

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen

Wasserwirtschaft in Lateinamerika – angepaßte Lösungsansätze für subtropische ländliche Regionen im MERCOSUR unter besonderer Beachtung der Energieversorgung

Autor: Dipl.-Ing. (FH) Harald Wolf
geboren am 28. August 1968 in München

Inhalt

Glossar	7
1 Zusammenfassung	9
Teil I – Gegenwart der Wasserwirtschaft im MERCOSUR	11
2 Regionale Definition	11
2.1 Naturraum MERCOSUR	11
2.1.1 Geographische Einteilung	11
2.1.2 Klimatische Struktur	11
2.1.3 Oberflächengewässer	12
2.1.4 Grundwasser	12
2.2 Bevölkerung	13
3 Umweltschutz und Umweltbelastungen	14
3.1 Gefährdung der Oberflächengewässer	14
3.2 Gefährdung der Grundwasservorkommen	14
3.2.1 Allgemein	14
3.2.2 Grundwasserqualität	14
3.2.3 Grundwassermengen und -bewirtschaftung	15
4 Ländliche Wasserwirtschaft	15
4.1 Wassernutzung	15
4.2 Gesundheit und Wasserwirtschaft	16
4.2.1 Allgemein	16
4.2.2 Säuglings- und Kindersterblichkeit	16
4.3 Organisatorischer Rahmen der Wasserwirtschaft	17
4.3.1 Regional- und Kommunalpolitik	17
4.3.2 Privatisierung der Wasserwirtschaft	18
4.4 Situation der ländlichen Trinkwasserversorgung	18
4.4.1 Wasserbedarf	18
4.4.2 Argentinien	18
4.4.3 Brasilien	19
4.4.4 Paraguay	19
4.4.5 Uruguay	20
4.5 Industrielle Wasserversorgung	21
4.6 Wasserversorgung der Land-, Vieh- und Forstwirtschaft	21
4.6.1 Bodenfruchtbarkeit	21
4.6.2 Landwirtschaftliche Bewässerung	22
4.6.3 Viehtränke	23
4.7 Situation der Abwasserbeseitigung	24
4.7.1 Abwasserzusammensetzung und -anfall	24
4.7.2 Abwasserbeseitigung und –behandlung	24
4.7.3 Industrielle Abwasserbeseitigung und –behandlung	25

4.7.4	RW-Entsorgung	26
Teil II – Zieldefinierung für die Wasserwirtschaft in subtropischen, ländlichen Regionen des MERCOSUR		27
5	Ziele der Wasserwirtschaft	27
5.1	Allgemein	27
5.2	Kommunale Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung	28
5.2.1	Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung	28
5.2.2	Ausbaugeschwindigkeit	28
5.2.3	Qualitätsrichtlinien	28
5.2.4	Kosten der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung	29
5.2.5	Ausführungsqualität	29
5.2.6	Ausbauoptionen	29
5.3	Abwasserbehandlung	30
5.3.1	Allgemeines	30
5.3.2	Finanzielle Aspekte	30
5.3.3	Nutzung der Subprodukte	30
5.4	Nutzung des gereinigten Abwassers	31
5.4.1	Möglichkeiten der Abwassernutzung	31
5.4.2	Nährstoffnutzung	31
5.4.3	Speicherung gereinigten Abwassers	32
5.4.4	Finanzielle Aspekte der Abwassernutzung	33
5.4.5	Reinigungsziele zur gezielten Abwassernutzung	33
5.5	Nutzung des stabilisierten Schlammes	34
5.6	Erzeugung und Nutzung von Biogas	34
5.6.1	Stromerzeugung	34
5.6.2	Thermische Nutzung	34
6	Rahmenbedingungen der Wasserwirtschaft	35
6.1	Gesellschaftliche Einbindung	35
6.1.1	Allgemein	35
6.1.2	Interessengruppen	35
6.1.3	Bevölkerung	35
6.1.4	Arbeitslosigkeit	36
6.1.5	Wartung und Instandhaltung	36
6.2	Entwicklungssachsen und Energieversorgung	36
6.2.1	Energiekrisen und regionale Netze	36
6.2.2	Ländliche Verkehrserschließung	37
6.3	Weitere Faktoren der Wasserwirtschaft	37
6.3.1	Fachliche Leistungsfähigkeit	37
6.3.2	Industrielle Leistungsfähigkeit	38
7	Zusammenfassung	38
Teil III – Angepaßte Konzepte und Techniken		40

8	Lösungsansätze zur Verbesserung der ländlichen Wasserwirtschaft	40
8.1	Einleitung	40
8.1.1	Allgemeines	40
8.1.2	Integrierte Lösungen	40
8.1.3	ecosan-Konzeption	40
8.1.4	Angepaßte Techniken – „Die beste technisch und wirtschaftlich erhältliche Technik“	41
9	Angepaßte Technikkonzepte der Wasserversorgung	42
9.1	Technikkonzepte	42
9.2	Verbesserung der Einzelwasserversorgung	43
9.2.1	Besserer Grundwasserschutz	43
9.2.2	Wasseraufbereitung im Haushalt	43
9.3	Verbesserung der Energieversorgung in der Wasserversorgung	46
9.3.1	Sicherung der Trinkwasserversorgung	46
9.3.2	Dezentrale Wasserversorgung abgelegener Regionen	46
9.3.3	Auslegung Photoelektrischer Wasserversorgung	47
10	Angepaßte Lösungen der Abwasserbeseitigung	48
10.1	Anforderungen in kleinen Städten und Gemeinden	48
10.2	Vereinfachte Kanalisation (sistema condominal)	48
10.2.1	Systembeschreibung	48
10.2.2	Kostenminimierung	49
10.2.3	Bauausführung	50
10.2.4	Bürgerbeteiligung und Organisationsformen	50
10.2.5	Grenzen des vereinfachten Systems	51
10.2.6	Beispielprojekt Santa Maria, Distrito Federal, und Kosten	51
10.3	Absetzentwässerung	52
10.3.1	Systembeschreibung	52
10.3.2	Wartung und Unterhalt	52
10.3.3	Anwendungsgebiete und Grenzen der Absetzentwässerung	53
10.3.4	Kosten der Absetzentwässerung	53
10.4	Druck- und Unterdruckentwässerung	53
10.4.1	Systembeschreibung	53
10.4.2	Systemkomponenten der Unterdruckentwässerung	54
10.4.3	Einsatzmöglichkeiten der Unterdruckentwässerung	54
10.4.4	Unterdruckentwässerung im MERCOSUR	54
10.4.5	Druckentwässerung	55
10.5	Integrierte Küchenabfallbeseitigung	55
10.5.1	Abfallbeseitigung in ländlichen Regionen des MERCOSUR	55
10.5.2	Integrierte Küchenabfallbeseitigung	55
10.5.3	Energetische Betrachtung	56
10.5.4	Einfluß auf Kläranlage	58

10.5.5	Integrierte Küchenabfall- und Schmutzwasserentsorgung	58
10.5.6	Rahmenbedingungen	59
10.5.7	Nutzen und Grenzen	59
10.5.8	Organisation der integrierten Küchenabfall- und Abwasserentsorgung	60
11	Angepaßte Verfahren der Abwasserbehandlung	60
11.1	Grundlagen	60
11.1.1	Reaktoren	60
11.1.2	Energiebedarf der Grundreinigung	61
11.2	Teichkläranlagen	62
11.2.1	Grundsätzliches	62
11.2.2	Arten der Teichkläranlagen	62
11.2.3	BSB ₅ -Abbau	62
11.2.4	Keimabbau	64
11.2.5	Hinweise zur Auslegung anaerober Teiche	65
11.2.6	Hinweise zur Auslegung fakultativ aerober Teiche	66
11.2.7	Ablaufqualität	67
11.2.8	Flächenbedarf	67
11.2.9	Abwasserreinigung und –speicherung	68
11.2.10	Erdbau und Bauwerke	68
11.2.11	Fischzucht in Abwasserteichen	69
11.2.12	Abwasserteiche zur Naherholung	69
11.3	Sanierung, Erweiterung und Rückbau von Teichanlagen	70
11.3.1	Sanierung und Erweiterung	70
11.3.2	Rückbau von Teichanlagen	73
11.4	Anaerobtechnik	73
11.4.1	Allgemein	73
11.4.2	Biologische Zusammenhänge	73
11.4.3	Besondere Eignung anaerober Verfahren	74
11.5	Einfache Biogas-Gewinnung aus Anaerobteichen	75
11.6	USAB-Reaktoren	75
11.6.1	Systembeschreibung	75
11.6.2	Hinweise zur Reaktorauslegung	76
11.6.3	Weiterentwicklungen der UASB-Reaktor	78
11.6.4	Bauformen UASB-Reaktor	79
11.6.5	UASB-Reaktor und Schönungsteiche	80
12	Energieversorgung	80
12.1	Energiebedarf	80
12.1.1	Allgemein	80
12.1.2	Teichanlagen	81
12.1.3	Anaerobe Abwasserbehandlung	81
12.2	Verbesserung der Energieversorgung	82
12.2.1	Allgemein	82
12.2.2	Verstromung	83

12.2.3	Thermische Nutzung	84
13	Chancen für deutsche Unternehmen	84
14	Rückblick und Ausblick	85
14.1	Beispielhafter Rückblick	85
14.2	Ausblick	87
	Literaturverzeichnis	88
	Abbildungsverzeichnis	94
	Tabellenverzeichnis	96

Glossar

AR	Argentinien, Länderkurzzeichen nach ISO
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AW-Netz	Abwassernetz, Sammler, Druckleitungen, Pumpanlagen etc.
BS	Belebtschlamm-ARA
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
BR	Brasilien, Länderkurzzeichen nach ISO
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
EPA	Environmental Protection Agency, Umweltschutzagentur der USA, Washington
EW	Einwohner
GW	Grundwasser
KAZ	Küchenabfallzerkleinerer
KBE	Koloniebildende Einheiten, koliforme Bakterien
Kindersterblichkeit	Die Zahl der Kinder, die vor Erreichen des vollen fünften Lebensjahres sterben.
Kindersterblichkeitsrate	Die Kindersterblichkeit bezogen auf 1.000 lebende Kinder des gleichen Alters
IAEB	Interamerikanische Entwicklungsbank, Washington
NRO	Nichtregierungsorganisationen
MERCOSUR	span., <i>Mercado Común del Sur</i> , Gemeinsamer Markt des Südens, Freihandels- und Zollvereinigung der Länder Brasilien, Argentinien, Uruguay und Paraguay, gegründet 1991 nach dem Vorbild der Europäischen Gemeinschaft, assoziiert sind Bolivien und Chile
TE	Trübungseinheiten
OAS	Organisation Amerikanischer Staaten, Washington
OLE	Organisation für Landwirtschaft und Ernährung der VN
PY	Paraguay, Länderkurzzeichen nach ISO
RW	Regenwasser
Säuglingssterblichkeit	Die Zahl der Säuglinge, die vor Erreichen des ersten vollen Lebensjahres sterben.
Säuglingssterblichkeitsrate	Die Säuglingssterblichkeit bezogen auf 1.000 lebende Kinder des gleichen Alters

SW	Schmutzwasser
θ	Hydraulische Aufenthaltsdauer [d^{-1}]
TAA	Trinkwasseraufbereitungsanlage
TW	Trinkwasser
UASB	Upstream Anaerobic Sludge Blanket Reaktor (aufwärts durchströmter anaerober Schlammbett Reaktor)
UR	Uruguay, Länderkurzzeichen nach ISO
VN	Vereinten Nationen, New York
WGO	Weltgesundheitsorganisation, Genf

1 Zusammenfassung

Der MERCOSUR, als wirtschaftlicher Zusammenschluß der vier Staaten Argentinien, Brasilien, Uruguay und Paraguay, stellt einen bedeutenden Block in Südamerika dar. Mit etwa 210 Millionen Einwohnern umfaßt er etwa ein Drittel der Gesamtbevölkerung des Südamerikanischen Subkontinents. Obwohl die Bevölkerung weitgehend städtisch geprägt ist, etwa 170 Millionen Menschen leben in den vier Staaten in Städten, ist der ländliche Bereich sehr bedeutend. In allen vier Staaten trägt die Landwirtschaft einen sehr großen Anteil zur Wirtschaft bei und die Industrie widmet sich sehr stark der Verarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe.

Auf dem Jahrtausend-Gipfel der VN 2000 wurde das Ziel formuliert die Zahl der Menschen ohne gesicherte TW-Versorgung bis 2015 zu halbieren. Zusätzlich muß dort; wo eine gesicherte TW-Versorgung besteht, ihre Qualität verbessert werden. Hinzu kommt, daß die SW-Beseitigung und insbesondere die SW-Behandlung in der ganzen Region sehr ungenügend und für teilweise starke Belastungen und Schäden der natürlichen Ressourcen verantwortlich sind. Von der IAEB wurde der Finanzbedarf hierfür auf mehrere 10-tausend Milliarden USD geschätzt.

Um diesem Ziel möglichst Nahe zu kommen müssen neben den Großstädten und Metropolen TW-Versorgung, Kanalisation und SW-Beseitigung verstärkt in kleinere Städte und ländliche Regionen vordringen.

Die Anforderungen an diese Systeme sind andere als für Metropolen oder Industrienationen. Sie müssen in besonderem Maße an die tatsächlichen Anforderungen und Bedürfnisse angepaßt, preiswert in der Herstellung und im Unterhalt sein, dürfen die lokalen Fähigkeiten nicht überfordern, sondern müssen die lokalen Kompetenzen und die lokale Wirtschaft gezielt fördern.

Zum Schutz der natürlichen Ressourcen der weitgehende Erhalt der Nährstoffe im SW, deren sinnvolle Nutzung und die sparsame Energienutzung anzustreben. Geeignete Lösungen gestatten, daß SW nicht als Problem angesehen wird, sondern als wertvoller Rohstoff, für

- Gereinigtes SW, das als wertvoller Bodenverbesserer und Dünger die Leistungsfähigkeit der Landwirtschaft verbessert,
- Klärschlamm, der wertvoll in der Landwirtschaft und Erdbau einsetzbar ist,
- Biogas, das dazu beiträgt die lokale Energieversorgung zu verbessern,
- dessen Anlagen für Fischzucht, die zusätzliche Einkommensquellen schafft und
- als Naherholungsgebiete der gesamten Bevölkerung Möglichkeiten bietet, die sie bislang nicht hatte,

und so nachhaltige regionale Entwicklung anregen.

Um dies zu erreichen sind integrierte und angepaßte Lösungen erforderlich, die die im Einzelfall beste technisch und wirtschaftlich verfügbare Technik darstellen, und gleichzeitig von allen Bevölkerungsgruppen akzeptiert und unterstützt werden.

Es müssen Lösungen gefunden werden, eventuell auch unter Akzeptierung gewisser Einschränkungen, die besser geeignet sind als die konventionellen. Dabei ist es unter Umständen auch nötig deutsche Grundsätze zu hinterfragen, insbesondere dann wenn sie nicht europaweit und noch weniger weltweit akzeptiert werden, wie bei der integrierten SW- und Kücheabfallentsorgung. Ansätze hierzu sind

- die RW-Nutzung als TW für Einzelanwesen und kleine Siedlungen,
- die vereinfachte Kanalisation im Garten, Vorgarten oder Bürgersteig,
- die Absetzentwässerung, und
- die integrierte SW- und Küchenabfallentsorgung, um hygienisch kritische Zustände durch Küchenabfälle zu vermeiden, die Energieversorgung zu verbessern und zwei unzureichend gelöste Entsorgungsaufgaben gleichzeitig zu lösen,
- sowie Teichkläranlagen und die Anaerobtechnik zur SW-Behandlung.

Daß gute Ausführungsqualität unbedingt nötig ist, sollte eigentlich selbstverständlich sein, obwohl es gerade hierin oftmals hapert. Die gute Ausführungsqualität wird dadurch gefördert, daß industriell gefertigte und gütegesicherte Produkte, die lokal erhältlich sind und deren Verarbeitung lokal bekannt ist, eingesetzt werden. Hierdurch lassen sich unzureichende Improvisationen und die Außerbetriebnahme durch fehlende Ersatzteile vermeiden.

Obwohl die Investitionskosten der Maßnahmen vermeintlich deren Realisierung beschränken, sind es zumeist die Betriebskosten, die eine Maßnahme zum Scheitern bringen. Angepaßte Lösungen weisen einen geringen oder keinen Energiebedarf auf, oder erlauben sogar die zusätzliche Energieerzeugung über Biogas und dessen Vermarktung. Der Betrieb derartiger Anlagen stellt dann keine zusätzliche finanzielle Belastung für den Betreiber dar und die Nutzungsbeiträge können so auf einem Niveau gehalten werden, der von der Bevölkerung geleistet werden kann.

In dieser Arbeit werden Ansätze der SW-Entsorgung vorgestellt wie sie für Kleinstädte und kleinere Städte, wie sie im sogenannten „Landesinneren“, im *interior*, mit unter 5.000 bis zu etwa 50.000 EW geeignet sind. Im Gegensatz dazu besitzt die städtische Bevölkerung großteils eine TW-Versorgung im Haus oder über Hausbrunnen. Die Aufgabenstellung der TW-Versorgung ist daher eher auf die Qualitätssicherung und auf kleine Ansiedlungen und Einzelanwesen ausgerichtet.

Teil I – Gegenwart der Wasserwirtschaft im MERCOSUR

2 Regionale Definition

2.1 Naturraum MERCOSUR

2.1.1 Geographische Einteilung

Der MERCOSUR ist der wirtschaftliche Zusammenschluß der vier Staaten Argentinien, Brasilien, Paraguay und Uruguay und erstreckt sich in vom subpolaren Argentinien bis in die tropischen Regionen Brasiliens.

Innerhalb dieses Großraumes wird der der subtropische Steifen vom atlantischen Ozean bis zur *cordillera de los Andes* betrachtet. Der Wendekreis des Steinbocks ($23,5^\circ$ südlicher Breite) begrenzt den Großraum nach Norden gegen die Tropen. Im Süden gehen die Subtropen zwischen dem 35. bis 40. Längengrad in die gemäßigten Zonen über.



Abbildung 2-1 Subtropischer MERCOSUR

2.1.2 Klimatische Struktur

Die Klimate sind überwiegend warm gemäßigt. Die östliche, an den Atlantik angrenzende Landmasse, fällt unter die immerfeuchten Subtropen mit jährlichen Niederschlägen zwischen 1.600 und 2.200 mm. Geographisch stimmt diese Region mit den südlichen Bundesstaaten Brasiliens, den nordöstlichen Regionen Argentinien und dem Südosten Paraguays überein. In westlicher Richtung nimmt die Niederschlagsmenge kontinuierlich ab, so daß am Fuße der Kordilliere deutliche Trockenklimate mit unter 100 mm jährlicher Niederschlagsmenge vorliegen /7/.

Im südlichen Sommermonat Januar fallen im Großteil der Region zwischen 100 und

200 mm Regen. Je weiter man sich der Kordilliere nähert, desto mehr nimmt die monatliche Niederschlagsmenge bis unterhalb 50 mm ab.

Im überwiegenden Teil des betrachteten Großraums liegen die Mitteltemperaturen des wärmsten Monats durchgehend über 22°C und des kältesten Monats zwischen 18 und -3°C.

2.1.3 Oberflächengewässer

Der betrachtete Großraum wird durch das *La-Plata*-Flußsystem bestimmt. Das Einzugsgebiet von 3,1 Millionen Quadratkilometer /7/ entwässert bei Buenos Aires in den Atlantik. Der *Río Paraná*, mit knapp 4.000 km Länge, ist der wichtigste Strom dieses Systems. Seine Quellflüsse entspringen im Hinterland von *Río de Janeiro*, der wichtigste Nebenfluß ist der *Río Paraguay*. Zusammen mit dem *Río Uruguay* bildet der *Paraná* den *Río de la Plata*¹ bei Buenos Aires.

Westlich des *La Plata*-Systems liegen große abflußlose Gebiete, der *Chaco* im westlichen Paraguay und nördlichen Argentinien, die Pampinen Sierras Argentinien am Fuße der Kordilliere und die *Pampa* /7/. Große Flüsse, der *Río Pilcomayo* im *Chaco* und der *Río Dulce* bei *Córdoba*, die aus regenreichen Regionen der Anden gespeist werden, verlieren auf ihrem Weg durch diese ariden Gebiete durch Verdunstung, Versickerung und durch künstliche Wasserentnahmen ihr Wasser ohne das Meer zu erreichen oder speisen abflußlose Endseen (Salzseen).

Die größten Süßwasserseen sind durchwegs Stauseen zur Energieerzeugung an den Flüssen des *La Plata*-Systems. Natürliche größere Seen finden sich im Süden Paraguays. Sonstige Seen sind klein und eher unbedeutend.

2.1.4 Grundwasser

Mit dem *Acuífero Guaraní*² besitzt der betrachtete Großraum eines der bedeutendsten Grundwasservorkommen. Von der Fläche von $1,2 \cdot 10^6$ km² entfallen ca. 71% auf Brasilien, 19% auf Argentinien, 6% auf Paraguay und 4% auf Uruguay /9//10/.

Der Grundwasserspiegel liegt zwischen +600 m und -1.200 m ü. NN, bzw. zwischen Null und 1.500 m unter Gelände /10/. Seine Mächtigkeit beträgt im Mittel 250 m, variiert aber ebenfalls von wenigen Metern an den Rändern bis 600 m in seinem Zentrum (/9/, S. 7). Wegen der Überdeckung der grundwasserleitenden Sedimente mit Basalten ist der Grundwasserspiegel im allgemeinen gespannt, sodaß in Bohrbrunnen das Wasser in vielen Fällen bis über Gelände ansteigt /10/. An einigen Stellen tritt das Wasser mit Temperaturen zwischen 33 und 50°C natürlich zu Tage und wird touristisch in

¹ Der *Río de la Plata* ist streng genommen kein Fluß sondern der Mündungstrichter der beiden Flüsse *Paraná* und *Uruguay*.

² Benannt nach den *Guaraní*-Indianern, ist dieser Grundwasserleiter bis vor kurzem in Brasilien bekannt gewesen als *Botucatu*, in Argentinien und Uruguay als *Tacuarembó* und in Paraguay als *Misiones Aquifer* (/9/, S. 6).

Thermalquellen genutzt, obwohl es auch als regenerative Energiequelle genutzt werden könnte³ (/9/, S. 7).

Trotz des riesigen Wasservolumens, wird die Grundwasserneubildung auf lediglich 40 bis 80 km³/a⁴ geschätzt /10/, wobei die derzeitigen Wasserentnahmen in Tiefbrunnen mögliche Wasserentnahmen von bis zu 1.000 l/s und Brunnen erwarten lassen (/9/, S. 7).

Weitere Grundwasservorkommen sind von regionaler Bedeutung.

2.2 Bevölkerung

Der Bevölkerungsanteil in Ortschaften mit weniger als 2.000 EW bis 4.000 EW wird als ländliche Bevölkerung definiert. Weitere Unterscheidung besteht zwischen dörflichen Landbevölkerung, die in Ansiedlungen mit über 500 EW lebt, und der verstreuten Landbevölkerung, die in Ansiedlungen mit weniger als 500 EW lebt.

