | - | - | - | - |
| Std 8 (or NTC I) plus Maintenance Workers Certificate Std 8 (or NTC I) plus Water and Wastewater Treatment Practice N1 | 0 | 2 | 5 | - | - | - |
| NTC I in Water and Wastewater Treatment Practice | 0 | 1½ | 4 | - | - | - |
| Std 8 (or NTC II) plus Operators Certificate | 0 | 1 | 3 | 9 | - | - |
| Std 9 (or NTC II) plus Operators Certificate NTC II in Water and Wastewater Treatment Practice | 0 | ½ | 2 | 7 | 15 | - |
| MATRIC (or NTC III) plus Operators Certificate MATRIC (or NTC III) plus Water Treatment Practice N3 MATRIC (or NTC III) plus Wastewater Treatment Practice N3 NTC III in Water Treatment Practice NTC III in Wastewater Treatment Practice | | 0 | ½ | 3 | 8 | 15 |
| National Diploma or National Techn. Diploma or NTC VI or 3 years BSc. (All in appropriate field) | | | | 0 | 2 | 6 |
| Higher National Diploma or 4 years BSc. (Both in appropriate field) | | | | | 0 | 4 |
| Professional Engineer (Act 81 of 1968) in appropriate field Natu- ral Scientist (Act 55 of 1982) in appropriate field Corporate Member of IWPC | | | | | 0 | 3 |

Apprentices are regarded as equivalent to Std 8 or NTC I.

Artisans are regarded as equivalent to MATRIC or NTC III.

Mit einem Verwaltungsentwurf des Wasserministeriums sind seit Ende 2003 noch stärker formalisierte Vorgaben in der öffentlichen Anhörung. Der Verwaltungsentwurf basiert auf der Klassifizierung von Klärwerken. Für Merkmale wie Infrastruktur (Auslegungsgröße, Stromversorgungskapazität, Verfahrenstypen bei der primären, sekundären, tertiären Behandlung, bei der Schlammbehandlung), Prozesssteuerung (Wartungsbedarf, Laborbedarf, Verwaltungsbedarf) und Sensitivität des Vorfluters werden für Einzelkriterien nach einem Punktesystem Zuordnungen erstellt und gewichtet. Auf dieser Basis wird die Zuordnung des Klärwerkstyps zur Klasse A bis E definiert. Des Weiteren wird eine Klassifizierung von 0 bis VI eingeführt, um die Qualifikation abhängig von Ausbildung und Erfahrungshintergrund für potentielle Betriebsleiter und Mitarbeiter von Klärwerken festzusetzen.

4 Abwassererzeugung, Abwasserbeschaffenheit

Stärker als in Deutschland oder anderen europäischen Ländern, hängt die Menge und Beschaffenheit des Rohabwassers in Südafrika davon ab, wie das Wasser in den Haushalten verwendet wird und welche Sanitärsysteme bestehen.

4.1 Wassernutzung und Wasserverbrauch

Entsprechend den Entwicklungsstadien kann man wie folgt klassifizieren:

- Unkontrollierte Siedlungen
 - Wasserverbrauch 5 bis 20 l/(E·d)
 - kein Abwasseranfall mangels vorhandener Sammelsysteme
- Verbesserte Wasserversorgung über Kanister, Tankwagen und Sammeltanks
 - aber immer noch ohne Sanitärsysteme
 - und deshalb ohne Abwasseranfall
- Geordnete Versorgung über private Sammeltanks mit Ableitungsgräben (Bild 5)
 - Wasserverbrauch 10 bis 25 l/(E·d)
 - geringer Abwasseranfall, da Wasser zum hohen Anteil verbraucht wird (Kochen; Waschen an Stellen, wo keine Abwassersammlung besteht)
 - Abwasseranfall 0 bis 15 l/(E·d)

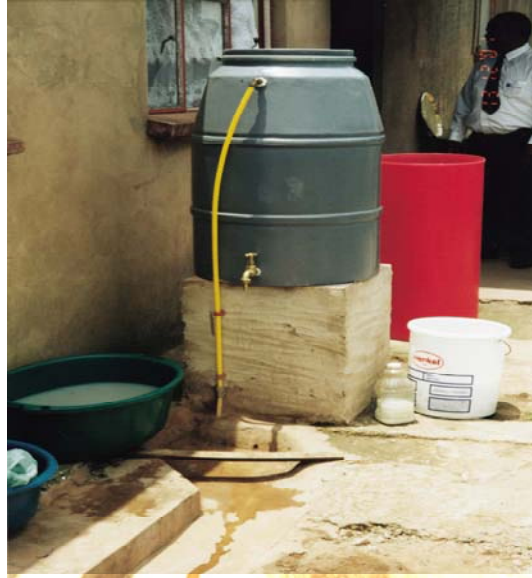


Bild 5: Frischwasservorratsbehälter mit Überlauf und Abwassersammelgraben

- Wasserversorgung über öffentliche Zapfstellen (Bild 6)
 - Wasserverbrauch 5 bis 30 l/(E·d)
 - Abwasseranfall, sofern Sanitärsysteme verfügbar sind, zumeist etwas höher als bei der geordneten Versorgung



Bild 6: Zapfstelle zur Frischwasserversorgung von mehreren Wohneinheiten im Umkreis von 1 000 m

- Zentrale Wasserversorgung mit dezentraler Nachbehandlung
 - vielfach außerhalb der Stadtzentren und in den geschlossenen Siedlungsgebieten des ländlichen Raumes vorzufinden
 - Die zentrale Wasserversorgung funktioniert mit Unterbrechungen und niedrigem Versorgungsdruck.
 - Deshalb haben die Wohnhäuser Vorratsbehälter auf den Dächern eingerichtet (Bild 7) und eine Nachchlorung (nicht durchgängig vorhanden) eingerichtet, um die hygienischen Risiken einzugrenzen.
 - Der Wasserverbrauch hängt maßgeblich von der Leistungsfähigkeit der öffentlichen Wasserversorgung ab, außerdem von der sanitären Ausstattung der Gebäude. Zumeist gibt es nur eine Zapfstelle (in der Küche), in besser ausgestatteten Häusern und Wohngebieten auch zwei Zapfstellen (Küche und Bad).
 - Wasserverbrauch 20 bis 100 l/(E·d)
 - In manchen Fällen, wo die Wasserversorgung ausreicht, um auch die Gartenbewässerung zu bedienen, können auch sehr viel höhere Verbrauchsspitzen auftreten.
 - Abwasseranfall oft 20 bis 100 l/(E·d)



Bild 7: Wohnsiedlung mit Zentralversorgung und dezentraler Nachbehandlung (Dach-Speichertank, z. T. mit Nachchlorung)

- **Zentrale Wasserversorgung**
 - Je nach Leistungsfähigkeit in der Wasserversorgung, Siedlungsstruktur und Sanitärausstattung, gibt es sehr viel größere Verbrauchsunterschiede als etwa in Deutschland. Wo ausreichend Wasser und Kaufkraft vorhanden sind, werden im Sommer Gartenflächen bewässert, Schwimmbäder befüllt etc.. In anderen Gebieten wird gespart, oder die Leistung der Wasserversorgung reicht für größere Verbräuche nicht aus.
 - Wasserverbrauch 30 bis 600 l/(E·d)
 - Abwasseranfall 10 bis 800 l/(E·d)
 - Im Versorgungsgebiet des größten Regionalversorgers von Südafrika, Rand Water (der im Wesentlichen in der Region Gauteng südlich von Johannesburg etwa 10 Mio. Verbraucher beliefert) liegt der Pro-Kopf-Verbrauch etwa bei 300 l/(E·d) (Wasserlieferungsmenge 3 200 Ml/d inkl. Netzverluste).

4.2 Sanitärsysteme und Abwassersammlung

Die Großstadtzentren Südafrikas sind fast durchweg mit konventionellen Systemen zur Abwassersammlung ausgestattet, d. h. Gefällekanäle, vielfach auch Zwischenpumpwerke oder Druckleitungen. Aufgrund der klimatischen Verhältnisse (Starkregen, die nicht über die Kanalisation abgeleitet werden können) gibt es nur in den engeren Stadtzentren "echte" Mischwasserkanalisationen oder z. T. auch Trennkanäle; zumeist muss das Regenwasser oberflächlich abgeleitet werden.

Der Sandanteil und der Anteil an groben Abwasserbestandteilen ist zumeist höher als aus Europa bekannt (insbesondere in den Gegenden, wo die Wege und Straßen nicht durchweg befestigt sind).

Umgekehrt ist das Abwasser vor allem dort, wo der Wasserverbrauch vergleichsweise hoch ist, oft dünner, als man es in Deutschland erwarten würde.

Das gilt auch dort, wo anstelle der konventionellen Sanitärsysteme Trockentoiletten (Bild 8 und Bild 9) vorhanden sind, so dass die organische Fracht von Fäkalabwässern fehlt (das Abwasser hat dann eine Charakteristik, die der des so genannten Grauwassers nahe kommt).

Sehr unterschiedlich ist auch der Wartungszustand der Abwassersammelsysteme (einschließlich der Straßeneinläufe, Gullys). Das kann Auswirkungen auf die Abwasserbeschaffenheit haben.



Bild 8: Ländliche Außentoilette ohne Kanalanschluss. Sichtbar sind zwei Fäkalsammelkammern, die wechselweise beschickt und entleert werden.



Bild 9: Innenansicht der Toilette; positioniert über der rechten Kammer (mit Montagemöglichkeit links über der linken Kammer, sobald die rechte Kammer voll ist)

4.3 Abwasserbeschaffenheit

Aufgrund der unterschiedlichen Verhältnisse bei Wassernutzung und Abwassersammlung kann man kaum allgemein gültige Daten angeben, was die Rohabwasserbeschaffenheit in Südafrika anbetrifft. Für jedes Klärwerksprojekt wird man hier eigene Recherchen anstellen müssen. Als Mittelwerte in städtischen Regionen mit konventioneller Wasserversorgung und Abwasserentsorgung darf man in etwa von den Daten in Tabelle 9 ausgehen:

Tabelle 9: Typische Daten für häusliches Abwasser

| Wastewater Characteristics | Raw | Settled |
|---|---------------|---------------|
| Influent Cod (mg COD/l) | 500 - 800 | 300 - 600 |
| Influent BO5 (mg BOD/l) | 250 - 400 | 150 - 300 |
| Influent TKN (mg N/l) | 35 - 80 | 30 - 70 |
| Influent Phosphorus (mg P/l) | 8 - 18 | 6 - 15 |
| Total Suspended Solids (mg/l) | 270 - 450 | 150 - 300 |
| Seattleable Solids (mg/l) | 150 - 350 | 0 - 50 |
| Non Seattleable Solids (mg/l) | 100 - 300 | 100 - 300 |
| TKN/COD Ratio (mg N/mg COD) | 0.07 - 0.1 | 0.09 - 0.12 |
| Total P/COD Ratio (mg P/mg COD) | 0.015 - 0.025 | 0.020 - 0.030 |
| Minimum Temperature (°C) | 10 - 15 | 10 - 15 |
| Maximum Temperature (°C) | 20 - 30 | 20 - 30 |
| Alkalinity (mg/l as CaCO ₃) | 200 - 300 | 200 - 300 |

5 Abwasserreinigung

5.1 Bemessungsrichtlinien

Es gibt keine gesetzlich fixierten Standards, nach denen Kläranlagen zu bemessen bzw. zu berechnen sind. Maßgebend ist, dass der Planungsträger mit seiner Genehmigungsplanung nachweist, dass er die behördlich definierten Ablaufstandards einhalten kann. Oft wird das UCT-Modell "BioWin" der Universität Kapstadt verwendet. Ansonsten müssen internationale Regeln eingehalten werden (General Engineering Standards SABS, Safety Regulation Standards ECSA). Wie in anderen Regionen der Welt auch, sind einige Lehrbücher mit Bemessungsregeln anerkannt (z. B. Metcalf & Eddy, 2003). Eine ähnliche Rolle wie in Deutschland das

ATV-Regelwerk spielen in Südafrika Publikationen und Empfehlungen der IWA (International Water Association).

Ansonsten arbeiten insbesondere die privaten Betreiberfirmen mit hausinternen Richtlinien, die in Bezug zu den vorgenannten fachüblichen Bemessungsregeln gesetzt werden, und sie flankieren ihren Genehmigungsantrag mit Ablaufergebnissen anderer Klärwerke vergleichbarer Technologien und unter vergleichbaren klimatischen Randbedingungen.

5.2 Dezentrale Systeme

Wie weltweit in Ländern mit knappen Wasserressourcen oder hohen Abwasserkosten wächst auch in Südafrika die Anzahl und Vielzahl an Systemen zur dezentralen Abwasserbehandlung.

In Südafrika gibt es viele bestehende Siedlungen mit Hausklärgruben, welche durch Einbauten mit Membranfiltern (Bild 10) oder auch konventionell, beispielsweise mit Tropfkörperreinbauten oder Belebungsanlagen (Bild 11 und Bild 12), verbessert werden können.

Eine interessante Technologie ist vom Forschungszentrum CSIR entwickelt worden und befindet sich in der Versuchsphase, nämlich eine Hauskläranlage mit automatischer Spülung (Bild 13). Diese wäre im Zusammenhang mit so genannten "Small-Bore-Systems" (= Abwassersammelnetze für sedimentiertes Abwasser ohne Grobstoffe, weshalb zur Ableitung dünne Druckleitungen z. B. mit \varnothing 50 mm ausreichen, welche weitgehend ohne Rücksicht auf Gefälle und Trassenverlauf möglichst billig verlegt werden) einsatzfähig und brächte den Vorteil, dass keine getrennte Schlammabfuhr aus den Hausklärgruben mehr notwendig ist.

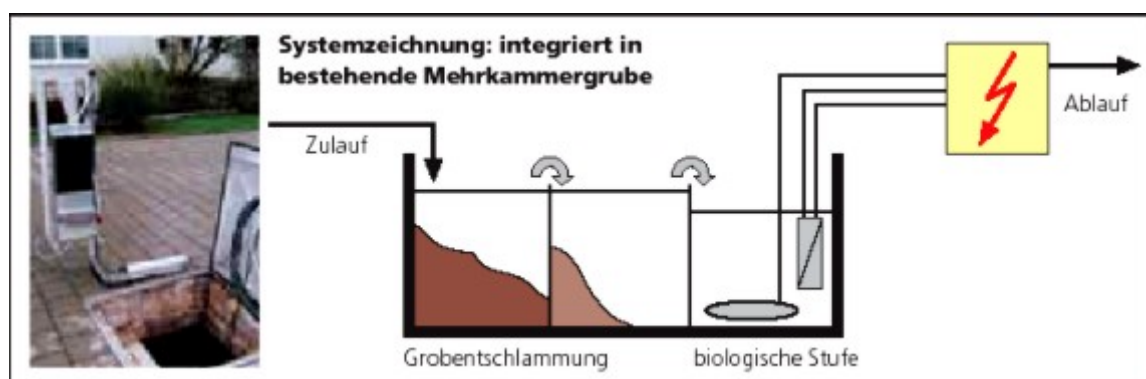


Bild 10: Foto und Schema einer Hauskläranlage mit Membranfilter



Bild 11: Hausklärwerk nach dem Tropfkörperprinzip



Bild 12: Hausklärwerk nach dem Belebungsprinzip



Bild 13: Versuchsanlage für Hausklärbecken mit automatischer Spülung.

5.3 Zentrale Anlagen

Für die größeren, zentralen Klärwerke werden unterschiedliche Technologien genutzt. Die übliche Verfahrenskette in Südafrika ist:

- Rechen,
- Sandfang,
- Vorklärung,
- Biologische Behandlung (mit und ohne Chemikalienzusatz),
- Nachklärung,
- Abwasserdesinfektion,
- Schlammbehandlung.

Als biologische Abwasserbehandlungsverfahren findet man häufig (sortiert nach der geschätzten Anzahl):

- Belebungsverfahren,
- Modifizierter Ludzac Ettinger, Bardenpho, UCT, UCT modifiziert usw.,
- Abwasserteiche (anaerob, fakultativ, Schönungsteiche),
- Tropfkörperverfahren (häufig auch in Kombination beispielsweise mit Teichen, so genannter Petro Process; Bild 14).



Bild 14: Petro Process (Teiche plus Tropfkörper), 85 000 EW, Südafrika

Auch Membran-Belebungsverfahren werden an verschiedenen Stellen untersucht und versuchsweise eingesetzt; es gibt aber noch keine größere Anlage zur Behandlung häuslicher Abwässer. Am Beispiel der Region Durban gibt Tabelle 10 eine Übersicht, welche Verfahren bei welchen Anlagen eingesetzt werden.

Tabelle 10: Klärwerkstypen Region Durban

| SEWAGE DISPOSAL TREATMENT WORKS | | | |
|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Name of Treatment Works | Processes Used | Current Design Capacity MR/d) | 2000/2001 Average Daily Flow (MR/d) |
| Southern (Marine Disposal) | Primary treatment + deep sea outfall | 217,0 | 132,0 |
| Southern (Conventional) | Activated Sludge | 48,0 | 25,0 |
| Umhlatuzana | Activated Sludge (EA) | 14,8 | 9,2 |
| Isipingo | Biofilters | 18,8 | 13,2 |
| Umbilo | Biofilters + Act. Sludge | 23,2 | 14,6 |
| Amanzimtoti | Activated Sludge | 22,0 | 21,3 |
| Dassenhoek | Activated Sludge (SBR) | 5,0 | 1,0 |
| Kingsburgh | Activated Sludge (NR) | 6,1 | 3,3 |
| KwaNdengezi | Biofilters | 2,4 | 2,7 |
| Hillcrest | Activated Sludge (EA) | 1,2 | 0,3 |
| Cato Ridge | Oxidation Ponds | 0,5 | 0,5 |
| Mpumalana | Biofilters | 6,4 | 3,4 |
| Northern | Activated Sludge | 70,0 | 52,2 |
| Central (Marine Disposal) | Primary Treatment + Deep Sea Outfalls | 135,0 | 65,8 |
| New Germany | Activated Sludge | 7,0 | 3,3 |
| KwaMashu | Activated Sludge + Biofilters | 65,0 | 60,6 |
| Phoenix | Activated Sludge | 25,0 | 12,5 |
| Umhlanga | Activated Sludge (EA) | 6,8 | 7,3 |
| Verulam | Activated Sludge + Biofilters | 10,0 | 5,9 |
| Tongaat Central | Activated Sludge (EA) | 10,0 | 5,2 |
| Tongaat South | Biofilters | 3,0 | 2,0 |
| Genazzano | Activated Sludge (EA) | 1,8 | 1,2 |
| Umdloti | Activated Sludge (EA) | 3,0 | 1,0 |
| Magabheni | Oxidation Ponds | 0,8 | 0,5 |
| Folweni | RBC | 0,2 | 0,2 |
| Glenwood Road | RBC | 0,1 | 0,1 |
| TOTAL | | 703,1 | 444,3 |

Häufig genutzte Chemikalien sind:

- Konditionierungsmittel für die Schlammentwässerung,
- Hilfschemikalien für die Phosphatelimination (Eisensalze, Aluminium, Kalk, Polyelektrolyte),
- Chlor (andere Chemikalien nur in Ausnahmefällen) für die Abwasserdesinfektion,
- Sand und Anthrazit als Filtrationshilfsmittel,
- Aktivkohle für die Nachbehandlung beispielsweise beim Abwasserrecycling,
- Ozon.

Es gibt eine leistungsfähige örtliche Industrie, die verschiedene Einrichtungen zur Automatisierung, für Messanlagen, Maschinen und Ausrüstung im Klärwerkssektor konstruieren und liefern kann.

Wenngleich der Entwicklungsstand der industriellen Fertigung und Infrastruktur hoch ist, waren bei verschiedenen Kläranlagen immer wieder Mängel in der handwerklichen Ausführung der örtlichen Arbeiten erkennbar, die (ähnlich wie für den Klärwerksbetrieb generell, siehe Abschnitt 3.4) den Erfolg der Abwasserklärung beeinträchtigen und dazu führen, dass bestimmte Technologien (z. B. Druckbelüftung) trotz technischer Vorteile (beispielsweise beim Energieverbrauch) nicht eingesetzt werden (siehe Bild 15).



Bild 15: Druckluftzuleitung für die feinblasige Belüftung einer großen Belebungsanlage mit nachgebesserten Schweißnähten und Reparaturstellen

Insoweit erwarten Fachleute, dass sich der Import von Klärwerksausrüstungen zukünftig stark auf qualitativ hochwertige Komponenten konzentrieren wird, die im Inland (noch) nicht gefertigt werden können und/oder auf Ausrüstungsteile, die in Kooperation von beispielsweise deutschen und südafrikanischen Firmen (oder deutschen Firmen mit Niederlassung in Südafrika) entwickelt und gefertigt wurden. (Hier wird auf die Beispiele der Automobilindustrie verwiesen; BMW und Mercedes sind in Südafrika stark, weil sie dort auch fertigen und von Südafrika aus teilweise auch wieder zurück nach Europa oder Amerika exportieren.) Dagegen wird dem Import von vergleichsweise preisgünstigen Maschinen und Ausrüstungsteilen von Herstellern minderwertigerer Qualität keine große Zukunft eingeräumt (wie dies in der Vergangenheit aus Preisgründen häufig geschehen ist, was man aber vielfach bedauert; Bild 16).



Bild 16: Rückseite eines Kletter-Rechens ("Step Screen"), Nachbau (südeuropäische Fertigung). Betriebsprobleme aufgrund von Konstruktions- und Qualitätsmängeln mussten mit hohem Aufwand nachträglich behoben werden.

Trotz der günstigen klimatischen Ausgangsbedingungen und der Tatsache, dass es sehr große Kläranlagen gibt, die mit Faulbehältern ausgestattet sind, wird das überschüssige Faulgas relativ selten zur Stromerzeugung genutzt. Nur einige Anlagen nutzen das Faulgas, um den Schlamm aufzuheizen, damit auch im Winter stets die optimalen Temperaturen im Faulbehälter erreicht werden (das geschieht beispielsweise in einer Kläranlage in Kapstadt "Cape Flats").

Das hängt damit zusammen, dass die Schlamm Entsorgungsfrage in Südafrika noch völlig offen ist. In der Vergangenheit wurde die unkontrollierte Schlammverbrennung praktiziert. Nach wie vor existieren viele und große Schlamm-trocknungsbeete. Zunehmend werden aber auch maschinelle Entwässerungsanlagen (Zentrifugen, Bandfilterpressen und Kammerfilterpressen) eingesetzt, oft auch in Kombination mit Trockenbeeten. Eine sehr große, überdachte Schlammflächenkompostierungsanlage (mit künstlich belüfteten Beeten) funktionierte zum Besichtigungstermin nicht einwandfrei. Das Gleiche galt auch für eine kleinere Schlamm-trocknungsanlage mit Röhrenwärmetauschern.

Interessanterweise gibt es erheblichen politischen Widerstand gegen die Schlammverbrennung (möglicherweise mittelbar auch wegen der hohen Kosten, die eine Schlammverbrennung bringen würde, von interessierter Seite initiiert). Andererseits ist es üblich, die Rechengutabfälle vor Ort zu verbrennen, obwohl dies von der Emissionsbelastung her, beispielsweise in Deutschland, grundsätzlich nicht genehmigungsfähig wäre (Bild 17 und Bild 18).



Bild 17: Verbrennungsanlage für Rechengut und feste Abfälle aus dem Klärwerksbetrieb einer mittelgroßen Anlage



Bild 18: Rechengut-Verbrennungsanlage in dezentraler Positionierung auf einer Großklär-anlage

6 Abwasserwiederverwendung

Es gibt bislang keine gesetzlich definierten Qualitätsstandards für die Abwasserwiederverwendung, abhängig von den Randbedingungen und Verwertungsarten. Möglicherweise werden die in Bearbeitung befindlichen Empfehlungen der WHO (Tabelle 11) auch in Südafrika eingesetzt werden.

Es ist absehbar, dass die drei Arten der Abwasserwertung zunehmen werden, nämlich die Abwasserwiederverwertung zur:

- Bewässerung in der Landwirtschaft,
- Industriellen Nutzung als Brauchwasser (inkl. Grünflächenbewässerung),
- Kleinräumigen Verwertung, auch im Haushalt (Grauwassernutzung).

Der bekannteste Fall der organisierten Abwasserwiederverwertung ist das PPP-Modell "Durban Water Recycling (Pty) Ltd". Hier handelt es sich um ein Konsortium des französischen Wasserkonzerns Veolia mit örtlichen Versorgern. Bild 19 zeigt das Luftbild der konventionellen Anlage, welcher eine weit gehende Nachbehandlung mit Ozon und Aktivkohle nachgeschaltet wurde. Bild 20 und Bild 21 zeigen das Verfahrensschema.

Die Analysenwerte des erzeugten Brauchwassers finden sich in Tabelle 12.

Tabelle 11: Empfohlene mikrobiologische Qualitätsrichtlinien für die Verwendung von gereinigtem Abwasser zur Bewässerung in der Landwirtschaft ^(a) (WHO zitiert in Cornel, 2004)

| Bedingungen der Wiederverwertung | Betroffene | Darmmatoden ^(b) | Fäkalkolibakterien | Empfohlene Abwasserbehandlung |
|---|---------------------------------------|--|--|---|
| Bewässerung von roh genießbaren Feldfrüchten, von Sportplätzen und öffentlichen Parks ^(d) | Arbeiter, Verbraucher, Öffentlichkeit | ≤ 1 (arithm. Mittel lebensfähiger Eier pro Liter ^(c)) | ≤ 1 000 ^(d) (Geometr. Mittel, Anzahl pro 100 ml ^(c)) | Reihe von Stabilisierungsteichen zur Erreichung der angegebenen mikrobiologischen Qualitätsvorgaben oder gleichwertige Behandlung |
| Bewässerung von Getreide, industriell verwertbaren Feldfrüchten, Tierfutter, Weideland und Bäumen ^(e) | Arbeiter | ≤ 1 (arithm. Mittel lebensfähiger Eier pro Liter ^(c)) | Keine Norm empfohlen | 8 bis 10 Tage Speicherung in Stabilisierungsteichen oder gleichwertige Beseitigung von parasitischen Würmern und Fäkalkolibakterien |
| Örtlich beschränkte Bewässerung von Feldfrüchten der Kategorie B, wenn ihr weder Arbeiter noch die Öffentlichkeit ausgesetzt sind | keine | Keine Angabe | Keine Angabe | Vorbehandlung gemäß den Erfordernissen der Bewässerungstechnik, aber mindestens Primärsedimentation |

(a) In bestimmten Fällen sollen örtliche epidemiologische, gesellschaftskulturelle Faktoren und Umweltfaktoren berücksichtigt und die Richtlinien entsprechend abgeändert werden.

(b) Ascaris, Trichuris und Hakenwürmer

(c) während der Bewässerungszeit

(d) Eine strengere Richtlinie (≤ 200 Fäkalkolibakterien pro 100 ml) ist angemessen für öffentlichen Rasen, wie z. B. Hotel-Rasen, wo direkter Kontakt mit Menschen möglich ist.

(e) Im Fall von Obstbäumen sollte mit der Bewässerung zwei Wochen vor Beginn der Pflückzeit ausgesetzt und kein Fallobst aufgehoben werden. Keine Bewässerung durch Beregnungsanlagen.



Bild 19: Luftbild Klärwerk Durban

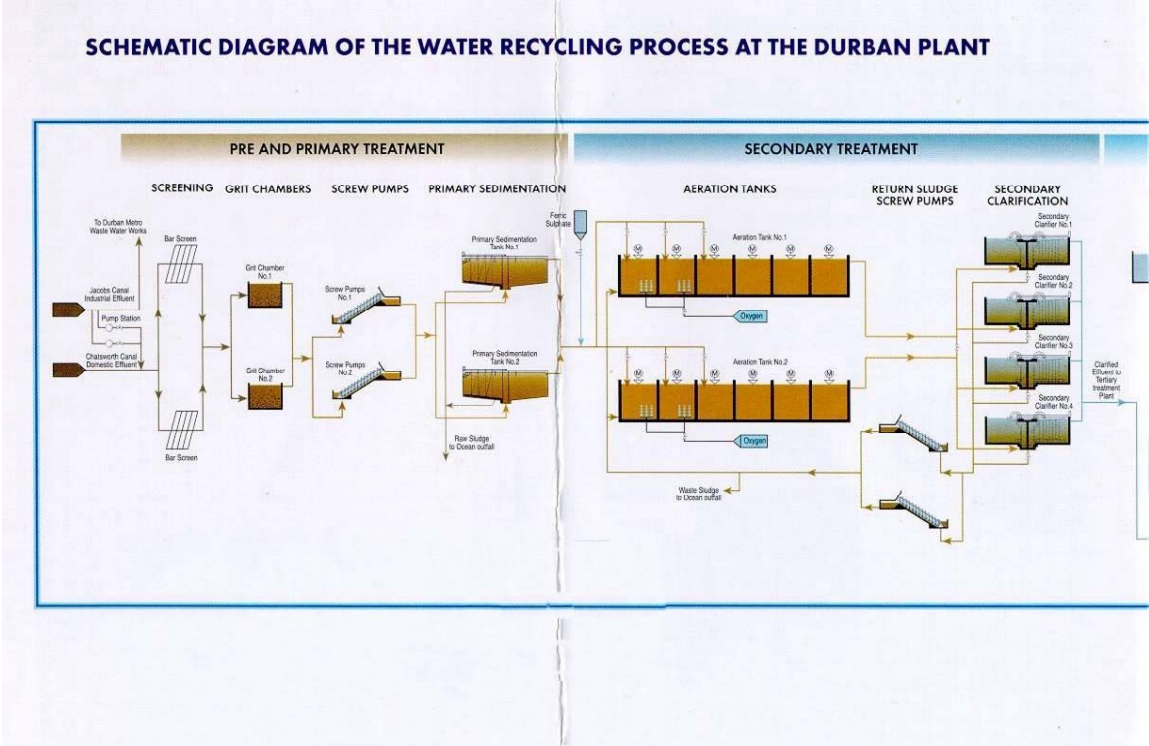


Bild 20: Verfahrensschema Kläranlage Durban

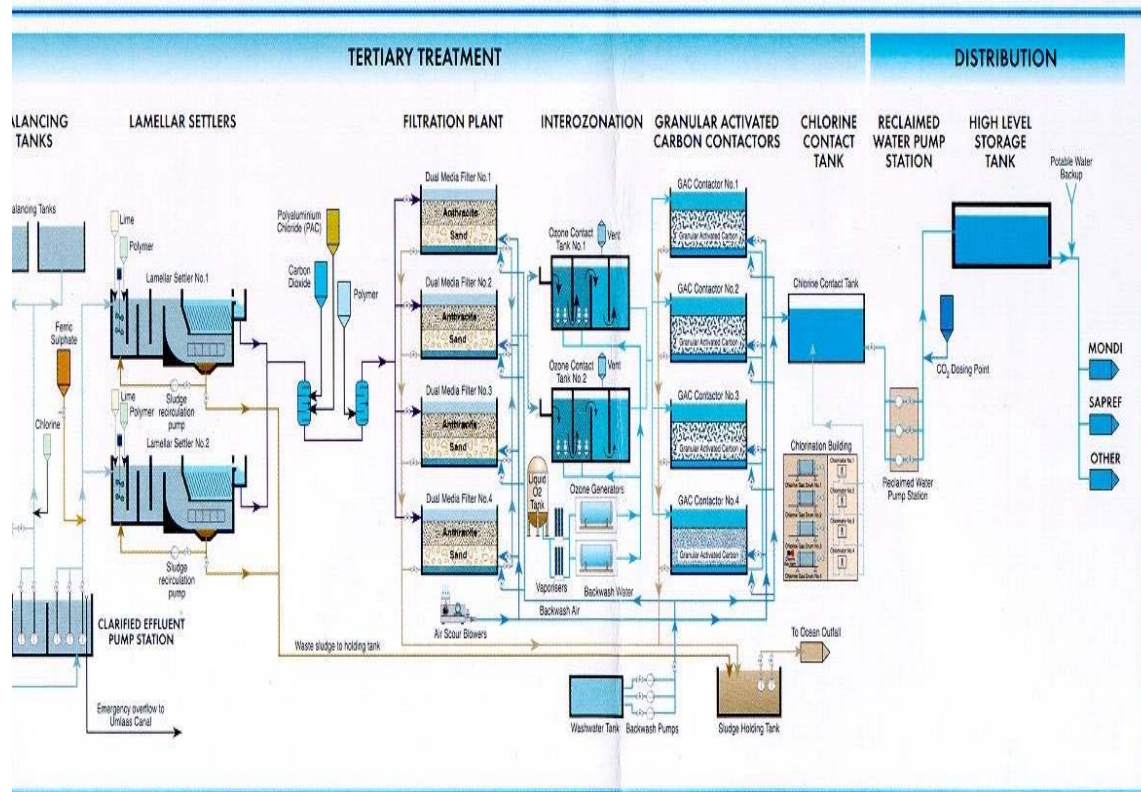


Bild 21: Verfahrensschema der Anlage zur Brauchwasserherstellung aus Klärwerksablaufwasser, Durban

Insgesamt wird die Investition und Anlage (unter den gegebenen rechtlichen Absicherungen und mit den Zuwendungen, welche seitens der öffentlichen Hand hierfür aufgewendet wurden) als sehr erfolgreich angesehen. Im Ergebnis seien Vorteile für die Umwelt, den Gewässerschutz und die industriellen Wasserverbräuche entstanden.

Technisch/logistische Probleme durch die schwankenden Abwasserzuläufe in die Recyclinganlage, insbesondere bezüglich Farbe und Leitfähigkeit, und auch durch verringerte Abwassermengen bei Trockenheit (dann muss Trinkwasser ersatzweise in das Brauchwassernetz eingespeist werden) müssen durch entsprechende organisatorische Maßnahmen geregelt werden.

Es ist beabsichtigt und wird erwartet, dass noch weitere derartige Anlagenkonzepte in Südafrika realisiert werden.

Tabelle 12: Analysenwerte des Brauchwassers

| Reclaimed Water : Typical Results | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|------------|-----------------|--------------------------|--|
| Parameter | Units | Limit | | Typical Results Obtained | SABS 241 : 1999 Class 1 Potable Water Standard |
| | | Feed Water | Reclaimed Water | Reclaimed Water | |
| Suspended Solids | mg/l | 160 | 4 | 0.5 | |
| Sulphate as SO ₄ | mg/l | 60 | 90 | 47 | 400mg/l |
| Sodium as Na | mg/l | 85 | 90 | 71 | 200mg/l |
| Potassium as K | mg/l | 15 | 15 | 11 | 50mg/l |
| Silica as SiO ₂ | mg/l | 7 | 12 | 7 | |
| 0-Phosphate as P | mg/l | 6 | 0.4 | 0.2 | |
| Soap, Oil and Grease | mg/l | 22 | 5.0 | 0 | |
| Iron as Fe | mg/l | 2.5 | 0.04 | 0.02 | 0.2mg/l |
| Aluminium as Al | mg/l | 3.0 | 0.4 | <0.1 | 0.3mg/l |
| Chromium as Cr | mg/l | 0.2 | 0.1 | <0.1 | 0.1 mg/l |
| Nickel as Ni | mg/l | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.15mg/l |
| Copper as Cu | mg/l | 0.2 | 0.05 | 0.12 | 1.0mg/l |
| Zinc as Zn | mg/l | 0.6 | 0.5 | 0.03 | 5.0mg/l |
| Lead as Pb | mg/l | 0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.05mg/l |
| Cadmium as Cd | mg/l | 0.02 | 0.05 | <0.5 | 0.005mg/l |
| Mercury as Hg | mg/l | 0.01 | 0.005 | 0.0002 | 0.002mg/l |
| Total Anaerobic Bacteria (48 hrs) | /1ml | na | 100 | 1 | |
| Moulds (5days) | cfu/ml | na | 0 | 1 | |
| Yeasts (5 days) | cfu/ml | na | 10 | 0 | |
| Worm eggs | liv. Org./100ml | na | 0 | 0 | |
| Total Hardness | Mg/l | na | 130 | 107 | |
| Conductivity | m ^s /m | na | 61 | 56 | 150m ^s /m |
| pH | | na | 6.5 - 9.5 | 7.1 | 6 - 9 |

7 Abwasserkosten und -preise

Wie in den meisten Ländern der Erde sind die Abwasserkosten keineswegs identisch mit den Abwasserpreisen, d. h. den Entgelten bzw. Gebühren, welche dem Verbraucher abverlangt werden. In der Regel zahlt der Verbraucher nur für das Frischwasser. In die Frischwassertarife sind (teilweise) Anteile für die Abwasserentsorgung einkalkuliert.

Bild 22 zeigt die beispielhaft die Wassertarife (einschließlich Abwassergebührenanteil - um die deutsche Nomenklatur zu verwenden) für das Gebiet Ethekwini Water.

ETHEKWINI WATER TARIFF INCREASE - 1 AUGUST 2002

WATER Please be advised that on 2002-08-01 water charges per kilolitre will increase as reflected in the table below:

| type of water supply | Ground tank Low pressure | | Roof tank Semi-pressure system | | Domestic Full pressure | | Industrial, commercial and other users | |
|----------------------------------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|------|---------------------------|-------|---|-----------------------------|
| | old | new | old | new | old | new | old | new |
| (prices exclude VAT) | R C | R C | R C | R C | R C | R C | R C | R C |
| 0kl to 6kl | nil | nil | nil | nil | nil | nil | 4,25 | 4,57 |
| from 6kl to 30kl | - | - | 2,83 | 3,04 | 4,25 | 4,57 | 4,25 | 4,57 |
| greater than 30kl | - | - | 8,50 | 9,14 | 8,50 | 9,14 | 4,25 | 4,57 |
| fixed charges | | | | | | | Varies with connection size | Varies with connection size |
| industrial, commercial and other | | | | | | | | |
| domestic full-pressure | | | | | | | | |
| 0kl to 6kl | - | - | - | - | - | - | For example - total domestic water consumption 5kl per month, then no fixed charge is payable. | |
| greater than 6kl less than 12kl | - | - | - | - | 33,20 | 24,94 | For example - total domestic water consumption 11kl per month, then a fixed charge of R 24,94 is payable. | |
| equal to or greater than 12kl | - | - | - | - | 33,20 | 35,69 | For example - total domestic water consumption 11kl per month, then a fixed charge of R 35,69 is payable. | |

An example...

For example, a domestic customer on a full-pressure water supply, using 35kl in one month, would be charged as follows:

| | OLD | NEW |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| Fixed charge | R 33,20 | 35,69 |
| 6 kl | R nil | nil |
| 24 kl | R 102,00 | 109,68 |
| 5 kl | R 42,50 | 45,70 |
| Total charge for Month | R 177,70 | R 191,07 |

The tariff has been structured for domestic customers so that the first 6 kl of water is free. This has been done to provide a life-sustaining supply to the very poor.

NB: One month equals 30 days

The effects...

The effect of the new tariff structure on water accounts for domestic consumers on a full-pressure water supply will be as follows:

| Consumption (kl / month) | Amount of water account increase compared with previous accounts (R) |
|--------------------------|--|
| 6 | nil |
| 10 | 0,10 per day |
| 15 | 0,18 per day |
| 20 | 0,23 per day |
| 25 | 0,29 per day |
| 30 | 0,34 per day |
| 40 | 0,55 per day |
| 50 | 0,77 per day |

If you have any queries about your water account, please make use of the toll-free number:
080 13 11 8 11

Bild 22: Wassertarife im Gebiet Ethekwini Water.

Anders ist die Situation für die Industrie. Hier richten sich die Preise stärker nach den Kosten, vor allem dort, wo die Industrie ausreichend zahlungskräftig ist (und man nicht befürchtet, bei Vollkostendeckung über Abwasserpreise Arbeitsplätze zu gefährden). Typische Zahlen sind in der nachstehenden Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Wasserpreise für industrielle Verbraucher

| Tariff block | Consumption limits | Tariff per kilolitre (2003) |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0 to 6 kl | Free |
| 2 | Greater than 6 up to 30 kl | R2-50 |
| 3 | Greater than 30 kl | R5-50 |

Was die Kosten für Abwasserklärwerke anbetrifft, kann man als groben Anhalt Folgendes sagen:

- Oft liegen die Gesamtinvestitionskosten für den Bau (ohne Baunebenkosten und Infrastruktur) bei 3 Mio. SAR pro Ml/d hydraulische Kapazität. (Preisstand 2003; 8 SAR = 1 EUR. Unterstellt man einen Abwasseranfall von 300 l/E, dann würde die o. g. Orientierungsmarke etwa 100 EUR/EW an Investitionskosten entsprechen.)
- Etwa 60 % der Kosten entfallen auf Bau- und Erdarbeiten (die etwa 20 % günstiger sind als im deutschen Bundesdurchschnitt). 30 % entfallen auf mechanische Ausrüstung (Importware eher etwas teurer als im Bundesdurchschnitt; örtlich hergestellte oder montierte Teile bis zu 40 % billiger, aber von niedrigerer Qualität und Haltbarkeit). Die elektrische Ausrüstung (Preise etwa gleich wie in Deutschland) macht oft 10 % der Gesamtkosten aus.
- Aus Untersuchungen über die finanzielle und technische Machbarkeit von Infrastruktur-Projekten ist bekannt, dass arbeitsintensive Verfahren in Südafrika volkswirtschaftliche Vorteile gegenüber kapitalintensiven Verfahren haben können.

Von der südafrikanischen Handwerkskammer sind 2003 Anhaltswerte für die Lohnkosten publiziert worden (Tabelle 14; Anmerkung: Lohnkostensteigerung derzeit etwa 4 % per annum).

- Unterschiede zu Deutschland bestehen hinsichtlich des Chemikalienverbrauches für P-Elimination und Desinfektion. Beispielhaft sind für drei Klärwerke die Chemikalien-Kosten aufgelistet (Tabelle 15). Es handelt sich in allen drei Fällen um konventionelle Belebungsanlagen mit nachgeschalteter Chlor-Desinfektion des Abwassers sowie in zwei Fällen (Darvill sowie Hammarsdale) mit simultaner Phosphatelimination.
 - Für die nachgeschaltete Abwasserdesinfektion mit Chlor werden 0,1 bis 0,2 SAR aufgewendet (\triangleq ca 2 EUR ct/m³).

- Die Auswahl der Hilfschemikalien und der spezifische Verbrauch, mithin auch die Kosten, für die simultane Phosphatelimination schwanken teilweise sehr stark.

Tabelle 14: Durchschnittliche Stundenlöhne und -gehälter in ausgewählten südafrikanischen Provinzen (in EUR)

| | KwaZulu Natal | Gauteng | Western Cape | Eastern Cape | Mpumalanga |
|---|------------------|---------|-----------------|-----------------|------------|
| Hilfsarbeiter | 2,61 | 2,69 | 2,46 | 2,49 | 2,48 |
| Facharbeiter | 3,82 | 3,90 | 3,67 | 3,63 | 3,70 |
| Bürokräfte | 5,68 | 6,02 | 5,55 | 5,61 | 5,51 |
| Spezialisten (z. B. EDV oder Controlling) | 10,47 | 10,68 | 10,09 | 9,99 | 9,96 |
| Führungskräfte | 19,35 | 20,09 | 18,56 | 18,20 | 18,58 |

Die Sätze enthalten freiwillige Leistungen des Arbeitgebers wie Beiträge zur Krankenversicherung oder Altersvorsorge-Fonds. Als einzige verpflichtende Sozialleistungen zahlen Firmen in Südafrika Beiträge zur Arbeitslosenversicherung und zur Workmen's Compensation Assurance, die Angestellte gegen Arbeitsunfälle versichert. Die Beiträge sind minimal.

Tabelle 15: Chemikalieneinsatz und seine Kosten

| | Total in- flow MI | Chemical used | Total used tons | Average dose mg/l | Total cost R | Unit cost c/kl |
|-------------|-------------------------|---|--------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|
| Darvill | 27,016 | Chlorine | 132.8 | 4.92 | 539,964 | 2.00 |
| | | Lime | 198.9 | 7.4 | 155,122 | 0.57 |
| | | Alum | 887.2 | 32.8 | 1,033,623 | 3.83 |
| | | Total chemical cost (c/m ³) | | | | 6.40 |
| Hammarsdale | 2,732 | Chlorine | 10.2 | 3.73 | 41,408 | 1.52 |
| | | Alum | 341.9 | 125 | 382,327 | 13.99 |
| | | Polymer | 9.3 | - | 323,966 | 11.86 |
| | | Total chemical cost (c/m ³) | | | | 27.37 |
| Ixopo | 201.2 | Chlorine | 0.19 | 0.94 | 3,455 | 1.72 |
| | | Total chemical cost (c/m ³) | | | | 1.72 |

8 Folgerungen und Zusammenfassung

Weil Südafrika wirtschaftlich am weitesten entwickelt ist, betrachten viele Industrieunternehmen und die global agierenden Wasserkonzerne Südafrika als das Zielland auf dem afrikanischen Kontinent.

Wegen der in vielen Regionen knappen Wasserressourcen setzt man in Südafrika auf ein straffes, integriertes Flussgebiets-Management. Seit mehr als einem Jahrzehnt bestehen die rechtlichen Möglichkeiten, strenge Ablaufwerte für Kläranlagen zu definieren und durchzusetzen (zumindest bei den städtischen Großklärwerken und der Industrie). Die wissenschaftlichen Einrichtungen und Consultants vor Ort sind ohne weiteres in der Lage, die dafür notwendigen hydrologischen Modellrechnungen und technischen Konzepte zu entwickeln. Allerdings gibt es bei der Umsetzung auf der operativen Ebene noch erheblichen Bedarf.

Abwassertechnisch betrachtet ist Südafrika ein Land der krassen Gegensätze. Neben technologisch hoch entwickelten Klärwerken in den wasserarmen Metropolen (bis hin zu speziellen, privatfinanzierten Anlagen zur Produktion von Brauchwasser aus geklärtem Abwasser) gibt es viele Standorte, bei denen keine oder mangelhaft ausgestattete bzw. schlecht funktionierende Anlagen bestehen.

Die biologische Phosphatelimination ist in Südafrika erfunden worden. Hinsichtlich des Betriebes von Belebungsanlagen mit weitgehender Reinigung (insbesondere bei der Schlammprozessführung) kann man den Eindruck gewinnen, dass das Niveau im Tagesbetrieb eher höher als niedriger ist, wenn man es mit Deutschland vergleicht. Umgekehrt ist die Qualität der handwerklichen Ausführungen und vor-Ort-Arbeiten bei Ausrüstungen mäßig. Dadurch bedingt wird ein Trend zu bestimmten Technologien verstärkt, auch wenn diese im Einzelfall nicht die wirtschaftlichsten sein mögen (z. B. Oberflächenbelüftung statt Druckbelüftung, weil man Probleme mit der Herstellung der verbindenden Rohrleitungen hat). Der Wartungs- und Reparaturaufwand ist vergleichsweise hoch (wobei die Mehrkosten durch die in Südafrika notwendige Absicherung von Klärwerksstandorten gegen Vandalismus und Diebstahl beträchtlich sind).

Ein großer Bedarf besteht an der Entwicklung von Schlamm Entsorgungskonzepten, die den regionalen Randbedingungen Rechnung tragen. Das zuständige Wasserministerium ist bestrebt, die wilde Deponierung von Klärschlamm zu unterbinden, die landwirtschaftliche Verwertung zu ordnen und weitere Alternativen zu entwickeln (wobei die Verbrennung von Rechengut auf größeren Klärwerken üb-

lich ist, gegen die Verbrennung von Klärschlamm jedoch erhebliche Widerstände bestehen).

9 Literatur und Quellen

Cornel, P. (2004) Wasserressourcen, Wasserbedarf und Möglichkeiten der Wiederverwendung. Schriftenreihe WAR 159, S. 8 ff.

Kühn, W. et al. (2003) Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung. Teil I: Trinkwasser, Band 1: Praxiserfahrungen bei der Trinkwassergewinnung in anderen Ländern, ISBN 3-00-012014-9

Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4. Auflage, ISBN 0-07-041878-0

Van Veelen, M. (2004) Strategy and Management Approaches for Setting Waste Discharge Standards. Resource Directed Measures by BKS (PTY) LTD, Pretoria, Draft Report P 8214 for Department of Water Affairs and Forestry

10 Anlagen (auf CD beigefügt)

Anlage 1 Empfehlungsschreiben des BMBF

Anlage 2 Fragebogen (Kurzfassung in Englisch)

Anlage 3 Fotodokumentation

Anlage 4 Ausgewählte Materialien

a) Gesetzestexte

a1) National Water Act

a2) General Effluent Standards

a3) Water Services Act

a4) Draft Regulations

b) Praxisdaten am Beispiel Klärwerk Athlone (Kapstadt)

c) Standards Setting (Draft Report BKS)

d) The Nelpruit Concession

d1) Brochure

d2) Levels of Service

Anlage 5 Visitenkarten der Gesprächspartner



Thailand

**Hermann Orth,
Ruhr-Universität Bochum**



1 Einleitung

In Thailand wurden in der Zeit zwischen dem 18.08. und 03.09.2004 acht Klärwerke besichtigt. Hiervon waren fünf Anlagen kommunale und drei Anlagen Industrieklärwerke. Von sechs weiteren Industrieklärwerken wurden zur Verfügung gestellte Daten ausgewertet. Die zur Besichtigung ausgewählten Anlagen arbeiten mit sehr verschiedenen Verfahren und verfügen über sehr unterschiedliche Kapazitäten (Tabelle 1). Sie verdeutlichen damit ein Merkmal der Abwassertechnik in Thailand, nämlich die großen Unterschiede in den Rahmenbedingungen für die einzelnen Anlagen und die Vielfalt der eingesetzten Verfahren. Bild 1 zeigt die Lage der besuchten Klärwerke.

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zu den besichtigten Klärwerken in Thailand

| Standort | Abwasserquelle | Verfahren | Kapazität m ³ /d |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Zentrum, Bangkok | Kommunal | Belebungsverfahren | 350 000 |
| Lad Krabang, Bangkok | Container-Depot | Belebungsverfahren | 200 |
| Phra Khanong, Bangkok | Molkerei | Stählermatik + Belebungsverfahren | - |
| Nakhon Pathom | Lebensmittel- verarbeitung | Sequencing-Batch- Verfahren | 150 |
| Hua Hin 1 | Kommunal | Scheibentauchkörper | 8 000 |
| Hua Hin 2 | Kommunal | Belebungsverfahren | 15 000 |
| Pathong, Phuket | Kommunal | Belebungsverfahren | 14 250 |
| Karon, Phuket | Kommunal | Tropfkörper + Belebungsverfahren | 6 000 |

In Ergänzung zu den zur Verfügung gestellten Daten wurde an einem kommunalen Klärwerk in Bangkok eine Stichprobe entnommen und ihre Analyse in Auftrag gegeben. Sie diene dazu, einen Anhalt für die besondere Qualität des Abwassers in Thailand zu erhalten, die durch die spezielle Struktur der Abwasserentsorgung bedingt ist. Es wurden Parameter analysiert, die auf den thailändischen Klärwerken normalerweise nicht erfasst werden.

Die bei den Besichtigungen der Anlagen gewonnenen Erfahrungen wurden durch verschiedene Gespräche ergänzt, und zwar in der Justizverwaltung zur Umweltschutzgesetzgebung, in der Wastewater Management Authority zu allgemeinen Fragen

der Abwassertechnik, und mit Vertretern der Environmental Engineering Association of Thailand zu Fragen der Fortbildung und zum thailändischen Regelwerk.

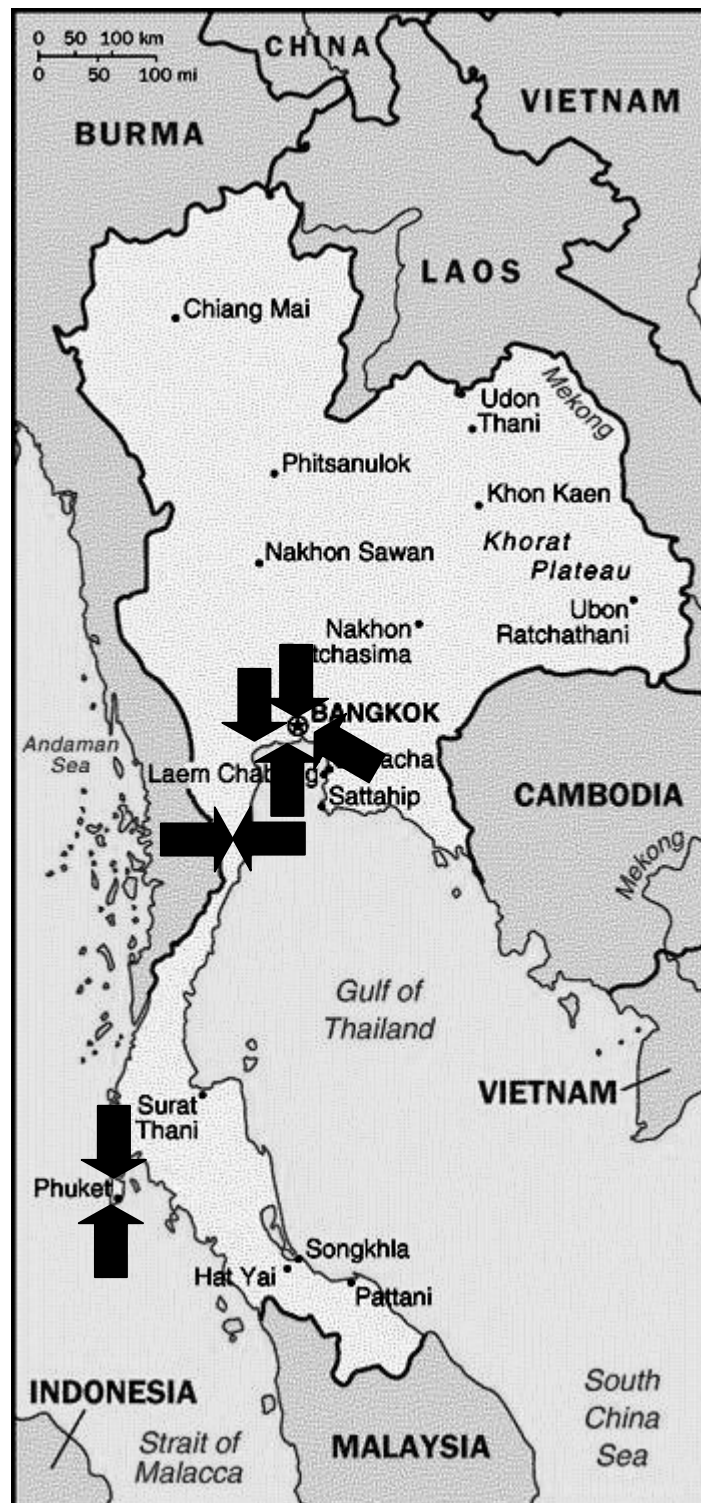


Bild 1: Lage der besuchten Klärwerke in Thailand

2 Gesetzliche Regelungen

2.1 Institutionen, Gesetze und Verordnungen

Das erste Rahmengesetz für den Umweltschutz in Thailand war das Environmental Conservation Law von 1979, das 1992 als Enhancement and Conservation of the National Environmental Quality Act (NEQA) fortgeschrieben wurde. Um die zum Erreichen der dort gesetzten Umweltziele nötigen Maßnahmen einzuleiten, wurden im neu geschaffenen Ministry of Natural Resources and Environment verschiedene Kommissionen gebildet, die die entsprechenden Ausführungsbestimmungen erarbeiten. Hierzu gehören auch Mindeststandards für die verschiedenen Umweltbereiche (Wasser, Luft und Boden). Diese Mindeststandards definieren den zu erhaltenden bzw. anzustrebenden Zustand der Umwelt. Sie definieren nicht die Anforderungen an einzelne Anlagen wie z. B. Grenzwerte für den Ablauf der Klärwerke. Sie geben jedoch auch hierzu Hinweise.

Andere Institutionen können für ihren Bereich spezielle und weitergehende Anforderungen definieren. Beispiele sind:

- Das Industrieministerium, das Einleitvorschriften für Industriekläranlagen festlegt und eine Berichtspflicht einführte (Factory Act von 1992),
- Das Irrigation Department, das Anforderungen an zur Bewässerung herangezogene Gewässer festlegt,
- Das Harbour-Department, das schiffbare Gewässer kontrolliert und Anforderungen an Abwassereinleitungen in diese Gewässer definiert,
- Das Fishery-Department, das Standards für öffentliche Gewässer festlegt.

Als Ergebnis der durch die verschiedenen Institutionen definierten Anforderungen im Bereich der Gewässergüte liegen zu den nachfolgend aufgeführten Bereichen Ablaufgrenzwerte vor. Sie sind wie ein großer Teil der Umweltgesetze und -vorschriften in englischer Sprache verfügbar und über das Internet beim Pollution Control Department (PCD, 2004) abrufbar:

- Industrial Effluent Standards,
- Regulations of Industrial Pollution Control Facilities,
- Water Characteristics Discharged into Deep Wells,
- Building Effluent Standards,
- Housing Estate Effluent Standards,
- Water Characteristics Discharged into Irrigation Systems,

- Gas Station and Oil Terminal Effluent Standard,
- Effluent Standard for Pig Farm,
- Grenzwerte für Einleitungen in Flüsse und Kanäle,
- Vorschriften für den Transport von Öl,
- Effluent Standard for Coastal Aquaculture.

Ein Beispiel für diese Standards sind die Ablaufgrenzwerte für größere Gebäude wie Hotels, Restaurants, Schulen und andere. Die Gebäude sind in fünf Größenklassen eingeteilt (Beispiel: Restaurant mit mehr als 2 500 m² = Klasse A, Restaurant mit weniger als 100 m² = Klasse E). Für diese Größenklassen gelten die in Tabelle 2 gezeigten Grenzwerte für Ableitungen in die Gewässer.

Tabelle 2: Building effluents standards in Thailand (Ministry of Science, Technology and Environment, 1994)

| Parameter | Unit | Range or Maximum Permitted Values for these Categories | | | | | Method for Examination |
|--|------|--|-------|-------|-------|-------|--|
| | | A | B | C | D | E | |
| 1. pH | - | 5 - 9 | 5 - 9 | 5 - 9 | 5 - 9 | 5 - 9 | pH Meter |
| 2. BOD | mg/l | 20 | 30 | 40 | 50 | 200 | Azide Modification at 20 °C, 5 days |
| 3.1 Suspended Solids | mg/l | 30 | 40 | 50 | 50 | 60 | Glass Fibre Filter Disc |
| 3.2 Settleable Solids | mg/l | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | - | Imhoff Cone 1,000 cm ³ , 1 hour |
| 3.3 Total Dissolved Solids (TDS) ¹⁾ | mg/l | 500 | 500 | 500 | 500 | - | Dry Evaporation 103-105 °C, 1 hour |
| 4. Sulfide | mg/l | 1.0 | 1.0 | 3.0 | 4.0 | - | Titration |
| 5. Nitrogen as TKN | mg/l | 35 | 35 | 40 | 40 | - | Kjeldal |
| 6. Fat, oil and grease (FOG) | mg/l | 20 | 20 | 20 | 20 | 100 | Solvent Extraction by Weight |

1) These values are in addition to the TDS of the water used.

Bau und Betrieb der mit den Gebäuden verbundenen Klärwerke obliegen dem jeweiligen Besitzer. Für die Kontrolle der Gebäude und der zugehörigen Kläranlagen sind die Gemeinden zuständig. Sie können entsprechende Ortssatzungen erlassen.

Für 22 Arten von Bauten und Anlagen und auch für Klärwerke ist im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eine Umweltverträglichkeitsstudie erforderlich. Für die Prüfung ist das Office of Environmental Policy and Planning zuständig, das dem Ministry of Natural Resources and Environment untersteht. Das Verfahren der Umweltverträglichkeitsprüfung befindet sich gegenwärtig in einer Überarbeitung.

2.2 Zuständigkeiten

Für die Planung und den Betrieb von kommunalen Klärwerken sind die Gemeinden zuständig. Der Bau und das erste Betriebsjahr werden gegenwärtig noch von der Zentralregierung finanziert. Hierzu beantragen die Gemeinden eine einmalige Zuweisung, die den Bau und den Betrieb für ein Jahr abdecken soll. Für den weiteren Betrieb ist dann die Gemeinde allein zuständig. In Zukunft soll die Finanzautonomie der Gemeinden erweitert werden und die Gemeinden sollen höhere Zuweisungen zur Eigenverwendung erhalten. Daraus müssen dann auch Klärwerke finanziert werden. Eine Gemeinde kann den Bau und den Betrieb eines Klärwerks einer privaten Firma übertragen, wie das z. B. bei dem größten Klärwerk in Bangkok geschehen ist.

Eine staatliche Kontrolle der kommunalen Kläranlagen gibt es nicht. Die Gemeinde kann jedoch, theoretisch von jedermann, im Falle einer unzureichenden Abwasserreinigung wegen Gewässerverschmutzung verklagt werden.

Zur Umsetzung des Enhancement and Conservation of the National Environmental Quality Act wurde die Wastewater Management Authority (WMA) gebildet, die dem Ministry of Natural Resources and Environment untersteht. Die WMA ist allgemein für alle Fragen der Abwassertechnik zuständig. Konkreter definierte Einzelaufgaben sind die Beratung der Gemeinden, die Verteilung der Zuschüsse und auf Wunsch einzelner Gemeinden der Bau und Betrieb kommunaler Klärwerke. Gegenwärtig betreibt die WMA zwölf Klärwerke.

Die Kontrolle von Industrieklärwerken obliegt dem Ministry of Industry. Es prüft die Planung von Industrieklärwerken und überwacht den Betrieb. Das Ministry of Industry verfügt für den Fall der Nichteinhaltung der Vorschriften über weitreichende Sanktionsmaßnahmen, die in extremen Fällen bis zu einer Betriebsstilllegung reichen.

2.3 Bemessungsrichtlinien

Für den Entwurf von Klärwerken wird in der Regel auf die internationale, meist amerikanische Fachliteratur zurückgegriffen. Die Environmental Engineering

Association of Thailand (EEAT) hat jedoch 1997 Bemessungsrichtlinien herausgegeben, die vergleichbar dem DWA-Regelwerk empfehlenden Charakter haben. Für folgende Anlagen liegen Richtlinien vor:

- Rechen und Siebe,
- Sandfang,
- Vorklärung,
- Verschiedene Varianten des Belebungsverfahrens einschließlich Stickstoff- und Phosphorelimination,
- Tropfkörper und Scheibentauchkörper,
- Umwälzanlagen und Belüfter,
- Nachklärung,
- Abwasserteiche, Wasserhyazintheenteiche und Pflanzenkläranlagen,
- Desinfektionsanlagen (Chlor, Ozon, UV-Bestrahlung),
- Faulbehälter und aerobe Schlammreaktoren sowie
- Eindicker und Trockenbeete.

Diese Empfehlungen sind in thailändischer Sprache und Schrift abgefasst. Übersetzungen liegen nicht vor. Tabelle 3 zeigt Ausschnitte aus diesen Entwurfsempfehlungen.

2.4 Ausbildungsrichtlinien

Die EEAT führt Fortbildungsveranstaltungen durch. Eine spezielle Ausbildung für das Betriebspersonal von abwassertechnischen Anlagen gibt es bisher nicht. Die EEAT strebt jedoch an, mit Hilfe der japanischen Entwicklungshilfeorganisation JICA ein entsprechendes Ausbildungsprogramm aufzubauen.

Die Verantwortlichen (Supervisor) von Industriekläranlagen müssen einen Bachelor-Abschluss in Chemie oder in einem entsprechenden anderen Studiengang vorweisen, das Betriebspersonal maschineller Anlagen eine weiterführende Ausbildung (Secondary education). Beide Personalgruppen müssen beim Department of Industrial Works registriert sein.

Tabelle 3: Auszüge aus den Bemessungsempfehlungen der Environmental Engineering Association of Thailand (EEAT, 1997)

| Verfahren | Bemessungsgröße | Einheit | | Von - bis | Mittel |
|--|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Vorklärung | Aufenthaltszeit | h | | 1 - 4 | 2 |
| | Oberflächenbelastung | m ³ /(m ² ·d) | Mittlerer Abfluss | 30 - 50 | 40 |
| | | | Maximaler Abfluss | 70 - 130 | 100 |
| Kantenbelastung | m ³ /(m·d) | | | 125 - 500 | 250 |
| Chlorung | Chlorkonzentration | mg/l | Abfluss Tropfkörper | 3 - 20 | - |
| | | | Abfluss Belebungs- verf. | 2 - 15 | - |
| | Kontaktzeit | min | Mittlerer Abfluss | - | 30 |
| | | | Maximaler Abfluss | - | 10 |
| | Gesamter Rest- chlorgehalt | mg/l | Minimum | - | 0,3 |
| | | | Maximum | - | 2,0 |
| Entchlorung mit Schwefel- dioxid (SO ₂) | Zugabe von SO ₂ | mg/(mg/l) ¹⁾ | Mittlerer Abfluss | 1,0 - 1,6 | 1,3 |
| | | | Maximaler Abfluss | 2 - 5 | 4 |
| | Kontaktzeit | s | | 30 - 60 | 45 |
| UV-Desin- fektion | Lichtintensität | mWs/cm ² | Abfluss Tropfkörper | 15 - 130 | - |
| | | | Abfluss Belebungs- verf. | 15 - 130 | - |
| | Aufenthaltszeit | s | Abfluss Tropfkörper | 7 - 14 | - |
| | | | Abfluss Belebungs- verf. | 7 - 14 | - |

1) Masse SO₂ bezogen auf Restchlorgehalt

3 Allgemeine Angaben

3.1 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Thailand befindet sich wie verschiedene andere asiatische Staaten in einer sehr schnellen wirtschaftlichen Entwicklung, wobei eine zunehmende Industrialisierung und der Tourismus hervorstechende Wirtschaftssektoren sind. Das Land weist gleichzeitig ein hohes Bevölkerungswachstum auf. Das Wirtschaftswachstum und das Wachstum der Städte führen zu erheblichen Umweltbelastungen. Hiervon sind auch die Gewässer betroffen und insbesondere innerstädtische Wasserläufe, aber auch Flüsse, einige Seen und Küstengewässer.

Die Verschmutzung der Gewässer wurde in Thailand auch in der Vergangenheit als nicht akzeptabel empfunden. Hierzu trägt bei, dass das traditionelle Leben in Thailand sehr eng mit dem Wasser verbunden war und das Wasser in der thailändischen Kultur einen hohen Stellenwert besitzt. Trotzdem hielt der Aufbau der Abwasserentsorgung mit der wirtschaftlichen Entwicklung nicht Schritt. Ausschlaggebend hierfür waren die als sehr hoch empfundenen Kosten, aber auch fehlende Organisationsstrukturen, fehlende Gesetze und ein Mangel an Fachpersonal. Eine Abwasserreinigung ist zwar für jeden Hausbesitzer und für jeden Betrieb, d. h. für alle Emittenden, Pflicht, die angewandten Verfahren und die nur bedingte Durchsetzung der Anforderungen konnten eine zunehmende Belastung der Gewässer jedoch nicht verhindern.

Die Verschmutzung der Gewässer wird zunehmend auch ein wirtschaftlicher Risikofaktor. Der Tourismus als einer der bedeutendsten Wirtschaftssektoren ist eng mit den Seebädern verbunden und eine offensichtliche Verschmutzung der Küstengewässer könnte zu einem Einbruch im Tourismus führen. Gleichzeitig ist ein Einbruch des Exportes von Meeresfrüchten zu befürchten.

Dieses wirtschaftliche Risiko, ein wachsendes Umweltbewusstsein und die gleichzeitige Zunahme der Gewässerverschmutzung bewirkten in neuerer Zeit eine Intensivierung der Anstrengungen für den Gewässerschutz. Dies führte sowohl zu einer konsequenteren Durchsetzung der Anforderungen an die industrielle Abwasserreinigung als auch zu erheblichen Investitionen im kommunalen Bereich.