Der Großteil der Menschen lebt in Städten, in gesamt Lateinamerika ist der Anteil der städtischen Bevölkerung mit 75 %, deutlich höher als im weltweiten Durchschnitt von etwa 50 %. In Argentinien, Brasilien und Uruguay sind über 2/3 der Bevölkerung städtischer Art. Paraguay ist mit etwa 50 % ländlicher Bevölkerung weniger städtisch geprägt. Der überwiegende Teil der ländlichen Bevölkerung in Paraguay lebt verstreut.

Daher ist in ländlichen Regionen die Bevölkerungsdichte gering. Der *Chaco*, als bedeutende Einzelregion innerhalb des betrachteten Großraums, besitzt eine Bevölkerungsdichte von ca. 0,3 EW/km², andere Regionen weisen 30 EW/km² auf.

Im Jahre 2002 lag das Bevölkerungswachstum in Argentinien bei 1,0 %, in Brasilien 1,4 %, in Paraguay 2,2 %. Das Bevölkerungswachstum der ländlichen Bevölkerung ist tendenziell höher. Die höchsten Wachstumsraten weist die indianische Bevölkerung mit 4 bis 5 %/a /18/ auf. Ferner besteht eine bedeutende Wanderungsbewegung von den ländlichen zu städtischen Regionen. Dies betrifft nicht nur die Metropolen, sondern auch kleine Städte. Randbevölkerung siedelt häufig an den topographisch ungünstigen Randzonen der Städte an.

³ Als mögliche Energienutzung erscheint lediglich die industrielle Nutzung mit oder ohne zusätzliche Wärmepumpen erfolversprechend, da Heizwärme in der gesamten Region nur in sehr geringem Maße benötigt wird und Stromerzeugung wegen der geringen Temperatur ausscheidet.

⁴ Bezogen auf die Fläche ergibt sich hieraus eine jährliche Grundwasserneubildung von 34.000 bis 67.000 m³/km². Für Mitteleuropa wird in Grombach (/14/ S. 235) eine Neubildung „echten“ Grundwassers von 157.000 bis 315.000 m³/km² angegeben. Diese vier- bis fünffach höhere Grundwasserneubildung kann, ohne dieses Thema hier zu vertiefen, auf die erheblich höhere Jahresdurchschnittstemperatur von 16°C (*Buenos Aires*) bis 23°C (*Rio de Janeiro*) im Bereich der *Aquífero Guaraní* liegen.

3 Umweltschutz und Umweltbelastungen

3.1 Gefährdung der Oberflächengewässer

Viele Oberflächengewässer sind gefährdet und ihre Qualität ist nicht einwandfrei. Sie werden sowohl durch punktuelle Quellen, kommunale und industrielle Abwassereinsleitungen, aber auch durch Sickerwasser aus Abfallablagerungen, als auch durch diffuse Schadstoffeinträge aus der Landwirtschaft stark belastet.

Oftmals sind auch kleine Wasserläufe teilweise so stark verschmutzt, daß das Wasser nicht zur Bewässerung genutzt werden dürfte. Ebenso ist das Wasser einiger Seen, z.B. *Lago Ypacaraí* in Paraguay weder zum Baden, noch zur Bewässerung, denn als Trinkwasser geeignet. Künstliche Stauseen sind ebenso bedroht und belastet. Trotzdem wird Oberflächenwasser vielfach zur Bewässerung genutzt.

3.2 Gefährdung der Grundwasservorkommen

3.2.1 Allgemein

Gemeinsam ist den meisten Grundwasservorkommen der Region, daß sie in vielen Fällen ausreichende Wassermengen führen, die eine weitergehende Nutzung und Förderung erlauben, häufig aber durch menschliche Aktivitäten in ihrer Qualität in unterschiedlichem Maße gefährdet sind. Dies betrifft sowohl die Wassermengen als auch die Wasserqualität.

Bedeutend ist dabei, daß der gesamte nordöstliche Bereich des betrachteten Großraums lediglich von einem einzigen Grundwasservorkommen, dem *Aquífero Guaraní*, abhängt. Ein Großteil der Bevölkerung lebt im Einzugsgebiet dieses Vorkommens, sodaß sich hier auch bedeutende wirtschaftliche Aktivitäten stattfinden.

In der folgenden Beschreibung wird daher auch lediglich dieses System beispielhaft herausgegriffen. Seine überragende Bedeutung wird durch die 2004 angelaufenen und von der IAEB finanzierten Aktivitäten unterstrichen. Die angesprochenen Probleme lassen sich sinngemäß auch auf andere Grundwasservorkommen der Region übertragen.

3.2.2 Grundwasserqualität

Bedeutend ist die Belastung des *Aquífero Guaraní* durch organische Schadstoffe wegen ungenügender Abwasserbehandlung und die Pestizidbelastung aus der Landwirtschaft⁵. Dort wo funktionierende Qualitätsüberwachung vorliegt, wurden organische

⁵ Beispielsweise ist durch die Pflanzung gentechnisch verseuchter Soja der Einsatz des Pestizids *Glifosato* des Unternehmens *Monsanto* in Argentinien auf einen Rekordverbrauch gestiegen /17/. Die nahezu ausschließliche Kultivierung gentechnisch verseuchter Soja in Argentinien und die großflächige Pflanzung derartiger Abarten des Mais und der Soja in Argentinien und Paraguay gestattet den Einsatz äußerst „effektiver“ Pestizide, die eine steigende Gefährdung des Grundwassers darstellen.

Verschmutzungen und Pestizidspuren gefunden (/9/, S. 8). Am Mittellauf des *Río Uruguay* mit insgesamt etwa 200.000 Einwohnern und im östlichen Paraguay bestehen hohe Nitrat- und Pestizid-Belastungen /43//30/. In beiden Regionen ist in den letzten Jahren ein massiver Anbau von Soja festzustellen.

In verschiedenen Berichten, unter anderem der WGO /12/ und 2004 in /13/ wird über hohe Arsenkonzentrationen in verschiedenen Grundwässern Argentiniens berichtet. Diese Belastungen sind aber überwiegend auf natürliche geologische Ursachen zurückzuführen.

Neuere Untersuchungen aus 2004 lassen vermuten, daß die Nutzungsmöglichkeiten des *Aquífero Guaraní* wegen seines in einigen Zonen hohen Salzgehaltes eher eingeschränkt sein werden. Hohe Salzgehalte im Grundwasser werden auch in anderen Grundwasservorkommen der Region, z.B. im Chaco, angetroffen.

3.2.3 Grundwassermengen und -bewirtschaftung

Die Wassernutzung des *Guaraní*-Systems, sowohl zur Trinkwasserversorgung als auch zur landwirtschaftlichen Bewässerung hat in den letzten Jahrzehnten erheblich zugenommen (/9/, S. 7). Es liegen aber weder zusammenhängende Kenntnisse, noch Grundwasserbewirtschaftungspläne vor. In Brasilien hängt die Wasserversorgung von 300 bis 500 Städten teilweise oder vollständig von dem System ab (/9/, S. 10), allein im Bundesstaat *São Paulo* werden etwa 5,5 Millionen Menschen aus ihm versorgt (/9/, S. 7). In Uruguay gab es 2002 135 Brunnen zur öffentlichen Wasserversorgung, in Paraguay etwa 200 Hausbrunnen, in Argentinien lediglich neun Thermalbrunnen (/9/, S. 10). Insbesondere in den dicht besiedelten Regionen im Bundesstaat *São Paulo* und in der argentinisch-uruguayischen Grenzregion wird eine gegenseitige Beeinflussung der Brunnen festgestellt (/9/, S. 7). Bei weiterhin ungesteuerter Wasserentnahme wird erwartet, daß in den brasilianischen Regionen bis 2025 die Grundwasserentnahme dessen Neubildung überschreitet (/9/, S. 7).

Die Pflanzung schnellwachsender Hölzer (Eukalyptus und Tannen) hat in Uruguay eine Fläche von über 600.000 ha erreicht, bei einer Zunahme von etwa 45.000 ha/a. Dies zeigt bereits Einflüsse auf den Wasserhaushalt, da die Grundwasserneubildung massiv eingeschränkt ist und die Auswirkungen der Umstellung eines Weideökosystems auf ein Forstökosystem weitgehend unbekannt sind /43/.

4 Ländliche Wasserwirtschaft

4.1 Wassernutzung

Die gesamte Wassernutzung kann in Trinkwasserversorgung, industrielle Wassernutzung, einschließlich des Kühlwassers der Energieerzeugung, und landwirtschaftliche Wassernutzung eingeteilt werden.

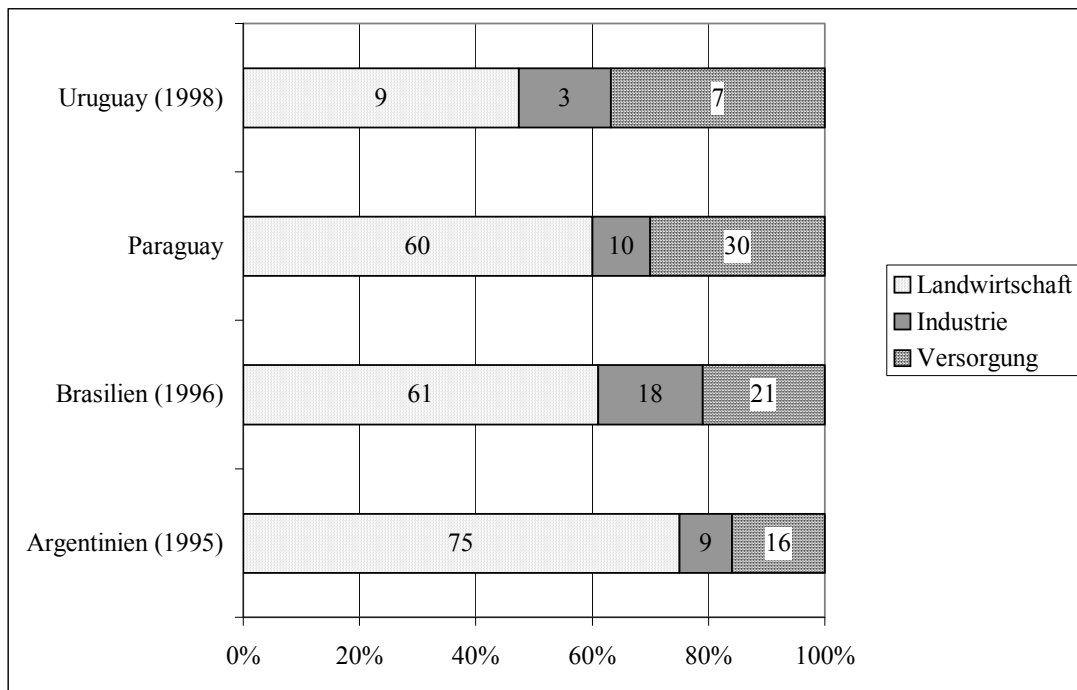


Abbildung 4-1 Wassernutzung /40//41//42//43/

4.2 Gesundheit und Wasserwirtschaft

4.2.1 Allgemein

Daß sich nach 1991 in Amerika, außer in Kanada und Uruguay, eine Choleraepidemie nach über 100 Jahren der Abwesenheit wieder ausbreiten konnte, hat deutlich gemacht wie anfällig die Wasserwirtschaft war (/11/, S. 1). Ausgehend von Peru, konnte sich der aus dem pazifischen Raum eingeschleppte Erreger ausbreiten. Zwischen 1991 und 1995 wurden 1,34 Mio. Cholerafälle und 11.300 Tote registriert (/11/, S. 2). Es rächte sich das jahrzehntelange Zögern und die langsame Steigerung der Versorgungsdichte der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung.

Diese Epidemie zeigte die Wichtigkeit einer geregelten Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung für die Gesundheitsvorsorge. In allen Ländern der Region wurde in den Folgejahren eine Vielzahl von Projekten in Angriff genommen. Zehn Jahre später sind die damaligen Ziele bei weitem noch nicht erreicht.

4.2.2 Säuglings- und Kindersterblichkeit

Die Versorgung mit TW und eine geregelte Abwasserbeseitigung wird häufig und an prominenter Stelle z.B. WGO /12/ in Relation zur Kinder- bzw. Säuglingssterblichkeit und dem Auftreten von Durchfallerkrankungen gesetzt.

In Argentinien lag 2000 die Säuglingssterblichkeit im Landesdurchschnitt bei 18,4 ‰. Die Quoten der einzelnen Regionen variierten zwischen 30,4 ‰ und 9,9 ‰ (11,4 ‰ in *Buenos Aires*) /20/. In Jahre 2001 lag landesweit die Säuglingssterblichkeit bei 16,3 ‰ (9,6 ‰ in *Buenos Aires* und 28,9 ‰ in der nördlichen Region *Formosa*). Die

Kindersterblichkeit wird mit $18,9 \text{ ‰}$ angegeben /22/. Gleichzeitig weist *Formosa* in 16 von 336 Säuglingssterbefällen (4,7 %) Durchfall als Ursache aus, während landesweit in 151 von 11.111 Fällen (1,4 %) Durchfall angegeben wird /22/.

Der Zusammenhang zwischen zwei statistischen Reihen kann mit dem Korrelationskoeffizienten r ausgedrückt werden⁶. Im Falle Argentiniens läßt sich aus Versorgungsdichte mit TW und der durch Durchfall und durch Magen-Darm-Infektionen verursachten Säuglingssterblichkeit eine geringe statistische Abhängigkeit von $r = -0,47$ feststellen, die statistische Abhängigkeit von der Dichte der Abwasserentsorgung ist mit $r = -0,40$ sogar noch geringer. Bei der Vielzahl der Einflußgrößen für Säuglings- und Kindersterblichkeit ist davon auszugehen, daß bei unzureichender Wasserwirtschaft auch die kommunalen Ausgaben in die Gesundheitsvorsorge unzureichend sind.

In Paraguay leidet etwa ein Fünftel aller Kinder an Durchfall (/32/, S. 14). Jedoch besteht auch hier kein statistischer Zusammenhang zwischen Zugang zu gesicherter TW-Versorgung und dem Auftreten von Durchfall (/32/, S. 18). Mit den in /44/ angegebenen Zahlen liegt die statistische Abhängigkeit zwischen TW-Versorgung und Durchfall bei Kindern nur bei $r = -0,25$.

Entgegen des auf den ersten Blick einleuchtenden Zusammenhangs kann weder für Argentinien noch für Paraguay ein statistisch bedeutender Zusammenhang zwischen Durchfallerkrankungen und sanitärer Infrastruktur belegt werden. Auch an anderer Stelle (/32/, S. 18) wurde hierauf hingewiesen.

4.3 Organisatorischer Rahmen der Wasserwirtschaft

4.3.1 Regional- und Kommunalpolitik

Als Bestandteil der kommunalen Infrastruktur ist die Wasserwirtschaft eng in die Regional- und Kommunalpolitik eingebunden. Lösungen müssen daher in deren Zusammenhang gesehen werden. Insbesondere in ländlichen Regionen, mit eingeschränkten Finanzmitteln werden Maßnahmen des Umweltschutzes im allgemeinen und solche der Abwasserbehandlung oft als unnötig erachtet. Auch gegenüber anderen Infrastrukturprojekten gelten sie als eher nachrangig.

Der Erfolg von Maßnahmen der Abwasserbeseitigung wird in starkem Maße über ihre Investitions- und Betriebskosten entschieden. Benötigt der Betrieb der Abwasserbeseitigung die finanzielle Unterstützung aus den Gemeindehaushalten, so hängt sie von dem jeweils amtierenden Politiker ab.

⁶ Die Regressionsanalyse gestattet die Güte der Annäherung zweier Zahlenreihen zu beurteilen, als Maß hierfür gilt der Korrelationskoeffizient $r = (n \cdot \Sigma(x \cdot y) - \Sigma x \cdot \Sigma y) / ((n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2) \cdot (n \cdot \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2))^{1/2}$ (/23/, S. 439). $|1|$ bedeutet vollständigen, 0 kein statistischen Zusammenhang, $|0,8|$ wird als guter Zusammenhang verstanden. Wegen des theoretischen Hintergrundes wird auf die statistische Fachliteratur z.B. /23/ verwiesen.

4.3.2 Privatisierung der Wasserwirtschaft

Argentinien hat am weitestgehenden die Privatisierung der Wasserwirtschaft vorangetrieben. Mit dem französisch-argentinischen Konsortium *Aguas Argentinas* wurde in *Buenos Aires* die weltweit größte Wasserkonzession für etwa 10 Mio. Personen vergeben. In Uruguay wurden ebenfalls bedeutende Konzessionen für die Regionen an der Atlantikküste vergeben (*Maldonado*).

Durch die argentinische Wirtschaftskrise 2002 und den nahezu vollständigen Zusammenbruch des argentinischen Tourismus gerieten die privaten Betreiber in schwere wirtschaftliche Probleme und die Konzessionen mußten neu verhandelt werden /24/.

Zusammen mit Protesten gegen den privaten Betreiber der *Maldonado*-Konzession wegen mangelhafter Leistungen, zeigte dies, daß die Privatisierung der Wasserwirtschaft nicht in allen Fällen zu einer besseren Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung führt.

In Brasilien und Paraguay ist die Wasserwirtschaft überwiegend staatlich organisiert. Die bis 2002 von verschiedenen Seiten angestrebte Privatisierung des staatlichen paraguayischen Wasserversorgers wurde nicht realisiert.

Kleine private Wasserversorger sind in im ländlichen Raum und in kleinen Städten, sowie in einzelnen Stadtteilen der größeren Städte aktiv. Zumeist versorgen sie wenige Straßenzüge und sind eher als Nachbarschaftshilfe zu verstehen. Daneben bestehen kommunale Wasserwirtschaftverbände (*juntas de saneamiento*), die kleinere Städte und Ortschaften versorgen.

4.4 Situation der ländlichen Trinkwasserversorgung

4.4.1 Wasserbedarf

Bedeutend sind „nahe gelegene Wasserstellen“, die nach OAS eine tägliche TW-Entnahme von 20 l/d pro Familienmitglied in einer maximalen Entfernung von 1 km gestattet /32/.

Der tägliche Trinkwasserbedarf in städtischen Regionen liegt zwischen bei etwa 150 l/EW /33/, in den großen Städten auch höher, in Buenos Aires bei ca. 250 l/EW, und ist so vergleichbar mit europäischen Verhältnissen. Für ländliche und Randbevölkerungen ist der Wasserverbrauch stark von den Möglichkeiten der Wasserversorgung abhängig und liegt teilweise deutlich niedriger.

Besondere Aufmerksamkeit ist auf die großen Schwankungen in den Sommermonaten insbesondere in den Urlaubsregionen am Atlantik zu legen.

4.4.2 Argentinien

Die städtische Bevölkerung Argentiniens besitzt in den meisten Bundesstaaten zu über 90 % Zugang zu geregelter TW-Versorgung mit eigenem Hausanschluß oder, zu

12,6 %, zu einer nahe gelegenen öffentlichen Wasserentnahmestelle⁷ /25/. Für die ländliche Bevölkerung liegt der Versorgungsgrad mit TW bei lediglich 27,6 %. 2,4 % dieser Bevölkerungsgruppe haben Zugang zu einer nahegelegenen öffentlichen Wasserstelle.

Alle installierten Versorgungssysteme sind in Betrieb und alle städtischen und die meisten ländlichen TW-Systeme halten einen 24-Stunden-Betrieb aufrecht. Ebenso entspricht die TW-Qualität den Anforderungen der WGO und EPA. 98 % des TWs wird desinfiziert /25/.

Der Netzverlust ist allgemein, auch in privaten Netzen, hoch, da die Verluste über den Wasserpreis an den Verbraucher weitergegeben werden.

4.4.3 Brasilien

Der *Sureste* Brasiliens umfaßt weitgehend die hier interessanten Bundesstaaten. Ca. ein Fünftel der ländlichen Bevölkerung besitzt einen Wasseranschluß im Haus, 3,3 % Netzanschluß außerhalb des eigenen Grundstücks, 46,1 % Hausbrunnen im eigenen Grundstück und 5,9 % Gemeinschaftsbrunnen, ein Viertel verfügt über keinerlei Wasserzugang (/26/, S. 39). Es besteht ein großer Unterschied zwischen ländlicher und städtischer Bevölkerung, die zu 93,8 % TW-Hausanschlüsse besitzt.

Während das Einkommen der Haushaltungen in Städten in geringerem Maße über geordnete TW-Versorgung entscheidet, ist es in ländlichen Regionen bedeutend. In den Städten entfallen auf die 40 % der ärmsten Haushaltungen 35 % aller TW-Hausanschlüsse und auf die 20 % der reichsten Haushaltungen 21 % aller TW-Hausanschlüsse. In ländlichen Regionen entfallen auf die 40 % der ärmsten Haushaltungen 7 % aller TW-Hausanschlüsse und auf die 20 % der reichsten Haushaltungen 45 % aller TW-Hausanschlüsse (/26/, S. 12).

Familien mit Wasser aus eigenen Brunnen haben zumeist keine finanziellen Ausgaben für Wasser, diejenigen mit Wasseranschluß gaben 1997 im Mittel 62,7 USD pro Kopf und Jahr für Wasser aus, wobei die Gesamtausgaben pro Familie mit steigendem Familieneinkommen steigen. Untersuchungen der WGO belegen aber für 1997 (/26/, S. 18), daß bezogen auf das Pro-Kopf-Einkommen die 20 % der ärmsten Haushaltungen etwa anderthalbmal so viel für Wasser ausgeben (zwischen 3,8 bis 2,3 % des Pro-Kopf-Einkommens), wie die 10 % der reichsten Haushaltungen (1,2 %).

4.4.4 Paraguay

Ohne den Großraum *Asunción*⁸ und das umliegende *Departamento Central* besaßen

⁷ Bemerkenswert ist, daß im Bundesstaat *Buenos Aires*, ohne Stadt *Buenos Aires*, diese Zahl bei nur 75 % liegt /25/.

⁸ Der Großraum *Asunción* umfaßt ca. 1,3 Mio. Einwohnern in städtisch geprägten und 0,3 Mio. Einwohner in ländlich geprägten Ansiedlungen.

1997 landesweit nur etwa 0,7 Mio. (/29/, S. 48; /32/, S. 52) EW, entsprechend etwa 14,5 % der Gesamtbevölkerung einen TW-Hausanschluß. Hierbei ist jedoch der sehr hohe Anteil verstreut lebender Landbevölkerung von 40 %, bzw. 1,9 Mio. EW (/29/, S. 48), die außerhalb dörflicher Ansiedlungen leben, zu berücksichtigen. Dieser sehr hohe Bevölkerungsanteil begründet die hohe Zahl an Personen, 2,3 Mio., die Haus- oder Gemeinschaftsbrunnen nutzen. 6 %, bzw. 0,3 Mio. Personen besitzen keinerlei Wasserversorgung und nützen Wasser aus Bächen, Flüssen oder Teichen (/32/, S. 52). 76 % der städtischen Bevölkerung, ohne Großraum *Asunción* und *Departamento Central*, besaßen einen TW-Hausanschluß (Prozente errechnet aus /29/, S. 47).