3.2 Klima

Das Klima in Thailand ist tropisch und vom Rhythmus des Monsuns geprägt. Die durchschnittlichen Jahreshöchst- und Tiefstwerte der Temperaturen liegen bei 38 °C und 19 °C. Es werden drei Jahreszeiten unterschieden, nämlich die so genannte kühle Zeit, die heiße Zeit und die Regenzeit. Der Unterschied zwischen der kühlen und der heißen Jahreszeit ist allerdings gering und beträgt nur wenige Grad. Ausgeprägt ist jedoch der Unterschied zwischen Regenzeit und trockener Jahreszeit. Die Regenzeit beginnt zwischen Mai und Juli, wenn der Monsun aus südwestlicher Richtung weht. Die Regenzeit dauert bis Oktober/November. Die trockene Jahreszeit ist im Süden des Landes am kürzesten.

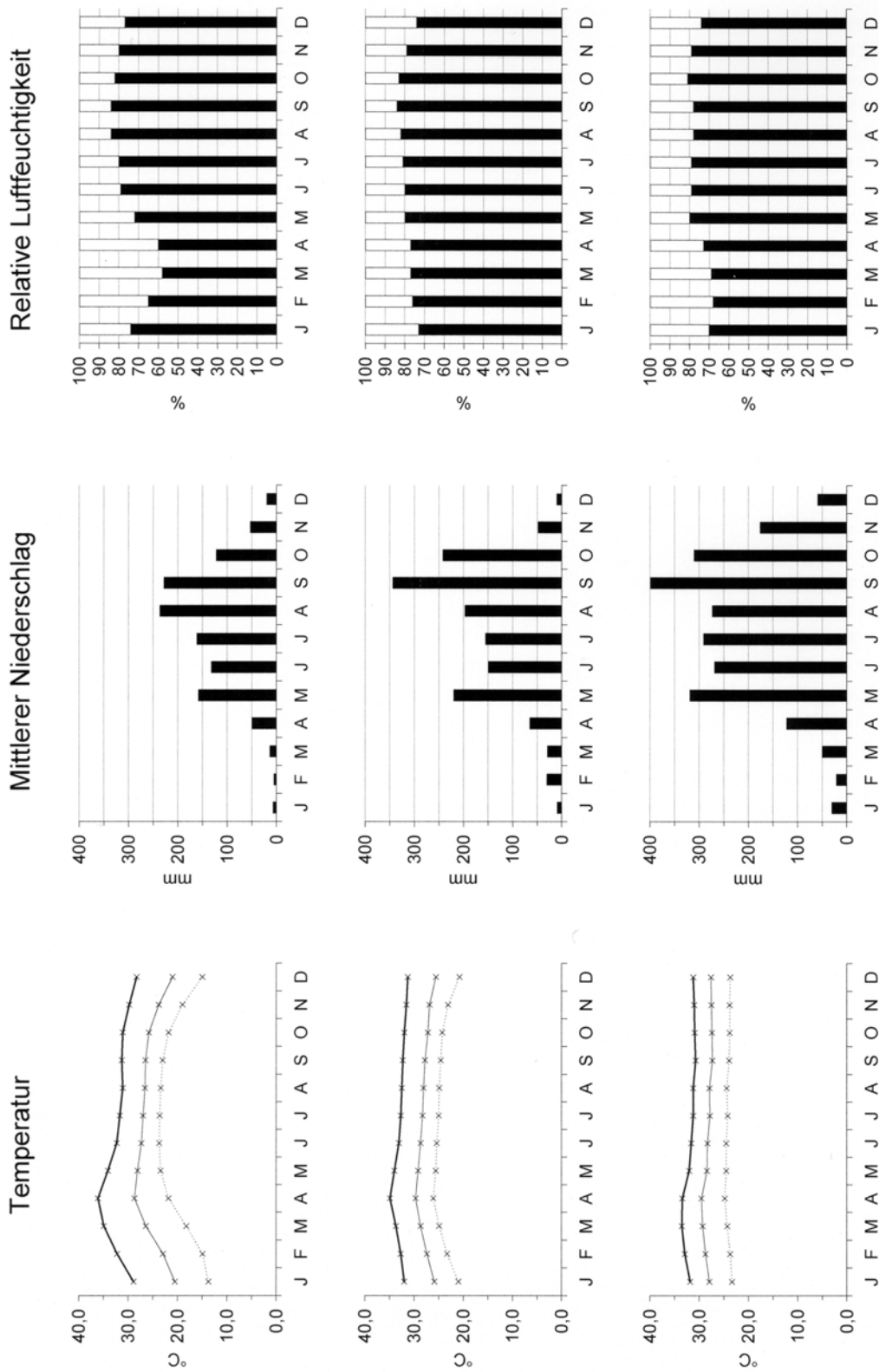


Bild 2: Klimadaten der Städte Chiang Mai (oben), Bangkok (Mitte) und Phuket (unten) (wetter.com AG, 2004, verändert)

—x— mittl. tägl. Max. —x— mittl. Mittel --x-- mittl. tägl. Min.

Thailand ist ein wasserreiches Land mit einer durchschnittlichen Regenhöhe von 1 400 mm/a. Lediglich in einigen Gebieten im Nordosten und im Zentrum herrscht saisonal Wassermangel. Die Dauer der Regenzeit und die Intensität der Niederschläge ist jedoch in den verschiedenen Landesteilen sehr unterschiedlich. Die Trockenzeit dauert im Nordosten am längsten an. Da der dortige poröse Lateritboden ein schlechtes Wasserhaltevermögen aufweist, ist in einigen Gebieten die landwirtschaftliche Produktivität durch Wassermangel eingeschränkt.

Bild 2 zeigt repräsentativ für den Norden, die Mitte und den Süden Klimadaten von Chiang Mai, Bangkok und Phuket. Die regionalen Unterschiede mit einer Zunahme der Temperaturschwankungen von Süden nach Norden und einer Zunahme der Niederschläge von Norden nach Süden sind deutlich erkennbar. Insgesamt liegen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Regionen und die jahreszeitlichen Schwankungen der Temperaturen allerdings in einem Bereich, der sich auf die Abwassertechnik nur wenig auswirkt. Von Bedeutung ist allerdings die absolute Höhe der Temperatur und der Niederschläge, sowie der Unterschied der Niederschläge in der Regenzeit und in der Trockenzeit.

Die relative Luftfeuchtigkeit ist in allen Landesteilen und zu allen Jahreszeiten hoch. Die Monatsmittelwerte liegen generell über 70 %. Lediglich im Norden treten in den Monaten Februar bis April etwas geringere Werte auf. Die mittleren Tagesmaxima liegen zwischen 88 % und 96 %.

3.3 Stand der Abwasserentsorgung

Die herkömmliche Abwasserentsorgung ist dezentral organisiert: Jedes Anwesen muss mit einer biologischen Abwasserreinigungsanlage ausgestattet sein. Als Reinigungsanlagen für Wohn- und Bürogebäude dienen überwiegend Septic Tanks. Größere Hotels, Bürokomplexe und Krankenhäuser sind häufig mit technischen Kleinkläranlagen ausgestattet. Die Entschlammung der Septic Tanks geschieht in unregelmäßigen Abständen und in der Regel dann, wenn der Schlamm Spiegel soweit angestiegen ist, dass sich betriebliche Schwierigkeiten ergeben. Die Schlämme werden abgefahren und deponiert.

Einzelne Wohngebiete in Bangkok und anderen großen Städten wurden im Zuge des schnellen Wachstums der Städte von Bauträgern geplant und errichtet. Bauträger waren sowohl private Firmen als auch die National Housing Authority. In diesen auf einer Gesamtplanung basierenden Gebieten wurden häufig Schmutzwasserkanäle angelegt und das Abwasser einer zentralen Behandlung zugeführt. Die häufigsten Behandlungsverfahren in diesen Gebieten sind unbelüftete und

belüftete Abwasserteiche, sowie Belebungsanlagen mit Schlammstabilisierung. Zwischen 1990 und 1997 wurden 14 dieser Anlagen in Bangkok von der National Housing Authority an die Bangkok Metropolitan Administration übertragen. Die Anlagen waren zwischen 1975 und 1985 gebaut worden. An die kleinste Anlage sind 1 900 an die größte 36 000 Einwohner angeschlossen.

Für Industriebetriebe besteht ebenfalls die Pflicht zu einer biologischen bzw. zu einer produktionsspezifischen Abwasserreinigung entsprechend den Vorgaben des Ministry of Industry. Unter den Industrieklärwerken finden sich Anlagen einzelner Betriebe und zentrale Anlagen für planmäßig angelegte Gebiete. Die häufigsten Verfahren sind belüftete Teiche und Belebungsanlagen mit Schlammstabilisierung.

Das gereinigte Abwasser wird bei kleinen Anlagen wie z. B. den Septic Tanks häufig versickert und ansonsten in die natürlichen Vorfluter oder das Entwässerungsnetz eingeleitet.

In den 90er Jahren wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Abwasserentsorgung weiter auszubauen. Mit einem Investitionsaufwand von etwa 1,3 Mrd. EUR wurden 85 Klärwerke neu gebaut oder erweitert, so dass heute die meisten größeren und mittleren Städte über ein zentrales Klärwerk verfügen. An diese zentralen Klärwerke können jedoch nicht alle Stadtgebiete angeschlossen werden, da das entsprechende Kanalnetz nicht überall vorhanden ist.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über den Bestand an kommunalen Klärwerken in den verschiedenen Regionen Thailands.

Der Anschlussgrad beträgt nach Angaben des Pollution Control Departments (aus Chevaki-dagarn, 2004) landesweit ca. 20 %. Hierbei ist der Anschlussgrad in Bangkok wesentlich höher als in den ländlichen Regionen. Im Großraum Bangkok bestehen heute neben den kleineren von der National Housing Authority übernommenen Anlagen zehn größere Klärwerke mit einer Kapazität zwischen 30 000 und 518 000 m³/d bzw. 70 000 und 1,4 Mio. Einwohnerwerten. Die Gesamtkapazität beträgt ca. 1,9 Mio. m³/d bzw. 5 Mio. Einwohnerwerte. Die Kapazität in den anderen Regionen beträgt zusammengenommen etwa 800 000 m³/d. Nach Angaben bei Kühn et al. (2003) beträgt das von der öffentlichen Wasserversorgung (Provincial Waterworks Authority und Metropolitan Waterworks Authority) eingespeiste bzw. produzierte Wasser zusammengenommen ca. $5,7 \cdot 10^6$ m³/d. Stellt man dieser Zahl die gesamte Abwassereinigungskapazität von $2,7 \cdot 10^6$ m³/d gegenüber und vergleicht dies mit der obigen Angabe zum Anschlussgrad, so wird deutlich, dass große Teile der Bevölkerung und der Industrie nicht an die zentralen

Systeme angeschlossen sind. Sie verfügen sowohl über eigene Wasserquellen, überwiegend Brunnen, als auch über eigene Abwasserbehandlungsanlagen in der Form von Septic Tanks oder Industriekläranlagen.

Tabelle 4: Kommunale Klärwerke in Thailand (Pollution Control Department; aus Chevakiadagarn, 2004)

| Region | Ongoing | | Operations commencing | | Under construction | | Being upgraded | | Total | |
|---------------|---------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|
| | No | Capacity (m ³ /day) | No | Capacity (m ³ /day) | No | Capacity (m ³ /day) | No | Capacity (m ³ /day) | No | Capacity (m ³ /day) |
| Bangkok | 3 | 270,000 | - | - | 4 | 722,000 | - | - | 7 | 992,000 |
| Central | 13 | 179,059 | 6 | 67,500 | 5 | 610,500 | - | - | 24 | 857,059 |
| East | 10 | 185,800 | 3 | 104,500 | 1 | 15,000 | - | - | 14 | 305,300 |
| North | 5 | 97,200 | - | - | 5 | 66,959 | - | - | 10 | 164,159 |
| South | 6 | 179,850 | 1 | 35,630 | 6 | 70,020 | 2 | 33,000 | 15 | 318,500 |
| North-eastern | 10 | 111,754 | 1 | 13,000 | 2 | 34,185 | 2 | 33,000 | 15 | 191,939 |
| Total | 47 | 1,023,663 | 11 | 220,630 | 23 | 1,518,664 | 4 | 66,000 | 85 | 2,828,957 |

4 Abwasserbeschaffenheit

4.1 Kommunales Abwasser

Bei einer Betrachtung der Beschaffenheit des kommunalen Abwassers ist zu beachten, dass in das öffentliche Entwässerungsnetz weitgehend biologisch vorbehandeltes Abwasser eingeleitet wird. Auswirkungen dieser Besonderheit des thailändischen Entsorgungssystems werden aus den in Tabelle 5 zusammengestellten Daten zur Abwasserbeschaffenheit deutlich: Bei dem Zufluss des Klärwerks Huay Kwang handelt es sich, was eher selten ist, um das Abwasser aus einem eigenständigen Schmutzwassernetz eines Wohngebietes. Es wird dem Klärwerk direkt ohne die sonst übliche Vorbehandlung zugeleitet. Der BSB dieses Abwassers entspricht mit Werten zwischen 160 und 400 mg/l in etwa deutschen Verhältnissen, wenn auch der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen vergleichsweise niedrig ist. Von größeren Hotelanlagen mit eigener Abwasserbehandlung sind ebenfalls BSB-Werte von 300 mg/l bekannt. Vollkommen andere Verhältnisse zeigen sich bei den Werten aus den fünf anderen in Tabelle 5 aufgeführten Klärwerken. Das Abwasser dieser Klärwerke stammt aus kommunalen Netzen, denen der Überlauf

aus Septic Tanks oder biologischen Kleinkläranlagen sowie auch Regenwasser zufließt. Diese Zuflüsse erklären die extrem niedrigen BSB- und CSB-Werte von 20 bis 48 mg/l bzw. 73 bis 84 mg/l. Auch die Gehalte der abfiltrierbaren Stoffe von 8 bis 200 mg/l liegen weit unter deutschen Verhältnissen.

Tabelle 5: Beispiele für die Beschaffenheit des Zulaufs kommunaler Klärwerke in Thailand

| Parameter | Einheit | Huay Kwang | Din Daeng | | Klärwerke in Hua Hin und Phuket (4 Anlagen) |
|-----------------------|---------|------------|-----------------------------|------------------------|---|
| | | | Mittelwert aus 47 Messungen | Stichprobe am 26.08.04 | |
| BSB | mg/l | 160 - 400 | 44 | 48 | 20 - 28 |
| BSB filtriert | mg/l | - | - | 28 | - |
| CSB | mg/l | - | 73 | 84 | - |
| CSB filtriert | mg/l | - | - | 40 | - |
| NH ₄ -N | mg/l | - | - | 18 | - |
| TKN | mg/l | - | - | 20 | 17 |
| NO ₃ -N | mg/l | - | - | 0,6 | - |
| Abfiltrierbare Stoffe | mg/l | 130 - 230 | 21 | 22 | 8 - 200 |
| Temperatur | °C | 26 - 33 | 30 | - | 30 |
| pH-Wert | - | - | 7,3 | - | 7,1 - 7,6 |

Infolge der insgesamt niedrigen Zuflusskonzentrationen führen Änderungen in den Zuflussbedingungen sehr schnell auch zu hohen Konzentrationsschwankungen. Auf einem der besuchten Klärwerke traten bei Regenwetter infolge von Verdünnung BSB-Konzentrationen von nur 15 mg/l auf. Damit liegt die Zuflusskonzentration unter der geforderten Ablaufkonzentration von 20 mg/l. Im Winter, d. h. während der Haupttourismussaison, steigen auf der gleichen Anlage die Werte auf etwa 100 mg/l an. Neben einem Konzentrationsabfall bei Regenwetter wurden auf anderen Anlagen jedoch auch Konzentrationserhöhungen beobachtet. Sie sind vermutlich auf Spülstöße zurückzuführen.

Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen werden im Allgemeinen nicht gemessen, weil eine Nährstoffelimination nicht vorgeschrieben ist. Einen Anhalt für die Stickstoffkonzentrationen gibt die während der Bereisung analysierte Stichprobe des Klärwerks Ding Daeng. Die Werte für den Ammonium- und den Kjeldahl-Stickstoff

sind ebenfalls niedriger als in Deutschland, wenn auch nicht im gleichen Verhältnis wie der BSB und der CSB.

Die Abwassertemperaturen werden bei den größeren Klärwerken generell mit etwa 30 °C angegeben. Bei dem kleineren Klärwerk in Huay Kwang sind bei etwa gleichem Mittelwert Schwankungen von 26 bis 33 °C zu verzeichnen.

4.2 Industrieabwasser

Die Beschaffenheit von Industrieabwässern ist produktionsspezifisch. Einige Beispiele zeigt Tabelle 6. Die Beispiele aus der Lebensmittelverarbeitung und der Kautschukindustrie zeigen, dass die Behandlung von organisch hochbelasteten Abwässern in Thailand von großer Bedeutung ist. Die Lebensmittelverarbeitung und die Kautschukindustrie sind in Thailand bedeutende Industriezweige.

Tabelle 6: Beispiele für die Beschaffenheit des Zulaufs industrieller Klärwerke in Thailand

| Parameter | Einheit | Branche | | | |
|-----------------------|---------|--------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| | | Lebensmittel | | Container- Depot | Naturkau- tschuk ¹⁾ |
| | | Würzsoßen und -pasten | Meerestiere | | |
| BSB | mg/l | 1 000 | 3 200 | 40 | 8 030 - 9 000 |
| CSB | mg/l | - | 5 800 | - | 10 250 - 11 890 |
| Abfiltrierbare Stoffe | mg/l | - | 29 | - | 484 - 913 |
| N _{ges} | mg/l | - | 1 126 | - | 495 - 673 |
| P _{ges} | mg/l | - | 11 | - | 44 - 150 |
| pH-Wert | - | normal | 7,4 | 7 - 8 | 4,5 - 7,1 |
| Temperatur | °C | 29 - 31 | 27 - 28 | - | 30 - 34 |

1) Mittelwerte von fünf Anlagen

5 Abwasserableitung

Reine Schmutzwassernetze sind in Thailand nur in begrenzter Zahl vorhanden und zwar, wie oben erwähnt, in einigen nach einem Gesamtkonzept geplanten Wohnsiedlungen und Industriegebieten. Die meisten bebauten Flächen werden lediglich durch ein Regenwassernetz entwässert, in das auch der Abfluss der vorgeschriebenen biologischen Abwasserbehandlungsanlagen der einzelnen Grundstücke und Grauwasser eingeleitet wird. Das Entwässerungsnetz besteht in Ge-

bieten mit einer geringen Bebauungsdichte überwiegend aus offenen Ableitungskanälen und in dicht bebauten Gebieten aus unterirdischen Rohren.

Der Abfluss wird traditionell ohne weitere Reinigung in natürliche Vorfluter eingeleitet. Die Belastung des Abflusses mit organischen Stoffen ist jedoch hoch. Die Beschaffenheit entspricht dem im vorigen Kapitel beschriebenen Zulauf zu den Klärwerken. Während der Trockenzeit besteht der Abfluss überwiegend aus, wenn auch vorbehandeltem, Abwasser. Um den häufig auftretenden Geruchsbelästigungen entgegenzuwirken, wird in offenen Abschnitten des Netzes vielfach künstlich belüftet (Bild 3). Da sich diese Entwässerungsnetze praktisch zu Mischwassernetzen entwickelt haben, wird der Trockenwetterabfluss zunehmend den neu erbauten Kläranlagen zugeführt.



Bild 3: Belüftungseinrichtung in einem Entwässerungsgraben

Für den Kanalbau werden überwiegend Betonrohre verwendet. Sie werden in Thailand hergestellt. Die Kanäle werden nach relativ einfachen Standards gebaut. Rohrverbindungen werden in der Regel durch Mörtelummantelung abgedichtet. Das Gefälle richtet sich entsprechend der ursprünglichen Konzeption als Entwässerungsnetz weitgehend nach dem Geländegefälle und ist häufig sehr gering. Die Folge sind erhebliche Ablagerungen. Straßeneinläufe sind teilweise mit Absetz-

kammern ausgestattet. Häufiger sind jedoch Einläufe ohne besonderen Schutz gegen den Eintrag von Grobstoffen (Bild 4).



Bild 4: Beispiel eines einfachen Straßeneinlaufs

Hohe bautechnische Standards kommen notwendigerweise bei den neuen großen und in großer Tiefe liegenden Kanälen in Bangkok zum Tragen. Diese teilweise in Tunnelbauweise erstellten Kanäle mit Durchmessern bis zu 3 200 mm können nur durch große, erfahrene Baufirmen gebaut werden, die in der Regel im Rahmen von Konsortien mit ausländischen Firmen zusammenarbeiten.

6 Abwasserreinigung

6.1 Kommunale Abwasserreinigung

Für die kommunalen Klärwerke wird eine biologische Reinigung gefordert, wobei als Ablaufgrenzwerte für BSB und abfiltrierbare Stoffe 20 mg/l bzw. 30 mg/l gefordert werden. Eine Nährstoffelimination ist nicht erforderlich.

Die eingesetzten Verfahren sind belüftete und unbelüftete Abwasserteiche, Tropfkörper, Scheibentauchkörper und das Belebungsverfahren mit Rechteckbecken oder Umlaufgräben. Die nach 1995 in den kleineren und mittleren Städten fertig-

gestellten Anlagen haben eine Kapazität zwischen 4 000 m³/d und 55 000 m³/d. Diese Klärwerke sind jeweils zu etwa einem Drittel belüftete Teiche, unbelüftete Teiche und Umlaufgräben. Eine Anlage und die großen Klärwerke in Bangkok arbeiten als Belebungsanlagen mit Rechteckbecken. Die Umlaufgräben werden teilweise durch Walzen, teilweise durch Druckbelüftung belüftet.

Die neueren Anlagen sind als Stabilisierungsanlagen ohne Vorklärung und Schlammfäulung ausgelegt. Sie enthalten die üblichen Verfahrensschritte Rechen bzw. Siebe, Sandfang, biologischer Reaktor, Nachklärung und Überschussschlammwässerung. In einigen Klärwerken wird eine Desinfektion durchgeführt. Als Einlaufrechen oder Siebe wurden bei älteren Anlagen noch provisorische Lösungen wie z. B. in einem Falle ein eingehängtes Netz angetroffen. Solche Lösungen und andere Beobachtungen deuten auf einen erheblichen Sanierungsbedarf bei älteren Anlagen hin. Die neueren Klärwerke sind jedoch mit modernen Rechen- bzw. Siebanlagen ausgestattet (Bild 5).



Bild 5: Siebanlage im Klärwerk 2 in Hua Hin

Neben belüfteten Sandfängen wurde auch ein in Deutschland nicht mehr gebräuchlicher Rundsandfang nach US-amerikanischem Vorbild (Vortex-Typ) angetroffen (Bild 6). Bei zweien der besichtigten Klärwerke war der Sandfang aufgeständert, um Zwischenpumpwerke auf der Anlage zu vermeiden.



Bild 6: Aufgeständerter Rundsandfang mit mehreren Kammern (Vortex-Typ, Ansicht von unten)

Die Bemessung der Belebungsanlagen basiert ebenfalls auf der US-amerikanischen Literatur und es kommen selbst bei sehr kleinen Klärwerken detaillierte kinetische Ansätze zur Anwendung. Inwieweit die hierbei übernommenen kinetischen Koeffizienten unter den besonderen thailändischen Bedingungen gültig sind bzw. zur praxismgerechten Lösungen führen, wird erst die Erfahrung zeigen. Auffallend sind die niedrigen TS-Gehalte der Belebungsbecken. Die angetroffenen Werte lagen zwischen 1,2 g/l und 1,8 g/l, in einem Fall bei 0,3 g/l. In Anpassung an die Beschaffenheit des thailändischen Abwassers wird zwar bei der Bemessung von einer BSB-Konzentration von nur 150 mg/l ausgegangen. Dieser Wert liegt aber noch immer weit über den gemessenen Werten, die in der Regel zwischen 20 und 50 mg/l liegen.

Auf einem älteren Klärwerk wurde eine Schlammfäulung angetroffen. Eine Faulgasnutzung fand hier jedoch nicht statt. Die Überschussschlammwässerung in

den neueren Stabilisierungsanlagen geschieht durch Siebbandpressen oder auf Trockenbeeten. Die Trocknungszeit auf abgedeckten Trockenbeeten wurde mit zwei bis vier Wochen angegeben.

Der Ablauf der Klärwerke in den Seebädern wird vor Einleitung in das Meer gechlort. Bei den besuchten Anlagen wird hierzu Calciumhypochlorid verwendet. Die Environmental Engineering Association of Thailand (EEAT, 1997) empfiehlt für das Belebungsverfahren einen Chlorgehalt von 2 bis 15 mg/l bei einer Kontaktzeit von 30 Minuten. Der Restchlorgehalt soll zwischen 0,3 und 2 mg/l liegen.

Die Klärwerke werden von einheimischen Firmen geplant und gebaut. Auch einfachere mechanische Ausrüstungsstücke wie handgeräumte Rechen oder Räumere stammen aus einheimischer Produktion. Aufwendigere Ausrüstungsstücke wie automatische Rechen- bzw. Siebanlagen, Pumpen und Messgeräte werden weitgehend importiert.

6.2 Industrieabwasserreinigung

Es wurden insgesamt neun Industrieklärwerke besucht bzw. deren Daten ausgewertet. Die Kapazität dieser Anlagen liegt zwischen 150 und 1 000 m³/d. Alle Anlagen arbeiten trotz der z. T. hohen BSB-Konzentrationen im Zufluss von bis zu 9 000 mg/l nach dem Belebungsverfahren mit Schlammstabilisierung. Die TS-Gehalte der Belebungsbecken liegen mit 1,1 bis 5,4 g/l deutlich über denen der meisten kommunalen Anlagen. Einigen Anlagen sind Schönungsteiche oder Pflanzenbeete nachgeschaltet. Das Klärwerk einer Molkerei betreibt eine ältere Stählermatik-Anlage (Bild 7), der später im Rahmen einer Kapazitätserweiterung eine Belebungsanlage angefügt wurde.

Die Industrieklärwerke werden einfach und mit nur einem Minimum an mechanischer Ausrüstung gebaut (Bild 8). Niedrigen Investitionskosten und einem störungsfreien Betrieb werden offensichtlich höhere Bedeutung beigemessen als optimierten Betriebskosten, wie sie sich z. B. aus einer energetisch optimierten Sauerstoffversorgung oder aus Personaleinsparungen ergeben könnten.



Bild 7: Stählermatikanlage in einer Molkerei



Bild 8: SB-Reaktor in einem lebensmittelverarbeitenden Betrieb (im Bau)

6.3 Dezentrale Abwasserreinigung

Die meisten Anwesen in Thailand verfügen über eine eigene biologische Abwasserbehandlungsanlage, meist als Septic Tank. Diesen Anlagen muss zumindest das Schwarzwasser zugeführt werden, während Grauwasser bei entsprechender Trennung auch direkt in die Entwässerungskanäle bzw. die Vorfluter eingeleitet werden kann. Der Überlauf der Septic Tanks wird versickert oder ebenfalls in das Entwässerungsnetz oder einen natürlichen Vorfluter eingeleitet. Die Dimensionierung der Septic Tanks basiert auf einfachen Erfahrungswerten für das erforderliche Volumen, bezogen auf Wohneinheiten. Septic Tanks sind auch das Standardverfahren in allen Gebieten ohne eigene Entwässerungsnetze.

Größere Bürokomplexe, Krankenhäuser, Hotels und ähnliche Anlagen verwenden überwiegend Kleinkläranlagen, die ebenfalls als Belebungsanlagen mit Schlammstabilisierung arbeiten. Hierzu werden sowohl von inländischen als auch von ausländischen Herstellern mehrere Typen angeboten. So bietet z. B. die Wastewater Management Authority selbst ein System an, das in Ausbaugrößen für 200 bis 3 000 Einwohner erhältlich ist. Diese Anlagen bestehen aus einem Ausgleichsbecken, einem belüfteten Behälter (Belebung) und einem Absetzbehälter. Alle Behälter sind aus Fiberglas hergestellt. Die Ausgleichsbehälter haben ein Volumen von 31,2 bis 68,7 m³, die belüfteten Behälter ein Volumen von 31,2 bis 89,7 m³ und die Sedimentationsbehälter ein Volumen von 6,7 oder 18 m³.

Bei Anwesen in Gebieten mit einer geringen Bebauungsdichte werden häufig auch Abwasserteiche eingesetzt.

7 Kosten und Tarife

Bild 9 zeigt die Baukosten von neueren unbelüfteten Abwasserteichen und Belebungsanlagen. Versucht man mit diesen Angaben eine grobe Abschätzung des Kostenniveaus im Vergleich zu Deutschland, so ergibt sich folgendes: Die auf die Kapazität der Klärwerke (5 000 - 30 000 m³/d) bezogenen Baukosten betragen unter Vernachlässigung der Streuungen etwa 56 000 bis 14 000 Baht/(m³/d) oder etwa 1 100 - 280 EUR/(m³/d) (1 EUR ≈ 50 Baht). Für Klärwerke gleicher Größenordnung wären nach Imhoff (1999) etwa 3 100 - 2 000 EUR/(m³/d) anzusetzen.

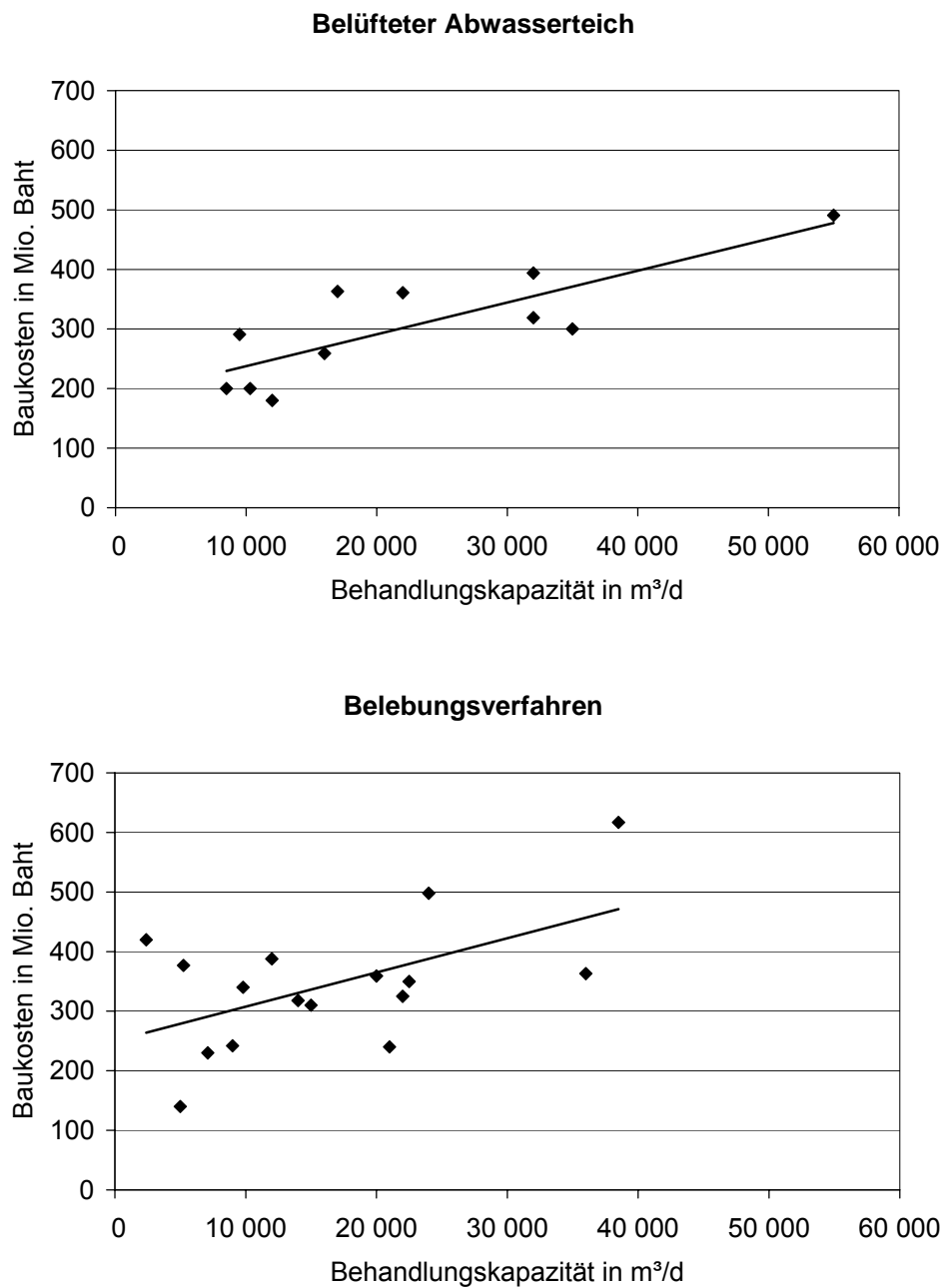


Bild 9: Baukosten von Abwasserbehandlungsanlagen in Thailand (außerhalb Bangkok) in Abhängigkeit von Reinigungsverfahren und Behandlungskapazität (nach Daten der Wastewater Management Authority, 1998)

Für die großen Sammelkanäle in Bangkok mit Durchmessern von 2 500 und 3 200 mm ergaben sich mittlere Baukosten von ca. 2 200 EUR/m. Im Masterplan für das Stadtgebiet von Bangkok von 1998 werden als Gesamtkosten der Abwasserentsorgung 9,96 Baht/m³ bzw. 0,20 EUR/m³ genannt. Die Kosten für einen Hausanschluss liegen in Bangkok bei 120 EUR.

Folgende Preise dienen zum Vergleich: Ein Bauarbeiter kostet zwischen 6 und 10 EUR/d zuzüglich 5 % Sozialabgaben. Beton frei Baustelle kostet in „normaler“ Qualität 36 EUR/m³ und Stahl ebenfalls in „normaler“ Qualität 420 EUR/t. Grundstückspreise liegen in Bangkok zwischen 20 und 2 000 EUR/m², der Strompreis bei 0,06 EUR/kWh.

Abwassergebühren werden in Thailand nicht in allen Gemeinden erhoben. In Bangkok beträgt die Abwassergebühr für Haushalte 6 Baht/m³ bzw. 0,12 EUR/m³. Sie liegt damit bei etwa der Hälfte des Wasserpreises. Zur Zeit der Besichtigungsreise war in Bangkok die Abschaffung der Abwassergebühren in der Diskussion.

Für Industrie und Gewerbe gelten eigene Gebührensätze. So erhebt z. B. die Gemeinde Pathong auf Phuket von Hotels eine Abwassergebühr von 600 Baht/a bzw. 12 EUR/a pro Hotelzimmer.

8 Abwasserwiederverwendung

Eine Abwasserwiederverwendung wird in Thailand vereinzelt betrieben. Spezielle Vorschriften hierfür bestehen jedoch noch nicht.

Beispiele für eine Abwasserwiederverwendung sind die Aufbereitung von Grauwasser und seine Verwendung als Brauchwasser in einem größeren Krankenhaus und in mehreren Hotels. In einem der Hotels werden pro Tag etwa 7 000 m³ Abwasser wiederverwendet. Ein Klärwerk der Gemeinde Hua Hin, das mit einer Abwasserdesinfektion ausgestattet ist, liefert das aufbereitete Abwasser zur Bewässerung eines Golfplatzes in der Nachbargemeinde Cha Am. Die wiederverwendete Abwassermenge beträgt 2 000 - 3 000 m³/d, was in etwa einem Drittel der Gesamtkapazität des Klärwerks entspricht.

Die Abwasserwiederverwendung bietet den Nutzern Kostenvorteile. In einem Beispiel betragen die Aufbereitungskosten für das Grauwasser 1,5 Baht/m³ bzw. 0,03 EUR/m³. Dies ist größenordnungsmäßig etwa ein Zehntel dessen, was für den Bezug von Trinkwasser zu bezahlen wäre.

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Die Anforderungen an den Ablauf der Klärwerke entsprechen in Thailand internationalen Standards, jedoch ohne die Forderung nach einer Nährstoffelimination. Für die Festlegung der Grenzwerte und die Überwachung der Anlagen sind verschiedene Institutionen zuständig, wie z. B. das Ministry of Natural Resources and Environment für die Festlegung von Mindeststandards für die verschiedenen Um-

weltbereiche oder das Ministry of Industry für die Ablaufgrenzwerte und die Überwachung von Industriekläranlagen. Mit zwei neugeschaffenen Organisationen, dem Pollution Control Department und der Waste Water Management Authority, wurde eine Vereinheitlichung eingeleitet.

In den 90er Jahren wurde die Abwasserreinigung in Thailand erheblich ausgebaut. Zusätzlich zu den in einigen großen Städten und Touristenzentren bestehenden Kläranlagen wurden ca. 80 Anlagen neu gebaut oder erweitert, so dass heute die meisten großen und mittleren Städte über ein zentrales Klärwerk verfügen. Die Entwurfskriterien dieser Anlagen sind meistens der amerikanischen Literatur entnommen. Eine Anpassung an die speziellen Verhältnisse in Thailand findet bisher nur sehr begrenzt statt.

Die Beschaffenheit des kommunalen Abwassers ist in Thailand sehr stark durch die traditionelle Form der Abwasserentsorgung geprägt: Jeder Hauseigentümer ist verpflichtet, das Abwasser selbst biologisch zu reinigen. Hierzu dienen Septic Tanks oder bei größeren Anwesen Kleinkläranlagen. Der Abfluss dieser Anlagen fließt, soweit er nicht von Vorflutern aufgenommen wird, den Kanalisationen zu, so dass der Zufluss zu den Kläranlagen weitgehend vorbehandelt ist. Die BSB₅-Werte liegen z. B. meist bei ca. 50 mg/l oder darunter. Ein weiteres Merkmal ist der Wechsel von trockener Jahreszeit und Regenzeit mit sehr intensiven Regnen und den entsprechenden Auswirkungen auf den Mischwasserzufluss. Die Abwassertemperatur liegt meist bei ca. 30 °C.

Bei den neueren kommunalen und industriellen Kläranlagen sind belüftete und unbelüftete Teiche und das Belebungsverfahren mit simultaner Schlammstabilisierung die häufigsten Verfahren. Eine anaerobe Schlammbehandlung wurde nur in einem Fall angetroffen. Die häufigsten Verfahren zur Schlammbehandlung sind Trockenbeete und Siebbandpressen. In den Seebädern wird der Kläranlagenablauf vor Einleitung in das Meer mit Chlor desinfiziert. Die einfache mechanische Ausrüstung wird lokal hergestellt, die technisch aufwändigere Ausrüstung wie Pumpen, automatische Rechenanlagen oder Siebbandpressen importiert. Für den Betrieb der Kläranlagen steht bisher praktisch kein speziell ausgebildetes und erfahrenes Personal zur Verfügung. Es ist jedoch beabsichtigt, in Zusammenarbeit mit der Japanese International Cooperation Agency (JICA) ein Ausbildungsprogramm aufzubauen.

Betreiber der Kläranlagen sind die Kommunen, die einzelnen Industriebetriebe oder bei Kleinkläranlagen die Eigentümer. Der Betrieb der Anlagen kann privaten

Betreibern und bei kommunalen Anlagen auch der Water Management Authority übertragen werden.

Das lokale Preisniveau für Bauleistungen ist in Thailand im Vergleich zu Industrieländern sehr niedrig. Importe sind deshalb in Relation zu den lokalen Leistungen ein hoher Kostenfaktor.

10 Literatur und Quellen

Chevakidagarn, P. (2004) Upgrading the conventional activated sludge process under tropical temperature conditions. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft der Ruhr-Universität Bochum Bd. 48

EEAT (1997) Bemessungswerte für den Entwurf von Klärwerken. Environmental Engineering Association of Thailand (in Thai)

Enhancement and Conservation of the National Environmental Quality Act, B.E. 2535, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, 1992, www.pcd.go.th/info_serv/en_reg_envi.html (03.12.2004)

Factory Act, B.E. 2535, Ministry of Industry, Thailand, 1992, www.diw.go.th/law/lawface.htm (03.12.2004)

Imhoff, K. und Imhoff, K. R. (1999) Taschenbuch der Stadtentwässerung. 29. Aufl., Oldenbourg Verlag, München

Kühn, W., Lipp, P., Müller, U., Schlitt, V. und Stauder, S. (2003) Praxiserfahrungen bei der Trinkwassergewinnung in anderen Ländern. Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WT0207, Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil I: Trinkwasser, Band 1, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe

Ministry of Science, Technology and Environment (1994) Building Effluents Standards. Royal Government Gazette, Vol. 111 special part 9, dated February 4, 1994, B.E.2537, Thailand, www.pcd.go.th/info_serv/en_reg_std_water04.html#s3 (02.12.2004)

PCD (2004) Effluent Standards. www.pcd.go.th/info_serv/en_reg_std_water.html (02.12.2004)

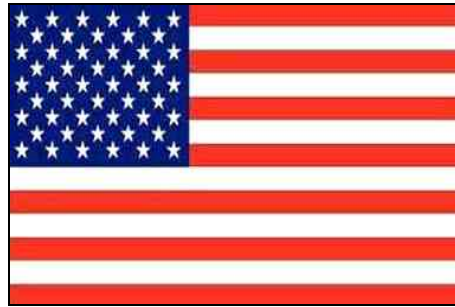
Wastewater Management Authority (1998) Klärwerke in Thailand (in Thai)

wetter.com AG (2004) Klimadatenbank. www.wetter.com (06.12.2004)

11 Anlagen (auf CD beigelegt)

Anlage 1: Ergänzende Angaben zu den besuchten Klärwerken

Anlage 2: Kontaktadressen



USA

Hermann Orth,
Ruhr-Universität Bochum



1 Einleitung

In der Zeit vom 15.03. bis 30.03.2004 wurden zehn Klärwerke in Kalifornien und in Nevada besucht. Weitere Informationen wurden am California State Water Resources Control Board zu gesetzlichen Regelungen, zur Abwasserwiederverwendung und zu einigen allgemeinen Fragen erhoben. An der University of California in Davis, die auf dem Gebiet der Abwasserwiederverwendung führend ist, wurden weitere Gespräche zu diesem Themenkomplex geführt.



Bild 1: Lage der besuchten Klärwerke in Kalifornien und Nevada

Die US-amerikanische Abwassertechnik ist in der internationalen Fachliteratur und insbesondere durch einige weltweit verbreitete Lehrbücher gut dokumentiert. Als ein Schwerpunkt der Besichtigungen wurde deshalb die Abwasserwiederverwendung gewählt, die einerseits noch weniger bekannt, für eine exportorientierte For-

schung und Entwicklung jedoch von besonderer Bedeutung ist. Entsprechend dieser Zielsetzung wurden auch nur Kläranlagen besucht, die eine Abwasserwiederverwendung betreiben. Sie wurden allerdings so ausgewählt, dass unterschiedliche Verwendungsarten und sehr unterschiedliche Methoden der Vorbehandlung erfasst wurden. Durch diese Methoden der Vorbehandlung wird auch die allgemeine Abwasseraufbereitungstechnik abgedeckt.

Die besuchten Kläranlagen liegen überwiegend in Kalifornien, eine Anlage in Nevada (Bild 1 und Tabelle 1). Für diese Auswahl gab es neben der führenden Stellung Kaliforniens in der Abwasserwiederverwendung weitere Gründe: Mit den ausgewählten Klärwerken ließen sich alle wesentlichen Klimazonen der USA erfassen. Weiterhin gilt Kalifornien als führend im Umweltsektor mit z. B. 16 000 einschlägigen Unternehmen und es ist in der Umweltgesetzgebung vielfach Vorreiter für andere Bundesstaaten und die US-Bundesregierung.

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zu den besichtigten Klärwerken in den USA

| Ort | Verfahren | Kapazität in 1 000 m ³ /d | Wiederverwendung | |
|----------------------------|--|---|---|---------------------------------|
| | | | Aufbereitung ¹⁾ | Verbringung |
| Truckee | Belebungsverf. (Phostrip), chem. Stufe | 49 | Filtration, Bodenpassage | Fluss (Rohwasser- quelle) |
| Reno | Belebungsverf., Tropfkörper | 100 | Filtration | Bewässerung |
| Oakley | Belüftete Teiche | 11 | - | Bewässerung |
| Sacramento | Belebungsverf. (Reinsauerstoff) | 1 100 | Flockung, Filtration | Bewässerung |
| West Basin/ Los Angeles | Belebungsverf. | 2 460 | Filtration, Mikrofiltration, Umkehrosiose | Industrie, Bewässerung |
| Irvine | Belebungsverf. | 57 | Filtration | Bewässerung |
| Monterey | Tropfkörper, Belebungsverf. | 250 | Filtration | Bewässerung |
| Petaluma | Belebungsverf., Tropfkörper | 19 | - | Bewässerung |
| Santa Rosa | Belebungsverf. | 73 | Filtration | Bewässerung |
| Redding | Belüfteter Teich | 0,3 | - | Bewässerung |

1) Biologische Vorbehandlung und Desinfektion obligatorisch

2 Gesetzliche Regelungen

2.1 Umweltgesetzgebung und Grenzwerte

Als rechtliche Grundlage für den Entwurf und Betrieb von Klärwerken in den USA wirken verschiedene Gesetze und Vorschriften zusammen. Der Clean Water Act von 1977 enthält Mindeststandards, die von jedem Emittenden einzuhalten sind und regelt das Verfahren einer Einleitgenehmigung. Der Clean Water Act wurde 1987 durch den Water Quality Act fortgeschrieben, unter anderem wurden erhebliche Strafen für den Fall einer Verletzung einer Einleitgenehmigung eingeführt. Ein besonderes Merkmal der Mindestanforderungen (Tabelle 2) und der in den Einleitgenehmigungen einzelner Klärwerke formulierten weitergehenden Anforderungen ist, dass von der Messperiode (7 Tage, 30 Tage) abhängige Grenzwerte gelten. Die in Tabelle 2 gezeigten erhöhten Werte für Tropfkörper und Abwasserteiche gelten nur, wenn die Vorfluter hierdurch nicht unzulässig belastet werden. Ausnahmen sind im Fall von Mischsystemen, bestimmten Industriebereichen und dünnem Abwasser aus Trennsystemen zulässig.

Tabelle 2: Mindestanforderungen an die biologische Abwasserbehandlung (Secondary Treatment) in den USA (Metcalf & Eddy, 2003, verändert)

| Anlagenart | Perioden- dauer d | Periodendurchschnitt | | | pH-Wert - |
|---|-------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------|
| | | BSB ₅ | Ungelöste Stoffe | Eliminati- onsrate | |
| | | mg/l | mg/l | % | |
| Biologische Behandlung (Secondary Treatment) | 30 | 30 | 30 | 85 | 6 - 9 |
| | 7 | 45 | 45 | - | 6 - 9 |
| Tropfkörper und Abwasserteiche | 30 | 45 | 45 | - | 6 - 9 |
| | 7 | 65 | 65 | - | 6 - 9 |

Der Begriff Secondary Treatment als Mindestanforderung beinhaltet die Elimination von biologisch abbaubaren Substanzen und von abfiltrierbaren Stoffen. Eine Nährstoffelimination ist nicht generell erforderlich, jedoch eine Desinfektion. Auf eine Desinfektion kann bei direkter Einleitung ins Meer verzichtet werden.

Seit 2002 ist weiterhin das Konzept der Total Maximum Daily Load (TMDL) in Kraft. Die TMDL ist die maximale tägliche Zufuhr einer Belastungskomponente, die ein Gewässer erhalten darf, um die geforderten Gewässergütestandards einzuhalten. Die TMDL setzt sich aus den punktförmigen Einleitungen, diffusen Ein-

leitungen, natürlichen Grundbelastungen und Sicherheitstoleranzen zusammen. Die TMDL-Werte müssen durch umfangreiche, das ganze jeweilige Einzugsgebiet einbeziehende Studien bzw. Programme ermittelt werden. Bei mehreren der betrachteten Klärwerke führte die Anwendung des Konzeptes der TMDL dazu, dass saisonal oder ganzjährig eine Abwasserableitung nicht mehr zulässig war und stattdessen eine Abwasserwiederverwendung betrieben wurde oder in naher Zukunft betrieben wird.

Vorschriften zur Verwendung und zur Verbringung von Klärschlamm enthält der Code of Federal Regulations (CFR), Title 40, Part 503. Hierzu gehören Grenzwerte für einzelne Inhaltsstoffe wie z. B. Metalle, für den Gehalt an pathogenen Keimen oder krankheitsübertragende Organismen (vector attraction).

Die National Combined Sewer Overflow (CSO) Control Policy von 1994 regelt Planung, Entwurf und Umsetzung von Konzepten zur Überlaufwasserbehandlung. Damit soll das Erreichen der Ziele des Clean Water Act sichergestellt werden.

2.2 Vorschriften zur Abwasserwiederverwendung

Obwohl die U. S. Environmental Protection Agency 1992 Guidelines for Water Reuse (EPA, 1992) herausgab, blieb die Regelung der Abwasserwiederverwendung weitgehend den Bundesstaaten überlassen. Sie formulieren die Ausführungsvorschriften, die die maßgebenden Parameter und die zugehörigen Grenzwerte, Aufbereitungsverfahren und zulässigen Wiederverwendungsarten festlegen.

Über die ältesten und wohl auch detailliertesten Vorschriften für die Abwasserwiederverwendung verfügt Kalifornien. Hier ist das Department of Health Services (DHS) für die Formulierung gesundheitsrelevanter Standards zuständig. Die Umsetzung dieser Standards liegt dann bei den neun Regional Water Control Boards, die dem State Water Resources Control Board unterstehen. Sie formulieren für den Einzelfall die Anforderungen an Einleitungen und in Zusammenarbeit mit dem DHS an eine Abwasserwiederverwendung, d. h. sie erteilen die entsprechenden Genehmigungen und überwachen ihre Einhaltung. Die Anforderungen an eine Abwasserwiederverwendung sind im California Code of Regulations, Title 22 formuliert. Sie enthalten u. a. Wassergütestandards, Anforderungen an das Aufbereitungsverfahren, den Betrieb und die Zuverlässigkeit der Aufbereitung, sowie Anforderungen an Bewässerungsgebiete. Für aufbereitetes Abwasser sind vier Qualitätskategorien definiert, denen dann bestimmte zulässige Verwendungsarten zugeordnet sind. So wird z. B. „Disinfected Tertiary Recycled Water“, das für prak-

tisch alle Wiederverwendungsarten außer Trinkwasser, Lebensmittelverarbeitung und Grundwasseraufhöhung zugelassen ist, durch folgende Anforderungen definiert:

- Biologische Aufbereitung (Secondary Treatment),
- Filtration,
- Desinfektion entweder mit Chlor mit einem Produkt aus Restkonzentration und Einwirkzeit von mindestens 450 mg-min/l und einer Einwirkzeit von mind. 90 Minuten oder ein Verfahren, das eine definierte Bakteriophagenart oder Polio-Viren um mindestens fünf Zehnerpotenzen reduziert,
- Gehalt an polyformen Keimen maximal:
 - 2,2 MPN/100 ml als Medianwert einer 7-Tage-Periode,
 - 23 MPN/100 ml in höchstens einer Probe einer 30-Tage-Periode,
 - 240 MPN/100 ml in jeder einzelnen Probe.

Die in dieser Definition enthaltenen Begriffe des Secondary Treatment und Filtration sind wiederum genau definiert, wobei diese Definitionen ebenfalls erforderliche Aufbereitungsschritte beinhalten. Tabelle 3 zeigt als Beispiel die Definition der Filtration.

Tabelle 3: Definition von filtriertem Abwasser im California Code of Regulations (2002)

| |
|--|
| <p>“Filtered wastewater” means an oxidized wastewater that meets the criteria in subsection (a) or (b):</p> <p>(a) Has been coagulated and passed through natural undisturbed soils or a bed of filter media pursuant to the following:</p> <p>(1) At a rate that does not exceed 5 gallons per minute per square foot of surface area in mono, dual or mixed media gravity, upflow or pressure filtration systems, or does not exceed 2 gallons per minute per square foot of surface area in traveling bridge automatic backwash filters; and</p> <p>(2) So that the turbidity of the filtered wastewater does not exceed any of the following:</p> <p>(A) An average of 2 NTU within a 24-hour period;</p> <p>(B) 5 NTU more than 5 percent of the time within a 24-hour period; and</p> <p>(C) 10 NTU at any time.</p> <p>(b) Has been passed through a microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, or reverse osmosis membrane so that the turbidity of the filtered wastewater does not exceed any of the following:</p> <p>(1) 0.2 NTU more than 5 percent of the time within a 24-hour period; and</p> <p>(2) 0.5 NTU at any time.</p> |
|--|

2.3 Zuständigkeiten

Die kommunale Abwasserreinigung liegt in der Zuständigkeit der Gemeinden. Bei der Mehrzahl der besichtigten Klärwerke fiel das Einzugsgebiet des Klärwerks nicht mit den Gemeindegrenzen zusammen und die Klärwerke wurden von mit Zweckverbänden vergleichbaren Organisationen betrieben. An der Spitze dieser Agencies steht ein Board of Directors, das sich in der Mehrzahl der Fälle aus fünf gewählten Mitgliedern zusammensetzt. Die Mitgliederzahl ist jedoch nicht fest. So gehören z. B. dem Board of Directors der Monterey Regional Water Pollution Control Agency zwölf Mitglieder an, die jeweils eines der angeschlossenen Teilgebiete vertreten. Zu den Aufgaben des Boards of Directors gehört die Ernennung des General Managers, die allgemeine Dienstaufsicht und die Festlegung der Gebühren.

Die Aufgaben eines Verbandes sind allgemein Planung, Bau und Betrieb der Anlagen. Welche Anlagen von einem Verband betrieben werden, ist unterschiedlich. Es kann nur das Klärwerk sein oder zusätzlich auch das Hauptsammlernetz oder das gesamte Sammlernetz. Bei einigen der besichtigten Klärwerke führte der entsprechende Verband gleichzeitig die gesamte Abfallentsorgung durch. Die Gemeinden oder Verbände können den Betrieb der Klärwerke auch einem privaten Betreiber übertragen.

Die Betriebserlaubnis für Klärwerke in Kalifornien wird, ebenso wie für die Abwasserwiederverwendung, von den Regional Water Quality Control Boards erteilt, zu deren Aufgaben zugleich die Überwachung der Klärwerke gehört. Bei der Mehrzahl der besichtigten Klärwerke gingen die in der Betriebserlaubnis formulierten Anforderungen weit über die Mindestanforderungen hinaus. Als Beispiel sei die Betriebserlaubnis für das Klärwerk in Santa Rosa erwähnt. Sie befasst sich u. a. in acht Unterpunkten mit Einleitverboten wie z. B. der Beschränkung der eingeleiteten Abwassermenge in Abhängigkeit von der Wasserführung des Vorfluters oder einem von der Jahreszeit abhängigen vollkommenen Einleitverbot. Acht weitere Unterpunkte befassen sich mit dem Zustand des Vorfluters und definieren z. B. bestimmte Werte für den Sauerstoffgehalt, den pH-Wert oder die Temperatur, die durch die Einleitung nicht über- oder unterschritten werden dürfen. Die Betriebserlaubnis enthält auch Strafen für den Fall einer Verletzung der Betriebserlaubnis. Es handelt sich hierbei um persönliche Strafen für die jeweils Verantwortlichen, die von hohen Geldstrafen bis hin zu Gefängnisstrafen reichen.

Eine weitere wesentliche Aufgabe der Regional Water Quality Control Boards ist die Gewässergüteplanung für die jeweiligen Flussgebiete. Aus diesen Planungen

leiten sich dann die z. T. sehr weitgehenden und individuellen Anforderungen an einzelne Klärwerke ab.

Den Regional Water Quality Control Boards übergeordnet ist das State Water Resources Control Board. Es ist als Rahmenbehörde an der Gewässergüteplanung beteiligt. Weitere Aufgaben sind u. a. die Zuweisung von Wasserrechten und die finanzielle Unterstützung einzelner Maßnahmen. An der Abwasserwiederverwendung ist weiterhin das Department of Health Services maßgeblich beteiligt. Es legt die Kriterien bzw. Anforderungen für die Abwasserwiederverwendung fest.

3 Allgemeine Angaben

3.1 Wasserwirtschaftliche Rahmensituation

Entsprechend der Größe und der geographischen Vielfalt der Vereinigten Staaten treten als Vorfluter für die Klärwerke Flüsse, Seen, Ästuar und Buchten, sowie für die Küstenstädte der Atlantische und der Pazifische Ozean und der Golf von Mexico auf. Es sind z. T. sehr empfindliche Gewässersysteme wie z. B. einige Seen oder die tief ins Inland reichenden Buchten um San Francisco. Das Bemühen, diese Gewässer in einem weitgehend natürlichen Zustand zu erhalten bzw. in diesen zurückzuführen, führte zu den im Einzelfall sehr weitgehenden und von der jeweiligen Vorflutersituation abhängigen Anforderungen an die Abwasserreinigung. So bestehen z. B. für die San Pablo Bay im Norden von San Francisco und die Flüsse in ihrem Einzugsgebiet saisonale Einleitverbote, für den in 1 900 m Höhe liegenden Lake Tahoe ein generelles Einleitverbot. An Einleitungen in Flüsse, die in ihrem Unterlauf als Rohwasserquelle der Trinkwasserversorgung dienen, werden ebenfalls sehr hohe Anforderungen gestellt.

Im Westen und Süd-Westen sind weite Teile des Landes durch einen erheblichen Wassermangel gekennzeichnet. Er resultiert einerseits aus begrenzten natürlichen Wasservorkommen wie z. B. in den Gebieten im Lee der Sierra Nevada, andererseits aus der schnellen wirtschaftlichen Entwicklung und dem hohen Bevölkerungswachstum in einigen Ballungsräumen. Zusätzlich sind in den Gebieten mit geringen natürlichen Wasservorkommen große Wassermengen für die landwirtschaftliche Bewässerung erforderlich.

Dem Wassermangel wird durch sehr unterschiedliche Maßnahmen entgegengewirkt. Der Großraum von Los Angeles erhält zum Beispiel Rohwasser aus dem Norden und aus dem Colorado River über Entfernungen von ca. 900 bzw. 400 km. Als völlig andere Maßnahme wurden 80 000 Wasserspartoiletten kostenlos ver-

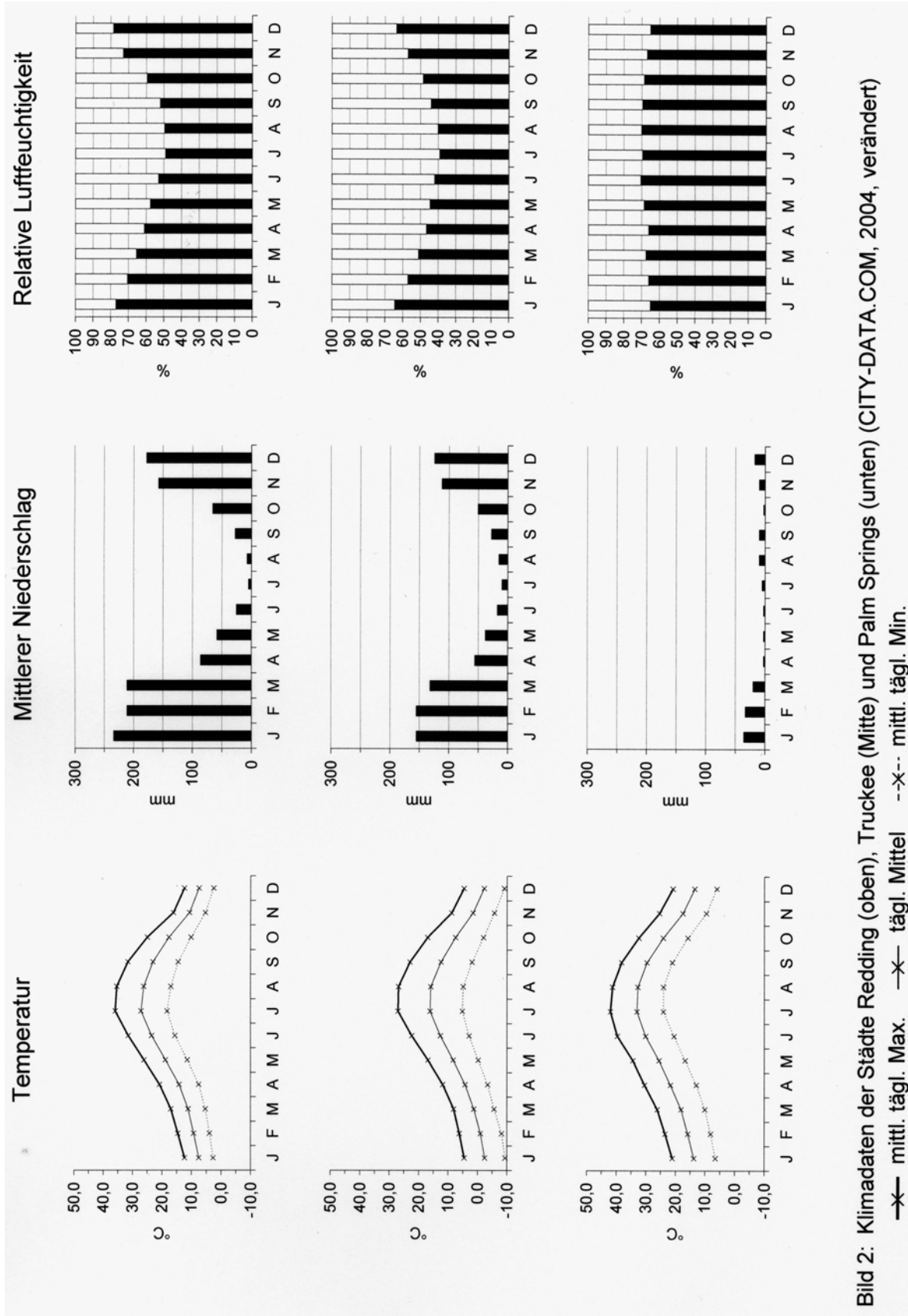
teilt, um in der Bevölkerung das Bewusstsein für Wassersparmaßnahmen zu fördern.

Als weitere wichtige Maßnahme um dem Wassermangel entgegenzuwirken, gewinnt die Abwasserwiederverwendung eine immer größere Bedeutung. Dabei sind zwei Ziele zu unterscheiden, nämlich der Ersatz anderer Wasserquellen und die Schonung der Vorfluter durch Verminderung oder Vermeidung von Abwassereinleitungen. Bei den besichtigten Klärwerken erreichte die als Ersatz anderer Wasserquellen aufbereitete Abwassermenge bis zu einem Drittel des gesamten Abwasseranfalls. Zum Schutz der Vorfluter wird bei einigen Klärwerken sogar jegliche Abwasserableitung in Gewässer vermieden.

3.2 Klima

Das Klima in den Vereinigten Staaten wird durch die Breitenlage, den Verlauf der Gebirgszüge und die Flächenausdehnung einzelner Regionen bestimmt. Die Temperaturen sind im Süden subtropisch warm-gemäßigt, im Norden kühl-gemäßigt. Im Inneren des Landes herrscht ein ausgeprägtes Kontinentalklima mit hohen Temperaturunterschieden zwischen Winter und Sommer vor. In Ohama/Nebraska schwankt z. B. das mittlere tägliche Temperaturmaximum zwischen - 0,2 °C im Januar und 32 °C im Juli, in Houston/Texas dagegen nur zwischen 16,6 °C im Januar und 33,8 °C im August.

Noch ausgeprägter sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Landesteilen bei den Niederschlägen. In Florida und in den Küstengebieten im Norden Kaliforniens und Washingtons fallen bis zu 3 000 mm Niederschlag pro Jahr. In dem etwa 380 km östlich der kalifornischen Küste gelegenen Reno/Nevada fallen dagegen nur ca. 190 mm/a. Die hohen Niederschläge an der Westküste fallen jedoch überwiegend nur im Herbst, während die Sommermonate weitgehend niederschlagsfrei sind, so dass die Landwirtschaft auf eine Bewässerung angewiesen ist.



Große klimatische Unterschiede weisen bereits die verschiedenen Landesteile Kaliforniens auf, so dass sich hier auch für die Klärwerke sehr unterschiedliche Bedingungen ergeben. Das Klärwerk Truckee liegt in 1 780 m Höhe bei minimalen und maximalen Monatsmittelwerten der Temperatur zwischen - 10 °C im Januar und 28 °C im Juli. Von Oktober bis Mai fällt Schnee. In Los Angeles dagegen liegen die entsprechenden Werte zwischen 8 und 28 °C, in Death Valley zwischen 3 und 47 °C. Von Norden nach Süden fällt die Niederschlagshöhe stark ab. In der Zentralebene und in Südkalifornien fallen im Sommer nur sehr geringe Niederschläge. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagshöhe beträgt z. B. in Redding 1 267 mm, in Truckee 799 mm, in Los Angeles 381 mm und in Palm Springs 152 mm. Bild 2 verdeutlicht die unterschiedlichen Klimata.

3.3 Stand der Abwasserentsorgung

In den Vereinigten Staaten werden über 16 000 kommunale Klärwerke mit einer Gesamtkapazität von ca. $160 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ betrieben. Der größte Teil der Bevölkerung ist an ein zentrales Klärwerk angeschlossen und nur in Gebieten mit einer geringen Bevölkerungsdichte wird eine dezentrale Behandlung betrieben, in der Regel in Septic Tanks.

Das häufigste Aufbereitungskonzept ist Secondary Treatment (Tabelle 4). Der Begriff beinhaltet eine mechanische und biologische Behandlung zur Elimination der abfiltrierbaren Stoffe und der abbaubaren organischen Stoffe. Die meisten Anlagen sind zusätzlich mit einer Desinfektion ausgestattet. Das Standardverfahren zur Desinfektion ist eine Chlorung. Neuerdings wird auch zunehmend eine UV-Bestrahlung eingesetzt.

Eine Nährstoffelimination fällt bereits unter den Begriff „greater than secondary“ (Tabelle 4). Als Folge einer verstärkten Immissionsbetrachtung werden mehr und mehr Klärwerke mit einer Nährstoffelimination ausgestattet. Ein weiterer häufiger Verfahrensschritt ist eine Filtration, in der Regel nach Zugabe von Flockungshilfsmitteln. Die Filtration wird auch als Vorstufe der Abwasserdesinfektion eingesetzt und hier insbesondere bei einer Desinfektion durch UV-Bestrahlung.

Tabelle 4: Anzahl kommunaler Klärwerke in den USA im Jahre 1996 (Metcalf & Eddy, 2003, verändert)

| Level of treatment | Existing facilities | | Future facilities (when needs are met) | |
|----------------------------|----------------------|-------------------|---|-------------------|
| | Number of facilities | m ³ /s | Number of facilities | m ³ /s |
| Less than secondary | 176 | 133.80 | 61 | 26.33 |
| Secondary | 9,388 | 776.98 | 9,738 | 779.65 |
| Greater than secondary | 4,428 | 876.96 | 6,135 | 1,252.53 |
| No discharge ¹⁾ | 2,032 | 62.26 | 2,369 | 78.99 |
| Total | 16,024 | 1,850.00 | 18,303 | 2,137.50 |

1) Plants that do not discharge to a water body and use some form of land application.

4 Abwasserbeschaffenheit

Die Beschaffenheit des Rohabwassers ist deutschen Verhältnissen vergleichbar. Bei den besichtigten Anlagen lagen z. B. die Werte für den BSB zwischen 160 und 380 mg/l und für die abfiltrierbaren Stoffe zwischen 155 und 480 mg/l. Stickstoff und Phosphor werden weniger häufig gemessen, weil eine Nährstoffelimination nicht obligatorisch ist. Soweit Werte vorlagen, lagen sie aber ebenfalls in einem mit Deutschland vergleichbaren Bereich.

Es entstand allerdings der Eindruck einer größeren Schwankungsbreite der Abwasserbeschaffenheit. Dies erklärt sich aus der Auswahl der besichtigten Klärwerke, durch die gezielt unterschiedliche Ausgangssituationen erfasst werden sollten. Diese Auswahl repräsentiert jedoch die tatsächliche Situation, d. h. die großen Unterschiede in Klima und Lebensverhältnissen. Diese Beobachtung entspricht auch typischen Literaturwerten, die für den BSB zwischen 110 und 350 mg/l, für die abfiltrierbaren Stoffe zwischen 120 und 400 mg/l, für Stickstoff zwischen 20 und 70 mg/l und für Phosphor zwischen 4 und 12 mg/l liegen (Metcalf & Eddy, 2003).