Der Zugang zu TW ist stark einkommensabhängig /32/. Gleichzeitig liegen die Ausgaben für TW der ärmsten 20 % aller Haushaltungen zwischen 2,3 und 1,7 % des Pro-Kopf-Einkommens und der wohlhabenden 20 % bei nur 1,1 bzw. 0,7 %.

Durch mehrere große, hauptsächlich über die Weltbank finanzierte Programme sollte die Zahl der mit TW versorgten Menschen im Landesinneren bis 2004 um ca. 0,5 Mio. erhöht werden. Bei einigen dieser Programme wurde explizit die Verbesserung der Wasserversorgung für die verstreut lebende und indianische Bevölkerung angestrebt. Gleichzeitig ist die Bevölkerung im Landesinneren ebenfalls um ca. 0,5 Mio. gewachsen.

Die ländliche TW-Versorgung in Paraguay ist allgemein gut, etwa 90 % Anlagen können 24-Stunden-Betrieb sichern. Nahezu alle Betriebe besitzen Einrichtungen zur Chlorung, wobei aber insbesondere die öffentlichen *Juntas de Saneamiento* oftmals keine Chlorung praktizieren /31/, überwiegend aus Kostengründen und wegen fehlender Mittel zur Instandsetzung. Im Landesinneren wird die gelieferte Wasserqualität kaum überwacht.

Da die größte Zahl der ländlichen Wasserversorger mit Wassertürmen arbeitet, ist der Versorgungsdruck in den oft nur für einstöckige Bebauung ausreichend.

Die meisten kleineren ländlichen Systeme nutzen Grundwasser, während größere Oberflächenwasser verwenden. Der Anteil nicht abgerechneten Wassers ist mit teilweise über 50 % der geförderten Wassermenge sehr hoch. Zum Teil sind dies heimliche Anschlüsse, jedoch überwiegend Leckageverluste. Insbesondere in *Asunción* ist dieser Anteil erschreckend. In kleineren und privaten Netzen sind Schäden, wegen der unzureichenden Leitungsverlegung, so daß Leitungen teilweise frei liegen, häufig.

4.4.5 Uruguay

Die Trinkwasserversorgung in Uruguay lag 1997 außerhalb Montevideos bei etwa 82,5 % /33/ und erreicht in der Regel auch kleine Ortschaften. In den nördlichen Landesteilen, die im Bereich des *Aquífero Guaraní* liegen, wurde 1997 etwa zu gleichen

Teilen Oberflächen- und Grundwasser genutzt, während entlang des *Río Uruguay* überwiegend Oberflächenwasser als TW genutzt wurde⁹ (/33/, S. 76). Die Qualität der Versorgung ist gut, 24-Stunden-Betrieb ist auch in kleinen Ortschaften gesichert, 1997 mußte ein keinem Falle die Versorgung wegen Leitungsentleerungen ausgesetzt werden. Alle Systeme besitzen Desinfektionseinrichtungen, wobei die größeren (> 10.000 EW) mit Hyperchlorid und die kleinen mit Chlorgas arbeiten (/33/, S. 77). Allerdings wurden in den letzten Jahren einige Brunnen, wegen mangelhafter Wasserqualität, insbesondere wegen zu hoher Nitratkonzentrationen, aufgegeben.

Der tägliche Wasserbedarf in ländlichen Regionen liegt bei ca. 150 l/Einwohner, in den Tourismusregionen an der Atlantikküste in der Sommersaison aber erheblich höher (/33/, S. 76). In einigen Netzen werden daher Nutzungseinschränkungen, beispielsweise das Verbot des Rasensprengens oder des Autowaschens, ausgerufen und ungenügende Netzdimensionen führen zu geringen Versorgungsdrücken. Ein weiteres gravierendes Problem aller Netze sind die hohen Verlustwassermengen, die direkt als Leckageverluste in den Untergrund versickern oder über heimliche Anschlüsse unbezahlt dem Netz entnommen werden. In allen ländlichen Regionen und auch im Großraum *Montevideo* liegen die Verlustwassermenge zwischen 46 und 54 % der geförderten Wassermenge (/33/, S. 74).

4.5 Industrielle Wasserversorgung

Der industrielle Wasserbedarf in ländlichen Regionen ist eng mit der Verarbeitung der der Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe verbunden und weist daher erhebliche jahreszeitliche Schwankungen auf.

In ländlichen Regionen sind größere industrielle Betriebe zumeist auf eigenen Brunnen angewiesen, da die öffentlichen Netze keine ausreichende Kapazitäten besitzen.

4.6 Wasserversorgung der Land-, Vieh- und Forstwirtschaft

4.6.1 Bodenfruchtbarkeit

Die landwirtschaftliche Produktion hat in den letzten Jahrzehnten bedeutend zugenommen. In weiten Teilen des betrachteten Großraumes ist deutlicher Nährstoffmangel im Boden festzustellen. Über Anbau und Ernte wird dem Boden mehr Nährstoffe entzogen als ihm über Düngung zugeführt wird. Besonders in Nordargentinien und Paraguay entlang der *Río Paraná* stagniert die landwirtschaftliche Ausbeute bei gleichzeitiger Abnahme der Bodenfruchtbarkeit.

⁹ In Montevideo wird nahezu ausschließlich Oberflächenwasser als TW genutzt /33/

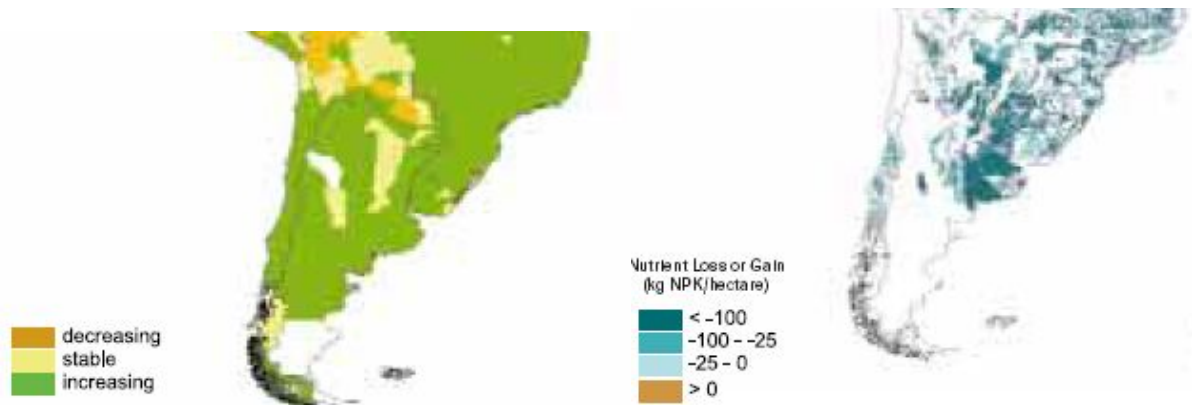


Abbildung 4-2 Landwirtschaftliche Ausbeute (links), Nährstoffgehalt im Boden (rechts)/16/

Lediglich in Uruguay steigt die landwirtschaftliche Ausbeute, bzw. bleibt stabil, bei gleichzeitig ausgeglichener Nährstoffbilanz /16/. Doch gerade hier sind erhöhte Nitratwerte im Grundwasser feststellbar.

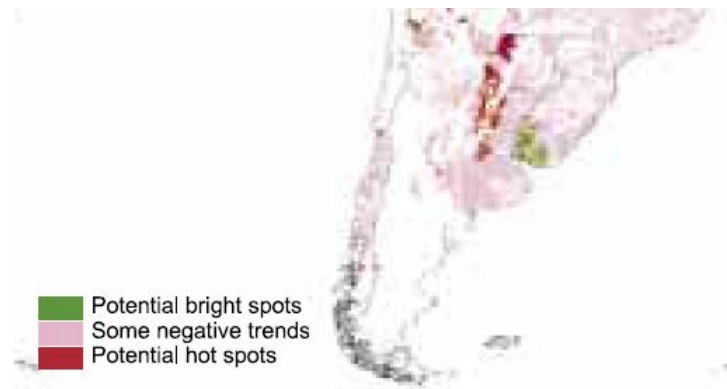


Abbildung 4-3 „Brennpunkte“, Nährstoffmangel im Boden und abnehmende landwirtschaftliche Ausbeute/16/

4.6.2 Landwirtschaftliche Bewässerung

Die künstliche Bewässerung hat in Argentinien eine über hundertjährige Geschichte, seit 1898 wurden in den westlichen Bundesstaaten Staudämme und Wasserumleitungen zur Bewässerung errichtet. In Brasilien begann die landwirtschaftliche Bewässerung im südlichen Bundesstaat *Rio Grande do Sul* und wurde ab Ende der sechziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts verstärkt entwickelt /40/. In Paraguay ist die Bewässerung auf die wenigen Flächen im Südosten beschränkt /41/ und wird erst seit den letzten Jahren in größerem Maße praktiziert. In Uruguay umfaßt landwirtschaftliche Nutzfläche nur rund 4 % der Landesfläche aber ca. 90 % des landesweit benötigten Süßwassers werden in der Landwirtschaft genutzt und der Reisanbau alleine benötigt etwa 75 % /43/. Über 90 % des in Stauseen gespeicherten Wasser wird für den Reisanbau herangezogen /43/ und 93 % der künstlich bewässerten Flächen sind wiederum dem Reisanbau gewidmet /42/.

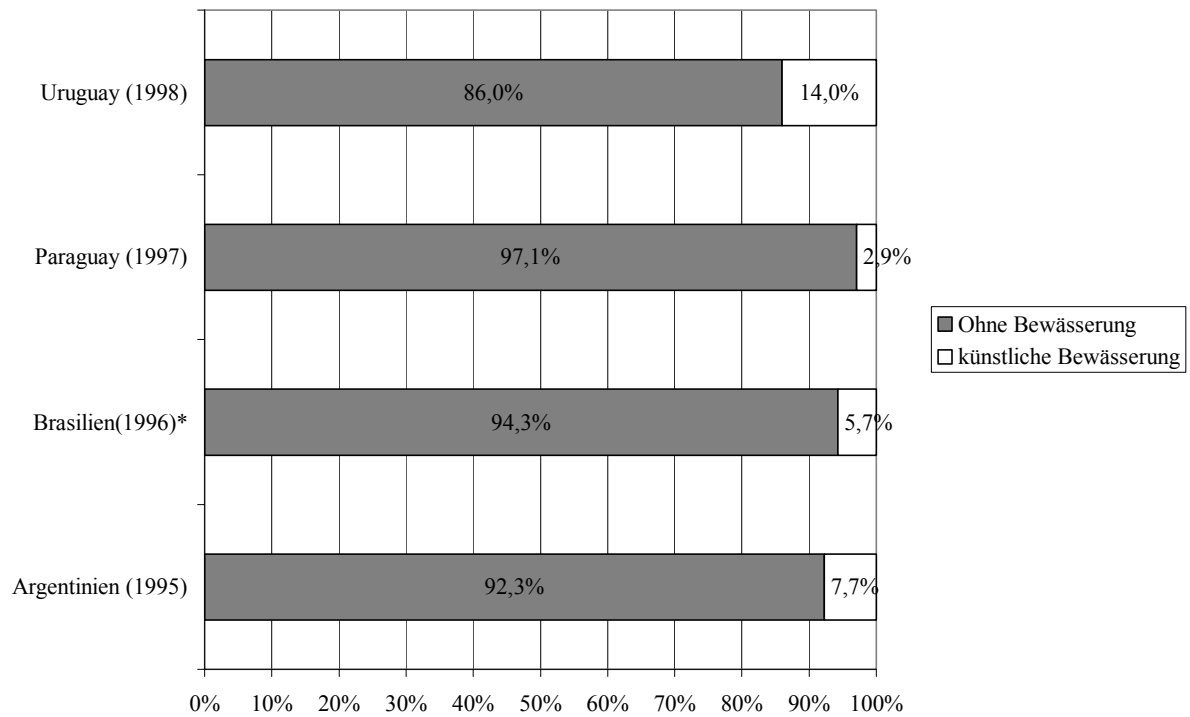


Abbildung 4-4 Landwirtschaftlich genutzte Fläche und künstlich bewässerte Fläche (*nur südliche Bundesstaaten)/39//40//41//42/

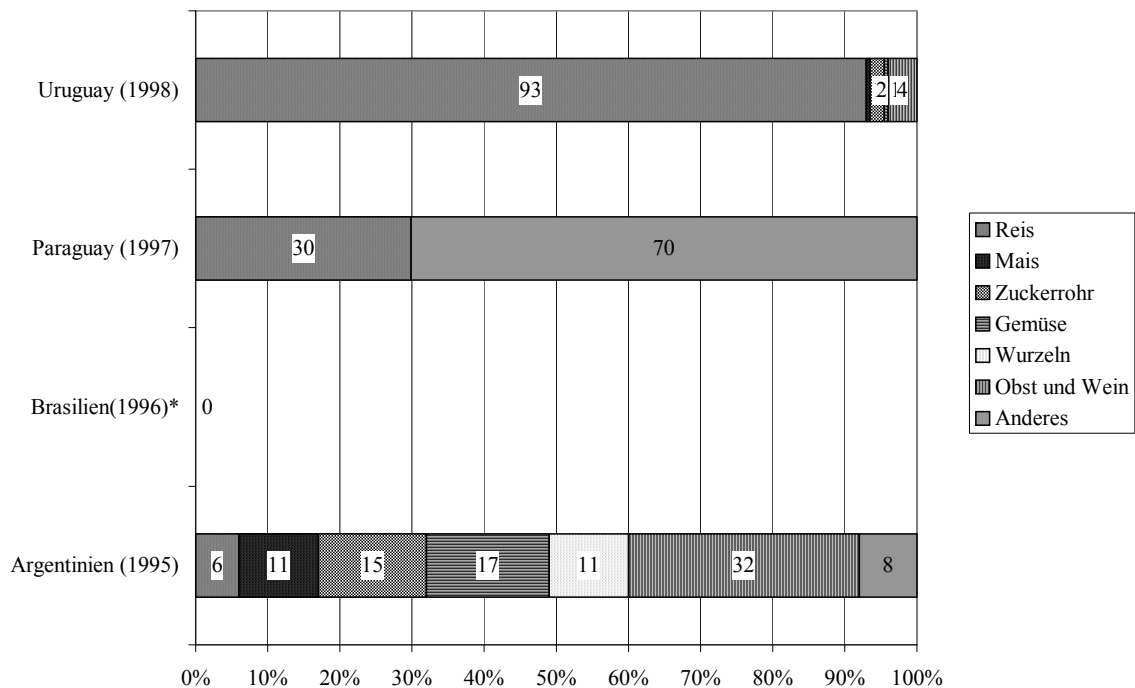


Abbildung 4-5 Landwirtschaftliche Bewässerung (*für Brasilien keine Angaben)/39//40//41//42/

4.6.3 Viehtränke

Viehwirtschaft ist in allen vier Ländern ein bedeutend. Die Viehhaltung wird zumeist extensiv betrieben, dennoch ist die sicherere Wasserversorgung fundamental. Fehler können dazu führen, daß ganze Herden verenden.

Unter normalen Bedingungen säuft ein Rind von etwa 380 kg am Tag 40 bis 50 l /43/, in nördlicheren und heißeren Zonen (*Chaco*) kann dies auch 100 l/d steigen /45/. Eine kleinere *Estancia* mit 4.000 ha und 4.000 Kopf Vieh, benötigt etwa 100 m³ bis 400 m³ Wasser am Tag, größere mit 12.000 bis über 100.000 Kopf Rind können den Wasserbedarf einer Kleinstadt aufweisen.

Neben der Ergiebigkeit der Wasserquellen sind die Bewirtschaftung und die Platzierung der Tränken entscheidend. Hinzu kommt die sichere und preiswerte Energieversorgung, wobei oft keine Stromversorgung in wirtschaftlich vertretbarer Entfernung zur Verfügung steht.

Wird zusätzlich Milch produziert, sei es für die Aufzucht oder zur Milchwirtschaft, so steigt der Wasserbedarf bedeutend an. Unter den vorliegenden klimatischen Bedingungen werden pro Liter Milch etwa fünf Liter Wasser zur Tränke benötigt.

4.7 Situation der Abwasserbeseitigung

4.7.1 Abwasserzusammensetzung und -anfall

Der Abwasseranfall und die Abwasserzusammensetzung des industriellen Abwasseranteils sind sehr unterschiedlich, entsprechend des jeweiligen Industriezweiges und sind für den Einzelfall zu bestimmen, allgemeine Angaben hierzu werden daher hier nicht gemacht.

Der Anfall häuslichen SW entspricht in erster Näherung dem TW-Verbrauch abzüglich der der Mengen, die im Hof und Garten gebraucht werden (/38/, S. 1221-3). Es dabei aber zu berücksichtigen, daß gerade in Kleinstädten und ländlichen Gemeinden, zum einen mehr Wasser zur Bewässerung genutzt wird und zum anderen vielfach Regenwasserspeicher Verwendung finden oder alte Hausbrunnen weiter genutzt werden. Als Faustwert kann 80 % der TW-Menge angesetzt werden /67/.

4.7.2 Abwasserbeseitigung und -behandlung

In Argentinien, Brasilien und Uruguay liegt der landesweite SW-Erfassungsgrad städtischer Bevölkerung zwischen ca. 50 % und 58 %. Die argentinischen Bundesstaaten mit der geringsten TW-Erschließung weisen auch die niedrigsten Erfassungsquoten für Abwasser auf, zwischen 21 % und 39 % /25/. In allen vier Ländern werden zusammen nur die Abwässer von knapp über 12 Mio. EW in Kläranlagen behandelt und zumeist nur in Großstädten. Etwa die gleiche Zahl verfügt über keinerlei Abwasserbeseitigung.

Dezentrale Lösungen der Abwasserentsorgung, zumeist Faulgruben (*cámara séptica*) und Versickerungsschächte, sind mit ca. 60 Mio. EW weitverbreitet.

	Stadt								
	Kanalisation		Kläranlagen		Klärgruben		ohne		Summe
Argentinien	17,77	54,7%	2,50	7,7%	10,99	33,8%	3,73	11,5%	32,49
Brasilien	74,90	58,5%	7,69	6,0%	45,06	35,2%	8,09	6,3%	128,05
Paraguay	0,50	17,2%	0,08	2,8%	2,37	81,7%	0,03	1,0%	2,90
Uruguay	1,48	50,5%	2,08	71,0%	1,31	44,7%	0,14	4,8%	2,93
Summe	94,65		12,35		59,73		11,99		166,37

Tabelle 4.7-1 Situation der städtischen Abwasserbeseitigung im MERCOSUR (/6/, ergänzt um kürzlich abgeschlossene Projekte)

In ländlichen Regionen wird nur in Brasilien ein geringer Teil des Abwassers (ca. 5 %) gesammelt, in allen anderen Ländern ist die Abwassersammlung auf Einzelfälle beschränkt. In Argentinien und Brasilien ist jeweils etwa die Hälfte der Einwohner an Faulgruben angeschlossen oder verfügt über keinerlei Abwasserbeseitigung. In Paraguay und Uruguay wird nahezu das gesamte bzw. der überwiegende Anteil (99,2 % bzw. 83,4 %) des SW ländlicher Regionen in Faulgruben teilgereinigt.

Berücksichtigt man, daß die angegebenen Zahlen gesamt Brasilien enthalten, so kann, unter der Annahme daß etwa ein Drittel der Bevölkerung in den südlichen Bundesstaaten lebt, von etwa 7 Mio. Menschen in ländlichen Regionen ausgegangen werden, die keine Abwasserbeseitigung besitzen. Wird der Anteil der in Stadtrandlagen lebenden Bevölkerung hinzugezählt, erhöht sich diese Zahl auf etwa 13 Mio. Menschen die über keinerlei geregelte Entsorgung ihrer Fäkalien verfügen.

	Land						
	Kanalisation		Klärgruben		ohne		Summe
Argentinien	0,04	1,0%	1,91	46,7%	2,14	52,3%	4,09
Brasilien	1,96	5,6%	16,58	47,3%	16,48	47,1%	35,02
Paraguay	0,00	0,0%	2,48	99,2%	0,02	0,8%	2,50
Uruguay	0,06	2,0%	2,43	82,4%	0,46	15,6%	2,95
Summe	2,06		23,40		19,10		44,56

Tabelle 4.7-2 Situation der ländlichen Abwasserbeseitigung im MERCOSUR (/6/, ergänzt um kürzlich abgeschlossene Projekte)

Teichkläranlagen sind das am weitesten verbreitete Reinigungsverfahren, Belebtschlammanlagen bestehen bzw. werden derzeit für mehrere große Städte gebaut.

4.7.3 Industrielle Abwasserbeseitigung und –behandlung

In allen Ländern bestehen Auflagen zum Umweltschutz, die die ungeklärte Ableitung von SW verbieten, aber oft nicht beachtet werden. Industrie-ARA sind oft nicht vorhanden oder werden nicht betrieben. Oft werden sie zur Genehmigung der Industrieanlage geplant aber nicht errichtet.

In diesem Zusammenhang ist deutlich auf die oft ineffiziente Verwaltung hinzuweisen, die mit bürokratischen Mitteln nicht in der Lage ist gegen Wirtschaftsinteressen Umweltschutzauflagen durchzusetzen. Daß viele Beamte korrupt sind und bei Kontrollen gravierende Mängel „übersehen“, macht es betriebswirtschaftlich „sinnvoll“ auf aus-

reichende SW-Behandlung zu verzichten. Als positives Beispiel sind die Richtlinien für Fleischexporte zu sehen, die dazu führten daß Schlachthöfe, die für den internationalen Markt produzieren, neben der korrekten Fleischproduktion auch über geeignete SW-Behandlung verfügen.

4.7.4 RW-Entsorgung

In den großen Städten besteht zumeist Trennkanalisation. Dabei erfolgt die RW-Ableitung oftmals über offene oder in städtischen Bereichen auch abgedeckte Gewässer, die in unterschiedlichem Ausmaße verändert wurden. Oftmals sind überdeckte und zu Bürgersteigen ausgebaute Straßenseitengräben die hauptsächlichen RW-Sammler. Sehr häufig erfolgt die Dachentwässerung über den Straßenkörper. Dabei wird das RW in Rohrleitungen, die im Bürgersteig verlegt sind, zu den Rinnsteinen geführt, wo es zusammen mit der Straßenentwässerung abgeleitet wird.

In kleineren Städten, ländlichen Regionen und den Randlagen der Städte gibt es zumeist keine RW-Sammlung, über oberflächlichen Abfluß wird dort RW zum nächstgelegenen Gewässer abgeleitet.

Die fehlende RW-Sammlung verursacht, daß viele SW-Netze sehr hohe Fremdwassermengen aufweisen, was teilweise durch die Ableitung von Drainagewasser über die SW-Kanalisation zusätzlich verstärkt wird. In manchen Städten tritt mehrmals pro Jahr Überflutung der SW-Kanalisation auf. Die führt dazu, daß in vielen SW-Netzen RW-Entlastungen vorgesehen werden.

RW-Bewirtschaftung und RW-Reinigung zum Gewässerschutz ist zumeist unbekannt.