Die Abwassertemperaturen in Kalifornien sind entsprechend der Klimazone hoch mit Monatsmittelwerten von 20 bis 25 °C. Die niedrigste Temperatur trat im Klärwerk Truckee in der Sierra Nevada auf. Die mittlere Jahrestemperatur des Abwassers beträgt hier 10 °C und die Wintertemperatur 8 °C mit Minimalwerten von 1 °C.

5 Abwasserableitung

Die Abwasserableitung geschieht überwiegend in Trenn- oder Mischsystemen. Der Anteil der Trennsysteme ist jedoch wesentlich höher als in Deutschland, wozu u. a. die vielfach geringere Bebauungsdichte und die flächenhafte Ausdehnung amerikanischer Städte wesentlich beiträgt. Im Zuge der steigenden Anforderungen an den Gewässerschutz wird dem Trennsystem auch mit dem Ziel einer Reduzierung der Gewässerbelastung zunehmend der Vorzug gegeben.

Zur Niederschlagswasserableitung finden sich häufiger als in Deutschland offene Kanäle. Die Niederschlagswasserbehandlung gewinnt ebenfalls zunehmend an Bedeutung, wobei Teiche und bepflanzte Bodenfilter bevorzugte Verfahren sind.

Insgesamt ließen sich bei der Abwasserableitung im Vergleich zu Deutschland keine Besonderheiten erkennen, die die Beschaffenheit des Abwassers und die Behandlung in den Klärwerken wesentlich verändern würden.

6 Abwasserreinigung

6.1 Gesamtkonzeption kommunaler Klärwerke

Die Gesamtkonzeptionen der besichtigten Klärwerke zeigten große Unterschiede und reichen von Teichen und belüfteten Teichen bis zu sehr komplexen Verfahrensschemata (Bild 3). Die Komplexität der Abwasserreinigung wird nur bedingt von der Anlagengröße und zu einem erheblichen Teil von den Anforderungen an die Ablaufqualität bestimmt. An die Kläranlage in Truckee mit dem in Bild 3 gezeigten Verfahrensschema sind z. B. nur etwa 35 000 Einwohner angeschlossen. Die hohen Anforderungen an die Abwasserreinigung ergeben sich in diesem Fall daraus, dass der Vorfluter der Kläranlage der unterhalb liegenden Stadt Reno als Rohwasserquelle für die Trinkwasserversorgung dient. Das mit 30 000 angeschlossenen Einwohnern in einer etwa gleichen Größenordnung liegende Klärwerk in Oakley besteht dagegen nur aus belüfteten Teichen mit einer anschließenden Desinfektion. Der Abfluss des Klärwerkes wird in diesem Fall auf Bewässerungsflächen verbracht.

Die besichtigten Klärwerke zeigten mehrere Behandlungsschritte, die in Deutschland eher selten sind, wie z. B. eine aufwändige Abluftreinigung, Ausgleichsbecken vor der biologischen Stufe, eine obligatorische Desinfektion und einen wesentlich umfangreicheren Einsatz von Chemikalien. Dagegen wird eine

Nährstoffelimination nicht flächendeckend größenabhängig betrieben, sondern nur soweit es die speziellen Vorfluterverhältnisse erfordern.

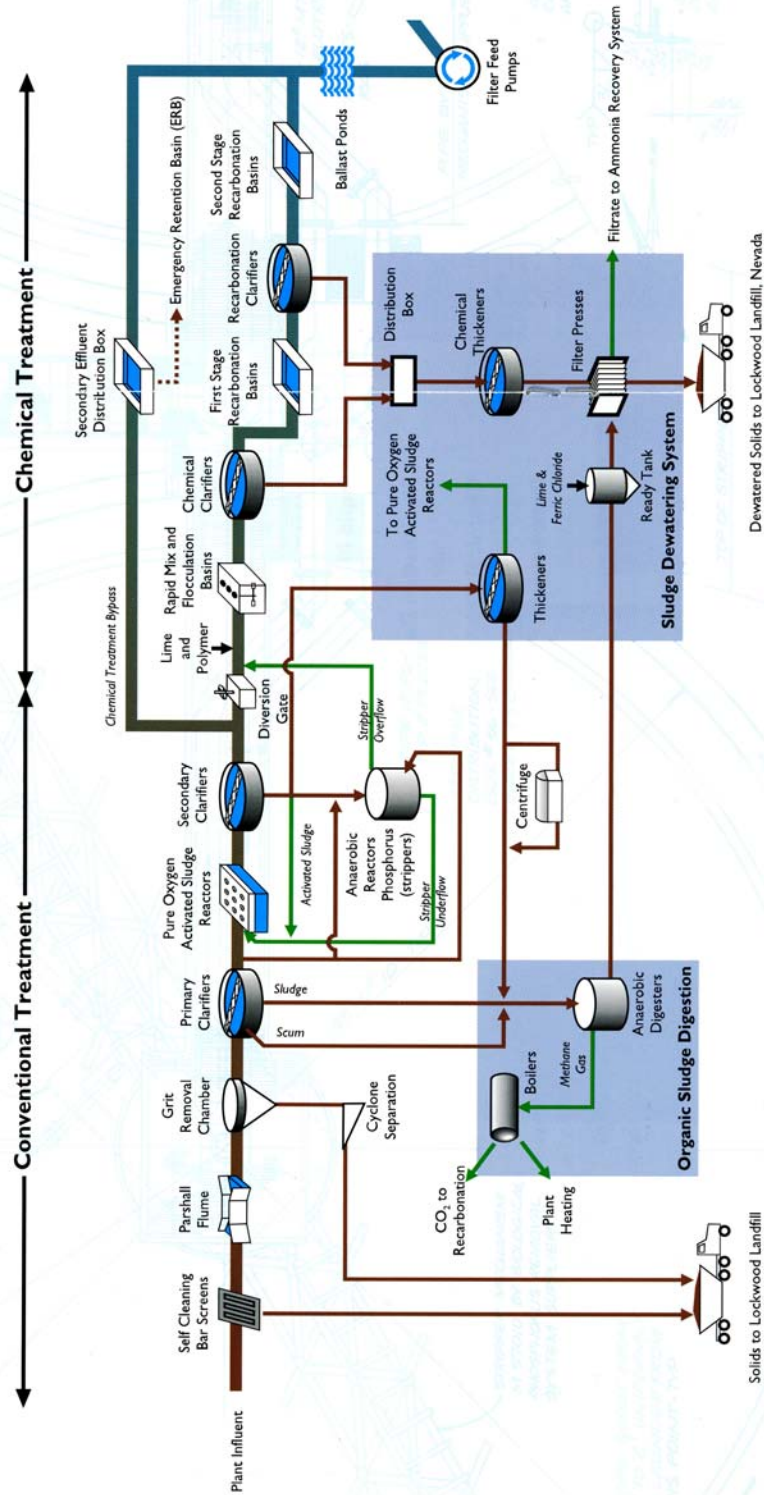


Bild 3: Verfahrensschema des Klärwerks Truckee: Konventionelle und chemische Abwasserbehandlung (Tahoe-Truckee Sanitation Agency, 2004)

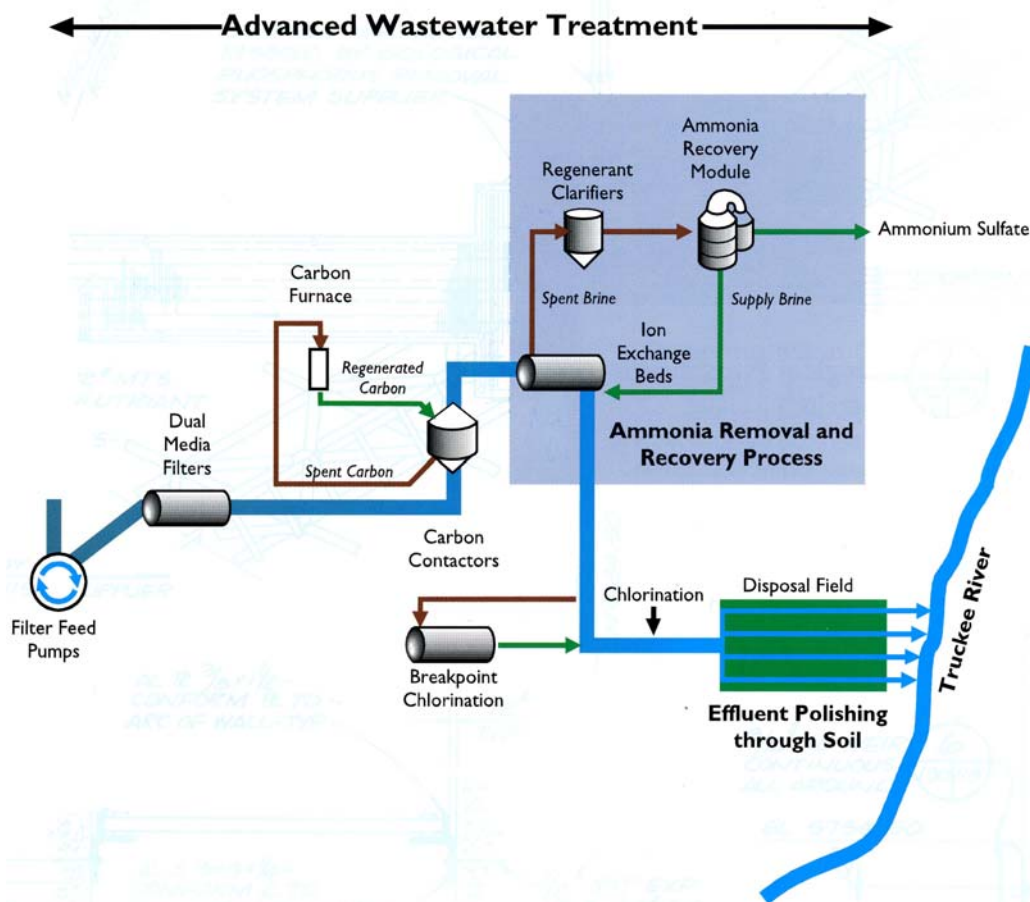


Bild 3 (Forts.): Verfahrensschema des Klärwerks Truckee: Weitergehende Abwasserbehandlung (Tahoe-Truckee Sanitation Agency, 2004)

6.2 Mechanische Stufe

Die mechanische Stufe besteht in der Regel aus Rechen, Sieben, Sandfang und Vorklärung. Bei kleineren Anlagen werden anstatt eines Rechens bzw. Siebes auch Zerkleinerer eingesetzt, um eine getrennte Rechengutentsorgung einzusparen.

Bereits in der Vorklärung werden häufig Fällungs- und Flockungshilfsmittel zugesetzt wie z. B. Aluminiumsulfat, Eisenchlorid, Calciumhydroxid und Polymere.

Die mechanische Stufe ist bei allen größeren Anlagen und allen Anlagen in der Nähe einer Bebauung eingehaust (Bild 4). Die Abluft der mechanischen Stufe wird in den besichtigten Anlagen z. T. in aufwändigen Wäschern, in einem Fall in einem Aktivkohlewäscher, gereinigt (Bild 5).



Bild 4: Vorklärbecken des Klärwerks in Truckee



Bild 5: Klärwerk Sacramento, Vordergrund: Abluftreinigungsanlage der mechanischen Stufe, Hintergrund: Abgedeckte Vorklärbecken

6.3 Biologische Stufe

Die biologische Stufe der besichtigten Klärwerke sind belüftete Teiche, Tropfkörper und in der Mehrzahl Belebungsanlagen. Zum Ausgleich der täglichen Zuflussschwankungen ist in einem Fall dem Belebungsbecken ein Ausgleichsbecken vorgeschaltet. Das Volumen des Beckens entspricht in etwa einem Drittel der Tageskapazität des Klärwerks.

Abwasserteiche werden erwartungsgemäß bei kleinen Anlagen eingesetzt. Die neueren Tropfkörper arbeiten nicht als eigenständige biologische Stufe, sondern in Verbindung mit Belebungsanlagen. Die Zielsetzung kann hierbei allerdings unterschiedlich sein. So dienen die Tropfkörper in Reno z. B. der Nitrifikation und sie sind der Belebung nach einer Zwischenklärung nachgeschaltet. In Monterey sind die Tropfkörper die erste Stufe der biologischen Behandlung und ihnen folgen ohne Zwischenklärung die Belebungsbecken.

Die Belebungsanlagen sind überwiegend mit einer feinblasigen Belüftung ausgestattet. Drei der besuchten Anlagen arbeiten mit Reinsauerstoff. Die TS-Gehalte liegen unter 2 g/l mit einer Ausnahme von 4 bis 5 g/l, wobei bei dieser Anlage zur Belüftung Reinsauerstoff eingesetzt wird. Die Werte unter 2 g/l sind auch entsprechend amerikanischen Literaturangaben niedrig.

Die Belebungsanlagen werden über die Sauerstoffkonzentration geregelt. Andere Regelkonzepte wie z. B. eine Regelung entsprechend der Nitrifikationsgeschwindigkeit oder dem Nitratgehalt wurden nicht angetroffen.

6.4 Weitergehende Abwasserbehandlung

Ein weiterer und häufiger Behandlungsschritt ist eine Filtration, wobei diese in den meisten Fällen als Vorstufe zur Desinfektion dient. Die Filter sind in der Regel Zweischichtfilter mit Sand und Anthrazit.

Im Klärwerk Truckee wird ein Zeolith-Ionen-Austauscher zur Ammonium-Elimination eingesetzt. Die Abwassertemperatur liegt hier, wie oben erwähnt, im Mittel bei etwa 8 °C mit Tiefstwerten von 1 °C. Bei dieser Anlage soll demnächst eine biologische Stickstoffelimination nach dem Biostyr-System eingeführt werden. Damit sollen für den anorganischen Stickstoff Ablaufwerte von 2 mg/l im Sommer und 3 mg/l im Winter erreicht werden. Soweit in den anderen Klärwerken eine Stickstoffelimination betrieben wird, handelt es sich ebenfalls um eine biologische Stickstoffelimination.

Als Verfahren zur Phosphorelimination wurden sowohl eine Kalkfällung als auch das Pho-Strip-Verfahren als biologisches Verfahren angetroffen.

6.5 Chemikalieneinsatz

Der Chemikalieneinsatz ist auf US-amerikanischen Klärwerken im Vergleich zu Deutschland sehr hoch. Er dient sehr verschiedenen Zielen und allein auf den besichtigten Klärwerken wurden die folgenden Anwendungen angetroffen:

- Eisenchlorid und Wasserstoffperoxid im Zulauf zur Schwefelwasserstoffbekämpfung,
- Verschiedene Fällmittel und Flockungshilfsmittel zur Verbesserung der Vorklärung und der Nachklärung und als Vorstufe einer Filtration,
- Kohlendioxid und Kalk zur pH-Wert-Einstellung,
- Natriumhydroxid, Natriumdisulfit und Natriumhypochlorit zur Schneckenbekämpfung in Tropfkörpern,
- Methanol als Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation,
- Kalk zur Phosphatfällung,
- Natriumhypochlorit und Chlorgas zur Desinfektion,
- Natriumhydrogensulfit und Schwefeldioxid zur Entchlorung,
- Kalk, Eisenchlorid und Polymere zur Schlammkonditionierung.

Die Ausgaben für die Chemikalien sind entsprechend hoch. Sie betragen auf einer der besichtigten Anlagen über 17 % der gesamten Betriebskosten. Bild 6 zeigt die Bahnanlagen zur Chemikalienanlieferung im Klärwerk in Sacramento.

6.6 Schlammbehandlung

Die Verfahren der Schlamm entwässerung (Pressen, Zentrifugen, Flotation) und der Schlammstabilisierung (aerob, anaerob) sind den deutschen Verfahren vergleichbar. Die Faulraumtemperaturen liegen jedoch teilweise höher. Es wurden Temperaturen von 38, 56 und 71 °C angetroffen. Die Faulbehälter sind in der Regel zylindrisch mit flacher Decke und damit bautechnisch relativ einfach gestaltet (Bild 7). Der ausgefautete Schlamm wird kompostiert, in die Landwirtschaft verbracht oder, wie bei der Mehrzahl der besichtigten Anlagen, deponiert.



Bild 6: Bahnanlagen im Klärwerk Sacramento



Bild 7: Faulbehälter im Klärwerk Sacramento

In einem neuen Klärwerk waren trotz seiner Größe von 250 000 angeschlossenen Einwohnern Trockenbeete angelegt worden. Sie erwiesen sich jedoch im Betrieb als zu aufwändig und sollen durch eine mechanische Entwässerung ersetzt werden.

6.7 Abwasserdesinfektion

Eine Abwasserdesinfektion wird auf den meisten Anlagen, auch kleineren Teichanlagen, gefordert. Das häufigste Desinfektionsverfahren ist die Chlorung, bei den besichtigten Anlagen mit Chlorgas oder Natriumhypochlorit. Der Chlorgehalt lag zwischen 10 und 25 mg/l bei einer Kontaktzeit von 1,5 bis 5 Stunden. Als Restchlorgehalt werden 4 bis 10 mg/l angestrebt. Während diese Konzentrationen im Bereich der – sehr differenzierten – Bemessungsempfehlungen liegen, ist die Kontaktzeit von fünf Stunden sehr hoch. Der Bemessung wird zunehmend das Produkt aus Restchlorgehalt und Kontaktzeit zusätzlich zur Kontaktzeit zugrunde gelegt. Zur Entchlorung werden bei den besichtigten Klärwerken Natriumhydrogensulfit und Schwefeldioxid eingesetzt.



Bild 8: Abwasserdesinfektion durch UV-Bestrahlung im Klärwerk Santa Rosa

Im Klärwerk Santa Rosa wird eine UV-Bestrahlung angewandt (Bild 8). Die Anlage mit einem maximalen Mischwasserzufluss von 265 000 m³/d enthält 1 080 Lam-

pen. Der Desinfektionsprozess wird über eine Messung der Lichtintensität gesteuert bzw. überwacht. Die Lampen haben eine garantierte Lebensdauer von 3 000 Stunden und kosten 200 US\$/Stück (1 US\$ = 0,8143 EUR, Stand 22.03.2004).

6.8 Dezentrale Abwasserreinigung

Stadtgebiete ohne Kanalisation wurden vereinzelt angetroffen. Die Abwasserreinigung geschieht hier in Septic Tanks. Bei Nachfragen zur dezentralen Abwasserreinigung ergab sich der Eindruck, dass diese auf die Gesamtabwassermenge bezogen als unbedeutend oder lediglich als Übergangslösung bis zum Anschluss an ein zentrales Klärwerk betrachtet wird.

7 Kosten und Gebühren

Die meisten der besichtigten Klärwerke waren in mehreren Bauabschnitten oder zusammen mit Kanalisations- oder Abfallprojekten errichtet worden, so dass sich nur in einem Fall, in Monterey, die Investitionskosten für die Abwasserreinigung abgrenzen ließen. Sie betragen dort ca. 300 US\$ pro Einwohner oder bezogen auf die Ausbaupazität 670 US\$/m³ bei einer Größe von ca. 250 000 angeschlossenen Einwohnern.

Die spezifischen Betriebskosten wurden für zwei Klärwerke mit 1,00 und 0,35 US\$/m³ angegeben. Diese beiden Zahlen deuten auf eine große Schwankungsbreite der spezifischen Betriebskosten, abhängig von Anlagengröße und Verfahrenstechnik, hin. Bei dem höheren Wert handelt es sich um das Klärwerk in Truckee, das mit 35 000 angeschlossenen Einwohnern zu den kleineren Anlagen gehört, aber mit einer aufwändigen Verfahrenstechnik ausgestattet ist, während die niedrigeren Kosten auf einer größeren Anlage mit einer weniger aufwändigen Verfahrenstechnik entstehen.

Die Investitionskosten wurden in der Vergangenheit durch Bund und Bundesstaaten bezuschusst. Der Eigenanteil der Kommunen lag bei 10 bis 12,5 %, der Bundeszuschuss bei 75 bis 90 %. Der Anteil der Kommunen wird in der Regel über Anleihen finanziert.

Die Deckung der Betriebskosten liegt bei den Kommunen bzw. bei den die Anlagen betreibenden Verbänden. Sie werden aus Erschließungsbeiträgen, Grundsteuern und Abwassergebühren gedeckt. Die erhobenen Abwassergebühren sind demnach nicht kostendeckend, sondern sie werden von den Kommunen bzw. Verbänden nach Angemessenheit festgesetzt.

Die Tarifgestaltung ist sehr unterschiedlich. Die Gebühren werden teilweise zusammen mit der Trinkwassergebühr, teilweise getrennt erhoben. Es gibt sowohl pauschale Tarife als auch verbrauchsabhängige und hier wieder linear oder progressiv ansteigende Tarife. Bei den Tarifen wird weiterhin zwischen Haushaltstarifen und Gewerbetarifen unterschieden. Gewerbliche Abwasseremittenden werden teilweise auch nach der BSB-Fracht und der Fracht an abfiltrierbaren Stoffen veranlagt. Die frachtbezogene Gebühr beträgt z. B. in Sacramento ca. 80 US\$/kg und 46 US\$/kg für BSB und abfiltrierbare Stoffe. Für Betriebe, die als nach dem Stand der Technik wassersparend und verschmutzungsvermeidend anerkannt sind, gibt es bei den Anschlussgebühren erhebliche Ermäßigungen.

Wegen dieser sehr unterschiedlichen Tarifgestaltung sind einheitliche Angaben zur Höhe der Gebühren oder zum Grad der Kostendeckung nicht möglich. Die verbrauchsabhängige Gebühr für Haushalte schwankt bei den besichtigten Anlagen zwischen 0,32 und 1,75 US\$/m³, die Grundgebühr zwischen 9 und 20 US\$/Monat. Als durchschnittliche monatliche Belastung für einen Haushalt wurden in einer Gemeinde 40 US\$/Monat genannt.

8 Abwasserwiederverwendung

Entsprechend einer Erhebung des California State Water Resources Control Boards (2000) wird bereits in 234 Klärwerken in Kalifornien Abwasser für eine Wiederverwendung aufbereitet. Mit der Abwasserwiederverwendung werden im Allgemeinen eines oder mehrere der folgenden Ziele angestrebt:

- Ausgleich eines Wassermangels,
- Erhöhung der Versorgungssicherheit in Gebieten mit Engpässen in der Wasserversorgung,
- Kosteneinsparungen im Vergleich zu alternativen Wasserquellen,
- Schonung der Vorfluter durch Reduzierung oder Aufgabe von Einleitungen und Reduzierung der Eingriffe in den natürlichen Wasserhaushalt.

Bei den besichtigten Anlagen waren die Schonung des jeweiligen Vorfluters und der Ausgleich eines Wassermangels die an erster Stelle stehenden Ziele der Abwasserwiederverwendung.

Unter den Verwendungsarten für aufbereitetes Abwasser steht die landwirtschaftliche Bewässerung und die Bewässerung von Grünanlagen an erster Stelle. So liefert z. B. die Region um Monterey etwa 70 % der gesamten Artischockenproduktion in den USA und ein Großteil dieser Produktionsfläche wird mit Abwasser

aus dem Klärwerk bewässert. In Zeiten eines hohen Bewässerungsbedarfs wird das gesamte Abwasser von durchschnittlich 83 000 m³/d zu Bewässerungswasser aufbereitet. Zur Bewässerung von Grünanlagen wie Parkanlagen, Golfplätzen, Grünstreifen von Verkehrswegen sowie Grünflächen im Bereich von Gewerbe-, Industrie- und Wohngebieten besteht in Irvine ein eigenes Verteilernetz, das parallel zum Trinkwassernetz verlegt wurde. Aufbereitetes Abwasser deckt hier über 20 % des gesamten Wasserverbrauchs. Die Verteilung des aufbereiteten Abwassers ist technisch soweit geregelt, dass auch Privathaushalte aufbereitetes Abwasser abnehmen können.

Bei industriellen Verwendungen steht die Verwendung als Kühlwasser an erster Stelle. Weit höhere Ansprüche werden jedoch bei einer Wiederverwendung als Prozesswasser gestellt. Ein Beispiel ist die Aufbereitungsanlage in El Segundo in Los Angeles (West Basin Water Recycling Plant). Hier wird das biologisch gereinigte Abwasser aus dem Klärwerk Hyperion von Los Angeles zu Wasser in fünf verschiedenen Qualitätsstufen aufbereitet. Diese Qualitätsstufen sind:

- Weitergehend behandeltes Wasser:
Biologisch gereinigtes Abwasser, das anschließend gefiltert und desinfiziert wird. Es steht für eine große Zahl verschiedener Anwendungen in der Industrie und für die Bewässerung zur Verfügung.
- Nitrifiziertes Wasser:
Weitergehend behandeltes Wasser, das zur Ammoniumentfernung nitrifiziert wurde. Es wird als Kühlwasser eingesetzt.
- Enthärtetes Umkehrosmose-Wasser:
Biologisch gereinigtes Abwasser, das durch Kalkfällung oder Mikrofiltration vorgereinigt und anschließend einer Umkehrosmose und einer Desinfektion unterzogen wurde. Das so behandelte Wasser übertrifft die Landes- und Bundesstandards für Trinkwasser. Es wird zur Grundwasseraufhöhung verwendet.
- Umkehrosmose-Wasser:
Biologisch gereinigtes Abwasser, das einer Mikrofiltration, Umkehrosmose und Desinfektion unterzogen wurde. Es wird in der Chevron-Raffinerie als Kesselspeisewasser verwendet.
- Ultra-pure-Umkehrosmose-Wasser:
Biologisch gereinigtes Abwasser, das einer Mikrofiltration, Umkehrosmose, Desinfektion und einer nochmaligen Umkehrosmose unterzogen wurde. Es wird als Hochdruck-Kesselspeisewasser verwandt.

Das aufbereitete Abwasser wird über ein Verteilernetz von ca. 160 km Länge und mit Rohrdurchmessern bis etwa 1 500 mm an über 170 Abnehmer geliefert, darunter drei Raffinerien und ein Textilbetrieb. Aufbereitetes Abwasser wird außerdem in Küstennähe zur Grundwasseraufhöhung eingesetzt, um das Eindringen von Salzwasser zu verhindern. Pro Jahr werden gegenwärtig $33 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Abwasser aufbereitet. Für die Abnehmer ist das aufbereitete Abwasser aus zwei Gründen attraktiv: Es ist um 25 bis 35 % billiger als Trinkwasser und es bietet eine hohe Versorgungssicherheit, da es auch in Wassermangelzeiten ohne Einschränkung zur Verfügung steht.

In Irvine wird aufbereitetes Abwasser um ca. 10 % billiger angeboten als Trinkwasser. Eine andere Tarifgestaltung liegt dem aufbereiteten Abwasser in Monterey zugrunde. Es wird hier nur zur Bewässerung eingesetzt und über ein eigenes Verteilernetz von 72 km Länge verteilt. Die Gebühren für das aufbereitete Abwasser setzen sich aus einer Grundgebühr von 595 US\$/ha-a) sowie einem verbrauchsabhängigen Anteil von 13,65 US\$/1000 m³ zusammen. Diese Gebühren decken aber nur z. T. die Betriebskosten der Aufbereitungsanlage. Zur Kostendeckung werden zusätzlich Grundbesitzabgaben herangezogen.

Die große Zahl von Anwendungen zeigt, dass die Abwasserwiederverwendung in Kalifornien das Experimentierstadium längst verlassen hat und zum Stand der Abwasserentsorgungs- bzw. Wasserversorgungstechnik gehört.

9 Folgerungen und Zusammenfassung

Als rechtliche Grundlage für den Entwurf und den Bau von Klärwerken wirken verschiedene Gesetze des Bundes und der einzelnen Staaten zusammen. Eine allgemeine Grundlage ist der Water Quality Act von 1987, der unter anderem Definitionen, Mindeststandards oder Strafen für den Fall einer Verletzung einer Einleitgenehmigung enthält. In der Praxis ergeben sich jedoch im Vergleich zu Deutschland wesentlich individuellere und differenziertere Anforderungen an die einzelnen Klärwerke. Diese Anforderungen werden weitgehend vom Zustand der Vorfluter bestimmt. Ein Instrument zur Umsetzung der individuellen Anforderungen ist z. B. das Konzept der Total Maximum Daily Load (TMDL). Die TMDL ist die maximal zulässige tägliche Zufuhr einer Belastungskomponente, die ein Gewässer enthalten darf, wenn die geforderten Gewässergütestandards eingehalten werden sollen.

Die Grenzwerte selbst sind nicht notwendigerweise ein fester Wert, sondern sie können von der Dauer der Mess- bzw. Betrachtungsperiode (7 Tage, 30 Tage)

abhängen und sie können jahreszeitlich sehr unterschiedlich sein. Bei mehreren der besichtigten Klärwerke besteht ein generelles oder von der Jahreszeit abhängiges Einleitverbot, so dass zur Verbringung des Abwassers eine Wiederverwendung erforderlich ist. Eine generelle Anforderung an Abwassereinleitungen in Binnengewässer ist eine Desinfektion und im Falle einer Desinfektion mit Chlor eine anschließende Entchlorung.

Die Abwasserableitung geschieht überwiegend im Trenn- oder Mischsystem, jedoch mit einem wesentlich höheren Anteil an Trennsystemen als in Deutschland. Dem Trennsystem wird auch beim Ausbau von Kanalisationsnetzen zunehmend der Vorzug gegeben.

Die Beschaffenheit des Rohabwassers in den Vereinigten Staaten ist trotz eines deutlich höheren Pro-Kopf-Wasserverbrauchs deutschen Verhältnissen vergleichbar. Als Folge der größeren klimatischen Unterschiede in den verschiedenen Landesteilen und der Unterschiede in den Lebensverhältnissen ergibt sich allerdings eine größere Schwankungsbreite der Beschaffenheit. Auf den besichtigten Klärwerken wurden z. B. Abwassertemperaturen von 1 bis 25 °C angetroffen. Das häufigste Abwasserreinigungsverfahren ist das Belebungsverfahren, teilweise in Kombination mit Tropfkörpern. Auch die sonstigen Aufbereitungsschritte sind mit den in Deutschland angewandten Verfahren vergleichbar. Trotzdem lassen sich bei einer detaillierteren Betrachtung in der Auslegung der Klärwerke einige signifikante Unterschiede feststellen. Die amerikanischen Anlagen scheinen wesentlich individueller geplant und im Verfahrensablauf differenzierter konzipiert zu werden. Sie enthalten öfter Verfahrensschritte, die in Deutschland zwar durchaus bekannt sind, aber dennoch weniger häufig angewandt werden. Beispiele sind ein Abzug und die Reinigung der Abluft der Vorklärung, Ausgleichsbecken vor der biologischen Stufe oder eine Mehrschichtfiltration als letzte Stufe. Ein weiteres Merkmal ist ein wesentlich umfangreicherer Einsatz von Chemikalien und chemischen Verfahrensstufen.

Die Abwasserwiederverwendung ist in einigen Gebieten der Vereinigten Staaten, insbesondere in Kalifornien und Florida, sehr weit entwickelt. Ziele der Abwasserwiederverwendung sind neben der Wasserersparnis als Hauptziel auch der Schutz sensibler Vorfluter und eine Erhöhung der Versorgungssicherheit für industrielle Abnehmer in Gebieten mit zeitweiligen Versorgungsengpässen der Trinkwasserversorgung. Die häufigsten Aufbereitungsschritte für eine Abwasserwiederverwendung sind im Anschluss an eine biologische Reinigung eine Mehrschichtfiltration mit anschließender Chlorung und Entchlorung. Als Technologien, die in Zu-

kunft eine größere Verbreitung finden dürften, zeichnen sich verschiedene Arten einer Membranfiltration und die UV-Bestrahlung ab.

Betreiber der Klärwerke sind überwiegend Zweckverbänden vergleichbare Organisationen. Sie können den laufenden Betrieb an private Gesellschaften übertragen, was allerdings, zumindest bei den besichtigten Anlagen, die Ausnahme war.

10 Literatur und Quellen

California Code of Regulations: Filtered wastewater. Title 22, Division 4, Chapter 3: Water Recycling Criteria, State of California, USA, 2002, <http://ccr.oal.ca.gov> (22.12.2004)

California State Water Resources Control Board (2000) California Municipal Wastewater Reclamation Survey. Office of Water Recycling, May 24, 2000

CITY-DATA.COM (2004) www.city-data.com (20.12.2004)

Clean Water Act, USA, 1977, www.epa.gov/region5/water/cwa.htm (20.12.2004)

Code of Federal Regulations, Title 40, Part 503, USA, www.access.gpo.gov/cgi-bin/cfrassemble.cgi?title=200040 (20.12.2004)

EPA (1992) Guidelines for Water Reuse. EPA 625/R-92/004, September 1992, www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/625r92004/625R92004prel.pdf (20.12.2004)

Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw-Hill, Boston

National Combined Sewer Overflow Control Policy, 59 Fed. Reg. 18688, USA, 19.04.1994, http://cfpub.epa.gov/npdes/cso/cpolicy.cfm?program_id=5 (20.12.2004)

Tahoe-Truckee Sanitation Agency (2004) Tahoe-Truckee Sanitation Agency Water Reclamation Plant. Informationsbroschüre

11 Anlagen (auf CD beigefügt)

Anlage 1: Ergänzende Angaben zu den besuchten Klärwerken



Vietnam

**Karl-Ulrich Rudolph,
Private Universität Witten/Herdecke gGmbH**



1 Einleitung

Wie im Teil I "Wasserversorgung" des Vorhabens bereits ausgeführt, bestehen in Vietnam zahlreiche Anlagen und Unternehmen für die Wasserversorgung. Kläranlagen gibt es bislang jedoch nur wenige und vorwiegend im industriellen Bereich. Das Ziel der Erhebung bestand darin, einen Überblick über die dortigen Randbedingungen und Strukturen für die Abwasserklärung zu erhalten, wobei im vorliegenden Bericht weniger Datenergebnisse als Informationen zusammengestellt sind. Dazu wurden im Dezember 2003 zahlreiche Behörden, insgesamt fünf Klärwerksstandorte sowie Universitäten, Forschungsinstitutionen und Vertreter internationaler Organisationen besucht.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die aufgesuchten Klärwerksbetriebe und namhafte Organisationen, die für Klärwerksprojekte maßgebend sind.