Teil II – Zieldefinierung für die Wasserwirtschaft in subtropischen, ländlichen Regionen des MERCOSUR

5 Ziele der Wasserwirtschaft

5.1 Allgemein

Aktivität	Region	Anforderungen
Wasserversorgung		
Reduzierung der TW-Netzverluste	Metropolen, Großstädte, Kleinstädte	Allgemeines Problem
Steigerung des TW-Anschlußgrades	ländl. Ansiedlungen Einzelanwesen (Städt. Randbevölkerung Kleinstädte)	Eigenwasserversorgung erfüllt häufig nicht die hygienischen TW-Anforderungen Unzureichende TW-Versorgung beschränkt wirtschaftliche Entwicklung Wichtiger Bestandteil der Gesundheitsvorsorge
Verbesserung der TW-Qualität	Städt. Randbevölkerung Kleinstädte	Eigenwasserversorgung erfüllt häufig nicht die hygienischen TW-Anforderungen 24-TW-Versorgung kann hier nicht immer gesichert werden.
	ländl. Ansiedlungen	Bei kleineren Ansiedlungen ist die Desinfektion des TW nicht immer gesichert.
Verbesserung der TW-Versorgung armer Einkommenschichten	insbesondere Paraguay	Insbesondere in Paraguay ist der Zugang zu ausreichendem TW stark einkommensabhängig
Sicherung der Wasserversorgung zur Tränke	große Viehhaltungen (estancias)	Sicherung einer konstanten Wasserversorgung abseits vorhandener Infrastruktur
Abwasserbeseitigung		
Erfassung kommunalen SW	Städt. Randbevölkerung Kleinstädte, ländl. Ansiedlungen	Die SW-Sammlung ist oft nur auf die Innenstädte beschränkt
Erfassung ind. SW	gesamte Region	
Kommunale ARA	Metropolen, Großstädte, Kleinstädte, Städt. Randbevölkerung, ländl. Ansiedlungen	Die Behandlung kommunalen SWs ist in der gesamten Region nicht ausreichen
Industrielle ARA	gesamte Region	Die Behandlung ind. SWs ist in der gesamten Region nicht ausreichen
Erfassung RW	Metropolen, Großstädte, Kleinstädte	Die RW-Sammlung ist unzureichend
Landwirtschaft		
Verminderung des N-Eintrags in das GW	landwirtschaftl. Nutzflächen, insbes. AR-UY	An einigen Stellen weisen GW-Vorkommen erhöhte N-Gehalte auf
Verminderung des Pestizid-Eintrags in das	landwirtschaftl. Nutzflächen, insbes. AR-UY	An einigen Stellen weisen GW-Vorkommen erhöhte Pestizid-Gehalte auf,

GW		
Steigerung des Nährstoffgehalts im Boden	vorranging entlang des Río Paraguay	ungenügender Nährstoffgehalt im Boden beeinträchtigt Ergiebigkeit
Übergreifende Wasserwirtschaft		
Wassermanagement	gesamte Region	
Gewässer- und GW-Schutz		
Vermeidung Schadstoff-Einträge	gesamte Region	

Tabelle 5.1-1 Aufgaben der Wasserwirtschaft im MERCOSUR

5.2 Kommunale Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung

5.2.1 Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung

Auf dem Jahrtausendgipfel 2000 der VN wurde das Ziel gesetzt, bis 2015 die Zahl der Menschen in extremer Armut oder die unter TW-Mangel leiden, zu halbieren. Die IAEB schätzt, daß in Lateinamerika für 120 Mio. Personen Zugang zu TW und für 160 Mio. die Abwasserbeseitigung geschaffen werden muß. Die Kosten hierfür werden mit 60 Milliarden USD beziffert /48/. Auf die betrachteten vier Länder entfällt ein bedeutender Anteil. Wegen der finanziellen Situation nach der argentinischen Wirtschaftskrise ist eine bedeutende Zunahme der Investitionen aber fraglich.

Hiefür muß die TW-Versorgung und Abwasserbeseitigung auch in kleinere Städte und Ortschaften vordringen. Zum Grundwasserschutz ist es nötig die Zahl Personen, die ihre Abwässer in Hausklärgruben entsorgen deutlich zu verringern.

5.2.2 Ausbaugeschwindigkeit

Um in den fehlenden zehn Jahren die Ziele des Jahrtausendgipfels zu erreichen, muß die Ausbaugeschwindigkeit deutlich erhöht werden. Hinzu kommt, daß überall auch die Bevölkerung gewachsen ist. Das bisher Erreichte muß also durch laufende Erweiterungen der vorhandenen Strukturen verteidigt werden.

Eine hohe Ausbaugeschwindigkeit muß durch technische Lösungen und organisatorische Maßnahmen, die sich schnell umsetzen lassen, unterstützt werden.

5.2.3 Qualitätsrichtlinien

Grau und Grijzen, zitiert in /50/, S. 52, untersuchten den Aufwand für Staaten geringen und mittleren Einkommens um die EU-Richtlinien für Abwasser zu erreichen. Die nötigen Zeiträume überschreiten dabei vielfach die technische Lebensdauer der Anlagen der SW-Behandlung (20 bis 30 a) und der Kanalisation (50 bis 60 a). Daß ähnlich hohe Anforderungen, außer für einige dichtbesiedelte Zentren, erreicht werden können, ist unrealistisch, und sollten daher auch nicht als Ziel oder in Richtlinien festgelegt werden.

Die Qualitätsrichtlinien dürfen daher nicht aus denjenigen der Industrienationen ko-

piert werden, sondern sind entsprechend der Möglichkeiten und des tatsächlichen Risikos entsprechend anzumaßen und zu reduzieren.

5.2.4 Kosten der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung

Kleinstädte und ländliche Gemeinden haben oft tatsächliche oder vermeintliche Probleme, die für ein Projekt nötigen Finanzmittel aufzubringen, was preiswerte Lösungen erfordert. Ist die politische Bereitschaft vorhanden, wird die gesamte Bevölkerung eingebunden und das richtige und nötige gebaut, so sind Wasser- und Abwasserprojekte zumeist jedoch finanzierbar. Dies schließt alternative Finanzierungs- und Organisationsmodelle ein.

Ernsthafte Finanzprobleme beginnen zumeist erst wenn Anlagen fertiggestellt sind. Bei privatwirtschaftlicher Organisation sind Fremdmittel nur dann zu erwerben, wenn über die gesamte Projektlaufzeit unter Berücksichtigung aller Betriebsausgaben, eine ausreichende Verzinsung erwirtschaftet werden kann. Öffentliche Organisationsformen, die auf Zuschüsse aus den Gemeindehaushalten angewiesen sind, wiederum laufen Gefahr, daß sie anderen Interessen hinangestellt und aufgegeben werden. Unabhängig von der Betriebsform ist deshalb die Minimierung der Betriebs- und der Reinvestitionskosten, für den Austausch von Komponenten während der Lebensdauer der Anlagen, nötig.

5.2.5 Ausführungsqualität

Leider sind manche Projekte der Wasserwirtschaft in schlechter Qualität und mit ungeeigneten Materialien ausgeführt, was Wasserprojekte insgesamt in Verruf bringt. Dies muß vermieden werden. Der Einsatz von Materialien, die leicht erhältlich und einfach zu verarbeiten sind und Improvisation einschränken, aber gleichzeitig hohe und standardisierte Qualität aufweisen, ist daher zu fordern.

Die technische Gestaltung der Arbeiten, muß daher auf die Materialien, die lokal erhältlich sind angepaßt werden.

5.2.6 Ausbauoptionen

Die Konzeption von Anlagen der Wasserwirtschaft sind immer auch die möglichen Ausbauoptionen zu sehen. Diese sollen einfach und möglichst ohne externe Finanzmittel möglich sein, da Entwicklungsfinanzinstitute Gelder für Ausbauten in geringerem Maße zur Verfügung stellen.

Die Ausbauvarianten sollten auch den Rückbau und die komplette Verlegung von Anlagenteilen als Option berücksichtigen. Ausbauoptionen sind entscheidend bei der Standortfindung insbesondere der ARA. Die Grundflächen sind für ländliche Anlagen zumeist vorhanden, dennoch ist in Paraguay wegen seines hohen Anteils an verstreut lebender Bevölkerung auch dies in Einzelfällen ein Problem.

Es ist ferner damit zu rechnen, daß ein Entwässerungsgebiet nicht vollständig an eine ARA angeschlossen werden kann. Ein großer Anteil an verbleibenden Faulgruben wird daher verbleiben, deren Entleerung aber verbessert werden muß. Die Konzeption einer ARA muß somit die Behandlung einer bedeutenden Menge an Schlammwasser gestatten.

5.3 Abwasserbehandlung

5.3.1 Allgemeines

Weitgehende Entfernung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe ist kritisch zu hinterfragen. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist es weitaus sinnvoller N und andere Nährstoffe in hochwertige Proteine zur Ernährung von Mensch und Tier umzuwandeln, als sie unter Energieeinsatz zu vernichten und wieder unter Energieeinsatz auf anderem Wege wieder zu erzeugen.

Unter diesem Blickwinkel sind die „modernen“ Verfahren der SW-Behandlung als Energie- und Ressourcenvernichtung einzustufen und eher ungeeignet nachhaltige Entwicklung in Entwicklungs- und Schwellenländern zu fördern.

5.3.2 Finanzielle Aspekte

Die SW-Reinigung ist in besonderem Maße gezwungen so preiswert wie möglich zu arbeiten. Die Betriebskosten der SW-Sammlung sind eher gering und Fehler werden sofort für die Öffentlichkeit sichtbar. Demgegenüber sind die Betriebskosten der SW-Reinigung hoch und Mängel werden erst später offenbar.

Anstelle der Minderung der Reinigungsziele ist daher die wirtschaftliche Nutzung der Subprodukte der SW-Reinigung in einem integrierten Konzept anzustreben. Nicht selten werden diese „sekundären“ Nutzen wichtiger als die SW-Behandlung.

5.3.3 Nutzung der Subprodukte

Der gleiche Stoff wird unterschiedlich bewertet und geschätzt, je nachdem ob es sich bei ihm um einen Rohstoff oder um die Ursache eines Problems handelt. Die Subprodukte der SW-Behandlung sind, entsprechend der ARA-Konzeption:

- Gereinigtes Abwasser,
- Stabilisierter Schlamm,
- Biogas.

Wird die ARA landschaftsplanerisch gestaltet und eröffnet so Möglichkeiten der Freizeitgestaltung, ist die gesellschaftliche Unterstützung leichter zu erzielen.

5.4 Nutzung des gereinigten Abwassers

5.4.1 Möglichkeiten der Abwassernutzung

Das SW-Nutzung auf landwirtschaftlichen Flächen wird in der Region vielfach praktiziert, oft wird aber unzureichend behandeltes oder unbehandeltes Abwasser aufgebracht. Die Abwässer von ca. 600.000 EW im Großraum *Mendoza* werden in 12 Batterien mit je drei Klärlagunen gereinigt und vollständig zur landwirtschaftlichen Bewässerung genutzt. Die hierfür gegründete Verwaltungsorganisation betreibt einen Bewässerungskanal, für das gereinigte Abwasser /46/.

Ein großer Teil der Agrarproduktion ist für den Weltmarkt bestimmt und starken Preisschwankungen und Preiswettbewerb unterworfen. Die gezielte Nutzung gereinigten Abwassers in der Landwirtschaft gestattet, durch die gleichzeitige Nutzung der im gereinigten Abwasser verbleibenden Nährstoffe und Deckung des Wasserbedarfs, die Minderung der Produktionskosten.

Die Nutzung des Abwassers zur Bewässerung öffentlicher Grünflächen und Anlagen ist eine weitere Option. Geeignete Flächen sind allerdings zumeist nicht in unmittelbarer Nähe zu den Abwasseranlagen vorhanden, was zusätzliche Aufwendungen für Leitungen das gereinigte Abwasser erfordert. Alternativ ist die Schaffung geeigneter Flächen zur Naherholung in einem integrierten städtebaulichen Konzept denkbar.

Fischzucht in Abwasseranlagen ist für deutsches Verständnis eher abwegig. Die Abwässer Kalkuttas werden hauptsächlich Fischteichen zur gezielten Zucht zugeführt /67/ und auch in Lateinamerika (z.B. Nordosten Brasilien, Peru) bestehen einige Abwasseranlagen, die zur Fischzucht genutzt werden.

Die Grundwasseranreicherung, um den großräumigen Wasserkreislauf zu schließen, stellt weniger eine Abwassernutzung als einen Entsorgungsweg dar. Die Bewässerung bedeutet immer auch eine Anreicherung des Grundwassers.

Als weitere Möglichkeit besteht die Nutzung gereinigten Abwassers als Betriebswasser im industriellen Bereich.

5.4.2 Nährstoffnutzung

Viele landwirtschaftliche Flächen weisen Nährstoffmangel, bei stagnierenden und z.T. zurückgehenden Erträgen auf. Dieser Situation kann, soweit es der GW-Schutz gestattet, durch Ausbringen von Industriedünger oder die Nutzung der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe begegnet werden. Gleichzeitig bestehen in manchen Regionen mit zurückgehenden Erträgen hohe N-Werte im GW (östliches Paraguay entlang des *Río Paraná*), was prinzipiell sämtliche Düngung verbietet.

Verleibt N im gereinigten Abwasser (ca. 40-60 mg/l) und ist eine N-Düngung von etwa 85 kg_N/ha vorgesehen, wie vom Bayerischen Landesamt für Landwirtschaft und

Forsten für Weizen angegeben, kann pro Fruchtperiode zwischen 1.400 und 2.100 m³/ha gereinigtes Abwasser aufgebracht werden. Dies entspricht bei zwei Fruchtperioden pro Jahr und 150 l/(d · EW) der SW-Menge von 52 bis 78 EW/ha.

Ältere Untersuchungen (zitiert in /28/) vergleichen Erträge an aus Bohnenpflanzungen, die nur mit geklärtem Abwasser mit 1.000 KBE/100 ml bewässert wurden, wurden dabei mit denen, die übliche Düngergaben erhielten, verglichen.

Nährstoffgabe [kg/ha]			Ertrag [kg/ha]
N	P	K	
Geklärtes Abwasser			1,361
50	50	50	1,203
80	80	80	1,297
50	80	80	1,342

Tabelle 5.4-1 Ertrag an Bohnen bei Düngung mit geklärtem Abwasser /28/

Diese Ergebnisse zeigen, daß geklärtes Abwasser alle benötigten Nährstoffe besitzt und auf zusätzliche Düngergaben verzichtet werden kann.

Gewisse Saaten erfordern eine Begrenzung der N-Gaben, da lediglich das Pflanzenwachstum gefördert wird. Bei der Düngung von Weideflächen, die in dem betrachteten Großraum, wegen der Bedeutung der Viehhaltung, interessiert, ist das Pflanzenwachstum Ziel der Düngung.

ARA ist auf die spezifischen Anforderungen der Abwassernutzung auszulegen, zudem soll die Abwasserzusammensetzung die Nährstoffspeicherung und die Wasserspeicherkapazität des Bodens unterstützen. Dies erfordert den integralen Ansatz der Abwasserbehandlung und Landwirtschaft.

Unabhängig von der Nährstoff-Quelle erfordert jegliche Düngung die strenge Kontrolle ausgebrachten Nährstofffrachten. Einschränkungen der Abwassernutzung sind, insbesondere wenn das gereinigte Abwasser vollständig zur Bewässerung genutzt wird und keine anderen Entsorgungswege vorgesehen sind, bedeutend.

5.4.3 Speicherung gereinigten Abwassers

Bedeutend für die SW-Nutzung ist der kontinuierliche Anfall des kommunalen SWs, aber der jahreszeitlich unterschiedliche Bewässerungsbedarf. Die Speicherung der gereinigten Abwässer über mehrere Monate ist für semi-aride Gebiete eine Option.

Die Langzeitspeicherung ist für industrielles SW aus der Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte interessant. Der maximale SW-Anfall ist zur Zeit der Kampagne wenn die Produkte verarbeitet werden, Bewässerungsbedarf ist jedoch außerhalb dieser Zeit, wenn der industrielle Abwasseranfall gering ist. Bei ca. zwei Enten pro Jahr ergibt sich eine Dauer der Abwasserspeicherung von etwa drei bis vier Monaten. Zudem sind die Betriebe und die zu bewässernde Flächen oftmals nah beieinander gelegen, was die Aufwendungen für den Wassertransport verringert.

5.4.4 Finanzielle Aspekte der Abwassernutzung

Der finanzielle Aufwand zur Düngung landwirtschaftlicher Flächen hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab. Die *Asociación Tucumana del Citrus* gibt für Nordostargentinien und die Düngung von Zitronen 440 USD/ha und Fruchtperiode an. Die Kosten für Düngung können über die Hälfte der gesamten landwirtschaftlichen Produktionskosten ausmachen /28/.

Die Betriebskosten der Bewässerung liegen, entsprechend der Organisationsform und der Bewässerungstechnik, bei 15 bis 100 USD/ha bewässerte Fläche /39/.

Die Investitionskosten variieren, entsprechend der eingesetzten Bewässerungstechnik, zwischen 1.500 und 3.500 USD/ha /39/. Neue Bewässerungssysteme zur gezielten Nutzung der Abwässer sind somit ein bedeutender Kostenfaktor und erfordern einen integralen Projektansatz zwischen Land- und Wasserwirtschaft.

5.4.5 Reinigungsziele zur gezielten Abwassernutzung

Die weitgehende Nährstoffentfernung ist bei der Abwassernutzung zur Bewässerung nicht mehr vorrangig. Vielmehr soll die ARA die Nährstoffe erhalten bzw. ihr Verhältnis zueinander und ihre Pflanzenverfügbarkeit verbessern. Damit wird das vorrangige Reinigungsziel die Keimentfernung.

Nr.	Bedingung der SW-Nutzung	Ausgesetzte Gruppen	Nematodeneier ^{10 11} 100 ml ⁻¹	Fäkal KBE ^{12 13} 100 ml ⁻¹
A	Roh verzehrte Früchte Sportplätze öffentliche Anlagen	Arbeiter, Verbraucher, Öffentlichkeit	≤ 1	≤ 1.000 ¹⁴
B	Getreide, industriell genutzte und Futter Pflanzen, Weide, Bäume ¹⁵	Arbeiter	≤ 1	kein Wert empfohlen
C ¹⁶	Tröpfchenbewässerung wie in B, ohne, daß Arbeiter oder Öffentlichkeit in Kontakt kommt	keine	nicht zutreffend	kein Wert empfohlen

Tabelle 5.4-2 WHO Wasserqualität zur Bewässerung /34/

Abgesehen der angegebenen Zahl an Nematodeneiern, die für uneingeschränkte Bewäs-

¹⁰ Arithmetisches Mittel

¹¹ *Ascaris*-, *Trichuris*gattungen und Spulwürmer

¹² Geometrisches Mittel

¹³ während der Bewässerungszeit

¹⁴ Ein strengerer Wert (200 KBE/100 ml) ist gefordert, wenn Personen in direkten Kontakt mit bewässerten Grünflächen kommen, z.B. Parkanlagen und Grünflächen in Hotels

¹⁵ Im Falle der Bäume soll die Bewässerung zwei Wochen vor der Ernte ausgesetzt werden, Früchte sollen nicht vom Boden gesammelt werden und Beregnungsanlagen sollen nicht verwendet werden.

¹⁶ Die Vorbehandlung ist entsprechend der Bewässerungstechnologie zu wählen, soll aber mindestens aus einer Vorklärung bestehen.

serung gegenüber WGO auf 0,1/100 ml verringert werden sollte, haben diese Abwasserwerte in zahlreichen Anlagen den sicheren Betrieb ohne Gesundheitsgefährdung belegt /64/. Strengere Anforderungen sollten hinterfragt werden und sind zumeist wissenschaftlich nicht begründbar.

Die OLE hat die physikalisch-chemische Kriterien formuliert, die Wasser zur Bewässerung einhalten soll.

5.5 Nutzung des stabilisierten Schlammes

Der bei der Abwasserreinigung anfallende Schlamm enthält die aus dem Abwasser entfernten Nähr- und Schadstoffe. Insbesondere sind die Schwermetalle hervorzuheben. Diese schließen in Deutschland die landwirtschaftliche Nutzung der Schlämme und seiner Nährstoffe mittlerweile aus. Derart überzogen Auflagen gibt es innerhalb des MERCOSUR nicht. Die Nutzung des ausgefaulten Schlammes in der Landwirtschaft und im Landbau ist daher anzustreben.

Erfolgreich wurde Klärschlamm in Brasilien eingesetzt um stark erodierte Flächen, die keinerlei Mutterboden mehr besaßen, wieder zu begrünen.

5.6 Erzeugung und Nutzung von Biogas

5.6.1 Stromerzeugung

Bei entsprechender Verfahrensgestaltung fällt bei der SW-Behandlung energiereiches Biogas an, das in Gasmotoren in elektrische Energie umwandelt werden kann. Gerade in Brasilien ist zusätzlich erzeugte Energie wertvoll. Leider bestehen derzeit im MERCOSUR noch nicht die rechtlichen Rahmenbedingungen, die es gestatten elektrische Energie in allgemeine Netze einzuspeisen. Der technische Aufwand zur elektrischen Energieerzeugung und die Möglichkeiten für Wartung und Betrieb sind in ländlichen Regionen besonders zu untersuchen. Im Verbund mit Industriebetrieben, die landwirtschaftliche Produkte verarbeiten, ergibt sich jedoch oftmals die Möglichkeit der Verstromung des Biogas'.

5.6.2 Thermische Nutzung

In vielen Haushalten wird mit Flüssiggas gekocht, und gerade in ländlichen Regionen und für städtische Randbevölkerung stellt Brenngas in Flaschen eine finanzielle Belastung dar. Der Verkauf in Gasflaschen abgefüllten Biogases gestattet einerseits die Brennstoffkosten zu reduzieren und bietet andererseits zusätzliche Einnahmemöglichkeiten für die Abwasserbeseitigung. Die Vermarktung von Biogas in Flaschen ist in vergleichbaren Regionen Lateinamerikas erfolgreich eingeführt worden, z.B. Guatemala.

Alternativ ist die Installation kleiner Niederdruckgasnetze zur Versorgung einzelner industrieller Nutzer oder eines Teils des Entwässerungsgebietes möglich. Beispiele aus

Kolumbien und Brasilien zeigen, daß in einfachen Niederdrucknetzen 6% der Bevölkerung eines Entwässerungsgebietes mit Biogas aus der anaeroben Abwasserreinigung versorgt werden können.

6 Rahmenbedingungen der Wasserwirtschaft

6.1 Gesellschaftliche Einbindung

6.1.1 Allgemein

Die ländliche Wasserwirtschaft muß eine Vielzahl an Aufgaben erfüllen, die über die reine TW-Versorgung bzw. SW-Beseitigung hinaus gehen. Nur wenn sie die Mehrzahl der Anforderungen erfüllen können, sind sie geeignet dauerhaft erfolgreich zu arbeiten.

Unabdingbar ist die breite und dauerhafte gesellschaftliche und politische Unterstützung der Maßnahmen und darf nicht „Spielball“ kurzer wahltaktischer oder persönlicher Überlegungen sein. Dies ist nur möglich wenn die Bevölkerung und die entscheidenden Gesellschaftsgruppen uneingeschränkt hinter den Maßnahmen stehen.

6.1.2 Interessengruppen

Für den Projekterfolg ist es wichtig die gesellschaftliche Struktur einer Gemeinde zu erkennen. Gerade in kleineren Gemeinden sind wenige oder nur eine Familie die tragenden Säulen für sämtliche wirtschaftliche und gesellschaftliche Aktivität.

Gegner einer geregelten Wasserversorgung sind zudem diejenigen, die von deren Fehlen wirtschaftlichen Nutzen ziehen, Vertreiber in Flaschen abgefüllten Wassers und Tankfahrzeugen. So ist damit zu rechnen, daß mit Hinweisen auf mangelhafte Qualität des gelieferten Wassers Front gemacht wird. Hier ist es hilfreich, daß unabhängige und vor allem von der Bevölkerung akzeptierte Institutionen die gute Qualität des gelieferten Wassers bestätigen können. Die Einbindung eines verbesserten Gesundheitsdienstes und lokaler Ärzte kann nützlich sein.

6.1.3 Bevölkerung

Die breite Bevölkerung muß sich eingebunden fühlen und seine Unterstützung für geben. Dazu ist es nötig, daß es bereits am Anfang eines Projektes offen über den Nutzen aber insbesondere über die Rahmenbedingungen, Verhaltensänderungen, finanziellen Belastungen und die eventuellen Einschränkungen aufgeklärt wird und diese akzeptiert. Ebenfalls muß die Notwendigkeit für die TW-Versorgung und SW-Beseitigung zu zahlen anerkannt werden. Dies ist dort, wo bislang Hausbrunnen bestehen und bislang keine Kosten für Wasser anfallen eine bedeutende Aufgabe.

Wichtig ist zu erkennen, wo gesellschaftliche Differenzen bestehen, die so bedeutend sind, daß sie in technische und organisatorische Konzeption einer Maßnahme einflie-

ßen müssen. Die Schaffung einer geeigneten und allgemein akzeptierten BO, die auf kommunaler Ebene unterschiedliche Gruppen zusammenbringt und vertrauensbildend wirkt, ist dabei sehr wichtig.

Eine Maßnahme muß für alle Gruppen Vorteile bringen, die über die reine Wasserversorgung- und SW-Beseitigung hinausgeht.

6.1.4 Arbeitslosigkeit

Der Zusammenbruch der argentinischen Wirtschaft 2002 beeinflusste vor allem Uruguay und in geringerem Maße Brasilien und Paraguay. In weiten Teilen besteht Unterbeschäftigung von über 25 %. Die Schaffung neuer Arbeitsplätze und zusätzlicher Einkommensquellen ist in daher wichtig.

6.1.5 Wartung und Instandhaltung

Nur in geringerem Maße wird, gerade in ländlichen Gegenden, vorausschauend Wartung und Instandhaltung betrieben. Maschinen werden betrieben so lange es geht und dann repariert, ausgetauscht oder, was leider oft der Fall ist, defekt belassen, weil Schwierigkeiten bei der Reparatur auftreten.

Auch wenn bei der Projektgestaltung Maßnahmen eingeschlossen sind die zu verbessern, ist diese Mentalität bei der Planung technischer Anlagen zu berücksichtigen. Ersatzteile müssen daher schnell, einfach und preiswert erhältlich sein, und Reparaturen müssen lokal einfach durchführbar sein.

6.2 Entwicklungsachsen und Energieversorgung

6.2.1 Energiekrisen und regionale Netze

Das immense hydroelektrische Potential im *La-Plata*-System in einer Vielzahl großer Wasserkraftwerke zur Stromerzeugung genutzt. Trotzdem herrscht in Brasilien Energiemangel, so auch 2003, als selbst in großen Städten der Bezug elektrischer Energie rationalisiert wurde.

Paraguay produziert in Wasserkraftwerken ein Vielfaches dessen an elektrischer Energie was es benötigt, und liefert den gesamten Überschuß an seine Nachbarn Argentinien und Brasilien. Trotz dieses großen Angebots leidet das Land an häufigen Stromausfällen.

Über mehrere regionale Netze sind die vier Länder miteinander verbunden. Sie verbinden die Zentren und bilden zusammen mit den terrestrischen Verkehrswegen bedeutende Entwicklungsachsen.

Ländlichen Regionen liegen oftmals abseits dieser Entwicklungsachsen und werden nur von untergeordneten lokalen Netzen erschlossen, deren Zuverlässigkeit und Kapazität oft begrenzt ist. Oft besitzen nur die Ortszentren geeignete Stromversorgung. Die

Versorgungsdichte mit elektrischer Energie hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen und erreicht zumeist über 90 % der Bevölkerung.

Doch gerade für abseits gelegene Ansiedlungen, landwirtschaftliche Betriebe und besonders indianische Bevölkerung ist die fehlende Stromversorgung oft der Grund der fehlenden Wasserversorgung. Während Landwirtschaftliche Anwesen und manche Siedlung mit Eigenerzeugung über Dieselaggregate eine Stromversorgung besitzen, ist indianische Bevölkerung oft völlig von der Stromversorgung ausgeschlossen.

6.2.2 Ländliche Verkehrserschließung

Die Verkehrserschließung kleiner Ansiedlungen und der Randlagen kleiner Städte erfolgt vielfach über Erdwege. In Trockenzeiten ist hierüber eine ausreichende Erschließung gesichert, in Regenzeiten sind sie aber nur mittels geländegängiger Fahrzeuge oder über mehrere Tage gar nicht erreichbar.



Abbildung 6-1 Erdstraße im Osten Paraguays (links) und Nordwesten Argentinens (rechts) bei guten Straßenbedingungen und Erdstraße in Argentinien nach Regenereignis

Diese Straßensituation bedeutet für Anlagen der Wasserwirtschaft, die außerhalb der Ortschaften errichtet werden, daß sie oftmals für mehrere Tage nicht für Reparaturen, Wartung und Betrieb zugänglich sind.

Der Bau geeigneter Straßen für Wasseranlagen kann einen bedeutenden Kostenfaktor darstellen, und beeinflußt so die Anlagenkonzeption.

6.3 Weitere Faktoren der Wasserwirtschaft

6.3.1 Fachliche Leistungsfähigkeit

Anlagen der Wasserversorgung und der Abwasserbeseitigung sind komplexe Maßnahmen, die Bautechnik, Maschinenbau, Verfahrens- und Elektrotechnik, sowie Steuerungstechnik, den Umweltschutz, die Landwirtschaft, wirtschaftliche, politische, rechtliche und in starkem Maße gesellschaftliche Aspekte verbinden.

Die wissenschaftliche und Ingenieurausbildung an den großen argentinischen und brasilianischen Hochschulen ist auf den Gebieten der Wasserwirtschaft als ausreichend gut. Ebenso ist das Baustellenpersonal ausreichend geschult.

In Paraguay ist das Bauingenieurwesen weit verbreitet und wegen der großen Erfahrungen aus den Wasserkraftwerken *Itaipú* und *Yacyretá* besteht große nationale Kompetenz für Grund- und Erdbaus. Die Kompetenz für anspruchsvolle Verfahrenstechnik ist aber als eher gering. Die handwerklichen Fähigkeiten der meisten Arbeiter sind sehr gut für normale Bauarbeiten.

Die universitäre Ausbildung des Wasser- und Abwasserfaches basiert auf den europäischen und nordamerikanischen Techniken und Verfahren. Erst seit Ende des zwanzigsten Jahrhunderts breitet sich die Kenntnis, daß eigene Konzeptionen gefunden werden müssen. Beispiele hierfür sind die vereinfachte Kanalisation, die hauptsächlich in Brasilien entwickelt wurde und die Anwendung des aufwärtsdurchströmten anaeroben Schlammbedreaktor (UASB) für kommunales SW, der ausgehend von Kolumbien mittlerweile auch im MERCOSUR Anwendung gefunden hat.

6.3.2 Industrielle Leistungsfähigkeit

Die Industrieproduktion für Produkte der Wasserwirtschaft ist in Brasilien gut. Die Produktion von Rohren und Zubehör umfaßt alle Nennweiten und alle einschlägig bekannten Materialien, wobei ein Übergewicht der PVC-Produktion ist festzustellen ist.

In Argentinien ist die Vielfalt der Produktion von Rohrleitungsbauteilen bereits eingeschränkt. In Paraguay und Uruguay gibt es eine nationale Fertigung nur für PVC-Rohrleitungen kleineren Durchmessers bis ca. DN200, die Produktion von Zubehör und Formstücken ist aber auch bei diesen Dimensionen reduziert. Eine eigene Fertigung metallischer Rohre (zumeist GGG) besteht in Uruguay bis Nennweiten kleiner DN350 (/26/, S. 86), in Paraguay werden keine Guß-Rohre gefertigt.

Anlagen und Aggregate der Abwasserbehandlung werden nur in Argentinien und Brasilien produziert, in der Regel von Niederlassungen internationaler Firmen. Die Leistungsfähigkeit der Bau- und Anlagenbauindustrie ist in Argentinien und Brasilien gut und umfaßt nationale als auch Niederlassungen internationaler Unternehmen.

Die paraguayische Bauindustrie ist durch die Erfahrungen aus den großen Wasserkraftwerken *Itaipú* und *Yacyretá* ausreichend ausgestattet und befähigt auch für große Bauprojekte der Erdbaus abzuwickeln. Für bautechnisch aufwendigere Maßnahmen oder solche des Anlagenbaus und der Verfahrenstechnik gibt es aber keine spezialisierten Unternehmen. Viele Projekte der Wasserwirtschaft sind von Improvisation geprägt.

Allgemein gibt es in den meisten Ortschaften ausreichend geschickte Mechaniker, die bei ausreichender Unterstützung, mechanische Arbeiten und Reparaturen ausführen können.

7 Zusammenfassung

Verfahren und Verfahrenskombinationen der ländlichen Wasserwirtschaft im MER-

COSUR müssen eine Vielzahl an Aufgaben erfüllen, die über die reine TW-Versorgung bzw. SW-Beseitigung und -Reinigung hinaus gehen. Nur wenn sie die Mehrzahl der Anforderungen erfüllen können, sind sie geeignet dauerhaft erfolgreich zu arbeiten. Grundvoraussetzung ist die breite gesellschaftliche und politische Einbindung eines Projektes. Ohne diese sind alle weiteren Maßnahmen vergebens.

Geeignete Konzepte sollen die lokale Wirtschaft nicht überfordern, sondern zusätzliche Impulse geben und die lokale Leistungsfähigkeit gezielt einzubeziehen. So besteht in Paraguay sehr großen Kompetenz auf dem Gebiet des Erdbaus, jedoch sind selbst große Firmen eher nicht in der Lage wasserundurchlässige Betonbauwerke zu erstellen. Andererseits gibt es auch in kleinern Ortschaften ausreichend geschickte Mechaniker, die Arbeiten an mechanischen Komponenten ausreichend gut durchführen können.

Die Wahl der eingesetzten Bauteile und Bauweisen muß in besonderem Maße berücksichtigen:

- ihre Langlebigkeit und gute Funktionstüchtigkeit, auch bei fehlender Wartung,
- ihren einfachen Einbau, auch durch weniger oder ungeschulten Personen,
- ihre Fähigkeit auch unter ungünstigen Bedingungen befriedigend zu arbeiten,
- ihre einfache Bedienung, auch durch weniger oder ungeschulten Personen.
- Die Berücksichtigung führt zu preisgünstigen Bauteilen, sowohl bei der Erstinvestition als auch bei dem Betrieb.

Die Schaffung zusätzlichen finanziellen Nutzens, insbesondere durch die Nutzung der Subprodukte der ARA, ist hierbei wichtig. Dieser Zusatznutzen ist wichtig um die weitgehende Unterstützung der Bevölkerung und der entscheidenden Bevölkerungsgruppen zu erreichen. Bei erfolgreichen Konzepten, kann sich sogar die Gewichtung umdrehen, sodaß die Nutzung der Subprodukte als Hauptzweck dient, und die ursprüngliche Aufgabe, z.B. der Abwasserreinigung als Nebenaufgabe dient.

Vielfach ist der Nutzen, den eine verbesserte Infrastruktur der Bevölkerung liefert, insbesondere auf dem Abwassersektor, nicht direkt und unmittelbar zu sehen. Damit Projekte erfolgreich sind und von der Bevölkerung angenommen werden müssen sie weitere Nutzen und direkt spürbare Verbesserungen der Lebensbedingungen schaffen. Hier sind viele Möglichkeiten gegeben, der Kreativität der beteiligten Seiten sollten dabei keine Grenzen gesetzt werden und auch unübliche Ideen nicht ausgeklammert werden.

Die alleinige Ausrichtung auf technische Aspekte ist bei der vielschichtigen Aufgabenstellung nicht geeignet langfristig funktionierende Lösungen zu schaffen.

Teil III – Angepaßte Konzepte und Techniken

8 Lösungsansätze zur Verbesserung der ländlichen Wasserwirtschaft

8.1 Einleitung

8.1.1 Allgemeines

Verbraucher, Gebührenzahler, Betreiber, Behörden und staatliche Institutionen, Auftraggeber, Hersteller von Komponenten und Aggregaten, Anlagenbauer, Planer und Berater sowie Finanzierungsinstitute müssen die Herausforderung annehmen um die aufgestellten Ziele zu erreichen. Kopien europäische oder nordamerikanische Lösungen sind nur bedingt geeignet. Dies gilt in besonderem Maße für ländliche Regionen.

Regionale Aspekte sind stärker zu berücksichtigen und vorhandene Stärken zu nutzen, gleichzeitig müssen die Beschränkungen erkannt und berücksichtigt und fachliche und technische Fehler vermieden werden. „Patentlösungen“ gibt es leider nicht. Nur eine Lösung, die im Einzelfalle alle Seiten ausreichend zufrieden stellen kann, gestattet die Situation langfristig zu verbessern. Die Optimierung von Einzelaspekten ist hier ebenso wenig zielführend wie Qualitätsanforderungen, die nicht erfüllt werden können und lediglich zu ihrer Umgehung führen. Die funktionierende Teilreinigung von Abwässern, dort wo bislang keine Behandlung bestand, ist durchaus als vorteilhafter als eine Vollreinigung, die wegen fehlender Ersatzteile oder zu hohen Energiebedarfs nicht in Betrieb ist.

8.1.2 Integrierte Lösungen

Integrierte Lösungen lösen verschiedene Aspekte gemeinsam. Sie sind deshalb geeignet, da die Probleme der Wasserwirtschaft keine singulären Ursachen besitzen und die Ziele aus einer Vielzahl von Komponenten bestehen.

Zur Verbesserung der Gesundheitssituation ist die TW-Versorgung alleine nicht ausreichend, sondern weitere Aufgaben müssen zusammengeführt werden, Bildungsfragen und Analphabetismus, Gesundheitsvorsorge, Abwasserbeseitigung und Abfallwirtschaft, Grundwasserschutz und die Schaffung geeigneter Organisationsformen und Finanzquellen. Bedeutend ist zudem die Integration der Industrie, zum einen wegen der Bereitstellung der benötigten Komponenten, zum anderen Wassernutzer als auch als Abwasserproduzent.

8.1.3 ecosan-Konzeption

Daß die in Mitteleuropa verbreiteten technischen Lösungen nicht ohne weiteres auf ländliche Regionen im MERCOSUR übertragbar sind, zeigt auch die in Deutschland geführte Diskussion über Abwasserbeseitigung in ländlichen Regionen, die insbesondere auf die Kosten der üblichen zentralen Lösungen abzielt.

„Mögliche Alternativen zu den Nachteilen konventioneller Abwassersysteme bieten die Konzepte der „ecological sanitation“, kurz „ecosan“ genannt. Diese beruhen auf einer ganzheitlichen Betrachtung der Stoffströme im Rahmen von auf die lokalen Bedürfnisse zugeschnittenen, ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Abwassermanagementsystemen. Sie favorisieren nicht eine bestimmte Technologie, sondern repräsentieren vielmehr eine neue Philosophie im Umgang mit den Stoffen, die wir in der Vergangenheit lediglich als zu beseitigende Abwässer und Schmutzfrachten betrachtet haben. Auf diesem Ansatz beruhende Systeme dienen der systematischen Schließung lokaler Stoffstromkreisläufe und ermöglichen damit letztlich Kreislaufwirtschaftssysteme wie sie im Bereich der festen Abfälle bereits verbreitet sind. Sie dienen auch der Wiederherstellung eines bemerkenswerten natürlichen Gleichgewichts, nämlich zwischen der von einem Menschen pro Jahr ausgeschiedenen und der zur Erzeugung seiner Nahrung notwendigen Nährstoffmenge. Im Idealfall ermöglichen ecosan-Systeme eine nahezu vollständige Rückgewinnung aller in häuslichen Abwässern enthaltenen Nährstoffe und Spurenelemente und - nach entsprechender Behandlung - deren Nutzbarmachung in der Landwirtschaft. Damit tragen sie zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur langfristigen Ernährungssicherung bei.

Als ganzheitliche Alternativen zeichnen sich ecosan-Ansätze insbesondere auch durch interdisziplinäre Herangehensweisen aus, die über die engeren siedlungswasserwirtschaftlichen und technologischen Aspekte hinaus etwa Fragestellungen der landwirtschaftlichen Nutzung, Soziologie, Hygiene, Gesundheit, Stadtplanung, Ökonomie / Kleingewerbeförderung, Verwaltung etc. in die Systementwicklung integrieren“ (/49/, S. 3).

8.1.4 Angepaßte Techniken – „Die beste technisch und wirtschaftlich erhältliche Technik“

Angepaßte Techniken in der Wasserwirtschaft wollen:

- die Verbesserung der menschlichen Gesundheit und des gemeinschaftlichen Wohls,
- die Nachhaltigkeit,
- den Kreislauf oder Wiederverwendung behandelten Wassers,
- ästhetisch anspruchsvolle und ansprechende Lösungen.

Die Techniken der Wasserwirtschaft können in die einfachen und angepaßten Techniken und die anspruchsvollen und hochentwickelten Techniken eingeteilt werden. Gerade in Entwicklungs- oder Schwellenländern üben anspruchsvolle und hochentwickelte Techniken den Reiz des Fortschritts aus und werden alleine deshalb nachgefragt.

Einfache und angepaßte Techniken dürfen aber nicht als weniger wirksam mißverstanden werden, vielmehr als einfacher bei der Bauausführung, im Betrieb und mit gerin-

gerem Energiebedarf als technologische Verfahren /6/.

Als „beste technisch und wirtschaftlich erhältliche Technik“ sollten sie in Lateinamerika Anwendung finden /51/. Angepaßte Verfahren müssen über das rein technische der „besten technisch und wirtschaftlich erhältlichen Technik“ hinaus, in jedem Einzelfall zusätzliche soziale, wirtschaftliche, kulturelle, rechtliche, ökologische und Bildungsfragen berücksichtigen /6/.

Das schließt technologische Verfahren, dort wo sie als „beste technisch und wirtschaftlich erhältliche Technik“ sinnvoll sind, nicht aus, sondern stellt vielmehr eine Erweiterung dieser Verfahren dar.

9 Angepaßte Technikkonzepte der Wasserversorgung

9.1 Technikkonzepte

Die verschiedenen Teilschritte der TW-Versorgung müssen zu einem Gesamtsystem kombiniert werden.

Wassergewinnung			
RW	RW von Dachflächen	Haushalt, (Gewerbe)	TW
	Dämme zur Sammlung und Speicherung, Tajamares	Gewerbe, Gemeinde, Regional	Bewässerung, TW
GW	Quellwasserfassung	Gemeinde	Bewässerung, TW, Tränke
	Bohrbrunnen	Gemeinde, Haushalt, Gewerbe	Bewässerung, TW, Tränke
	Gegrabener Brunnen	Haushalt, (Gemeinde, Gewerbe)	TW
	Sammlung oberflächennahen GW	Gemeinde	Bewässerung, Tränke
Oberflächenwasser	Wasserfassung		TW, Bewässerung, Tränke
	Wasserfassung		TW, Bewässerung
	Wasserfassung		TW, Bewässerung
	Wasserfassung		TW, Bewässerung
Wasserförderung			
Eimer		Haushalt	
Handkolbenpumpen		Haushalt, Gewerbe (Gemeinde)	TW
Hydraulischer Widder		Haushalt, Gewerbe, (Gemeinde)	TW
Mammutpumpen		Gemeinde, Gewerbe	TW, Bewässerung, Tränke
Zentrifugalpumpen		Haushalt Gemeinde, Gewerbe	TW, Bewässerung, Tränke
Energieversorgung			
Muskelkraft		Haushalt	TW
Tierische Mus-		Haushalt	TW, Bewässerung, Tränke

Werkkraft			
Windenergie		Gemeinde, Gewerbe	TW, Bewässerung, Tränke
Solarenergie		Haushalt, Gemeinde, Gewerbe	TW, Bewässerung, Tränke
Elektrische Energie		Haushalt, Gemeinde, Gewerbe	TW, Bewässerung, Tränke
Verbrennungsmotor (Diesel)		Gemeinde, Gewerbe	TW, Bewässerung, Tränke
Wasseraufbereitung			
Erhitzen		Haushalt	TW
Solare Desinfektion		Haushalt, Gewerbe	TW
Chlorierung		Haushalt, Gemeinde, Gewerbe	TW
Sandfilter		Haushalt, Gemeinde, Gewerbe	TW
Absetzbecken		(Haushalt), Gemeinde, Gewerbe	TW, Bewässerung, Tränke

Tabelle 9.1-1 Technische Möglichkeiten der Wasserversorgung /34/

Geregelte TW-Versorgung besteht in allen vier Staaten für über $\frac{3}{4}$ der städtischen Bevölkerung gegeben. In ländlichen Regionen, kleinen Städten und den städtischen Randgebieten sind Hausbrunnen weit verbreitet. Zum Teil versorgt sich 50 % der Landbevölkerung aus Hausbrunnen.

9.2 Verbesserung der Einzelwasserversorgung

9.2.1 Besserer Grundwasserschutz

In der Vergangenheit wurde die TW-Versorgung zeitlich vor der SW-Beseitigung installiert. Bei einer integralen Betrachtungsweise ist unter Umständen die umgekehrte Vorgehensweise besser geeignet eine zügige Verbesserung der Situation zu erreichen.

In vielen Fällen ist die Wasserqualität der Hausbrunnen durch die Versickerung der eigenen oder der nachbarlichen SW gefährdet. Der langfristige Ressourcenschutz des GW ist ebenfalls durch diese Quelle gefährdet. Um möglichst rasch die TW-Qualität und den Ressourcenschutz zu verbessern, ist die Schaffung einer geregelten SW-Entsorgung und die Aufgabe der SW-Versickerung zum Teil besser geeignet als die Errichtung einer zentralen TW-Versorgung.

9.2.2 Wasseraufbereitung im Haushalt

Grundsätzlich sollen Hausbrunnen solide ausgeführt sein, was oftmals nicht der Fall ist. Daher ist die Sanierung bestehender Hausbrunnen mit armiertem Zementmörtel, max. 3 cm stark, zumeist sinnvoll. Zudem sind geeignete Abdeckungen zum Schutz nötig. Dies kann unter geschulter Aufsicht von ungelehrtem Personal oder dem Nutzern selber erstellt werden.