Wie die Kartendarstellung Bild 1 von Vietnam mit den markierten Besuchsorten zeigt, wurde der Schwerpunkt auf drei standorttypische Regionen gewählt:

- Hanoi:

Das politische Zentrum von Vietnam; hier befindet sich der Sitz der Nationalregierung und der meisten Verwaltungszentren öffentlicher Institutionen. Es gibt einen Masterplan und z. T. Kanalisation, aber noch keine funktionierende Kläranlage.

- Ho Chi Minh Stadt (Saigon):

Das Industriezentrum von Vietnam; gleichzeitig die größte und schnell wachsende tropische Metropole. Auch hier gibt es z. T. Abwasserkanalisationen und einen Masterplan, aber noch keine funktionierende kommunale Kläranlage.

- Can Tho:

Zentrumsstadt im Mekong-Delta; Projektstandort zahlreicher Forschungsvorhaben, u. a. auch des BMBF (Stolpe et al, 2003). Can Tho ist eines der Schwerpunktprojekte der deutschen Entwicklungszusammenarbeit (Bau von Kanalisation, später Klärwerk).

Tabelle 1: Übersicht der besuchten Klärwerksstandorte und Behörden in Vietnam

| Standort | Institution | Typ | Kenndaten |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|
| Hanoi | Kim Lijen | Mechanisch | nicht in Betrieb 3 000 m ³ /d |
| | Hospital | Belebungsanlage | 1 200 m ³ /h |
| Can Tho | Fish One Company | Kompaktbiologie (Belebung) | 15 000 EW BSB ₅ 1 000 m ³ /d |
| | Private Houses | Fäkalteiche | 5 bis 25 E |
| Ho Chi Minh (Saigon) | Industriegebiet "Tan Tuan" | Belebung | 150 000 EW |
| | Industriegebiet "Linh Trung III" | Chem.-phys. Behandlung | 10 000 m ³ /d |



Bild 1: Kartenübersicht von Vietnam (Pfeile markieren die Standorte der besichtigten Klärwerke)

2 Gesetzliche Regelungen

2.1 Vorbemerkung

Wie bei vielen Entwicklungs- und Transformationsländern ist darauf hinzuweisen, dass die gesetzlichen Regelungen (ungeachtet der juristischen Verbindlichkeit) nicht als Maßstab für den tatsächlichen Vollzug jederzeit und an jedem Ort herhalten können. Dort, wo die finanziellen Möglichkeiten gegeben sind und die technischen Verhältnisse dies zulassen, werden die maßgebenden Standards überwacht und auch eingehalten - insbesondere bei den größeren und florierenden exportorientierten Industriebetrieben.

Industriebetriebe, für die das nicht möglich ist, sowie abwasserrelevante öffentliche Einrichtungen (z. B. Hospitäler, die aufgrund ihrer Zahl und Größe ein Problem darstellen), Kommunen und die Landwirtschaft richten sich beim Vollzug der gesetzlichen Regelungen danach, welche finanziellen Mittel für die einzelnen Bereiche tatsächlich zur Verfügung stehen.

Dort, wo Klärwerksprojekte konkret vorbereitet und berechnet werden, hält man sich in der Regel an die Standards, die jene Institutionen verlangen, welche die entsprechenden Projekte finanzieren sollen - zumeist an die Standards in entsprechenden Regelwerken der Weltbank oder der WHO.

Bei der aus eigener Kraft finanzierenden Industrie ist dagegen zu beobachten, dass internationale Standards greifen, zumeist nach US-amerikanischen Katalogen und Messmethoden (EPA) oder aber nach europäischen (je nach Herkunft der Firma und der Anlagen, die errichtet wurden). Erst im zweiten Schritt werden diese Standards dann mit den vietnamesischen Vorschriften in Übereinstimmung gebracht.

2.2 Umwelt- und Qualitätsstandards (Übersicht)

Mit Beschluss Nr. 35/2002/QD-BKHCMNT vom 25.06.2002 hat Vietnam die Umweltstandards im Bezug auf das Wassermanagement festgelegt. Es gelten folgende Normen:

- TCVN 5942-1995 Qualitätsstandard des Oberflächenwassers,
- TCVN 5943-1995 Qualitätsstandard des Meeresuferwassers,
- TCVN 5944-1995 Qualitätsstandard des Grundwassers,
- TCVN 5945-1995 Industrieabwasserstandard,
- TCVN 6772-2000 Grenzwerte der Wasserqualität für Haushaltsabwasser,

- TCVN 6773-2000 Wasserqualität für die Bewässerung,
- TCVN 6774-2000 Süßwasserqualität für im Wasser lebende Tiere und Pflanzen,
- TCVN 6980-2001 Standards für Einleitung von Industrieabwasser in die Flüsse,
- TCVN 6981-2001 Standards für Einleitung von Industrieabwasser in die Seen.

2.3 Immissionsstandards

Die Immissionsstandards sind in den gesetzlich verankerten Listen "Vietnam Standards" TCVN (Tiêu Chuẩn Việt Nam) von 1995 und 2000 festgelegt. Die nachstehende Tabelle 2 enthält einige Werte für Grundwasser, Oberflächenwasser und Küstengewässer.

Tabelle 2: Immissionsstandards

| Parameter | | Oberflächenwasser | | Küstengewässer | | | Grundwasser |
|--------------------|----------------|-----------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------|---------------------|
| | | mit Rohwasserentnahme | ohne | Bade- wasser | Aqua- kultur | Sonstiges | |
| BSB ₅ | mg/l | < 4 | < 25 | < 20 | < 10 | < 20 | - |
| CSB | mg/l | < 10 | < 35 | - | - | - | - |
| O ₂ | mg/l | ≥ 6 | ≥ 2 | ≥ 4 | ≥ 5 | ≥ 4 | - |
| SS | mg/l | 20 | 80 | 25 | 50 | 200 | TS = 750 - 1 500 |
| Pb | mg/l | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,05 |
| Hg | mg/l | 0,001 | 0,002 | 0,005 | 0,005 | 0,001 | 0,001 |
| NH ₄ -N | mg/l | 0,05 | 1,0 | 0,1 | 0,5 | 0,5 | - |
| NO ₃ | mg/l | 10 | 15 | - | - | - | 45 |
| GC | MPN/ 100 ml | 5 000 | 10 000 | 1 000 | 1 000 | 1 000 | 3 |

2.4 Emissionsstandards

Auch die Emissionsstandards für Industrieabwässer und kommunale Abwässer sind in der TCVN gelistet und nachstehend in der Tabelle 3 auszugsweise wiedergegeben.

Tabelle 3: Emissionsstandards

| Parameter | | Industrieabwasser | | | Häusliche Abwässer | | |
|------------------|----------------|---------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| | | Ableitung in Gewässer mit | | | Ableitung in Gewässer mit | | |
| | | Rohwasserentnahme | Badewasser, Aquakultur | mit bes. Genehmigung | Rohwasserentnahme | Badewasser, Aquakultur | mit bes. Genehmigung |
| BSB ₅ | mg/l | 50 | 40 | 30 | 30 | 30 - 50 | 200 |
| CSB | mg/l | 100 | 80 | 50 | - | - | - |
| SS | mg/l | - | - | - | 50 | 50 - 100 | 100 |
| pH | - | 5,5 - 8,5 | 5,5 - 8,5 | 5,5 - 8,5 | 5 - 9 | 5 - 9 | 5 - 9 |
| P _{tot} | mg/l | 6 | 5 | 4 | - | - | - |
| PO ₄ | mg/l | - | - | - | 6 | 6 - 10 | - |
| N _{ges} | mg/l | 20 | 15 | 10 | - | - | - |
| NO ₃ | mg/l | - | - | - | 30 | 30 - 50 | - |
| As | mg/l | 1 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 3 - 4 | - |
| GC | MPN/ 100 ml | 3 000 | 3 000 | 3 000 | 1 000 | 5 000 | 10 000 |

2.5 Bewässerungsstandards

Für die landwirtschaftliche Bewässerung mit Abwasser (in der Regel Verregnung) sind ebenfalls Standards definiert, siehe nachfolgende Tabelle 4.

Tabelle 4: Bewässerungsstandards

| Abwasser für die Bewässerung | | |
|------------------------------|------------|--------------|
| O ₂ | mg/l | > 2 |
| pH | - | 5,5 - 8,5 |
| Cl | mg/l | < 350 |
| Hg | mg/l | 0,001 |
| Cd | mg/l | 0,005 - 0,01 |
| As | mg/l | 0,05 - 0,1 |
| Pb | mg/l | 0,1 |
| Cr | mg/l | 0,1 |
| Zu | mg/l | 6,5 |
| FC | MPN/100 ml | 200 |

3 Allgemeine Angaben

3.1 Rohwässer und wasserwirtschaftliche Situation

Mit 329 000 km² weist Vietnam etwa die gleiche Fläche wie Deutschland auf. Vietnam hat eine Nord-Süd-Ausdehnung von über 1 600 km. Die Ost-West-Ausdehnung liegt zwischen 60 km in Zentral-Vietnam und 600 km in Nord- bzw. 400 km in Süd-Vietnam. Nord-, Zentral- und Süd-Vietnam sind die drei Hauptregionen mit jeweils ca. einem Drittel der Landesfläche.

Zu Nord-Vietnam gehören Gebirgslandschaften des chinesischen Gebirgssystems mit Höhen von über 3 000 m. Dieses Gebiet ist sehr dünn besiedelt, weist jedoch reiche Vorkommen verschiedener Bodenschätze wie Kohle, Eisenerz und Phosphat auf. Daneben gibt es kleinere Vorkommen an Kupfer, Mangan, Chrom, Titan und Bauxit. Ebenfalls zum Norden zählt der Tonkin, das Schwemmlandgebiet im Delta des Roten Flusses, in dem die Hauptstadt Hanoi liegt. Diese Region zählt mit bis zu 2 000 Einwohnern/km² zu den am dichtesten besiedelten Gebieten der Erde.

Der Süden wird dominiert durch das Delta des Mekong, das mit 45 000 km² etwa dreimal so groß ist, wie das des Roten Flusses. Dieses Gebiet verwendet Vietnam verstärkt zum Reisanbau. Die Besiedelung ist hier jedoch nicht so dicht wie im Norden des Landes. Vor der Südküste Vietnams liegen große Vorkommen an Erdöl und Erdgas, mit deren Ausbeutung gerade erst begonnen wird.

Zur Trinkwassergewinnung nutzen die vietnamesischen Wasserwerke zu 66 % Oberflächenwasser und zu 34 % Grundwasser. Beide Wasserressourcen sind in vielen Regionen durch Abwasser verunreinigt. Als direkter Kontaminationspfad ist der Eintritt von Abwasser direkt in die Wasserversorgungsleitungen zu beobachten. (In Hanoi haben beispielsweise Untersuchungen gezeigt, dass viele Wasserverbraucher aufgrund des schwachen Versorgungsdrucks dezentral eigene Saugpumpen installieren, so genannte Booster Pumps. Dadurch entsteht zeitweise und stellenweise Unterdruck im Wasserversorgungsnetz, und durch die zahlreich vorhandenen Rohrleitungsleckagen wird Abwasser angesaugt, welches unkontrolliert über die Bodenoberfläche oder schadhafte Gräben bzw. Kanäle eingesickert ist und sich oft bevorzugt entlang der Wasserrohrgräben verteilt. Ähnliche Verhältnisse sind zumindest in einigen Versorgungsgebieten von Saigon und anderen Städten zu vermuten.)

3.2 Klima

Das Klima ist im Norden je nach Höhenlage subtropisch bis gemäßigt und im Süden tropisch. Die jährlichen Niederschlagsmengen betragen durchschnittlich 1 500 mm, im Gebirge 2 500 mm bis 3 000 mm und im Mekong-Delta bis zu 4 000 mm. Die Niederschläge fallen je nach Region zu unterschiedlichen Zeiten, deren jahreszeitlicher Verlauf im Süden im Wesentlichen vom Monsun bestimmt wird. Hier können zwei "Jahreszeiten", die Regenzeit und die Trockenzeit, unterschieden werden. Die Regenzeit dauert von Mai bis Oktober. In der Trockenzeit von November bis Mai fallen wenig Niederschläge, obwohl es trotzdem schwül und feucht ist.

Die jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen sind im Süden nicht sehr groß, wie aus dem unteren Teil von Bild 2 (Ho-Chi-Minh Stadt/Saigon) hervorgeht.

Im Norden beginnt die niederschlagsreiche Zeit später (Juni) und endet früher (September) als im Süden, wobei die Gesamtniederschlagsmenge etwa die gleiche ist. Die Temperaturunterschiede zu den einzelnen Jahreszeiten sind wesentlich ausgeprägter als im Süden (Bild 2, Hanoi). Aufgrund der kühlen Luft fällt im Winter ein beständiger Nieselregen, so dass es eine ausgeprägte Trockenzeit im Norden nicht gibt.

Wegen der großen Nord-Süd-Ausdehnung und der großen Höhenunterschiede gibt es in Mittel-Vietnam kein einheitliches Klima. Je weiter man nach Norden vordringt, desto größer werden die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen, und je näher man der Küste kommt, desto mehr Niederschläge gibt es.

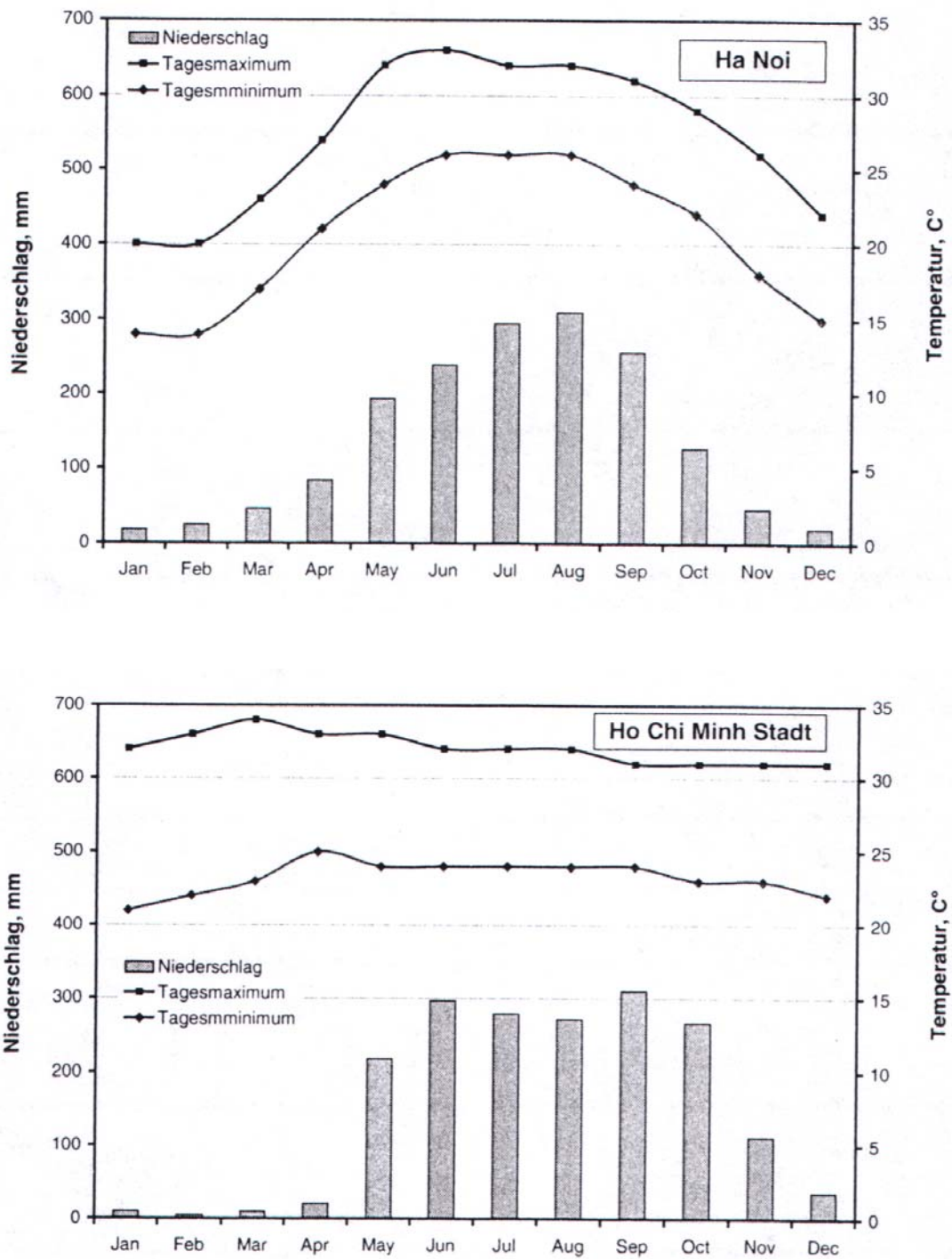


Bild 2: Klimadaten ausgewählter Städte in Vietnam (BMBF, 2003b)

3.3 Verantwortlichkeit für die Abwasserentsorgung

Seitens des Gesetzgebers liegt die Verantwortung für das Wasser bei mehreren Behörden. Das Ministerium für Landwirtschaft und ländliche Entwicklung (MARD = Ministry of Agricultural and Rural Development) ist zuständig für die Wasserressourcen und die ländliche Wasserversorgung. Das Bauministerium (MOC = Ministry Of Construction) ist verantwortlich für die städtische Wasserversorgung. Für die Abwasserentsorgung sind sowohl das Gesundheitsministerium (MOH = Ministry Of Health) als auch MARD und MOC zuständig. Für industrielle Gebiete greift zudem die Zuständigkeit des Industrieministeriums und als Koordinator bei allen größeren Projekten das Planungsministerium (MPI = Ministry of Planning and Investment).

Die Verantwortlichkeit für den Gewässerschutz und dessen Überwachung ist über mehrere Ministerien verteilt, so dass eine Koordination der verschiedenen zuständigen staatlichen Behörden nicht immer einfach erscheint. Immerhin sind auf regionaler Ebene Umweltämter eingerichtet worden (EPAs, z. B. Department of Natural Resources and Environment in Saigon), welche dann für die Überwachung sowohl von Abwassereinleitungen als auch (soweit vorhanden) Abwasseranlagen tätig werden.

3.4 Stand der Abwasserentsorgung

Bei der Wasserver- und Abwasserentsorgung sind die ländlichen Regionen und die städtischen Räume separat zu betrachten. In diesen beiden Regionen unterscheidet sich die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser erheblich voneinander, so dass auch die Abwasserproduktion unterschiedlich ist. Es haben nach Angaben der WHO 95 % der städtischen Bevölkerung und 74 % der Landbevölkerung Zugang zu sicherem Trinkwasser.

Tabelle 5 zeigt Strukturdaten der Wasserwirtschaft.

Wie die Bundesagentur für Außenwirtschaft (bfai) zutreffend feststellt, ist die Abwasserentsorgung eines der "ganz großen Probleme" in Vietnam: Das Land hat keine einzige öffentlich betriebene Kläranlage. Nur die Industriezonen und ein Teil der Industriebetriebe unterhalten eigene *Kläranlagen*. Dabei handelt es sich jedoch weitgehend um kleine Werke, die vor allem das Abwasser aus Krankenhäusern, Brauereibetrieben und anderen Industrieansiedlungen entsorgen.

Tabelle 5: Strukturdaten zur Wasserwirtschaft (bfai, 2002)

| Vietnam | |
|----------------------------------|--|
| Einwohnerzahl | 79,7 Mio. E |
| Niederschlag im Mittel | 2 000 mm jährlich |
| Verfügbare Wassermenge | Städtische Wasserversorgung liegt bei über 3 Mio. m ³ täglich |
| Mittlerer Wasserverbrauch | 70 l/(E·d) |
| Rohwasserentnahme aus: | |
| Grundwasser/Uferfiltrat | 3 %, in Hanoi 40 % |
| Oberflächenwasser (Flüsse, Seen) | 97 %, in Ho-Chi-Minh Stadt 70 bis 80 % |
| Wasserversorger: | |
| Öffentlich | 93 % |
| Privat (kommunal) | 7 % |
| Wasserpreise | 1 400 bis 4 000 Dong/m ³ für Privathaushalte 2 200 bis 6 500 Dong/m ³ für Industrie |
| Kläranlagen | k. A. |
| Reinigungsstufe | k. A. |
| Abwassergebühr | Pauschal 10 % des Wasserpreises |

Lediglich zehn von insgesamt 61 Groß- und Provinzstädten besitzen ein *Kanalisationsnetz* mit einer Gesamtlänge von fast 1 000 km. Aufgrund unzureichender Klärkapazitäten (viele der vorhandenen Kläranlagen sind wegen fehlender Finanzmittel oder reparaturbedingt außer Betrieb) gelangt der größte Teil des Abwassers ungereinigt in die Flüsse und Seen des Landes.

Größte Abwasserverursacher sind die *Industriebetriebe*, vor allem aus den Bereichen der Papier-, Textil-, Bekleidungs- und Lederwarenproduktion. So leiten in *Hanoi* laut Einschätzungen der Hanoi Sewerage and Drainage Co. (HSDC) 247 Groß-, 540 Gewerbebetriebe, 450 Handwerksgenossenschaften, 36 Krankenhäuser und die Haushalte täglich zwischen 415 000 und 550 000 m³ Abwasser weitgehend ungereinigt in die vier Flüsse der Stadt ein.

Ähnlich prekär ist die Abwassersituation in der Wirtschaftsmetropole *Saigon* (Ho Chi Minh City, HCM). Allein in einigen der hier angesiedelten Industriezonen fallen täglich über 500 000 m³ Abwasser an. Eigene Kläranlagen besitzen bereits die in der Umgebung von Saigon angesiedelten Industriezonen Bien Hoa 2,

Loteco, Amata, VN Singapore, Vinh Loc, Tan Thuan, Linh Trung, Bien Hoa 1 und Nhon Trach 1, die alle den Vietnam Standards TCVN (A) 5945-95 entsprechen.

4 Abwasserbeschaffenheit

4.1 Rohabwasser

Die Beschaffenheit der häuslichen Abwässer hängt davon ab,

- wie gut die Wasserversorgung funktioniert und welcher *Wasserverbrauch* sich demnach eingestellt hat:

Bei geringem Wasserverbrauch ist das Abwasser zunächst weniger verdünnt und stärker verschmutzt; das Wasser wird außerdem nur für besonders hochwertige Zwecke eingesetzt. Das Waschen von Pkws, Stallungen, Plätzen und Wegen geschieht oft mit niederwertigerem Wasser, z. B. mit Oberflächenwasser oder gesammeltem Regenwasser, welches dann ggf. jedoch auch in die Kanalisation mit einfließen kann. In den Städten werden zurzeit rund 70 l/(E·d) verbraucht, bei Vollversorgung bis über 300 l/(E·d). Auf dem Land kann der Verbrauch in den unterversorgten Gebieten weniger als 20 l/(E·d) betragen.

- welche *Sanitärsysteme* vorherrschen:

Laut Angabe des "City Center for Preventive Medicine" gibt es in Vietnam im Wesentlichen private Spültoiletten mit/ohne Hausklärgrube oder Sickergrube, öffentliche Latrinen und einfache Fäkalauflüsse ("Plumpsklo", canal hang-on toilet).

Wo Wasser billig und reichlich vorhanden ist, setzt sich in den Städten zunehmend die Spültoilette durch. Im ländlichen Bereich, insbesondere im Mekong-Delta, werden die Fäkalabwässer oft direkt in einen Fischteich als "Nährstoffzugabe" geleitet oder direkt als Dünger verwendet, vgl. auch Bild 5.

- wie die *Klimabedingungen* sind:

Höherer Wasserverbrauch und Abwasseranfall bei Hitze, gleichzeitig aber auch höhere Abwasserentnahme und unkontrollierbare Abwasserverwendung zu Bewässerungszwecken.

- wie sich die *Bevölkerungs- und Siedlungsstruktur* gestaltet:

Nach Einkommen, Sanitärausstattung, Lebensgewohnheiten usw..

- ob eventuelle *Vorbelastungen* gegeben sind:
Bei zur Wasserversorgung (bzw. Brauchwasserversorgung) verwendetem Grundwasser oder Oberflächenwasser.
- u. a. m..

Tabelle 6: Wasserqualität im offenen Kanalsystem Vam Thuat - Ben Cat - Tham Luong - Rach Nuoc Len (SIWRR, 2003)

| Parameter | Einheit | Max. | Mittel | Min. |
|--------------------|--------------|---------|---------|--------|
| pH | - | 8,10 | 7,21 | 6,90 |
| P-PO ₄ | mg/l | 3,90 | 1,93 | 0,22 |
| SO ₄ | mg/l | 612 | 264 | 55 |
| Cl | mg/l | 1 270 | 355 | 99 |
| NH ₄ -N | mg/l | 22,30 | 11,60 | 0,91 |
| NO ₃ -N | mg/l | 0,54 | 0,20 | 0,10 |
| SS | mg/l | 270 | 109 | 29 |
| Trübung | NTU | 245 | 94 | 27 |
| CSB | mg/l | 380 | 194 | 30 |
| BSB ₅ | mg/l | 290 | 132 | 22 |
| O ₂ | mg/l | 1,30 | 0,54 | 0,20 |
| T.Coliform | MNP/100 ml | 240 000 | 177 700 | 43 000 |
| F.Coliform | MNP/100 ml | 43 000 | 12 863 | 1 100 |
| E.Coli | Gernes/20 ml | > 100 | > 100 | > 100 |
| Pb | mg/l | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Cu | mg/l | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Cr | mg/l | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Hg | mg/l | < 0,2 | < 0,2 | < 0,2 |
| Cd | mg/l | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Salzgehalt | % | 0,24 | 0,09 | 0,05 |

Die Analyse vorhandener Abwasserqualitäten zu Planungszwecken ist häufig nur bedingt aussagefähig, weil fast alle Siedlungsgebiete stark wachsen, damit ihren Charakter und ihre Wasserverwendung verändern, und weil auch auf den Ausbau der Wasserversorgungsnetze und die Änderung der Einkommensverhältnisse (mit Rückwirkung auf die sanitäre Wohnausstattung) zu achten ist. Zudem muss

in die Prognose einbezogen werden, welche Auswirkungen eine eventuelle Erhöhung der Wassertarife und Abwasserentgelte auf das Verbrauchsverhalten haben könnte.

In der vorstehenden Tabelle 6 sind beispielhaft Qualitätsdaten für das im Wesentlichen aus Rohabwasser bestehende Wasser in einem offenen Ableitungskanal im Stadtgebiet Saigon zusammengestellt.

4.2 Oberflächenwasser

Abgesehen von den dicht besiedelten Gebieten und der allgemein sehr hohen anthropogenen Belastung der Flüsse und stehenden Gewässer ist zu beachten, dass vielfach ein naturgemäß hoher Gehalt an Trübstoffen und Mikroorganismen zu verzeichnen ist (Trinh Thi Long, 2001). In Flüssen liegt die Trübung bei normaler Wasserführung bei etwa 10 bis 50 FNU. In der Regenzeit kann die Trübung auf über 1 000 FNU ansteigen. Die gegenüber gemäßigten Regionen höheren Wassertemperaturen (18 bis 25 °C) in den Oberflächengewässern Vietnams führen in Verbindung mit der höheren Sonneneinstrahlung auch zu vermehrtem Wachstum von Algen.

In der nachstehenden Tabelle 7 sind beispielhaft Messwerte für das Flusswasser im Bereich Saigon aufgelistet, welches starke Qualitätsschwankungen mit hohen Spitzenbelastungen aufweist.

Tabelle 7: Wasserqualität an der Truong-Dai-Brücke (Vam Thuat River) (SIWRR, 2003)

| Zeit | BSB ₅ (mg/l) | O ₂ (mg/l) | CSB (mg/l) | EC (μS/m) | Pegelstand (m) |
|------------------|----------------------------|--------------------------|---------------|--------------|-------------------|
| 13.05.2003 16:00 | 141,84 | 0,00 | 230,40 | 807,00 | 1,36 |
| 14.05.2003 11:00 | 70,11 | 0,01 | 115,20 | 595,00 | - 0,29 |
| 15.05.2003 11:00 | 404,53 | 0,00 | 633,60 | 974,00 | - 0,06 |
| 16.05.2003 07:00 | 95,90 | 0,00 | 153,60 | 767,00 | 1,34 |
| 17.05.2003 13:00 | 169,79 | 0,00 | 268,80 | 931,00 | - 0,04 |
| 18.05.2003 08:00 | 46,77 | 0,00 | 76,80 | 783,00 | 1,32 |
| 19.05.2003 03:00 | 300,44 | 0,00 | 540,00 | 965,00 | - 0,80 |

Die beiden Fotos in Bild 3.1 und 3.2 geben einen visuellen Eindruck der z. T. außerordentlich hohen Abwasserbelastung aus Industrie und Haushalten, verbunden mit den durch wilde Ablagerungen an Flussufern sichtbaren zusätzlichen Konta-

minationen. In den landwirtschaftlich genutzten Flusstälern und -becken sollen nach Angaben der Water and Sewage Agency (WSA) auch Spuren von Stoffen wie Pestizide ein Problem darstellen. Konkrete Messergebnisse dazu lagen jedoch nicht vor.

Insbesondere in den südlichen Flusstälern gibt es Krankheitsprobleme mit Malaria, Gelbfieber und Denguefieber, die nur durch eine Verbesserung der sanitären und hygienischen Verhältnisse reduziert werden könnten.



Bild 3.1:

Ein Programm zum Gewässerschutz muss auch das Abfallmanagement mit einbeziehen. Im Hintergrund des Bildes links: Wilde Abfallablagerungen, die bei Starkregen direkt in den Fluss (im Bildhintergrund hinter den Bäumen, nicht sichtbar) gespült werden.



Bild 3.2:

Das innere Kanalsystem von Saigon ist hochgradig verschmutzt. Das Flusswasser ist anaerob und tiefschwarz. Die blaue Farbe links im Foto rührt aus der Einleitung eines Textilbetriebes her, der zum Zeitpunkt der Ortsbesichtigung Blue Jeans färbte (Indigoblau).

5 Abwasserreinigung

5.1 Projekttypen im Klärwerksbau

Nachdem es für Vietnam, insbesondere im kommunalen Bereich, noch keine Abwasserreinigung gibt (von Ausnahmen abgesehen), kann man auch nicht von dem typischen Verfahren oder der typischen Bauweise sprechen. Es lassen sich aber bereits heute folgende Projekttypen für Kläranlagen erkennen, die sich jeweils durch bestimmte Verfahren und Bauweisen wie folgt auszeichnen:

- **Dezentrale Hightech-Anlagen**

z. B. für große Hotels, anspruchsvolle private Wohnkomplexe; mit Grauwasserrecycling, möglicherweise auch Einsatz von Membrantechnik sowie moderner Kompaktanlagen, wie diese "vom Container aus" weltweit exportiert werden

Die Kunden solcher Anlagen möchten sich in der Regel von der unzureichenden und häufig unzuverlässigen Ver- und Entsorgung der öffentlichen Betriebe unabhängig machen und können sich aufgrund ihrer eigenen innerbetrieblichen Wertschöpfung Anlagen entsprechend dem internationalen Stand leisten. Eine Anlage wie im nachfolgenden Bild 4 dargestellt, soll in Vietnam schon einige Male verkauft worden sein.

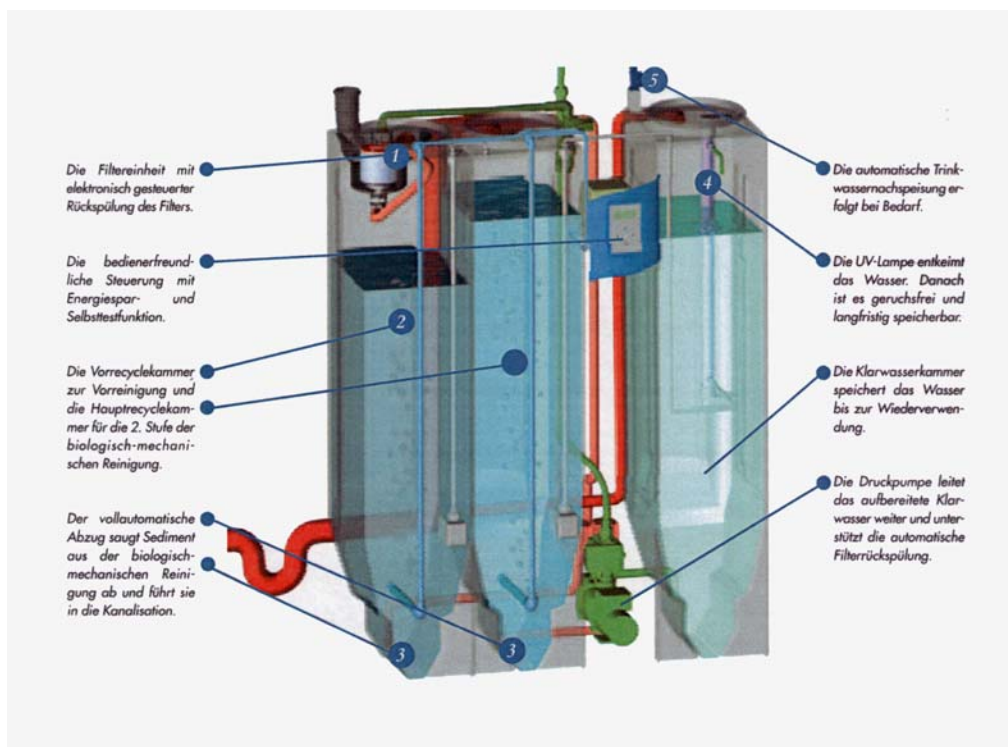


Bild 4: Grauwasser-Aufbereitungsanlage (Pontos, 2004)

- **Dezentrale oder semi-dezentrale Low-Cost-Anlagen**

z. B. für den ländlichen Bereich oder in Außengebieten von Städten

Nutzung vor allem im Mekong-Delta häufig als Abwasserteich, der perspektivisch durch vorgeschaltete Sedimentationsstufe, nachgeschaltete Schönungsstufe und Hygienisierungsstufe technologisch aufgewertet werden kann.