Dort eine geregelte TW-Versorgung kurzfristig nicht eingeführt werden kann, z.B. bei Streusiedlungen, die sehr lange Leitungslängen pro EW erfordern, und gleichzeitig viele Hausbrunnen bestehen, ist Einführung der Wasseraufbereitung auf Haushaltsebene eine geeignete Übergangslösung. Hierfür bieten sich an:

- das Erhitzen,
- solare Desinfektion,
- Chlorierung und
- Sandfilter.

Das Erhitzen, obwohl üblich, ist es als geregelte Lösung ungeeignet, da es wegen des Brennstoffbedarfs hohe Kosten verursacht und ökologisch bedenklich ist. Elektrisches Erhitzen ist dort geeignet wo elektrische Energieversorgung besteht. Da der überwiegende Teil der elektrischen Energie im gesamten Großraum aus Wasserkraft erzeugt wird, ist dies, unter Berücksichtigung der Betriebskosten eine mögliche Option.

Microorganisms	Temperature for 100 % Destruction		
	1 Min.	6 Min.	60 Min.
Enteroviruses			62 °C
Rotaviruses			63 °C for 30 Min.
Faecal Coliforms	at 80 °C complete destruction		
Salmonellae		62 °C	58 °C
Shigella		61 °C	54 °C
Vibrio Cholera			45 °C
Entamoeba Histolytica Cysts	57 °C	54 °C	50 °C
Giardia Cysts	57 °C	54 °C	50 °C
Hookworm Eggs and Larvae		62 °C	51 °C
Ascaris Eggs	68 °C	62 °C	57 °C
Schistosomas Eggs	60 °C	55 °C	50 °C
Taenia Eggs	65 °C	57 °C	51 °C

Tabelle 9.2-1 Temperatur für vollständige Keimzerstörung /35/

Bei der solaren Desinfektion wird das Wasser durch Sonnenenergie durch die UV-A-Strahlung der Sonne unterstützt durch die Temperaturerhöhung desinfiziert. In weißen 2-Liter-PET-Flaschen, die überall für Mineralwasser erhältlich sind, wird dabei zu desinfizierende Wasser der Sonnenstrahlung ausgesetzt. Nach ca. 6 Stunden ist das Wasser bei zu 50 % oder weniger bedecktem Himmel hygienisch unbedenklich, bei zu vollständig bedecktem Himmel nach zwei Tagen /36/. Betriebskosten fallen keine an, jedoch muß die Bevölkerung in einem Programm und ihr Verantwortungsbewußtsein geschult werden.

Die solare Desinfektion eignet sich für Bohrbrunnen, die geringe Trübheit besitzen und O₂-gesättigt sind. Bei größeren Wassertiefen nimmt die Wirksamkeit der solaren

Desinfektion ab, daher bieten sich transparente Kunststoffflaschen oder –säcke an. Säcke sind zwar effektiver, da eine größere Oberfläche der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, jedoch sind Flaschen in der Handhabung einfacher. Um die O_2 -Sättigung zu erzielen reicht zumeist Schütteln der $\frac{3}{4}$ vollen Flasche.

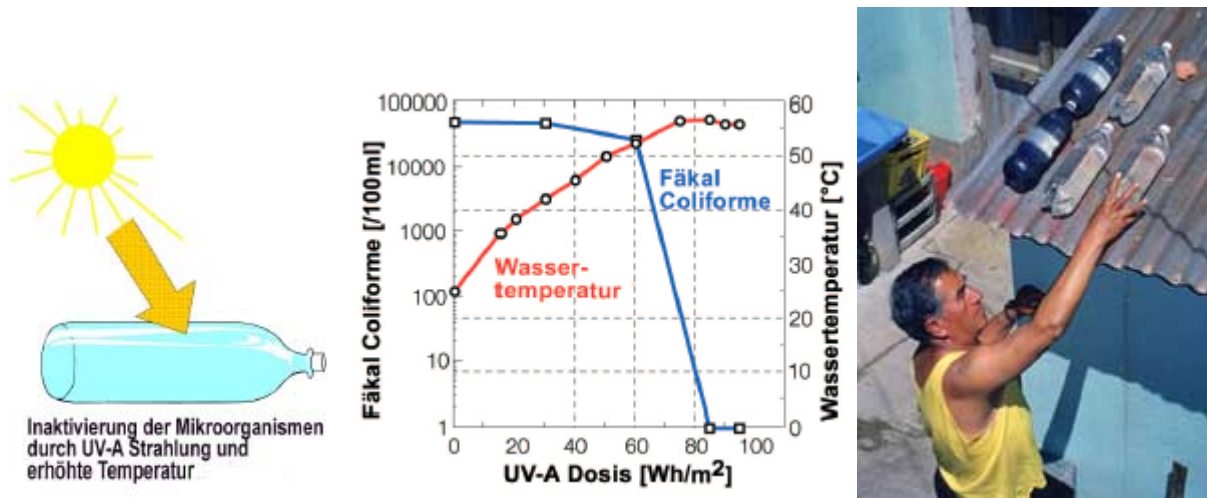


Abbildung 9-1 Solare Desinfektion auf Haushaltsebene /36/

Die Chlorung auf Haushaltsebene ist ebenfalls erprobt. Jedoch sind höhere Betriebskosten zu erwarten und wegen des Umgangs mit Chlor ist es eher auf Gemeinschaftsebene zu empfehlen.

In Langsandsandfiltern wirken chemische, biologische und physikalische Prozesse zusammen, wenn Wasser über die Sandkolonne fließt. Durch den feinen Sand werden Trübstoffe herausgefiltert und die sich bildenden Mikroorganismen auf dem Sand (biologischer Rasen) bauen Keime im Wasser ab.



Abbildung 9-2 Langsandsandfilter auf Haushaltsebene /37/

Der Durchfluß sollte dabei zwischen 0,1 bis 0,3 m/h liegen, größere Durchflüsse verschlechtern die Wirkung. Ebenfalls eignet es sich für wenig trübes Brunnenwasser ($TE < 30$), da trüberes Wasser zu schnellem Verblocken des Sandfilters führt. Einfache Langsandsandfilter können in leicht erhältliche Kunststoff- oder Stahlfässer oder ge-

mauerte und wasserdicht verputzte Schächte eingebaut werden. Die hierfür erforderlich Arbeitskräfte sind immer vorhanden. In einigen Regionen (z.B. *Chaco*) sind keinerlei Steine erhältlich, dann kann die grobe untere Schicht alternativ auch aus Bruchziegel bestehen.

Wenn der Durchsatz abfällt müssen die oberen Sandschichten ausgetauscht werden, bei kompetenter Unterweisung durch die Nutzer erfolgen kann. Die Betriebskosten der Wasseraufbereitung sind dann minimal.

9.3 Verbesserung der Energieversorgung in der Wasserversorgung

9.3.1 Sicherung der Trinkwasserversorgung

Üblicherweise wird elektrische Energie zur Wasserförderung verwendet. Um auch bei Netzausfall ein gewisses Reservevolumen zu besitzen, werden zumeist Wassertürme errichtet.

Für abgelegene Ansiedlungen, die bisher nur von kleinen Nebennetzen versorgt werden, ist zur Verbesserung der Zuverlässigkeit der Einsatz von photoelektrisch angetriebenen Pumpen eine Option zusätzliche Versorgungssicherheit zu erreichen.

9.3.2 Dezentrale Wasserversorgung abgelegener Regionen

Wasserförderung und –verteilung erfordert immer Energieeinsatz. Der Einsatz von Menschenkraft ist nur bei geringen Wassermengen und Förderhöhen möglich. Für Systeme die heute für abgelegene und indianische Siedlungen errichtet werden sollten sie keine ernstzunehmende Option sein. Um lokale Entwicklung anzuregen und den Menschen zu zeigen, daß sie wertvoll sind, sollten immer angetriebene Lösungen zum Einsatz kommen.

Kriterium	PV	Wind	Diesel	Bemerkung
Betrieb ohne Beaufsichtigung	ja	ja	nein	
Geringer Wartungsaufwand	ja	ja	nein	
Einfache Installation	ja	nein	ja	Schulung der Installateure eröffnet neue Betätigungsfelder
Lange Lebensdauer	ja	ja	nein	
Geringe Anschaffungskosten	nein	nein	ja	Da oftmals Automotoren
Geringe Betriebskosten	ja	ja	nein	
Lokale Fertigung	nein	ja/nein*	nein	*ja, bei direkt angetriebene Kolbenpumpen nein, falls Wind zur Stromerzeugung
Lokale Vertretung externer Produkte	ja	ja	ja	
Lokale Wartung	ja/nein*	ja	ja	*Personal muß u.U. extra geschult werden
Stromversorgung für Anwesen und Beleuchtung	ja*	nein/ja* *	ja***	*wenn zusätzl. Batterien **nur wenn Wind zur Stromerzeugung ***wenn Generator angekoppelt
Keine Wasserspeicherung	nein	nein	nein*	*Für Versorgungssicherheit Wasserspeicher vorteilhaft
Ohne Treibstoffversorgung	ja	ja	nein	
Umsetzen der Energieversorgung	ja*	nein	ja*	*wenn auf Anhänger montiert
Gleichbleibende Förderung	nein*	nein	ja	*kein Nachteil, da zu Zeiten höchsten Bedarfs (Sommer) höchste Ausbeute
Niedrige volkswirtschaftliche Kosten*	ja	ja	nein	*u.A. Ressourcenverbrauch
Niedrige „life cycle costs“*	ja	nein	nein	*Kosten einschl. Produktion und Entsorgung nach Betrieb

Tabelle 9.3-1 Vergleich verschiedener dezentraler Versorgungskonzepte

9.3.3 Auslegung Photoelektrischer Wasserversorgung

Entscheidend ist die Spitzenleistung der Solarmodule P_p , in Wp (Watt Peak), die unter Normbedingungen festgelegt wird.

$$P_p = Q \cdot H \cdot \rho_w \cdot g / (S_{md} \cdot F \cdot \eta),$$

mit Q täglicher Wasserbedarf, H Förderhöhe, ρ_w Dichte des Wassers, g Erdbeschleunigung, S_{md} mittlere tägliche Sonneneinstrahlung, F Abweichung von Normbedingung (zumeist 85 %) und η Nutzungsgrad Pumpe und Motor (30 bis 40 %, sehr gute Systeme auch über 60 %).

Solarpumpen zur Wasserversorgung sind ohne Batterien auszulegen, für nächtlichen

Bedarf sind daher ausreichende Hochbehälter vorzusehen. Diese dienen gleichzeitig zur Druckhaltung im Netz. Nur wenn gleichzeitig die allgemeine Stromversorgung verbessert werden soll sind Batterien nötig.

Solarpumpen sind vorzugsweise Gleichstrommotoren mit 48 oder 60 V Betriebsspannung um Verluste in Wechselrichtern und Transformatoren zu minimieren. Daher werden vier bis fünf Module á 12 V in Serie geschaltet.

10 Angepaßte Lösungen der Abwasserbeseitigung

10.1 Anforderungen in kleinen Städten und Gemeinden

Die Techniken der Abwasserableitung basieren historisch auf den Anforderungen der großen Städte, mit hoher Bevölkerungsdichte und versiegelten Flächen. Betriebsstörungen und Reparaturen führen hier zu hohen Kosten, Schäden und Belästigungen, die Kosten pro EW sind relativ gering und es besteht ein hohes Risiko im Falle eines Systemversagens. In kleinen Städten und Landgemeinden sind Schäden und Belästigungen bei Betriebsstörungen gering, Reparaturen einfach, da es nicht die Vielzahl der Sparten und geringeres Verkehrsaufkommen gibt, und die Kosten pro angeschlossenen EW sind wegen der geringen Dichte bedeutend höher (/52/, S. 34).

Bewußte Abstriche an die Systemverfügbarkeit erlauben Kosteneinsparungen und eine schnellere Umsetzung.

Kanalisationen in städtischen Lagen werden üblicherweise für einen Planungshorizont von 25 bis 50 Jahren geplant und errichtet. In ländlichen Regionen des MERCOSUR ist ein Planungshorizont von 10 bis 15 sinnvoller, was auch der Empfehlung der EPA entspricht (aus /55/, S. 7). Durch den kürzeren Planungszeitraum kann bei einem sorgfältig geplanten Ausbaukonzept flexibel auf Änderungen reagiert werden und die anfänglich benötigten Finanzmittel werden reduziert.

10.2 Vereinfachte Kanalisation (sistema condominal)

10.2.1 Systembeschreibung

Das Prinzip der konventionellen Entwässerung basiert auf der Trennung zwischen privater Grundstücks- und kommunaler Stadtentwässerung, die im öffentlichen Straßenkörper verlegt ist. Die Trennung zwischen privater und kommunaler Entwässerung wird bei der vereinfachten Kanalisation aufgegeben. Stadt- und Grundstücksentwässerung verschmelzen zu einem gemeinsamen System, bei dem die Leitungsführung außerhalb des Straßenkörpers im Bürgersteig, im Vorgarten oder im Garten, auf Privatgrund erfolgt. Diese Form der Leitungsführung findet in der englischen, spanischen und portugiesischen Bezeichnung dieses Systems, *condominial system*, bzw. *sistema condominial*, seinen Ausdruck.

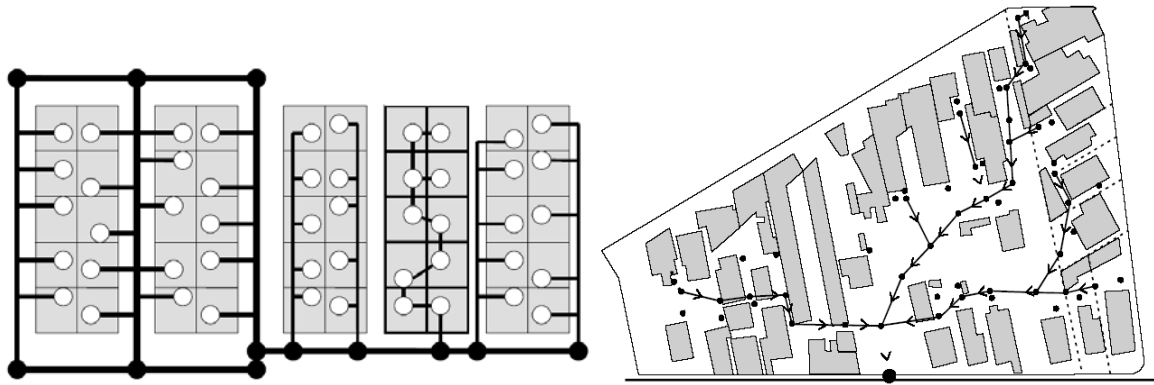


Abbildung 10-1 Vergleich konventioneller Entwässerung (links außen) und vereinfachter Entwässerung (mitte) mit Leitungsführung im Vorgarten, im Garten und Bürgersteig.
Beispiel eines vereinfachten SW-Systems /53/

10.2.2 Kostenminimierung

Die vereinfachte Entwässerung unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der konventionellen, gestattet aber Vereinfachungen, die zu geringeren Investitionskosten führen.

Da der Straßenkörper vermieden wird, treten geringere Verkehrslasten auf, die geringere Überdeckungshöhen erfordern. Bei Verlegung im Garten empfiehlt die Wasser- und Abwassergesellschaft *Brasília* (CASEB) eine Überdeckung von 0,20 m, bei Verlegung im Bürgersteig 0,40 m (/57/, S. 32). Zudem ist das Entfernen und Wiederherstellen des Straßenoberbaus vermieden.

Die Zahl der Revisionsschächte kann verringert werden, wenn die Hausanschlüsse mit Anschluß- und Inspektionsschächten zusammengefaßt werden. Reinigungsöffnungen, wie in Abbildung 10-2, bieten zumeist ausreichende Zugänglichkeit. Eventuelle Schäden sind wegen der geringen Verlegetiefe und der Leitungsführung im Grünbereich einfach zu beheben.

Durch diagonale Trassenführung ergeben sich kurze Leitungslängen.



Abbildung 10-2 Inspektions- und Reinigungs-T, Fabrikat Tigre

Bei guter Verlegequalität und weitgehender Fernhaltung von RW wird ein Mindestge-

fälle von 1/200 angegeben, entsprechend einer Schleppspannung von 1,0 Pa (/57/, S. 32). Grundsätzlich sollte, um kleine Rohrdimensionen zu erhalten, die Dimensionierung nach der Schleppspannung erfolgen, so sind auch in Systemen mit über 100.000 EW Nennweiten bis maximal DN150 möglich. In /58/ wird von einem Projekt auf den Malediven mit Gefällen bis 1/754 und Fließgeschwindigkeiten unter 0,10 m/s, das ohne größere Verstopfungsprobleme arbeitet, berichtet. In sehr flachem Gelände kann dennoch eine große Tiefe erreicht werden. In derartigen Fällen bietet sich der Einsatz von Absetzgruben in den oberen Hausanschlüssen oder im gesamten Netz an, siehe hierzu Absetzentwässerung.

10.2.3 Bauausführung

Große Bedeutung besitzt die Qualität der Leitungsverlegung. Fehlerhafte Stöße, Hausanschlüsse und Schächte sind zumeist die Ursache für Störungen. Der Einsatz industriell gefertigter und qualitätsgesicherter Komponenten ist daher wichtig. Zusätzlich werden unfachmännische Reparaturen durch die Bewohner deutlich erschwert.

Hausanschlüsse sollten daher mit T-Stücken oder den preiswerteren Hausanschlußstücken ausgeführt werden.



Abbildung 10-3 SELIN, Hausanschlußstücke für kleine und größere SW-Sammler

Die geringe Verlegetiefe und kleinen Dimensionen erlauben den Einsatz einfachen Geräts und oftmals den Verzicht auf motorisiertes Gerät. Ungenügende Verdichtung hat im Garten keine oder sehr geringe nachteiligen Auswirkungen.

10.2.4 Bürgerbeteiligung und Organisationsformen

Die vereinfachte Entwässerung stellt neben den technischen Besonderheiten eine veränderte Organisationsform der Entwässerung dar. Ohne die Einbindung und Zustimmung der Bevölkerung ist diese Form nicht durchführbar. Dies erfordert eine sehr enge Kooperation bereits in den ersten Phasen eines Projektes zwischen den Initiatoren, den Planern und Finanzierungsinstitutionen, den Anwohnern und den späteren Betreibern. Eine umfangreiche Informationskampagne, die klar die Vorteile aber auch die Grenzen des Systems darstellt, sowie das richtige Verhalten der Nutzen schult, ist unabdingbar.

Wegen der einfachen Bauweisen, konnte in mehreren Projekten die Bauausführung durch die Bürger selber realisiert werden, was für die späteren Nutzer bedeutende Minderungen der anfänglichen Anschlußkosten gestattet. Die Anwohner sind in dann mit „ihrem“ System bereits vertraut, wodurch die Akzeptanz für Verhaltensänderungen und Gebührenzahlungen deutlich erhöht wird. Zudem müssen Projekte den tatsächlichen Bedarf besser berücksichtigen, als es bei konventioneller Organisation der Fall ist. Die Möglichkeit, daß Projekte an tatsächlichen Bedarf der EW vorbei erstellt werden, die später wegen fehlender Bereitschaft zum Anschluß, nicht genutzt werden, läßt sich so bedeutend vermindern.

Bei der Bauausführung durch die EW, liefert der Projektträger Materialien und erstellt übergeordnete, zentrale und große Bauwerke, z.B. ARA, Pumpwerke, Hauptsammler. Die EW können den eigenen Hausanschluß, SW-Sammler und Schächte errichten. Dies gestattet eine Staffelung der Anschlußbeiträge, höhere für die EW, die keine Eigenleistung erbringen wollen, niedrigere für diejenigen, die Arbeitskraft stellen.

Teile des Betriebs an die Anlieger abzugeben hat sich nicht bewährt, es muß eine kompetente und ausreichend ausgestattete Institution vorhanden sein bzw. gegründet werden.

10.2.5 Grenzen des vereinfachten Systems

Die Nutzung des Privatgrundes ist für reine Durchleitung, z.B. für Abwasserdruckleitungen, für Arbeiten, die den Einsatz schweren Gerätes erfordern und Bauteile, die regelmäßige Wartung und Bedienung erfordern ungeeignet.

Die Systemreserven sind minimiert, was gewisse Probleme bei größeren Erweiterungen ergibt. Für Erweiterungen ist dann die Erstellung paralleler Haltungen nötig. RW muß daher ferngehalten werden. In Gegenden ohne geregelte RW-Beseitigung muß damit gerechnet werden, daß einzelne Anlieger, den einfachsten Weg suchend, Dachabwasser in den Anschlußschächten einleiten. Dem kann wirksam durch Vermörteln der Schächte begegnet werden, sodaß ihr Öffnen erschwert ist.

Als Betriebsprobleme werden vereinzelt über Geruchsbelästigungen und über Korrosionsschäden berichtet, /53//58/. Es ist daher auf eine gute Belüftung zu achten.

Die vereinfachte Kanalisation erfordert, daß die gesamte Bevölkerung des Entwässerungsgebietes der Nutzung des Privatgrundes zustimmt.

Der Zugang zu den Abwasseranlagen muß gewährt und für die Zukunft sichergestellt werden, auch bei Wechsel des Grundbesitzers. Gewisse Einschränkungen ergeben sich zudem für Erweiterungen und Änderungen der Bebauung, was dazu führen kann, daß eine Leitung überbaut wird und als Grundleitung unzugänglich ist. In Einzelfällen ist dies akzeptabel.

10.2.6 Beispielprojekt Santa Maria, Distrito Federal, und Kosten

In /53/ wird von einem brasilianischen Projekt in *Santa Maria, Distrito Federal*, berichtet. Seit 1991 wurde für ca. 170.000 Personen eine Stadt für Menschen mit geringem Einkommen gebaut, die im vereinfachten Entwässerungssystem erschlossen wird. 96 % der verlegten Kanäle sind DN150 oder kleiner (/53/, S. 4-11).

Die Kosten des Systems liegen etwa 30 bis 50 % unter der konventionellen Kanalisation /53/. Spezifische Kosten werden in /55/ mit 80 bis 150 USD/EW angegeben. In dem genannten Beispiel *Santa Maria* lagen die Kosten für das vereinfachte System bei 15 USD/m bzw. 17 USD/EW, werden die zusätzlichen Kosten für das weiterführende (konventionelle) Kanalnetz hinzugerechnet von 16 USD/m bzw. 27 USD/EW (/53/, S. 4-10).

10.3 Absetzentwässerung

10.3.1 Systembeschreibung

In /52/ ist eine ausführliche Beschreibung dieses Systems enthalten. Absetzbare Feststoffe und Fette werden in Absetzgruben abgetrennt und gelangen nicht mehr in die Kanalisation, eine Mindestfließgeschwindigkeit, bzw. eine Mindestschleppspannung, zu ihrem Weitertransport ist daher nicht nötig. Dadurch lassen sich Nennweiten von DN65 und DN50 realisieren, sogar Gegengefälle ist möglich, wenn zwischen Anfangs- und Endpunkt des Netzes ein ausreichender Höhenunterschied besteht.