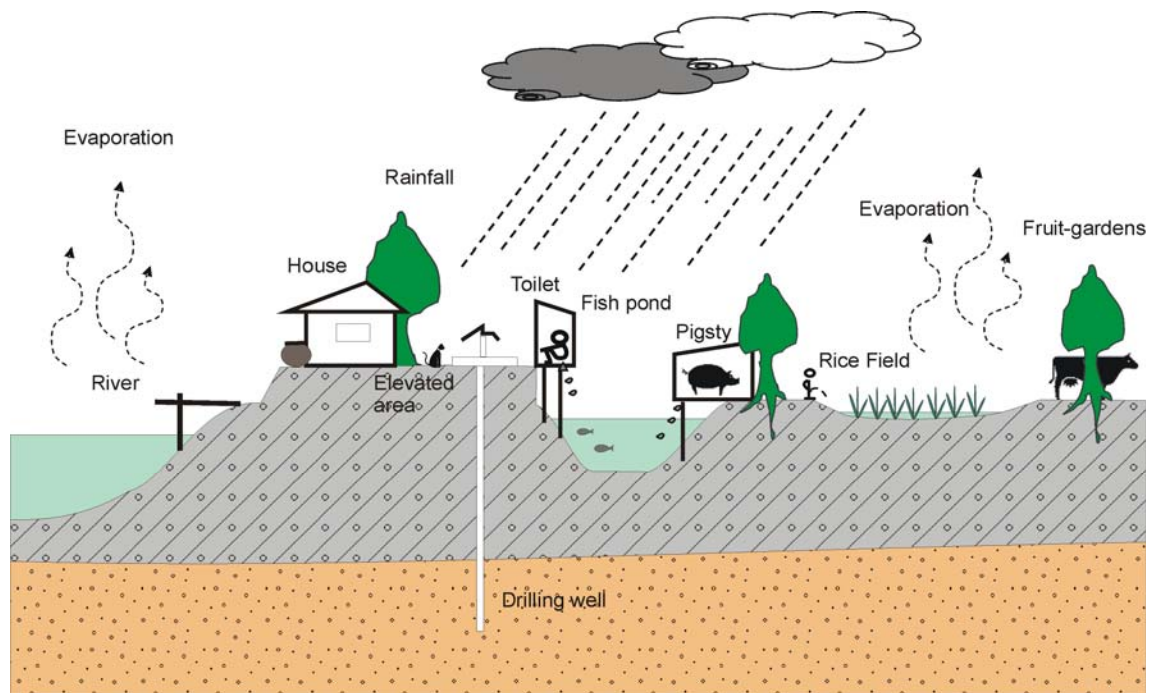


Bild 5: Typical setting of rural areas in Can Tho province (Stolpe et al, 2003, modified)

- **Konventionelle biologische Anlagen in Kompaktbauweise**

Weitgehend mit örtlichen Bauteilen und Maschinen einfach ausgerüstet, äußerst preisgünstig und dennoch auf absehbare Zeit auf den Einsatz für Industrieabwasser beschränkt, weil kommunale Klärwerke zunächst nur für große Städte prioritär errichtet werden.

Die im nachstehenden Bild 6 gezeigte Anlage verarbeitet die Abwässer einer Fischfabrik in Can Tho, Kapazität ca. 15 000 EW. Die Baukosten lagen insgesamt bei nur 50 000 US\$.



Bild 6: Blick auf eine hochgestellte Kompaktkläranlage (Belebungsbecken)

- **Klärwerke für normale Abwässer oder spezielle Produktionsabwässer aus Industriekomplexen**

Diese können technologisch dem "westlichen Industriestandard" fast oder weitgehend entsprechen, sind jedoch zumeist mit Maschinen und Anlagen aus billigeren Herkunftsländern ausgerüstet.

Komponenten aus Hochpreisländern wie Deutschland haben dann jedoch stets eine sehr gute Einsatzmöglichkeit, wenn sie in der Zuverlässigkeit oder im Leistungsstand deutlich höher als die vergleichsweise billigeren Konkurrenzprodukte liegen.

Für komplexe Produktionsabwässer werden auch in Vietnam durchaus anspruchsvolle Abwasserreinigungsprozesse gefahren. Die Verfahrenskette im Industriekomplex Linh Trung III (Saigon) besteht aus *Puffertanks* * *Rechen* * *Sandfang* * *Mischreaktor* * *pH-Einstellung* * *Flockungstanks* * *Absetzbecken* * *Neutralisation* * *Chlorung*, zuzüglich Klärschlammwässerung und -lagersilos. Teile dieser Anlage sind in Bild 7.1 und 7.2 zu sehen.



Bild 7.1:
Biologische Kläranlage zur Reinigung von haushaltsähnlichen Abwässern aus einem großen Industriegebiet (50 000 Arbeitsplätze) in Saigon.
Hier: Blick auf die Belebungsanlage (SBR-Reaktor, Aufstauverfahren).



Bild 7.2:
Ablauf der chem.-physikal. Vorbehandlung

- **Sonderklärwerke**

z. B. für Krankenhäuser

Da es in Vietnam über 60 große Hospitäler geben soll, die aufgrund der Qualität und Menge der anfallenden Abwässer ein anerkanntes, gewichtiges "Sonderproblem" darstellen, könnte es sein, dass im Rahmen eines nationalen Programms für einen derartigen Einsatzbereich Mittel freigesetzt werden.

Vermutlich werden solche Klärwerke in Zukunft etwas moderner aussehen und insbesondere eine Hygienisierungsstufe beinhalten, die nicht rein auf Chlorbasis abgestellt ist.

Im nachfolgenden Bild 8 ist die Krankenhaus-Kläranlage jenes Hospitals in der Stadt Hanoi dargestellt, welches seinerzeit im Zusammenhang mit der SARS-Epidemie im Mittelpunkt der internationalen Berichterstattung stand. Trotz seines Alters ist das Klärwerk vom Grundaufbau nach wie vor aktuell, hat aber zum Besichtigungszeitpunkt nicht funktioniert, weil mangels Betriebsbudget die Belüftung und Pumpwerke ausgeschaltet worden waren.



Bild 8: Blick von der Ablaufseite her über ein Kompaktklärwerk. Im Vordergrund die Chlorstufe, im Hintergrund die Belebung/Nachklärung.

- **Kommunale Klärwerke**

Der öffentliche Abwasserbereich wird bis auf Weiteres vorwiegend durch Subventionen und subventionierte Kredite der internationalen Geberinstitutionen finanziert. Weil Aussichten dafür bestehen und die eigenen Mittel knapp sind, ist nicht zu erwarten, dass vietnamesische Institutionen sich hierfür eigenständig engagieren, abgesehen von dem Anteil, den jeder Counterpart bei derartigen Finanzierungen über internationale Zuschüsse (grants) und verbilligte Kredite (soft-loans) beisteuern muss.

Im kommunalen Klärwerksbau handelt es sich für Vietnam damit um einen so genannten "*Donor-Driven-Market*" (BMWA, 2005), d. h. die Auswahl der Technologien, der Bauweisen und die Entwicklung der Projekte folgt den Prozessen und Vorgaben, wie sie bei Weltbank, ADB, KfW usw. üblich sind.

Zumeist werden in Vietnam als Alternativen unbelüftete sowie belüftete Abwasserteiche, Oxidationsgräben, konventionelle Belebungsanlagen und Tropfkörperverfahren (z. B. rotierende Tauchtropfkörper) diskutiert (so z. B. in der JICA-Studie für Saigon, 1999). In Bild 9 und Bild 10 ist exemplarisch ein Klärwerkstyp skizziert, der nach vorliegenden Studien der JICA (Japanese International Co-operation Agency) laut Masterplan für Hanoi und Saigon vorstellbar ist. Derartige Großklärwerke werden vermutlich durch Weltbank und Co-Finanzierungen weiterer Donors ermöglicht.

Von der Entscheidung über die Realisierung eines Klärwerksprojektes (in der Governmental Agreement) bis zum tatsächlichen Baubeginn liegen in der Regel zwei bis fünf Jahre, die für Vorstudien, Studien, Planungen, Ausschreibungen sowie für zwischenzeitliche Prüfungsmissionen und die Abstimmung zwischen Geber- und Nehmerinstitutionen benötigt werden.

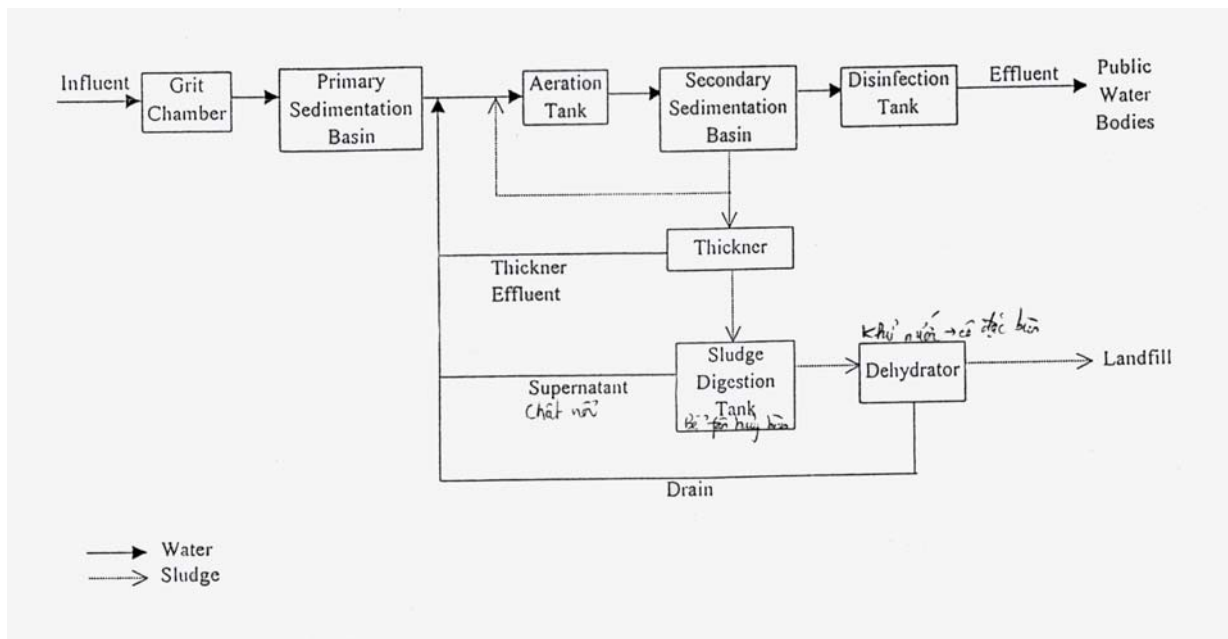


Bild 9: Flow Chart of Activated Sludge Process (JICA, 2000)

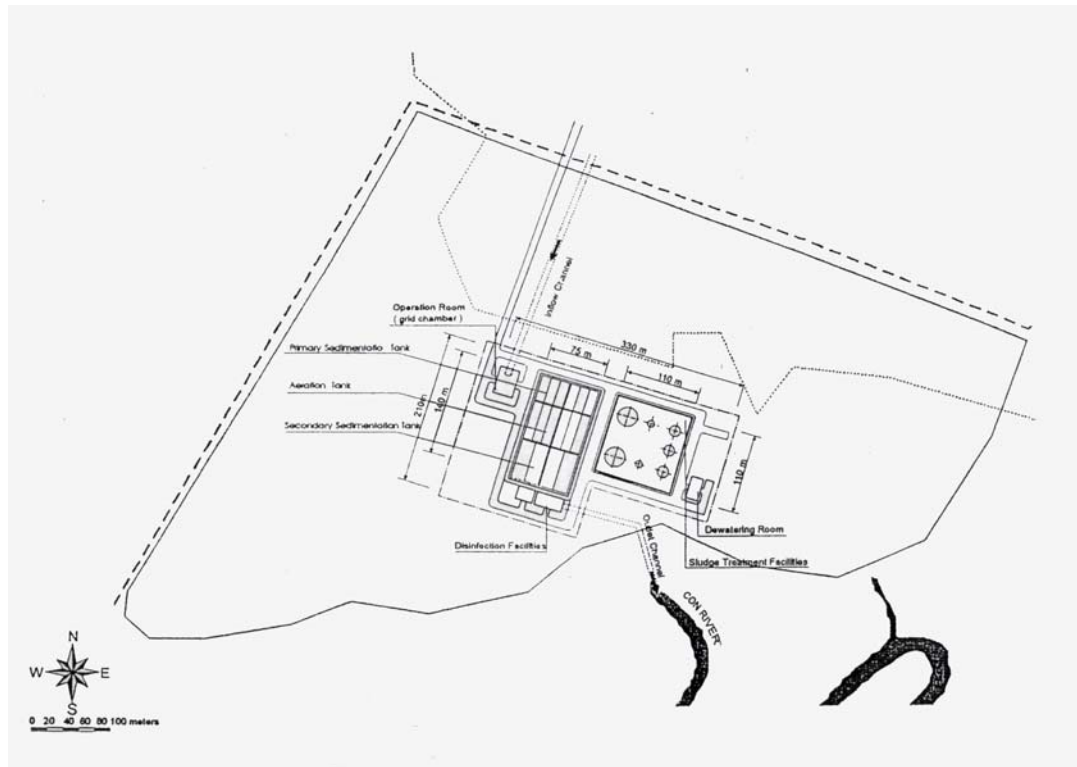


Bild 10: SN-II Wastewater Treatment Plant (JICA, 2000)

6 Kosten und Tarife

Vietnam hat in der Vergangenheit zu wenig in die Wasserwirtschaft investiert und die Ziele des 2000 National Plan on Water Supply verfehlt. Die Hauptursachen für die unzureichenden Investitionen der Wasserwirtschaft sind nach Ansicht von Fachleuten die relativ niedrigen Wassertarife und das sehr lückenhafte Gebühreninkasso. Lediglich die Hälfte des Wassergeldes kann auch tatsächlich eingezogen werden. Breite Bevölkerungsschichten, vor allem auf dem Lande, sehen Wasser immer noch als freies Gut an, das kostenlos genutzt werden kann. Daher ist auch die Bereitschaft der Bevölkerung, für Wasser zu zahlen, äußerst gering. Die vietnamesischen Wassertarife zählen zu den niedrigsten in Südostasien. Einer Untersuchung der Weltbank zufolge entfielen Anfang 2002 im Durchschnitt lediglich 1,45 % der persönlichen Einkünfte auf das Wassergeld. In Ho-Chi-Minh Stadt machten diese Ausgaben sogar nur 0,6 % und in Hanoi 0,8 % der Bezüge aus. Demgegenüber wurden in Ha Giang mit 3,5 % und in Cao Bang mit 3,2 % die höchsten Wassergeldbelastungen registriert. Die Wassertarife sind nach Abnehmern gestaffelt und in Provinzen und Großstädten unterschiedlich hoch.

Die Mehrzahl der vietnamesischen Wassergesellschaften haben die Wassertarife progressiv gestaltet. Damit müssen auch Privatleute bei einem bestimmten monatlichen Verbrauch für jeden weiteren Kubikmeter einen höheren Preis zahlen. Die Industrie zahlt, sofern sie an das öffentliche Trinkwassernetz angeschlossen ist, deutlich höhere Preise als private Abnehmer mit geringem Verbrauch.

Der Wassertarif aus Ho Chi Minh City in Tabelle 8 ist typisch für Vietnam. Ein privater Verbraucher zahlt bei einer Wasserabnahme von weniger als 4 m³/Monat einen Wasserpreis von 1 700 Dong/m³ (ca. 0,11 EUR/m³). Bei einem Mehrverbrauch steigt der Wasserpreis bezogen auf den Kubikmeter immer weiter an und beträgt bei einem Wasserverbrauch von mehr als 11 m³ im Monat 4 000 Dong/m³ (0,27 EUR/m³). Letzteren Preis ist auch die Industrie verpflichtet zu zahlen. Das nicht-produzierende Gewerbe (z. B. Hotels und große Gaststätten) muss ein Drittel mehr zahlen als die Industrie.

Angaben zu den Wassertarifen in verschiedenen Provinzen und Städten sind in Tabelle 9 zu finden.

Die Wasserrechnungen werden oft monatlich, mindestens aber sechs Mal jährlich erstellt und abkassiert.

Tabelle 8: Wassertarife in Ho Chi Minh City (BMBF, 2003a)

| Tarifklasse | Abnahmemenge | Tarif (VND/m ³) |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Private Haushalte | von 1 bis 4 m ³ /(E·Mo) | 1 700 |
| | von 5 bis 6 m ³ /(E·Mo) | 2 500 |
| | von 7 bis 10 m ³ /(E·Mo) | 3 200 |
| | über 11 m ³ /(E·Mo) | 4 000 |
| Öffentliche Verwaltungen | 1 m ³ /(E·Mo) | 2 200 |
| | über 1 m ³ /(E·Mo) | 3 000 |
| Dienstleistungsbetriebe | | 6 500 |
| Produktionsbetriebe | | 4 000 |
| VND = Vietnamesischer Dong | | |
| [1 EUR = 18 723,18 VND (2004)] | | |

Für die Entwicklung von Klärwerksprojekten ist jedoch der *perspektivische Wassertarif* zu beachten. Die Geberinstitutionen verständigen sich zumeist darauf, dass zumindest die Akzeptanzgrenze der Wassertarife ausgeschöpft werden muss, damit sich Vietnam langsam an kostendeckende Wasser- und Abwasser-

preise annähert (als Anreiz zum rationalen Einsatz von Wasser erforderlich). Dabei wird in der Regel angenommen, dass drei bis fünf Prozent des tatsächlich verfügbaren Nettoeinkommens pro Kopf für Wasser und Abwasser verausgabt werden sollte. Das Pro-Kopf-Einkommen ist stark unterschiedlich, je nach dem ob man sich in einem städtisch, industrialisierten oder einem ländlichen Bereich befindet.

Tabelle 9: Wassertarife in einigen Provinzen und Städten Vietnams, in VND/m³ (Stand Februar 2002) (bfai, 2002)

| Provinz/Stadt | Haushalte | Öffentliche Stellen | Industrie | Handel, Dienstleistungen |
|----------------|---------------|---------------------|-----------|--------------------------|
| Thua Thien Hue | 1 900 - 3 700 | 3 500 | 3 700 | 6 000 |
| Soc Trang | 3 100 | 4 000 | 4 600 | 5 900 |
| Ninh Thuan | 2 000 - 3 500 | 3 500 | 4 600 | 6 000 |
| Nam Dinh | 1 800 | 3 000 | 1 800 | 4 000 |
| Dak Lak | 1 800 - 3 100 | 2 500 | 3 800 | 4 200 |
| Vung Tau | 1 600 - 3 000 | 2 300 | 4 000 | 5 000 |
| Danang | 1 400 | 2 200 | 3 300 | 4 000 |
| Quang Tri | 1 400 | 2 000 | 3 400 | 4 000 |
| Nghe An | 1 800 | 2 500 | 3 500 | 4 000 |
| Hanoi | 2 000 | - | 2 500 | 7 000 |
| Saigon | 1 700 - 4 000 | 3 000 | 4 000 | 6 500 |
| Can Tho | 2 000 | 3 000 | 3 000 | 4 000 |
| Tien Giang | 1 700 - 2 200 | 2 200 | 2 200 | 2 200 |

Ausgehend von diesem perspektivischen Budget aus Wasser- und Abwasserentgelten kann man dann fallweise ermitteln, welche weiteren Finanzmittel von den Geberinstitutionen (verlorene Zuschüsse und subventionierte Kredite) und vietnamesischen Institutionen (staatliche Subventionen, kommunale Finanzhilfen zumindest in Form von Grundstücken, Zuwegungen, ggf. Bauleistungen oder aus Barmitteln) hinzukommen.

Die Minimalerwartung der Geberländer liegt bei einer Vollkostenrechnung dann darin, dass zumindest die laufenden Betriebskosten aus den Wasser- und Abwasserentgelten refinanziert werden müssen. Eine solche Überschlagsrechnung sollte vor jeder technischen Vorüberlegung stehen.

In vielen Orten Vietnams ist der Bedarf an Kläranlagen offensichtlich und dringend. Die Nachfrage wird sich aber nur dann entwickeln, wenn die ökonomische Basis im Sinne der o. g. Überlegung gegeben ist.

7 Aktuelle Abwasserprojekte

Da die Abwasserentsorgung in Vietnam ein immer größeres Problem darstellt, ist in den kommenden Jahren mit verstärkten Investitionsaktivitäten in diesem Sektor der Wasserwirtschaft zu rechnen. Die Pläne bis zum Jahre 2010 sehen vor, dass mindestens 60 % der Stadtgebiete ein gutes Kanalisationssystem erhalten sollen. In diesem Zusammenhang räumt die Regierung Abwasserinvestitionen eine gewisse Priorität ein. Allein in Hanoi ist in den kommenden Jahren der Bau von sechs neuen Kläranlagen geplant. Zudem ist in Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern die Errichtung von weiteren Werken für die Abwasserentsorgung in einigen weiteren Groß- und Provinzstädten vorgesehen.

Umfangreiche Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsvorhaben werden in Hanoi und Ho-Chi-Minh Stadt realisiert. Dabei handelt es sich um Investitionen in einem Gesamtwert von 1 Mrd. US\$. Gegenwärtig wird die erste Phase dieser Vorhaben mit einem Investitionswert von 200 Mio. US\$ verwirklicht. Die Finanzierung erfolgt zum größten Teil mit ODA-Geldern aus Japan. Die Arbeiten konzentrieren sich vor allem auf die Installation neuer Pumpstationen, Uferbefestigung und Erweiterung des Kanalnetzes. In den kommenden Jahren sind auch in Haiphong, Ha Long, Hue, Vinh, Viet Tri, Nam Dinh, Dong Hoi, Buon Me Thuat, Dalat und Vung Tau umfangreiche Investitionen im Bereich der Wasserwirtschaft geplant.

Mit finanzieller Unterstützung der Weltbank sollen Kläranlagen in Haiphong, Danang und Ha Long (gemeinsam mit Danida) errichtet werden. Frankreich will hingegen derartige Projekte in Thai Nguyen, Vung Tau und Hoi An finanzieren. In Buon Ma Thuot und Dalat beabsichtigt Danida, sich am Bau von Kläranlagen finanziell zu beteiligen.

Einige Vorhaben will auch die deutsche Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) finanziell unterstützen. Die technische Hilfe für diese Vorhaben soll die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) leisten. Geplant ist die Errichtung von zwei Abwassersammel- und -reinigungssystemen in Bac Ninh, ca. 90 km südlich von Hanoi und in Can Tho (Mekong-Delta). Außerdem erwägt die KfW, eventuell ein ähnliches Projekt in Viet Tri mitzufinanzieren.

Nach derzeitigem Programm konzentriert sich die KfW mehr auf mittlere Städte, die nachfolgend in Tabelle 10 aufgelistet sind.

Tabelle 10: KfW-Projektliste, Teil Abwasser (KfW, 2004)

| Project Name | Amount (Mio. EUR) | Implementation Status |
|---|----------------------|--------------------------|
| Waste Water Disposal and Solid Waste Disposal North (Bac Ninh, Hai Duong) | 17.0 | Under preparation |
| Waste Water Disposal and Solid Waste Disposal Central (Vinh) | 13.8 | Under preparation |
| Waste Water Disposal and Solid Waste Disposal South (Can Tho, Soc Trang) | 14.0 | Ongoing |

Vietnam bezieht Ausrüstungen für den Bedarf der Wasserwirtschaft vor allem aus asiatischen Ländern. Wichtigste Lieferanten sind Firmen aus Japan, Taiwan, Korea (Rep.), Malaysia und Singapur. Aus den westlichen Industrieländern werden zumeist Spezialpumpen und spezielle Reinigungsapparaturen eingeführt. Die Importe von Wassertechnik sind weitgehend zollfrei.

Der Preis ist entscheidend für den Absatz von Produkten der Wassertechnik. Laut Angaben des in Ho-Chi-Minh Stadt ansässigen Center for Environmental Technology sind u. a. Wasseraufbereitungsanlagen von Osmonic (USA) für 21 450 US\$, Unterwasserpumpen von Frankline (USA) für 3 000 US\$, Kanalisationspumpen von Ebara (Italien) für 500 US\$, von Caprari (Italien) für 1 000 US\$, von Flygt (Schweden) für 1 000 bis 1 200 US\$ und von Tsurumi (Japan) für 750 US\$, Schlammumpen ("tossing pumps") von Trominelc und Aldos (beide Deutschland) für 300 bis 1 000 US\$ und von Dosatron (Italien) für 150 bis 1 000 US\$ in Vietnam erhältlich. Fachleute rechnen in den kommenden fünf Jahren mit einem deutlich wachsenden vietnamesischen Markt für Wassertechnik und zunehmenden Importen von derartigen Anlagen und Ausrüstungen.

Weil darin eine Erfolgchance für die exportorientierte Umweltindustrie Europas gesehen wird, fördert die Europäische Union im Programm EU Asia-Link u. a. die Untersuchung von technischen Anlagen- und Finanzierungskonzepten, bei denen (z. B.) deutsche und vietnamesische Partner arbeitsteilig für den Weltmarkt produzieren und vertreiben (EU PEPS, 2005).

8 Zusammenfassung und Folgerungen

Die infrastrukturellen und logistischen Voraussetzungen in Vietnam sind, zumindest in den industrialisierten Bereichen, zweifelsohne ausreichend gut, um auch mit komplizierteren Klärwerkstechniken umgehen zu können.

Nachdem es, außer in einigen ökonomisch gut situierten *Industriezonen* und Industriebetrieben, so gut wie keine Kläranlagen gibt und die Umweltprobleme beim Gewässerschutz die Wasserversorgung und Volksgesundheit sichtbar und gravierend belasten, ist zweifelsohne ein großer *Bedarf* vorhanden. Eine konkretere *Nachfrage* nach Klärwerksprojekten entwickelt sich jedoch nur dort, wo die finanziellen Grundlagen gegeben sind oder sich im Rahmen einer Projektentwicklung herstellen lassen.

Bei den Industrieklärwerken sind Konzepte und Komponenten aus Deutschland konkurrenzfähig, wenn sie entweder genauso billig oder deutlich besser sind als die Vergleichsprodukte aus den benachbarten "Tigerstaaten" oder anderen Billig-Lohn-Ländern, aus denen vor allem Pumpen, Schaltkästen, Feinsiebe und sogar Mikrofilter nach Vietnam importiert werden.

Im *kommunalen Bereich* wird die Projektentwicklung durch die Gesetze der Geberinstitutionen geprägt, die sich auf größere und mittlere prioritäre Standorte konzentrieren. Hier ist es erforderlich, dass man sich auf den entsprechend langen zeitlichen Vorlauf und Aufwand für Vorkontakte zu den Projektverantwortlichen bei den Geberinstitutionen, zu den ausschreibungsverantwortlichen Consultants und dann auch zum vietnamesischen Projektträger einstellt und die notwendigen voluminösen Unterlagen für Präqualifikation und Angebotsabgabe mit den in der Regel geforderten formalen Nachweisen erbringt.

9 Literatur und Quellen

bfai (2002) Bundesagentur für Außenwirtschaft, Marktanalysen: Wassermanagement und Wassertechnik Asien/Pazifik. Kapitel "Vietnam", Seite 315 ff.

BMBF (2003a) BMBF-Workshop vom 20./21.02.2003, Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil I: Trinkwasser, Band I: Rahmenprojekte

BMBF (2003b) Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben 02WT0207, Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil 1: Trinkwasser, Band 1: Praxiserfahrungen bei der Trinkwassergewinnung in anderen Ländern

- BMWA (2005) Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Leitfaden zur Herausbildung leistungsstarker kommunaler und gemischtwirtschaftlicher Unternehmen der Wasserver- und Abwasserentsorgung. Erscheint voraussichtlich im April, Bearbeitung: K.-U. Rudolph, Witten
- EU PEPS (2005) EU-Projekt TH/Asia Pro Eco/02(91103), Prefabricated Environmental Package Systems (PEPS) Business Models and Investments in Asia. Bearbeitung: Institut für Umwelttechnik und Management an der Privaten Universität Witten/Herdecke gGmbH
- JICA (1999) Japan International Cooperation Agency, The Study on Urban Drainage and Sewerage System for Ho Chi Minh City. Final Report, Pacific Consultants International
- JICA (2000) Japan International Cooperation Agency, The Study on Environmental Improvement for Hanoi City in the Socialist Republic of Vietnam. Final Report, Summary, Nippon Koei Co., Ltd, EX Corporation
- KfW (2004) Kreditanstalt für Wiederaufbau, Deutsch-Vietnamesische Finanzielle Zusammenarbeit. Internes Status-Papier
- Pontos (2004) www.pontos-online.de
- SIWRR (2003) Southern Institute of Water Resources Research, Interne Messprotokolle
- Stolpe, H. et al. (2003) SANSED Hydrogeology and Wastewater Resources Management Group. Report on the 1st Investigation Period, March 27th - May 26th, 2003 (BMBF Project Report)
- Trinh Thi Long (2001) Wastewater and its Treatment System in the Southern Part of Vietnam. In: "Wastewater Reuse for Agriculture in Vietnam; Water Management, Environmental and Human Health Aspects", Workshop Proceedings, Hanoi, March 14th, 2001, IWMI Working Paper No. 30, www.iwmi.org/pubs/working/WOR30.pdf
- Vietnam Standards TCVN (Tiêu Chuẩn Việt Nam) (1995, 2000)

10 Anlagen (auf CD beigefügt)

- Anlage 1: Empfehlungsschreiben des BMBF
- Anlage 2: Fragebögen (Kurzfassung in Englisch und Vietnamesisch)
- Anlage 3: Fotodokumentation
- Anlage 4: Ausgewählte Materialien:
- Vietnam Standard TCVN 5942 - 1995
Water Quality, Surface Water Quality Standard
 - Vietnam Standard TCVN 5943 - 1995
Water Quality, Coastal Water Quality Standard

Masterplan HCM (Auszug): The Study on Urban Drainage and Sewerage System for Ho Chi Minh City in the Socialist Republic of Viet Nam Final Report, Main Report, December 1999 (Pacific Consultants International)

Japan International Cooperation Agency (JICA)

People's Committee of Ho Chi Minh City (PCHCMC)

Ministry of Planning and Investment (MPI)

The Socialist Republic of Viet Nam

Masterplan Hanoi (Auszug): The Study on Environmental Improvement for Hanoi City in The Socialist Republic of Vietnam

Final Report, Summary, July 2000 (Nippon Koei Co., Ltd., EX Corporation)

Japan International Agency (JICA)

Hanoi People's Committee

Socialist Republic of Vietnam

Vortrag Mrs Trinh Thi Long, SIWRR

Wastewater and its Treatment System in the Southern Part of Vietnam

Wastewater Reuse for Agriculture in Vietnam: Water Management, Environment and Human Health Aspects

Workshop Proceedings, Hanoi March 14th, 2001

IWMI Working Paper No. 30

www.iwmi.org/pubs/working/WOR30.pdf

Anlage 5: Wichtige Kontaktadressen

4. Zusammenfassung der Ergebnisse und Folgerungen

4.1 Informationsquellen

Durch Klärwerksbesichtigungen, Informationsgespräche bei verschiedenen Institutionen und mit Fachkollegen sowie durch zusätzliche Literaturrecherche wurden Informationen zur Situation der Abwassereinigung in verschiedenen Ländern erhoben. Die ausgewählten Länder sind repräsentativ für verschiedene Regionen und verschiedene Entwicklungsstufen. In der Auswahl sind aus Gründen der Vergleichbarkeit alle Länder enthalten, die auch in dem bereits erschienenen Bericht zur Trinkwassergewinnung enthalten sind.

Die besuchten Länder sind Ägypten, Brasilien, China, Indonesien, Iran, Jordanien, Marokko, Russland, Südafrika, Thailand, die USA und Vietnam. In diesen Ländern wurden insgesamt 90 Klärwerke besichtigt. Sie arbeiten nach sehr verschiedenen Reinigungsverfahren und ihre Ausbaugröße reicht von Kleinklärwerken mit einigen wenigen angeschlossenen Einwohnern bis zu Großanlagen mit mehreren Millionen Einwohnerwerten. Einen Überblick über die besuchten Klärwerke gibt Tabelle 4.1.

Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse und die beobachteten Grundzüge zusammengefasst. In Anbetracht der Verschiedenartigkeit der besuchten Länder und der unterschiedlichen Verhältnisse innerhalb dieser Länder sind Ausnahmen immer möglich. Einen Sonderfall im Rahmen der Untersuchungen stellen auch die USA dar. Ihre Abwassertechnik unterscheidet sich aufgrund des generellen Entwicklungsstandes von den Verhältnissen in den anderen Ländern grundlegend. Ihre Bedeutung im Rahmen der Untersuchungen liegt in erster Linie darin, dass ihre Technologie für viele andere Länder beispielgebend ist und dass sie das Land sind, in dem eine Wasserwiederverwendung bereits in vielen Anwendungsfällen realisiert ist.

Tabelle 4.1: Übersicht zu den besuchten Klärwerken

| Land | Kapazität der Anlagen | Anzahl | An-aerob | Bele-bung | Tropf-körper | Teiche | Sons-tige |
|------------|--|--------|-----------------|-----------|-----------------|--------------------|---------------------|
| Ägypten | 40 000 - 400 000 m ³ /d | 4 | - | 1 | - | 1 | 2 |
| Brasilien | 3 600 - 4,5·10 ⁶ EW | 11 | 1 ^{*)} | 8 | - | 2 | 1 |
| China | 50 000 - 1,7·10 ⁶ m ³ /d | 10 | - | 6 | - | - | 4, 1 ^{*)} |
| Indonesien | 3 750 - 243 000 m ³ /d | 13 | 6 | 2 | 1 | 2 | 2, 1 ^{**)} |
| Iran | 40 000 - 0,9·10 ⁶ EW | 9 | - | 6 | 1 ^{*)} | 3 | - |
| Jordanien | 1 600 - 55 000 m ³ /d | 2 | - | 1 | - | 1 | - |
| Marokko | 86 - 4 500 m ³ /d | 4 | - | 2 | - | 2, 1 ^{*)} | - |
| Russland | 15 000 - 7,5·10 ⁶ EW | 6 | - | 6 | - | - | 2 ^{*)} |
| Südafrika | 5 000 - 3,3·10 ⁶ EW | 7 | - | 7 | 3 ^{*)} | 2 ^{*)} | 1 ^{*)} |
| Thailand | 150 - 350 000 m ³ /d | 8 | - | 6 | 1 ^{*)} | - | 2, 1 ^{*)} |
| USA | 300 - 2,5·10 ⁶ m ³ /d | 10 | - | 8 | 3 ^{*)} | 2 | 1 ^{*)} |
| Vietnam | 5 - 150 000 EW | 6 | - | 3 | - | 1 | 2 |
| Summe | | 90 | 7 | 56 | 9 | 17 | 20 |

*) In Kombination mit Belebungsverfahren

***) In Verbindung mit Anaerobanlage

4.2 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien

Die besuchten Länder verfügen alle über eine, zum Teil sehr umfangreiche, Umweltgesetzgebung. Häufige Quellen für die Standards, Grenzwerte oder Meßmethoden sind entsprechende Vorbilder aus den USA oder Empfehlungen internationaler Organisationen (z. B. US-EPA, APHA-Standard-Methods, WHO, FAO, Weltbank). Entsprechende Vorgaben wurden von vielen Ländern in mehr oder weniger modifizierter Form übernommen.

Die Einleitvorschriften für Klärwerke gelten in einigen Ländern einheitlich für alle Anlagen, in anderen hängen sie von den Vorfluterverhältnissen ab (Immissionsprinzip). Soweit einheitliche Vorschriften gelten, kann sich dies je nach der politischen Organisationsstruktur eines Landes auf das gesamte Land oder nur auf einzelne Bundesstaaten oder Provinzen beziehen (z. B. Brasilien, China). Soweit die Einleitvorschriften von den Vorfluterverhältnissen abhängen, wird in der Regel nicht von deren ökologischem Zustand, sondern von der Gewässernutzung ausgegangen. Die häufigsten Nutzungsarten sind die Verwendung als Rohwasser für

die Trinkwasserversorgung, als Bewässerungswasser und als Badegewässer in Tourismusgebieten. Die Anzahl der zu beachtenden Güteparameter kann sehr gering sein und sich auf einige Grundgrößen wie BSB, pH-Wert, Feststoffe und Stickstoff beschränken. Andere Vorschriften enthalten sehr umfangreiche Listen mit chemischen Parametern und den zugehörigen Grenzwerten für die Abläufe von Klärwerken. Die umfangreicheren Einleitvorschriften gelten zwar überwiegend für Industrieklärwerke, in einigen Fällen aber auch für kommunale Anlagen.

Wie variabel die Standards sein können, zeigt das Beispiel des BSB in Vietnam: In Abhängigkeit von der Gewässernutzungsstufe betragen die Immissionsstandards für den BSB 4, 10, 20 oder 25 mg/l, die Ablaufgrenzwerte für Klärwerke 30, 40, 50 oder 200 mg/l. Als genereller Überblick lassen sich die Anforderungen an die kommunale Abwasserreinigung dahingehend zusammenfassen, dass in den meisten Ländern eine biologische Behandlung ohne Nährstoffelimination gefordert wird. Zusätzlich wird häufig eine Desinfektion gefordert. Interessante Aspekte in den US-amerikanischen Vorschriften sind die Abhängigkeit von Grenzwerten von der Dauer der Betrachtungsperiode (7 Tage, 30 Tage) und ganzjährige oder saisonale Einleitverbote für besonders empfindliche Gewässer, was auch Fließgewässer mit einschließt.

Die wenigsten Länder verfügen über eigenständige Regelwerke für Entwurf und Bemessung von Klärwerken. Die meisten Regelwerke sind mit nur geringen Modifikationen aus ausländischen Regelwerken übernommen. Soweit keine eigenen Regelwerke vorliegen, wird beim Entwurf meist auf die angelsächsische Fachliteratur oder die entsprechenden Regelwerke zurückgegriffen. Der Einfluss der Regelwerke auf die Wirtschaftsbeziehungen ist hoch. Dies zeigen als zwei gegensätzliche Beispiele China und Iran. In China ist das deutsche Regelwerk vielen Fachleuten durch eine Ausbildung in Deutschland bekannt. Die chinesischen Fachkollegen stehen deshalb deutschen Entwürfen, Firmen und Produkten sehr positiv gegenüber. Umgekehrt ist die Situation im Iran. Eine große Zahl der dortigen Fachkollegen wurde in den USA ausgebildet. Das führt dazu, dass deutsche Entwürfe von vornherein als kritisch angesehen werden, allein schon deshalb, weil es für die iranischen Fachkollegen schwierig ist, diese Entwürfe zu prüfen.

Ausbildungsrichtlinien für den Abwassersektor liegen nur im akademischen Bereich vor. Für das sonstige Betriebspersonal auf Klärwerken gibt es in der Regel keine eigenständige Ausbildung. In Einzelfällen wird eine Ausbildung als Mechaniker oder Elektriker gefordert. Es ist aber schwierig, Personal dieser Berufsgruppen

auf Klärwerken zu halten, da es für sie auch in anderen Wirtschaftsbereichen attraktive Beschäftigungsmöglichkeiten gibt.

Die Verantwortung für den Betrieb kommunaler Klärwerke liegt bei den Kommunen, regionalen oder zentralstaatlichen Organisationen. Als Organisationsform finden sich sowohl öffentliche als auch privatrechtliche Strukturen. Eine Vergabe an private Investoren und Betreiber wird bereits in etwa der Hälfte der besuchten Länder praktiziert. Industrieklärwerke werden von den einzelnen Betrieben oder häufig von für die Infrastruktur der Industriegebiete zuständigen Organisationen betrieben. In mehreren Ländern sind Bau, Betrieb und Überwachung der Klärwerke nicht getrennt sondern Aufgabe der gleichen Organisation.

Folgerungen

Gesetze, Verordnungen und Richtlinien sind länderspezifisch und zum Teil sehr komplex und unübersichtlich. Für eine Kooperation ist es deshalb erforderlich, sich sehr sorgfältig mit den im Einzelfall gültigen Gesetzen, Vorschriften oder Richtlinien vertraut zu machen. Soweit die Bemessung auf Regelwerken aus anderen Ländern wie z. B. den USA aufbaut, wird es zweckmäßig sein, nach diesen Regelwerken zu arbeiten oder zumindest mit ihnen soweit vertraut zu sein, dass die auf dem deutschen Regelwerk aufbauenden Entwürfe im Vergleich zu den eingeführten Regelwerken erläutert werden können.

Übersetzungen des deutschen Regelwerks und dessen Erläuterung sind eine wichtige Arbeitsgrundlage, wenn nach ihm gearbeitet werden soll. Nur hierdurch ist es den einheimischen Fachleuten möglich, Vorgehensweise und Entwürfe zu prüfen, was wiederum Voraussetzung für die Akzeptanz ist.

Die Ausbildung von Fachkräften ist ein entscheidender Faktor für eine langfristige Zusammenarbeit. Die deutschen Hochschulen sollten verstärkt ausländische Studierende und Doktoranden aufnehmen und die Anzahl der Stipendien für den Wassersektor sollte erhöht werden. Empfehlenswert sind weiterhin auslandsbezogene Studiengänge, die dann eine stärkere synoptische Beachtung der Vorgehensweisen und Regeln einiger maßgebender Länder erlauben würden.

Aber auch die Verbesserung der Ausbildung des Betriebspersonals sollte hinsichtlich der Stärkung der Exportwirtschaft nicht unterschätzt werden, da anspruchsvolle Technologien – und hierzu zählt bereits das Belebungsverfahren – in etlichen Ländern bereits als zu komplex für das Betriebspersonal angesehen werden. Folglich wird auf einfachere Techniken mit entsprechend geringem „Exportanteil“ wie z. B. Teichanlagen ausgewichen.

4.3 Rahmenbedingungen

Die besichtigten Klärwerke liegen in den vier Klimazonen tropisches Klima, Trockenklima, warmgemäßigtes Klima und Schnee-Wald-Klima. Einige Hinweise zur Abwassertechnik im verbleibenden Schneeklima konnten während der Informationsreise nach Russland gewonnen werden. Vergleichbare Bedingungen liegen im Winter auch im Klärwerk in Truckee in der Sierra Nevada vor.

Die verschiedenen Klimazonen wirken sich auf die Abwasserbeschaffenheit hauptsächlich über die Abwassertemperatur, den Abwasseranfall (Wasserverbrauch, Niederschläge und deren saisonale Verteilung) und die Inhaltsstoffe und deren Konzentrationen (Einträge, Verdünnungseffekte) aus. So liegen z. B. in einem Klärwerk in Thailand bei Mischwasserzufluss die BSB-Konzentrationen bei nur ca. 15 mg/l und in der trockenen Jahreszeit bei ca. 100 mg/l. Trotz der auch während der trockenen Jahreszeit relativ niedrigen Werte ergibt sich hieraus eine Schwankungsbreite von 1:7. Die Klimazonen beeinflussen weiterhin die Eignung natürlicher Behandlungsverfahren wie Abwasserteiche oder die Klärschlamm-trocknung und sie beeinflussen den Bedarf für eine Wiederverwendung und zwar sowohl des Wassers als auch organischer Stoffe als Bodenverbesserungsmittel. Die klimatischen Verhältnisse liefern somit die Erklärung für verschiedene Ergebnisse, die in den einzelnen Kapiteln zur Abwasserbeschaffenheit, zu den angewandten Technologien und zur Wiederverwendung enthalten sind.

Entsprechend den erfassten Klimazonen weisen die Werte für die Temperatur und die Niederschlagshöhe eine große Schwankungsbreite auf. Die mittleren Tages-temperaturen reichen von unter 0 °C (Truckee im Dezember und Januar) bis 30 °C (Ägypten). In Ägypten, Jordanien und Marokko werden an einigen Orten Spitzentemperaturen von ca. 50 °C erreicht. Bezüglich der Niederschlagshöhen wurden Gebiete mit Jahresniederschlagshöhen von 25 mm bis 4 000 mm erfasst. Innerhalb der einzelnen Länder liegen zum Teil erhebliche regionale und saisonale Unterschiede vor. Als Folge hiervon finden sich Wassermangelgebiete selbst in Ländern mit durchschnittlichen Jahresniederschlagshöhen von ca. 1 500 mm oder mehr.

Der Stand der Abwasserreinigung ist auch innerhalb der besuchten Länder sehr unterschiedlich. Neben regionalen Unterschieden zeigten sich insbesondere Unterschiede zwischen den großen Städten und ländlichen Regionen. Während in vielen Großstädten bereits ein großer Teil der Einwohner an eine Kanalisation angeschlossen ist (z. B. Esfahan 95 %, Shanghai 62 %), ist der Anschlussgrad in kleinen Städten sehr gering. Ein Gegenbeispiel zu hohen Anschlussgraden in den

großen Städten ist Teheran, wo aufgrund früherer Planungsentscheidungen nur 10 % der Einwohner an eine Kanalisation angeschlossen sind.

Der Anschluss an eine Kanalisation bedeutet jedoch noch nicht den Anschluss an ein Klärwerk. Das gesammelte Schmutz- oder Mischwasser wird häufig direkt in den Vorfluter eingeleitet. Ein Großteil der vorhandenen Klärwerke verfügt nur über eine mechanische Reinigungsstufe.

Das Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung führen zu einer zunehmenden Gewässerbelastung. In allen besuchten Ländern liegen deshalb Planungen für den Ausbau der Abwasserentsorgung vor, bzw. die Abwasserentsorgung befindet sich im Ausbau. Als Folge schneller Entwicklungen ist mit schnellen Änderungen von Planungsdaten und Anforderungen zu rechnen.

Folgerungen

Die klimatischen Verhältnisse, die den Abwasseranfall, die Abwasserbeschaffenheit, die Eignung naturnaher Abwasserbehandlungsverfahren und den Bedarf für eine Wiederverwendung beeinflussen, können innerhalb einzelner Länder sehr unterschiedlich sein. Für abwassertechnische Maßnahmen sind deshalb die jeweils örtlichen Verhältnisse maßgebend.

In allen besuchten Ländern bestehen Programme zum Ausbau der Abwasserentsorgung, so dass sich hieraus Kooperationsmöglichkeiten ergeben.

Bevölkerungswachstum, wirtschaftliche Entwicklungen und Ausbauprogramme können die Anforderungen an Klärwerke sehr schnell verändern. Dies sollte bei der Konzipierung der Anlagen berücksichtigt werden. Auch in den Projekten des Forschungsverbundes sollte der Gedanke von Verfahrenserweiterungen, z. B. durch ein späteres Hinzufügen einer Nährstoffelimination oder einer Wiederverwendung, mit berücksichtigt werden.

4.4 Abwasserbeschaffenheit

Tabelle 4.2 zeigt einige Beispiele zur Abwasserbeschaffenheit. Aus ihnen geht hervor, dass die Abwasserbeschaffenheit von deutschen Verhältnissen sehr stark abweichen kann und dass selbst innerhalb einzelner Länder große Unterschiede anzutreffen sind. Diese Unterschiede ergeben sich aus den klimatischen Verhältnissen, Lebensgewohnheiten und dem Lebensstandard der Bevölkerung, dem Stand der Wasserversorgung und dem Stand der Abwasserableitung.

Bei der aufgezeigten Bandbreite handelt es sich keineswegs nur um Extremwerte. Auch die Mittelwerte der Beschaffenheit können deutlich von deutschen Verhältnissen abweichen. So liegt z. B. in vielen Ländern die Abwassertemperatur durchgehend nahe bei 30 °C. Ein weiteres Beispiel ist die BSB-Konzentration in Thailand, die bei den meisten der dortigen Anlagen bei etwa 50 mg/l liegt. In Ländern mit einer unzureichenden Direkteinleiterkontrolle ist auch mit Gift- und Störstoffen zu rechnen.

Für Planungszwecke liegen oft nur wenige Daten zur Abwasserbeschaffenheit vor. In diesen Fällen ist auch die Analyse vorhandener Abwässer mit Unsicherheiten verbunden, weil sich die Verhältnisse in den Einzugsgebieten durch den Ausbau der Ver- und Entsorgungssysteme und Veränderungen der Einkommensverhältnisse oder sonstige Einflussfaktoren sehr schnell ändern können.

Tabelle 4.2: Ausgewählte Kennzahlen zum Abwasserzulauf der besichtigten Klärwerke

| Land | Menge l/(E·d) | Temperatur °C | BSB mg/l | BSB g/(E·d) | N mg/l |
|------------|------------------------|------------------|-------------|----------------|-----------|
| Brasilien | 120 - 180 | 10 - 28 | 108 - 299 | 29 | 27 - 64 |
| China | - | 5 - 25 | 44 - 386 | - | 35 |
| Indonesien | 20 - 300 ^{*)} | - | - | 27 - 70 | - |
| Marokko | - | - | - | 32 - 40 | 9 |
| Südafrika | 10 - 800 | 10 - 30 | 250 - 400 | - | 35 - 80 |
| Thailand | - | 26 - 33 | 20 - 400 | - | 17 - 20 |
| USA | - | 1 - 25 | 160 - 380 | - | - |

*) Trinkwasserverbrauch

Folgerungen

Deutsche Erfahrungswerte zur Abwasserbeschaffenheit sind keine Grundlage für eine Tätigkeit im Ausland. Es sind vielmehr sorgfältige Erhebungen vor Ort erforderlich und es ist mit schnellen Veränderungen der vorgefundenen Verhältnisse zu rechnen. Die angebotenen Technologien müssen an die jeweils vorliegende Abwasserbeschaffenheit angepasst sein. Dies kann einschneidende Verfahrensmodifikationen erfordern.

Für den Forschungsverbund ergeben sich aus den gewonnenen Daten charakteristische Werte der Abwasserbeschaffenheit, die sowohl bei der Verfahrensentwicklung als auch bei den Simulationsmodellen zu berücksichtigen sind.

4.5 Abwasserableitung

Die häufigsten Systeme für Kanalisationen sind Misch- oder Trennsysteme. In einigen Ländern wird das Trennsystem bevorzugt, in Brasilien ist es vorgeschrieben. Das Trennsystem ist insbesondere in den Gebieten mit abwechselnd intensiven Regen während der Regenzeit und einer trockenen Jahreszeit häufig und sinnvoll. Eine Mischkanalisation wäre während der Regenzeit vollkommen überlastet, was in einigen Fällen auch tatsächlich der Fall ist, und während der trockenen Jahreszeit würde in der Kanalisation Stagnation auftreten. Neben den Misch- und Trennsystemen wurden vereinzelt auch Druckentwässerungen, Vakuumentwässerungen und Small-Bore-Sewer-Systeme angetroffen. Einige Mischwassernetze sind derart überlastet, dass sie de facto zu Schmutzwassernetzen wurden und nur sehr wenig zusätzliches Niederschlagswasser aufnehmen können. Eine Regenwasserbehandlung wurde nur in den USA angetroffen.

Eine Sonderform einer Kanalisation ist historisch in Thailand entstanden: Hausbesitzer sind verpflichtet, das Abwasser biologisch zu reinigen. Das behandelte Abwasser wird dann in die öffentlichen Kanäle bzw. Vorfluter eingeleitet. Wegen der verbleibenden Belastung wurden diese Netze de facto zu Kanalisationen und sie werden zunehmend an Kläranlagen angeschlossen. Diese Form eines Kanalnetzes ist mit ursächlich für die niedrigen BSB-Konzentrationen im Zulauf thailändischer Klärwerke. Eine weitere Besonderheit weist Moskau auf: Hier werden die von den Straßen abgeräumten Schneemassen durch Vermischen mit Abwasser abgeschmolzen und dann in die Kanalisation eingeleitet. Ein Absinken der Abwassertemperatur unter 14 °C wurde trotzdem nicht beobachtet.

Die meisten Kanalnetze weisen einen schlechten Bauzustand auf. Wirksame Rückhalteeinrichtungen für Grobstoffe fehlen häufig. Die Folgen sind hohe Exfiltrationsraten, Fremdwassereinträge und Grobstoff- und Sandbelastungen. Instandhaltung und Wartung der Kanalnetze sind meist ebenfalls unzulänglich, häufig fehlen sie vollkommen. Dies führt zu Verstopfungen und Anfaulen des Abwassers. Eine weitere Folge ist, insbesondere bei hohen Abwassertemperaturen, eine intensive Schwefelwasserstoffbildung.

Folgerungen

Mängel beim Bau und Betrieb von Kanalisationen und in Einzelfällen auch Sonderformen der Kanalisation führen häufig zu wesentlichen, meist nachteiligen Veränderungen der Abwasserbeschaffenheit. Sie sind bei Planung und Betrieb von Klärwerken zu berücksichtigen. Mit einer kurzfristigen Beseitigung der Mängel

kann in der Regel nicht gerechnet werden, da sie eine Sanierung der Netze von Grund auf erfordern würde.

4.6 Abwasserreinigung

Beim Neubau von Klärwerken wird im Allgemeinen eine biologische Behandlung zum Abbau der Kohlenstoffverbindungen gefordert. Viele ältere Anlagen bestehen jedoch nur aus einer mechanischen Stufe. In China werden auch neue Anlagen vereinzelt nur mit einer mechanischen Stufe ausgestattet. Eine Nährstoffelimination wird unter bestimmten Voraussetzungen in Südafrika und den USA gefordert. Eine Abwasserdesinfektion wird in etwa der Hälfte der besuchten Länder zumindest in Einzelfällen praktiziert.

In der kommunalen Abwasserreinigung ist das am häufigsten angewandte Verfahren das Belebungsverfahren. Von den 90 besichtigten Anlagen waren 56 Belebungsanlagen. Die zweitgrößte Gruppe waren Teiche mit 17 Anlagen. Als weitere Verfahren wurden Tropfkörper, Scheibentauchkörper, UASB-Reaktoren und Pflanzenkläranlagen (Qingdao: 60 000 m³/d) angetroffen.

In der mechanischen Stufe werden zur Grobstoffentfernung sowohl einfache, lokal hergestellte Rechen und Siebe als auch importierte automatische Rechen- und Siebanlagen eingesetzt. Die häufigsten Sandfangarten sind der Langsandfang und der belüftete Sandfang. Daneben wurde auch ein Rundsandfang entsprechend US-amerikanischem Vorbild angetroffen. Der US-amerikanische Einfluss macht sich auch bei der Vorklärung bemerkbar, wo vereinzelt Flockungshilfsmittel eingesetzt werden.

Die häufigsten Formen des Belebungsverfahrens sind Umlaufgräben mit Schlammstabilisierung und einstufige vollaerobische Belüftungsbecken. Zusätzlich wurden die meisten der aus der Literatur bekannten Verfahrensmodifikationen angetroffen, in Südafrika z. B. das Bardenpho-Verfahren, das UCT-Verfahren und das modifizierte UCT-Verfahren. Zur Belüftung wird Walzen- und Kreislaufbelüftung der Vorzug vor einer feinblasigen Belüftung gegeben. Die feinblasige Belüftung gilt generell als anfällig und führte, wo sie eingesetzt wurde, häufig zu Betriebsproblemen. Eine anaerobe Abwasserbehandlung wird in größerem Umfang nur in Brasilien praktiziert.

Teichanlagen als die zweithäufigste Art der biologischen Stufe werden entsprechend den bekannten Verfahrensschemata ausgeführt: Als Hauptstufe dienen fakultative oder belüftete Teiche, denen anaerobe Teiche vorgeschaltet sind. Der Hauptstufe nachgeschaltete Schönungssteiche werden bei der zum Teil hohen Be-

lastung der Anlagen oft zu Absetz- und Schlammagerteichen. Einige Teichanlagen sind in ihrem Zulauf mit einer Grobstoffentfernung ausgestattet. Tropfkörper als alleinige biologische Stufe sind selten. Sie werden in der Regel in Verbindung mit Teichen oder Belebungsanlagen als Nitrifikationsstufe eingesetzt. Dies entspricht wiederum US-amerikanischen Vorbildern.

Eine Abwasserdesinfektion wird im Gegensatz zu Deutschland häufig praktiziert. Sie wird in erster Linie in Touristikgebieten bei Einleitung in Badegewässer oder bei einer Verwendung als Bewässerungswasser durchgeführt. Das häufigste Verfahren ist eine Chlorung, in der Regel ohne anschließende Entchlorung. In den USA, in China und versuchsweise in einigen anderen Ländern wird auch eine Desinfektion durch UV-Bestrahlung angewandt. Filteranlagen (Sand, Anthrazit, Aktivkohle) werden den Desinfektionsstufen in den USA generell, ansonsten nur vereinzelt, vorgeschaltet.

Die Schlammentwässerung geschieht entsprechend den klimatischen Verhältnissen häufig auf Trockenbeeten. Für eine maschinelle Schlammentwässerung werden sowohl Siebbandpressen als auch Kammerfilterpressen und Zentrifugen eingesetzt. Die maschinellen Anlagen müssen von fast allen besuchten Ländern importiert werden. Deutsche Produkte sind sehr häufig. Eine Schlammfäulung wird vereinzelt bei größeren Anlagen betrieben, meist jedoch ohne eine Faulgasnutzung. Eine Faulgasnutzung wäre wegen niedriger Energiekosten und vergleichsweise teurem Import der maschinellen Ausrüstung auch häufig nicht wirtschaftlich. In Indonesien bestehen jedoch mehrere Anlagen mit Biogasnutzung, die meist mit ausländischer Förderung errichtet wurden. Eine Schlammverbrennung zur Stromerzeugung wurde in einem Industriebetrieb in China angetroffen. Die endgültige Verbringung der Klärwerksschlämme ist häufig nicht geregelt. Die Folgen sind unkontrollierte Deponierung, unkontrollierte Verbringung in die Landwirtschaft oder eine Einleitung in die Vorfluter.

Industrieabwasser wird, wie generell üblich, in Vorbehandlungsanlagen vor Einleitung in die Kanalisation, in Einzelklärwerken oder in Gemeinschaftsklärwerken ganzer Industriegebiete behandelt. Da viele Industriegebiete als in sich geschlossene Investitionsmaßnahme neu geschaffen werden, sind Gemeinschaftsanlagen zahlreich. Soweit die anfallenden Abwässer biologisch abbaubar sind, werden überwiegend die gleichen Verfahren wie in der kommunalen Abwasserreinigung eingesetzt.

Ein erheblicher Bedarf besteht auch an Klein- oder Kompaktklärwerken. Sie werden in Hotelanlagen, neu erschlossenen Wohngebieten, Geschäftszentren usw.

eingesetzt. Die Betreiber sind in der Regel wirtschaftlich erfolgreiche Unternehmen bzw. Gebiete, so dass die Finanzierung leichter möglich ist als die Finanzierung kommunaler Anlagen. Diese Kleinkläarwerke sind jedoch der dezentralen Entsorgung zuzurechnen und somit nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsverbundes.

Im Betrieb der Anlagen zeigten sich fast überall erhebliche Mängel. Die Hauptursachen sind Planungsfehler, eine unzureichende Ausbildung des Betriebspersonals und eine unzureichende Finanzierung des Betriebs. Die Erfahrung häufiger betrieblicher Schwierigkeiten wirkt sich auf die Präferenzen bei der Auswahl der maschinellen Ausrüstung aus. Da die Wartungs- und Reparaturmöglichkeiten und, meist aus Kostengründen, die Möglichkeit zu Ersatzbeschaffungen begrenzt sind, wird auf eine geringe Störanfälligkeit und Langlebigkeit der importierten maschinellen Ausrüstung großer Wert gelegt. Diese Kriterien sind wichtiger als eine optimierte Effizienz. Deutsche Produkte stehen generell in dem Ruf, die Forderung nach geringer Störanfälligkeit und Langlebigkeit zu erfüllen und sind trotz ihres hohen Preisniveaus konkurrenzfähig, wenn sie diesen Erwartungen auch tatsächlich gerecht werden.

Über die Regelung der Sauerstoffkonzentration hinausgehende Regelungen der biologischen Stufe, wie sie in Deutschland mehr und mehr eingesetzt werden, wurden nicht angetroffen. Obwohl Regelungen Mängel in der Betriebsführung ausgleichen könnten, steht ihrer Anwendung die Komplizierung durch die erforderliche Messtechnik entgegen. In Anbetracht der in den letzten Jahren entwickelten Messsonden, die eine erhebliche Vereinfachung darstellen, könnte jedoch auch an Regelungen in Zukunft ein größeres Interesse entstehen.

Folgerungen

Die am häufigsten angewandten Verfahren der Abwasserreinigung entsprechen den auch in Deutschland verbreiteten Verfahren. Bei entsprechender Anpassung dieser Verfahren an die besonderen Bedingungen der jeweiligen Länder bzw. Orte bieten sich deshalb gute Voraussetzungen für eine Zusammenarbeit. Die anzutreffenden Verhältnisse sind jedoch sehr unterschiedlich, so dass die erforderlichen Anpassungen sehr detailliert und mit einer großen Variationsbreite vorgenommen werden müssen.

Die bei den Bereisungen angetroffenen Verfahren bestätigen die thematische Auswahl des Forschungsverbundes.

Trotz der deutlichen Schwerpunkte bei den eingesetzten Verfahren werden vereinzelt auch weniger bekannte Verfahren oder Verfahrensmodifikationen angewandt. Eine umfassende Kenntnis der weltweit verfügbaren Verfahren ist deshalb zur Vertrauensbildung und als Argumentationshilfe wünschenswert.

Eine Abwasserdesinfektion wird so häufig gefordert, dass sie als Standardverfahren allgemein verfügbar und bei Bedarf in Angeboten enthalten sein sollte.

Es ist zu erwarten, dass die bisher vernachlässigte Schlamm Entsorgung in Zukunft mehr Beachtung findet und sich hieraus auch weitere Kooperationsmöglichkeiten ergeben.

Deutsche Produkte sind trotz ihres vergleichsweise hohen Preises konkurrenzfähig, wenn sie störunanfällig und langlebig sind. Diese beiden Kriterien bestimmen die Wirtschaftlichkeit mindestens ebenso stark wie eine hohe Effizienz.

Da der Betrieb der Anlagen unter erheblich schwierigeren Bedingungen als in Deutschland abläuft, sind bezüglich der Betriebsführung anspruchslose und belastungstolerante Konzeptionen zu bevorzugen. Dieser Gesichtspunkt sollte auch ein Leitgedanke bei den Vorhaben des Forschungsverbundes sein.

4.7 Kosten und Gebühren

Die Kosten und Gebühren im Abwassersektor schwanken nicht nur zwischen den verschiedenen Ländern sondern auch innerhalb der einzelnen Länder erheblich. Einige Beispiele können dies verdeutlichen: Die Stromkosten betragen im Iran ca. 0,004 EUR/KWh, in Marokko ca. 0,05 bis 0,11 EUR/KWh; die Landerwerbskosten variieren allein in Brasilien zwischen 0,13 und 343 EUR/m²; Angaben zu den Investitionskosten von Belebungsanlagen variierten, bezogen auf die Kapazität, zwischen 150 und 800 EUR/(m³·d). Trotz dieser großen Schwankungsbreite lassen sich jedoch einige generelle Tendenzen feststellen:

Die Landerwerbskosten, die Kosten für von lokalen Unternehmen erbrachte Bauleistungen und die Personalkosten sind erheblich niedriger als in den Industrieländern, wodurch sich vor allem das Kostenverhältnis zwischen lokalen Leistungen und importierter Ausrüstung zu Ungunsten der Importe erheblich verschiebt. Auch die Energiekosten sind in den meisten Ländern sehr niedrig.

Der Bau von Klärwerken wird in den meisten Ländern von den Zentral- oder Regionalregierungen subventioniert oder insgesamt übernommen. Oft wird bei Abwasserprojekten auch eine maßgebliche Mitfinanzierung durch ausländische Institutionen wie die Weltbank oder die Kreditanstalt für Wiederaufbau erwartet. Die Be-

triebskosten werden ebenfalls aus nationalen, regionalen oder lokalen Haushalten bestritten.

Die Abwassergebühren decken in keinem der bereisten Länder die Kosten, auch nicht in den USA. Die Gebühren werden vielmehr nach verschiedenen Kriterien festgesetzt, wobei die häufigsten die Sozialverträglichkeit oder eine auf Erfahrung beruhende Zumutbarkeit sind. Da nicht überall ein Anschlusszwang besteht, müssen in diesen Fällen die Gebühren so niedrig sein, dass noch ein Anreiz zum Anschluss verbleibt. Eine häufige Form der Gebührengestaltung ist die Aufteilung in eine Anschlussgebühr, eine Grundgebühr und eine verbrauchsabhängige Gebühr. Die verbrauchsabhängigen Gebühren basieren in der Regel auf dem Wasserverbrauch. Wo Wasserzähler fehlen, werden feste Monatsbeträge gewählt. Die Gebührensätze selbst werden zum Teil progressiv, zum Teil linear nach den verschiedensten Kriterien wie Betriebsgröße, Anzahl der Personen im Haushalt oder auch Einkommensverhältnissen festgelegt. Die Deckung der Betriebskosten aus den Gebühren wird in Einzelfällen zumindest für die Zukunft angestrebt.

Folgerungen

Die Kostenstrukturen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit alternativer Verfahren oder Verfahrensvarianten erheblich. Dies sollte bei Planungen und im Rahmen des Forschungsverbundes berücksichtigt werden.

Bei Planungen ist kritisch zu prüfen, ob eine Deckung der Betriebskosten sichergestellt ist.

4.8 Wasserwiederverwendung

Eine Wasserwiederverwendung wird in den USA bereits in mehreren hundert Projekten durchgeführt. Die Ziele hierbei sind:

- Ausgleich eines Wassermangels,
- Erhöhung der Versorgungssicherheit in Gebieten mit Engpässen in der Wasserversorgung,
- Kosteneinsparungen im Vergleich zu alternativen Wasserquellen und
- Schonung von Vorflutern durch Reduzierung oder Aufgabe von Einleitungen und Reduzierung der Eingriffe in den natürlichen Wasserhaushalt.

In den anderen Ländern ist die Wasserwiederverwendung zwar noch weniger weit entwickelt, aber sie wird mit Ausnahme von Brasilien und Vietnam in den bereisten Ländern zumindest in Einzelfällen praktiziert. Beispiele sind die Bewässerung von

6 635 ha landwirtschaftlicher Fläche in Marokko; die Wiederverwendung von 71 Mio. m³ Abwasser jährlich in Jordanien, was 16 % des gesamten Bewässerungswassers entspricht; die Abwasserwiederverwendung von 75 000 m³/d zur Bewässerung und Gewässeranreicherung in Yinchuan in China; die Beschickung von Fischteichen und Wasserhyazintheenteichen in Indonesien mit anschließender Verwertung der Wasserhyazinthen in der Möbelherstellung; die Bewässerung eines Golfplatzes in Thailand.

Eine Zunahme der Wasserwiederverwendung wird in allen Ländern angestrebt und gefördert. Die meisten Länder verfügen auch bereits über entsprechende Vorschriften und Regelwerke. Am detailliertesten und zur Vermeidung von Risiken am strengsten sind die Vorschriften in den USA. Die Vorschriften der anderen Länder orientieren sich an den Regelwerken der USA oder den Empfehlungen der WHO. Die Empfehlungen der WHO berücksichtigen die begrenzten finanziellen Möglichkeiten von Entwicklungs- und Schwellenländern und sind deshalb bezüglich verschiedener Kriterien weniger streng und einschränkend. Die bestehenden Vorschriften werden jedoch vielfach nicht eingehalten. Ein weiteres Problem ist der Salzgehalt, der infolge hoher Verdunstungsraten gerade in Ländern mit einem hohen Bewässerungsbedarf oft hoch ist.

Folgerungen

An einer Wasserwiederverwendung besteht weltweit ein großer Bedarf und großes Interesse. Realistische Konzepte zur Wasserwiederverwendung im Rahmen von Abwasserprojekten werden deshalb oft Wettbewerbsvorteile bringen.

Im Rahmen des Forschungsverbundes sollten Abwasserreinigungsverfahren auch unter dem Aspekt der Wiederverwendung des gereinigten Abwassers gesehen werden.