Der Wasserspiegel soll nicht über Gelände und nicht über die Sohle der Auslässe der Absetzgruben ansteigen. Die Zahl der Revisionsschächte läßt sich ebenfalls verringern, Abstände von 120 bis 300 m /59/ werden empfohlen.

Für die Auslegung der ARA kann davon ausgegangen werden, daß der BSB₅ um 50 % /59/ bis 60 % (/52/, S. 40f) und die absetzbaren Feststoffe um 75 % /59/ vermindert werden. Die Fäkalschlammbehandlung muß aber separat berücksichtigt werden, anaerobe Teiche eignen sich hierfür.

Absetz- und vereinfachte Entwässerung hängen systematisch nicht zusammen. Durch die Nutzung vorhandener Faulgruben, die sich überwiegend im Garten befinden, begünstigt aber die Absetzentwässerung die vereinfachte Kanalisation im Garten.

Die kleinen Nennweiten der Absetzentwässerung gestatten einfache Bauweisen, was die Ausführung der Arbeiten durch die Anlieger gestattet. Hierzu wird auf ds zuvor gesagte verwiesen.

10.3.2 Wartung und Unterhalt

Obwohl eine Spülung der Kanäle sicher zu empfehlen ist, zeigen die Erfahrungen aus den USA und Australien, daß auch bei fehlender Spülung keine Betriebsprobleme auftreten (/52/, S. 44f).

Die Leerung der Absetzgruben wird alle 3 bis 5 Jahre empfohlen, in der Praxis ist sie aber alle 7 bis 10 Jahre nötig /59/.

10.3.3 Anwendungsgebiete und Grenzen der Absetzentwässerung

Die Absetzentwässerung ist besonders dort interessant, wo die SW-Entsorgung über Klär- bzw. Faulgruben erfolgte, da bereits Systeme zur Entleerung der Faulgruben bestehen und der Bau neuer Absetzgruben entfällt. Der Umbau vorhandener Gruben ist aber immer erforderlich, da sie dicht sein müssen und RW ihnen nicht zugeführt werden darf.

Besondere Vorteile bietet die Absetzentwässerung in sehr flachem Gelände, da kein Mindestgefälle benötigt wird.

Grenzen der Absetzentwässerung bestehen bezüglich der Größe der Einzelgebäude, da große Gebäude, z.B. Appartementshäuser, große Absetzkammern erfordern.

Da Systemreserven minimiert werden, sind unerwartete Erweiterungen kritisch. Ebenfalls muß RW ferngehalten werden. Um unkontrolliertes Einleiten von RW durch die Nutzer zu vermeiden, hat sich das Vermörten der Anschlußschächte bewährt. Erfahrungen mit gewerblichem SW bestehen nicht /59/.

Bei hohem GW-Spiegel sind Absetzgruben gegen Auftrieb und eindringendes GW zu sichern.

10.3.4 Kosten der Absetzentwässerung

Die Absetzentwässerung gestattet Kosteneinsparungen von ca. 50 % gegenüber konventionellen Systemen /59/. Spezifische Kosten von unter 60 USD/EW (Preisbasis 1991) werden für Systeme in den USA angegeben /59/.

10.4 Druck- und Unterdruckentwässerung

10.4.1 Systembeschreibung

Im Gegensatz zu den vorbeschriebenen Systemen, die in Deutschland weniger bekannt sind, sind Druck- und Vakuumentwässerung weiter verbreitet. Zu beiden Systemen liegen sowohl nationale¹⁷ als auch europäische¹⁸ Regelwerke vor, die hinreichend die Einsatzmöglichkeiten beschreiben. Auf eine Systembeschreibung kann daher verzichtet werden.

Das gemeinsame Ziel beider Systeme ist ein geeignetes Entwässerungssystem anzu-

¹⁷ ATV-Arbeitsblatt A 116 „Besondere Entwässerungsverfahren: Unterdruckentwässerung, Druckentwässerung“

¹⁸ EN 1091 „Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“, deutscher Weißdruck der DIN EN 1091 „Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“, Februar 1997 und EN 1671 „Druckentwässerung außerhalb von Gebäuden“, deutscher Weißdruck der DIN EN 1671 „Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“, August 1997

bieten in Gegenden, wo wegen der Topographie des Geländes und der Siedlungsstruktur die konventionelle Kanalisation nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann.

10.4.2 Systemkomponenten der Unterdruckentwässerung

In Brasilien werden Rohrleitungen für die Unterdruckentwässerung bis DN300 und Zubehör bis DN250 hergestellt. Die benötigten Unterdruckventile und -erzeuger eines nordamerikanischen Systemanbieters werden in Brasilien exklusiv vertreten. In den anderen Ländern besteht keine eigene Produktion spezieller Rohleitungsmaterialien.

Vakuumerzeuger für industrielle Anwendungen werden in Argentinien hergestellt. Eine systemunabhängige Planung und Errichtung eines Unterdruckentwässerungssystems ist somit möglich. Aus Gewährleistungsgründen empfiehlt /52/ aber bereits in die Planung den Systemlieferanten einzuschließen. Im Falle der öffentlichen Abwasserentsorgung mit der Verpflichtung Leistungen neutral zu planen und auszuschreiben. Daß nur ein Systemanbieter im MERCOSUR exklusiv vertreten wird, setzt der Unterdruckentwässerung gewisse Grenzen. Für private Unternehmungen, z.B. geschlossene Wohnkomplexe, ist aber dennoch genau zu prüfen ob dieses System wirtschaftlich die vorteilhafteste Lösung darstellt.

10.4.3 Einsatzmöglichkeiten der Unterdruckentwässerung

Die Reichweite einer Unterdruckstation ist 2 bis 3 km in jeder Richtung (/52/, S. 5-4), der Durchmesser des Einzugsgebietes sollte 4 km nicht überschreiten und die Vakuumstation möglichst im Zentrum liegen /60/. Größere Einzugsgebiete erfordern entsprechend mehrere Stationen. Nebensammler, die das SW einem Hauptsammler zuführen, sollten vermieden werden oder kurz sein. Das System ist somit vorwiegend auf kleinere Städte und Ortschaften oder Teileinzugsgebiete beschränkt.

Durch Leitungsverlegung mit kurzen Anstiegen und langen Gefällestrecken („Sägezahn“) können im Unterdrucksystem geringe Höhenunterschiede überwunden werden. Nach /60/ sind Höhenunterschiede von 2,00 m bei Stranglängen von 0,75 km zwischen Vakuumstation und Leitungsende und 0,80 m bei Stranglängen von 2,00 km möglich.

10.4.4 Unterdruckentwässerung im MERCOSUR

Systembedingt wird kein Gefälle zwischen Anfang und Ende eines Entwässerungsnetzes benötigt. Der betrachtete Großraum besitzt über 5.500 km Küstenlinie. Für viele Ortslagen mit breiter Meeresfront und hohem Wasserspiegel ist daher die Unterdruckentwässerung eine geeignete Option.

In Brasilien wurde in *Jurerê* auf der Ferieninsel *Florianópolis* 2003 ein Unterdrucksystem mit 1.114 Hausanschlüssen für ca. 10.000 EW und $Q = 17,65 \text{ l/s}$ errichtet. Ende 2003 wurde in der Küstenstadt *Paranaguá* das bislang größte Unterdrucksystem für anfänglich 35.000 und später 70.000 EW mit $Q = 150 \text{ l/s}$ in Betrieb genommen. In beiden Fällen handelt es sich um Ortschaften in Küstenlage, wo entlang der Küstenli-

nie kein Gefälle besteht.

Bei der Unterdruckentwässerung ist qualifiziertes Personal für die Ausführung der Arbeiten nötig, da fehlerhafte Rohrstöße durch Einsaugen von GW zum Zusammenbrechen des Vakuums führen. Fehler in der Ausführung führten in Europa in den Anfängen der Unterdruckentwässerung daher auch zu den meisten Problemen /60/.

Das System ist auch maschinentechnisch aufwendig. Industriell gefertigte und auf Dichtheit getestete Pumpenanlagen und Ventilstationen sind daher örtlich gefertigten Einrichtungen vorzuziehen.

10.4.5 Druckentwässerung

Die Druckentwässerung ist bei stärker strukturiertem Gelände, wo sich Höhen und Tiefen abwechseln, dann geeignet; wenn sich im freien Gefälle Teile eines Einzugsgebietes nicht wirtschaftlich entwässern lassen. Abgelegene Einzelgebäude, Ortschaften oder Teileinzugsgebiete, die über größere Strecken an ein anderes Entwässerungssystem herangeführt werden sollen, sind ein weiterer Anwendungsfall.

In Verbindung grabenloser Rohrverlegung lassen sich bedeutende Vorteile erzielen, wenn kleine Leitungsdimensionen eingepflügt oder -gefräst werden können. Das benötigte Gerät ist aus der Landwirtschaft vorhanden, ebenso wie HDPE-Leitungen, die als Bundware in den benötigten Dimensionen, DN 65 und DN 80 hergestellt wird.

Elektropumpen zur Abwasserförderung werden überall vertrieben und Ersatzteile sind für kleinere und mittlere Baugrößen zumeist auf Lager und kurzzeitig erhältlich. Aufgrund der Mentalität, daß Wartung kaum betrieben wird, sollte von Einzelpumpwerke abgesehen werden und größere Gruppenpumpwerke vorgesehen werden. Somit sind auch Sammeldruckleitungen nur für die Verbindung der Gruppenpumpwerke anzunehmen.

10.5 Integrierte Küchenabfallbeseitigung

10.5.1 Abfallbeseitigung in ländlichen Regionen des MERCOSUR

Die Abfallbeseitigung ist in ländlichen Regionen des MERCOSUR mangelhaft, Abfalltrennung ist nicht üblich, oftmals werden Abfälle vergraben oder verbrannt. Zumeist erfolgt die Sammlung mehrmals pro Woche. Dennoch werden zur Abholung bereitgestellte Säcke häufig von Hunden und Katzen aufgerissen und deren Inhalt verstreut. Zudem ziehen die Abfälle Nager und Ungeziefer an.

Die Abfallzusammensetzung in Lateinamerika ist tendenziell reicher an organischen Bestandteilen als in Deutschland. In /62/ wird für Mexiko 60 % Organikanteil angegeben, ähnliche Werte können auch für den MERCOSUR erwartet werden. Die Reduzierung des Organikanteils im Anfall ist wichtig um die hygienischen Bedingungen und die Ablagerungseigenschaften des Abfalls zu verbessern.

10.5.2 Integrierte Küchenabfallbeseitigung

Wissend, daß das deutsche Abwasserfach die Beseitigung von Abfällen über die Kanalisation ablehnt und der Einsatz von Küchenabfallzerkleinerer (KAZ) als Fehlentwicklung betrachtet, muß dennoch auf eine integrierte Entsorgung organischer Abfälle über die Abwasseranlage eingegangen werden. In Schweden werden KAZ gefördert und in den USA sind sie in einigen Städten vorgeschrieben /61/. Die Erfahrungen sind zu meist positiv.

„Mithilfe eines KAZ lassen sich organische Küchenabfälle wie Obst- und Gemüschalen, Kaffeesatz (Kaffeefilter), gekochte Speisereste (Gemüse, Fisch, Fleisch), kleinere Knochen (Geflügel) etc. zermalen, und nur für diese Materialien ist das Gerät konzipiert.“/61/ Werden andere Materialien zugegeben, so führt dies zum Blockieren des Mahlwerks. Nach der Zerkleinerung werden die zerkleinerten Küchenabfälle mit dem SW in die Kanalisation gespült und gelangen in die ARA, wo sie sich überwiegend in der Vorklärung absetzen.

10.5.3 Energetische Betrachtung

Der Einsatz von KZA bedeutet einen zusätzlichen Strombedarf im Haushalt von $17 \text{ Wh}/(\text{EW} \cdot \text{d})^{19}$ und einen zusätzlichen Wasserbedarf von $1 \text{ l}/(\text{EW} \cdot \text{d})$.

Küchenabfälle weisen hohen Wassergehalt (55 bis 65 %) und geringe Struktur auf. Dies und ihr ausgeglichenes C/N-Verhältnis machen sie gut biologisch abbaubar. Sie eignen sich eher für anaerobe als für aerobe Behandlung /61/. Durch die zusätzliche Schlammmenge steigt bei anaerober Schlammbehandlung die Biogasmenge und bei dessen Nutzung die Stromproduktion.

	Einheit	Häusliches SW für Deutschland	Zusatzbelastung bei 100 % KAZ Verbreitung
Abwassermenge	l/(EW d)	128	4,5
Rechengut	g/(EW d)	0,016	0,0008-0,0016
Sandfanggut	g/(EW d)	0,027	0,0014
CSB _{ges}	g/(EW d)	120	76-88
BSB _{ges}	g/(EW d)	60	29-52
KN	g/(EW d)	11	1,5
P _{ges}	g/(EW d)	1,8	0,13-0,25
TS	g/(EW d)	70	28-48
CSB/N	-	11/1	12/1-24/1
Vorklärschlamm	g/(EW d)	10-35	5-15
Überschußschlamm	g/(EW d)	10-35	5-15
Rohschlamm	g/(EW d)	ca. 80	ca. 40
Faulschlamm	g TS/(EW d)	48-60	15-18

¹⁹ Anschlußwert ca. 500 W für ein 0,98 l-Gerät, Betätigung 2 Minuten pro Tag jeweils für halbgefülltes Gerät, bei einem Anfall an Küchenabfall von 0,4 l/(EW d).

Biogas

l/(EW d)

16-25

23-25

Tabelle 10.5-1 Einflüsse der KAZ-Anwendung auf die Abwasser- und Schlammbehandlung bei einem 100-prozentigen KAZ-Verbreitungsgrad /61/

Klärgas besitzt je nach Zusammensetzung einen Heizwert (H_U) von 6,0 bis 7,0 kWh/m³, für Biogas wird ein H_U von 4,5 kWh/m³ angenommen. Bei einer zusätzlichen Gasproduktion von 20 l/(EW · d) durch integrierte Küchenabfall- und SW-Entsorgung und einem elektrischen Wirkungsgrad η_{elt} des Gasmotors von 40 % ist eine zusätzliche Stromproduktion von 36 Wh/(EW · d) möglich. Die zusätzlichen Lasten der ARA bedeuten eine Erhöhung des Strombedarfs. Basierend auf Verbrauchskennwerten aus /63/ ergibt sich dennoch in der Gesamtbilanz ein Energieüberschuß von 5 Wh/(EW · d).

Verfahrensstufe	Art	üblicher Anfall			Mehranfall			jährlich		täglich		mehr	
		min	max	mittel	min	max	mittel	min	max	min	max	min	max
		g/(EW d)			g/(EW d)			kWh/(EW a)		Wh/(EW d)		Wh/(EW d)	
Rechenanlage	Rechengut	0,016			0,001	0,002	0,001	0,3	0,5	0,8	1,4	0,1	0,1
belüfteter Sandfang	Sandfanggut	0,027			0,0014			1,7	2,2	4,7	6,0	0,2	0,3
Vorklärung	Vorklärschlamm	45	54	49,5	20	30	25	0,4	0,6	1,1	1,6	0,6	0,9
Belebung (nur Grundreinigung)	BSB ₅	60			29	52	40,5	5,7	8,6	15,6	23,6	10,5	15,9
Belebung (N, DN)	KN	11			1,5			11,5	17,2	31,5	47,1	4,3	6,4
Nachklärung	Rohschlamm	80			40			1,2	2,3	3,3	6,3	1,7	3,2
Eindicker	Überschußschlamm	10	35	22,5	5	15	10	0,7	1,1	1,9	3,0	1,9	3,0
Zentrifuge	Überschußschlamm	10	35	22,5	5	15	10	2,2	2,8	6,0	7,7	6,0	7,7
Anaerobe Schlammfäulung	Faulschlamm (TS)	48	60	54	15	18	16,5	2,4	2,9	6,6	7,9	2,3	2,7
Entwässerung	Faulschlamm (TS)	48	60	54	15	18	16,5	0,8	1,2	2,2	3,3	0,8	1,1
Energiebedarf der ARA	min. / max.											28,4	41,3
	Mittelwert											34,9	
		üblicher Anfall			Mehranfall			Heizwert		elt. WG		mehr	
		min	max	mittel	min	max	mittel	min	max	min	max	min	max
		l/(EW d)			l/(EW d)			kWh/m ³		%		Wh/(EW d)	
Energiegewinn ARA	Biogas	16	25	20,5	23	25	24	4,5	6,0	40%		43,2	57,6
	Mittelwert											50,4	
Energiebilanz ARA	min. / max.											14,8	16,3
	Mittelwert											15,6	
								Leistung		Laufzeit		mehr	
								min	max	min	max	min	max
								W	min/(EW d)	Wh/(EW d)			
Energiebedarf KAZ	min. / max.							500		0,5	2,0	4,2	16,7
	Mittelwert											10,5	
Gesamtenergiebilanz	Überschuß											5,1	

Tabelle 10.5-2 Energiebilanz KAZ, ARA mit Nitrifikation und Denitrifikation

Bei Einsatz angepaßter ARA, UASB und Teichkläranlagen ohne N-Elimination, entfallen die Verfahrensschritte belüfteter Sandfang und Vorklärung. Die Schlammbehandlung erfolgt in Trockenbeeten ohne Strombedarf. Für die Gasproduktion von etwa 9 bis 12 l/(EW d) wurde eine proportionale Zunahme entsprechend der Angaben in /61/ angenommen. So ergibt sich ein Energieüberschuß von 12 Wh/(EW d) durch die integrierte Küchenabfall- und SW-Entsorgung.

Aus energetischer Sicht ist somit der gezielte Einsatz von KAZ vorteilhaft.

Verfahrensstufe	Art	üblicher Anfall			Mehranfall			jährlich		täglich		mehr	
		min	max	mittel	min	max	mittel	min	max	min	max	min	max
		g/(EW d)			g/(EW d)			kWh/(EW a)		Wh/(EW d)		Wh/(EW d)	
Rechenanlage	Rechengut	0,016			0,001	0,002	0,001	0,3	0,5	0,8	1,4	0,1	0,1
Eindicker	Übeschußschlamm	10	35	22,5	5	15	10	0,7	1,1	1,9	3,0	1,9	3,0
Transport zur Entwässerung	Faulschlamm (TS)	48	60	54	15	18	16,5	0,8	1,2	2,2	3,3	0,8	1,1
Energiebedarf der ARA		min. / max. Mittelwert										2,8	4,2
												3,5	
		üblicher Anfall			Mehranfall			Heizwert		elt. WG		mehr	
		min	max	mittel	min	max	mittel	min	max	min	max	min	max
		l/(EW d)			l/(EW d)			kWh/m³		%		Wh/(EW d)	
Energiegewinn ARA	Biogas Mittelwert	9	12	10,5	12,9	12	12,45	4,5	6,0	40%		22,4	29,9
												26,2	
Energiebilanz ARA	min. / max. Mittelwert											19,6	25,7
												22,7	
								Leistung		Laufzeit		mehr	
								min	max	min	max	min	max
								W		min/(EW d)		Wh/(EW d)	
Energiebedarf KAZ	min. / max. Mittelwert							500		0,5	2,0	4,2	16,7
												10,5	
Gesamtenergiebilaz	Überschuß											12,2	

Tabelle 10.5-3 Energiebilanz KAZ, ARA mit UASB und Klärlagunen

10.5.4 Einfluß auf Kläranlage

Durch die integrierte Küchenabfall- und SW-Entsorgung steht eine zusätzliche C-Quelle zur Denitrifikation zur Verfügung, obwohl N-Entfernung zumeist kein Reinigungsziel ist. Ferner sind die in obigen Tabellen angegebenen Zusatzlasten zu berücksichtigen.

10.5.5 Integrierte Küchenabfall- und Schmutzwasserentsorgung

Die getrennte Sammlung von Bioabfällen besitzt gravierende Nachteile /62/:

- Kostenintensivität, Luftverunreinigungen und hygienische Risiken während aller Prozeßschritte, Sammlung (Geruchs- und Sporenemissionen), Transport (Abgase), Behandlung (Gerüche)
- Hohe Fehlwurfquote in Biotonnen, deren Kontrolle schwierig und mit hohem Aufwand verbunden ist,
- Unzureichende Erfassungsquoten für Bioabfall, im Restmüll verbleiben bis zu 45 % der Küchenabfälle,
- Eine unbekannte Menge an Küchenabfällen wird über die Kanalisation entsorgt.

Die anfallende Abfall-Abwasser-Suspension wird weder von Haus- noch von Nagetieren als Nahrung angesehen, weshalb in New York die Rattenproblematik nach der Einführung von KAZ abgenommen hat /62/.

KAZ werden im MERCOSUR mit dem Hinweis, daß sie in USA teilweise vorgeschrieben seien, als Hilfsmittel des modernen und gepflegten Haushalts vertrieben. Der Einbau ist zumeist nicht geregelt und die nationalen Fachverbände äußern sich bislang nicht zu ihnen. Ihr relativ geringer Verbreitungsgrad ist mit dem hohen Preis von 250

bis 300 USD zu begründen.

Durch den Einsatz von KAZ kann die SW-Entsorgung und die Entsorgung organischer Abfälle gemeinsam gelöst werden. Der Aufbau einer separaten Infrastruktur zur Sammlung und Behandlung der hygienisch bedenklichen Küchenabfälle kann später und in geringerem Umfang erfolgen oder entfallen. Voreilige Verweise, daß der Ansatz nicht mit deutschem Regelwerk vereinbar sei, sind wenig zielführend.

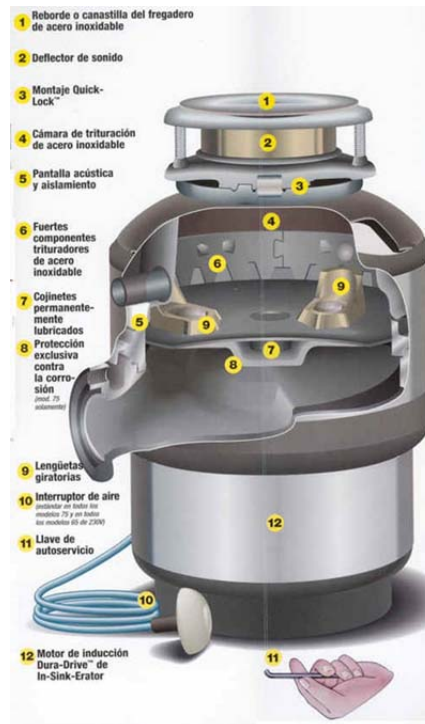


Abbildung 10-4 Küchenabfallzerkleinerer

10.5.6 Rahmenbedingungen

Rahmenbedingungen der integrierten Küchenabfall- und SW-Entsorgung sind:

- kein TW-Mangel,
- Entwässerungssystem als Trennkanalisation,
- guter Zustand der Kanalisation,
- Sohlgefälle größer 0,2 %, und Kontrolle ausreichender Schleppspannung,
- ARA mit Anaerobstufe, Faulgasfassung -nutzung,
- ausreichende Kapazitäten der ARA.

10.5.7 Nutzen und Grenzen

Der verringerte Organikanteil und Wassergehalt des Restmülls verbessert dessen Behandlungseigenschaften, gestattet längere Abfuhrhythmen und verbessert die Ablageeigenschaften auf der Deponie. Ferner verbessert sich seine Struktur. Bei ARA mit Biogasgewinnung und -nutzung entsteht Energieüberschuß.

Die gemeinsame Nutzung einer Infrastruktur gestattet zwei Entsorgungsaufgaben zu erfüllen. Die Mischung der unterschiedlichen Abfälle, Klärschlamm und Küchenabfall, muß aber im Hinblick auf deren Nutzung betrachtet werden.

Als Nachteil der KAZ muß der Wasserbedarf genannt werden. Der zusätzlich anfallende Schlamm muß einer Verwertung zugeführt werden. Dies ist in ländlichen Regionen des MERCOSUR ein eher untergeordnetes Problem, da für die Ablagerung ausgefaulten Schlamms zumeist Flächen vorhanden sind und wenn er gezielt in der Landwirtschaft oder im Landbau eingesetzt wird, ist eine zusätzliche Produktion eher positiv zu bewerten.

Während in Europa durch die Nutzung der KAZ nachteilige Effekte auf das Umweltbewußtsein befürchtet werden, kann im MERCOSUR, durch das bewußte Betätigen des Gerätes, eine Stärkung des Umweltbewußtseins eintreten.

Die Hauptbeschränkung ist der relativ hohe Preis der Geräte, der sie nur für bessergestellte Familien erschwinglich macht. Der zusätzliche Energiegewinn von etwa 10 Wh/(EW · d) kann pro Hausanschluß²⁰ mit ca. 0,4 USD/a bewertet werden.

10.5.8 Organisation der integrierten Küchenabfall- und Abwasserentsorgung

Bezüglich der Kanalisation kommt im Falle des gezielten Einsatzes von KAZ die Schwämmkanalisation zu Tragen, ihre Organisation kann aber sowohl konventionell oder als vereinfachte Entwässerung erfolgen.

Obwohl die Absetzentwässerung eher einer integrierten Abwasser- und Abfallentsorgung widerspricht, ist eine Kombination aber dennoch durchaus denkbar, mit dem Ziel die hygienischen Mißstände durch die fehlende Bio- bzw. Kücheabfallentsorgung zu beheben. Dadurch würden die hygienisch bedenklichen Küchenabfälle in einer Form, die für Nager und Ungeziefer uninteressant ist, in der Absetzgrube gesammelt und so die Gesundheitsgefährdung vermindern.

11 Angepaßte Verfahren der Abwasserbehandlung

11.1 Grundlagen

11.1.1 Reaktoren

Idealtypen kontinuierlich betriebener technischer Reaktoren sind der ideale Rührkessel (volldurchmischer Reaktor) und das ideale Strömungsrohr. Beim idealen Rührkessel liegt einheitlich die Konzentration des Ablaufes vor. Die Konzentration beim idealen Strömungsrohr verändert sich über die Zeit mit dem zurückgelegten Weg. Wegen der über den gesamten Strömungsquerschnitt einheitlichen Geschwindigkeit (Pfropfens-

²⁰ 5 Personen pro Hausanschluß, Arbeitspreis 0,02 USD/kWh

trömung) ist die Verweilzeit aller Strömungselemente im Reaktor ist gleich /74/.

Die SW-Reinigung erfordert eine möglichst geringe Ablaufkonzentration. Diese „dünne Brühe“ gestattet aber nur geringe Reaktionsgeschwindigkeiten. Das ideale Strömungsrohr erlaubt hohe Konzentrationen und Reaktionsgeschwindigkeiten am Reaktor Anfang und geringe an dessen Ende.

11.1.2 Energiebedarf der Grundreinigung

Die biologischen Prozesse der SW-Reinigung laufen entweder unter O₂-Anwesenheit, aerobe Prozesse, oder unter O₂-Mangel ab, anaerobe Prozesse. Bei natürlichen aeroben Verfahren wird O₂ als integraler Bestandteil des biologischen Verfahrens gebildet, während er bei technischen Verfahren unter Energieeinsatz dem Wasser zugeführt wird.

Unter der Voraussetzung, daß Grundreinigung und keine weitergehende Reinigungsstufen benötigt wird, kann der O₂-Bedarf abgeschätzt werden. Das Volumen eines Belebtschlammbeckens (V_{BB}) errechnet sich nach folgender Beziehung:

$$V_{BB} = S / (B_{TS} \cdot T_{SR}).$$

Beispielhaft werden für eine Ortschaft mit 4.000 EW übliche Werte angenommen: Für

- die Substratfracht, S, 200 kgBSB₅/d,
- die Schlammbelastung, B_{TS}, 15 kgBSB₅/(kgTS · d) und
- die Belebtschlammkonzentration, T_{SR}, 3 kgTS / m³.

Damit ergibt sich ein Beckenvolumen von 444 m³. Wird nun weiters ein spezifischer Energieeintrag zur Belüftung von 20 W/m³, ein elektrischer Motorwirkungsgrad von 50% und eine tägliche Belüftungsdauer von 20 h angenommen, so ergibt dies einen Stromverbrauch von ca. 11 MWh pro Monat. Dies entspricht dem monatlichen Stromverbrauch von 10 gut ausgestatteten städtischen Einfamilienhäusern oder 15 bis 20 ländlichen Häusern mit Klimaanlage.

Der Energiebedarf zur Grundreinigung ist bedeutend und die Ablaufqualität gestattet nicht die Nutzung des Abwassers zur Bewässerung. Wird zusätzlich UV-Desinfektion vorgesehen, benötigt diese ca. 60 Wh/m³ (/70/. S. 7335.13-35). Bei einem SW-Anfall von 150 l/(EW · d) ergibt sich nochmals ca. 1 MWh pro Monat.

Der Nutzen einer ARA für die Umwelt und regionale Entwicklung ist bei diesem Energiebedarf sehr kritisch zu hinterfragen und alternative Lösungen sollten gefunden werden.

11.2 Teichkläranlagen

11.2.1 Grundsätzliches

Eine mögliche Option der Behandlung des SW bei gleichzeitig minimiertem Energiebedarf sind Teichkläranlagen, deren technischen Reaktoren Erdbecken sind.

Sie stellen eine erprobte Lösung für kommunale und industrieller SW dar und eignen sich besonders für warme und heiße Klimate. Eine Begrenzung der Anlagengröße besteht weder aus betrieblicher noch verfahrenstechnischer Sicht. Teichkläranlagen zur Behandlung kommunaler SW mit mehreren Hunderttausend EW sind ausgeführt, die Anlage *Campo Espejo*, behandelt die Abwässer von 600.000 EW aus dem Großraum *Mendoza*, besitzt eine Wasserfläche von 280 ha und die Ablaufqualität gestattet die eingeschränkte Bewässerung gemäß WGO /46/.

Leider gibt es viele Beispiele, die wegen der Mißachtung einiger Grundsätze nicht erfolgreich sind, und zu einer ablehnenden Haltung geführt haben. Gerade bei europäischen Beratern besteht oft eine eher kritische Einstellung.

Dort wo eine SW-Behandlung erfolgt, sind es zumeist Teichkläranlagen.

11.2.2 Arten der Teichkläranlagen

Teichkläranlagen bestehen mindestens aus zwei hintereinander durchflossenen Teichen. Anaerobe Teiche dienen immer als erste Stufe, der mindestens ein fakultativ aerober Teich folgt. Alternativ werden primäre fakultativ aerobe Teiche eingesetzt. Schönungsteiche kommen zur Anwendung, wenn weitgehender Keimabbau gefordert wird. In ihnen findet nur geringer Nährstoffabbau statt. Größeren Anlagen bestehen aus mehreren parallelen Straßen.

In anaeroben Teichen, ist die Belastung so hoch, daß im gesamten Wasservolumen O₂-Mangel vorliegt. In fakultativ aeroben Teichen besteht lediglich in den tiefen Wasserschichten und im abgesetzten Schlamm mehr oder weniger ausgeprägter und im Tagesverlauf veränderlicher O₂-Mangel.

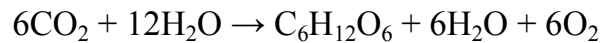
Anaerobe und fakultativ aerobe Teiche dienen vorrangig zur Grundreinigung, Schönungsteiche zur Keimreduktion, obwohl auch in den beiden anderen Teichen Keimabbau festzustellen ist. Für uneingeschränkte Bewässerung gemäß WGO oder bei höher belasteten Abwässern (BSB₅ > 150 mg/l) sind Schönungsteiche nötig /67/.

Belüftete Teiche sind, zumindest, in warmen Regionen wenig zielführend, siehe hierzu 11.2.3.

11.2.3 BSB₅-Abbau

BSB₅-Abbau erfolgt in anaeroben Teichen durch Absetzen absetzbarer Feststoffe und anaerobe Gärung im Schlammraum. Bei Temperaturen über 15°C ist die Gärung an der deutlichen Blasenbildung an der Wasseroberfläche festzustellen.

Nachgeschaltete und sekundäre fakultativ aerobe Teiche werden mit dem nicht absetzbaren BSB₅-Gehalt beaufschlagt, der durch die üblichen heterotophen²¹ Bakterienstämme der Abwasserreinigung oxidiert wird. Der benötigte O₂ wird nicht von außen eingebracht, sondern über die Photosynthese der Algen im Wasser gebildet. Im Gegenzug wird das von Aerobiern gebildete CO₂ von den Algen zur photosynthetisch in Zucker umgewandelt /67/.



Aus dem anaeroben Teich bzw. Bodenschlamm versorgen Ammonifikanten²² und fakultative Anaerobier, die zur Phosphatspeicherung befähigt sind, die Algen mit den Nährstoffen Ammonium und Phosphat.

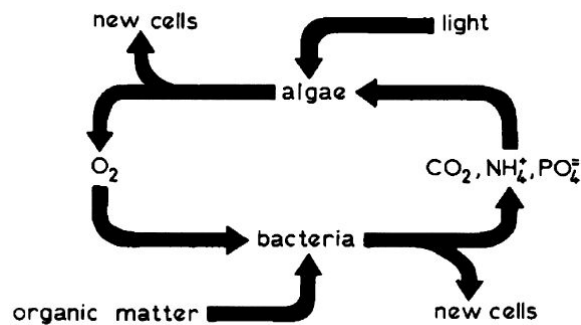


Abbildung 11-1 Stoffwechselbeziehung zwischen Algen und Mikroorganismen in sekundären fakultativ aeroben Klärteichen (/67/, S. 23)

Bei Temperaturen über 15°C wird O₂ überwiegend über biogene Belüftung aus der Photosynthese und nur gering über die Oberfläche eingetragen. Da Photosynthese und damit die O₂-Versorgung unter Sonnenlicht abläuft, sind Höhe der anaeroben Bodenschicht und O₂-Gehalt im Wasser über den Tagesverlauf variabel. Damit einhergehend schwanken auch andere Parameter. Der Gehalt an Chlorophyll und absetzbaren Feststoffen, der pH-Wert und der CSB erreichen am Nachmittag ihr jeweiliges Maximum, während die Keimzahl ihr Minimum erreicht /68/.

Ein bedeutender Anteil des BSB₅-Gehalts wird daher in Algenbiomasse umgesetzt. Dies ist beutend bei der Festlegung der Ablaufqualitäten.

In Schönungsteichen erfolgt nur noch geringer BSB₅-Abbau, hauptsächlich wegen des geringeren Nährstoffangebots und der geringeren Algenkonzentration. Durch höhere Organismen und Räuber, Fische und Daphnien, findet weiterer Algenabbau statt.

²¹ Als heterotroph werden solche Mikroorganismen, die den für ihren Stoffwechsel benötigten C aus organischen Folgeprodukten entnehmen. In der Abwasserreinigung sind dies *pseudomonas*, *flavobacterium*, *archromobacter alcaligenes* (/67/, S. 23).

²² Ammonifikation ist der Umbau organischen N zu anorganischem Ammonium (NH₄⁺)

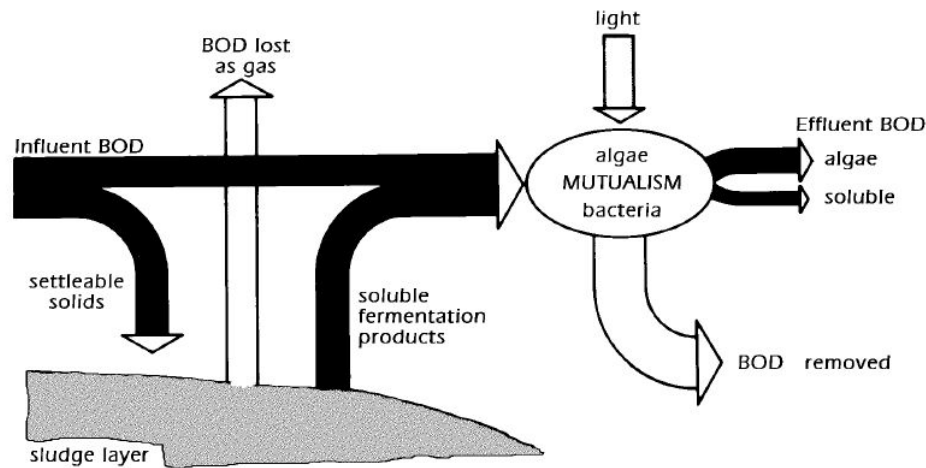


Abbildung 11-2 Stoffwechselbeziehung zwischen Algen und Mikroorganismen in primären fakultativ aeroben Klärteichen (/67/, S. 24)

Interessant sind die unterschiedlichen Aussagen zum O_2 -Eintrag, während deutsche Veröffentlichungen nur von geringer biogener Belüftung ausgehen /69//71/, geben angelsächsische Veröffentlichungen dies als überwiegenden O_2 -Eintrag an /72//67/. Im interessierenden Temperaturbereich kann von überwiegend biogener Belüftung ausgegangen werden.

Belüftungsaggregate ergeben nur geringen zusätzlichen O_2 -Eintrag. Wegen des zusätzlichen Energiebedarfs sollten sie daher vermieden werden.

11.2.4 Keimabbau

Der Abbau der Fäkalbakterien und Parasiten ist entscheidend für die Nutzung des gereinigten Abwassers. Als Leitkeime werden fäkale kolonienbildende (coliforme) Keime und Nematodeneier herangezogen. Bedeutend ist auch *vibrio cholerae*, der Chole-rrauslöser.

Sehr wirksam wird *vibrio cholerae*, bei SO_2 -Gehalte von 10-12 mg/l, durch die Kombination anaerober und aerober Teiche beseitigt /68/.

Die entscheidenden Kriterien für den Abbau der Fäkalkeime sind:

- die Aufenthaltsdauer und die Temperatur im Teich,
- pH-Werte größer 9 und
- hohe Lichtintensität, zusammen mit hohen gelösten O_2 -Konzentrationen.

Die Sonne hat dabei dreifache Bedeutung, erstens direkt durch die Temperaturerhöhung im Wasser, zweitens indirekt durch die Steigerung des Algenwachstums. Dieses bewirkt die Erhöhung des gelösten O_2 und den vermehrten CO_2 -Abbau, der nicht durch die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen ausgeglichen werden kann, und zu einem Anstieg des pH über 9 oder 10 führt. Drittens Bewirkt die Sonnenstrahlung, besonders die Wellenlängen 425-700 nm, die photooxidative Schädigung der Keime

/68/.

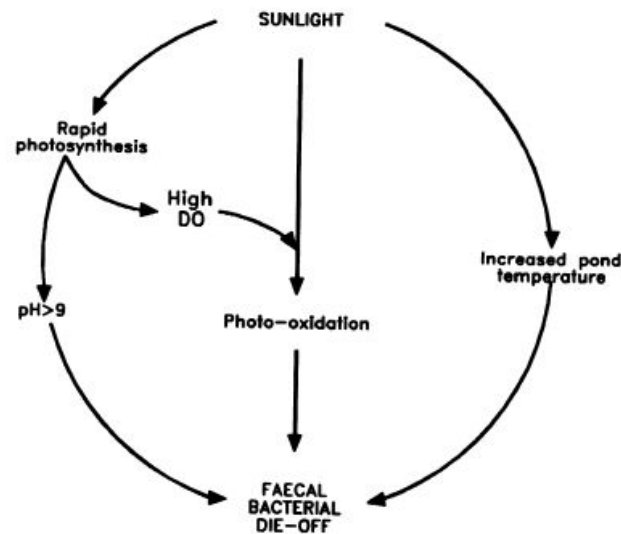


Abbildung 11-3 Dreifache Wirkung des Sonnenlichts für den Keimabbau in Klärteichen
(/67/, S. 26)

Nematodeneier zeichnen sich durch eine hohe Absetzgeschwindigkeit, z.B. $3,4 \cdot 10^{-4}$ m/s für *ascaris lumbricoides*, weshalb sie überwiegend in primären fakultativ aeroben Teichen oder Anaerobteichen abgesetzt werden /68/.

11.2.5 Hinweise zur Auslegung anaerober Teiche

Die mittlere Lufttemperatur im Winter liegt 2 bis 3 K unter der entscheidenden SW-Temperatur, Mara /68/ empfiehlt daher diese für die Auslegung von Teichkläranlagen heranzuziehen, da dies eine zusätzliche Sicherheit liefert. Im betrachteten Großraum liegen die winterlichen Lufttemperaturen zwischen 10°C an der südlichen Grenze zu den gemäßigten Zonen und etwas über 20°C an der nördlichen Grenze zu den Tropen.

Anaerobe Teiche sind näherungsweise volldurchmischte Reaktoren. Planungsparameter für zulässige Volumenbelastung und BSB₅-Abbau (gefiltert) anaerober Teiche kann mit den folgenden Gleichungen abgeschätzt werden (/67/, S. 34).

Temperatur [°C]	Belastung [g/(m ³ d)]	BSB ₅ -Abbau [%]
10 – 20	20 T – 100	2 T + 20
20 – 25	10 T + 100	2 T + 20
> 25	350	70

T: Temperatur in [°C]

Tabelle 11.2-1 Planungsparameter für zulässige BSB₅-Volumenbelastung und BSB₅-Abbau in anaeroben Teichen (/67/, S. 34)

Die BSB₅-Raumbelastung sollte über 100 g/(m³ · d) liegen, um anaerobe Verhältnisse sicherzustellen, und unter 400 g/(m³ · d), um bei kommunalem SW mit SO₄-Gehalten unter 300 mg/l Gerüche auszuschließen. Bei organisch hochbelastetem industriellem SW bietet sich die Serienschaltung anaerober Teiche an, um den BSB₅-Gehalt soweit

zu senken, daß nachfolgende fakultativ aerobe nicht überlastet werden.

11.2.6 Hinweise zur Auslegung fakultativ aerober Teiche

Fakultativ aerobe Teiche sind auf den Nährstoffabbau oder den Keimabbau auszugestalten.

Ein interessanter Bezug zwischen BSB₅-Oberflächenbelastung λ_s in [kg / (ha d)] und Längengrad L, wurde von Arceivala *et al.*/73/ für Indien veröffentlicht. Für 8 bis 36°N gilt:

$$\lambda_s = 375 - 6,25 \cdot L$$

Der betrachtete Großraum liegt zwischen 23,5 bis 35°S, und kann näherungsweise als um den Äquator gespiegelt angenommen werden.

Diese Gleichung ist gültig für Meeresniveau und wolkenlosen Himmel an 75 % der Tage des Jahres (274 d/a). Bei weniger Sonnentagen kann für jede 10 %-Punkte Unterschreitung, λ_s um 3% verringert werden. Der mit der Höhe abnehmende gelöste O₂-Gehalt kann durch Division mit $f_H = 1 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot a$ berücksichtigt werden (a Höhe über NN in [m]), /67/, S. 37.

Weitere Ansätze berücksichtigen die Temperatur, T Temperatur in [°C], (/67/, S. 37).

$$\lambda_s = 375 \cdot (1,107 - 0,0027 \cdot T)^{T-25}$$

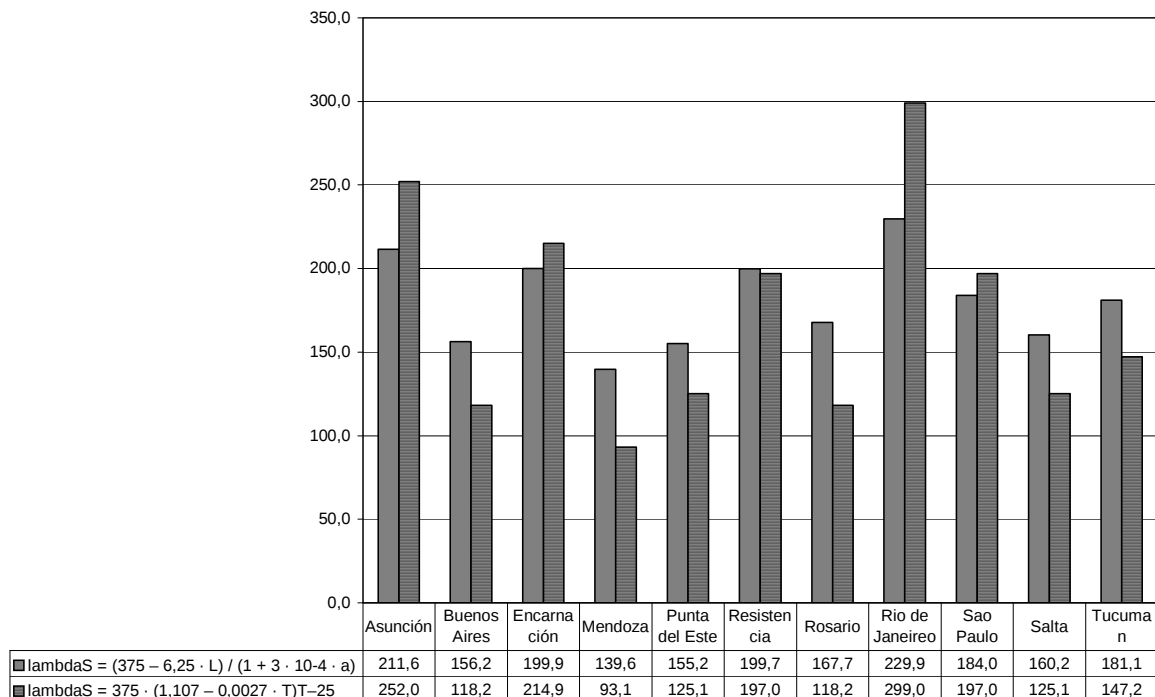


Abbildung 11-4 Oberflächenbelastung für aerobe Klärteiche für verschiedene Städte

Wird eine Tiefe von 1,5 bis 1,8 m angesetzt, ergibt sich eine BSB₅-Raumbelastung von 14 g/(m³ · d) für *Mendoza* bis 54 g/(m³ · d) für *Rio de Janeiro*.

Der Keimabbau einer Serie von anaeroben, fakultativ aeroben und Schönungsteichen

kann nach /67/, S. 40, mit θ hydraulische Aufenthaltsdauer in [d], N_0 Zahl KBE pro 100 ml im Zulauf, N_1 Zahl KBE pro 100 ml im Ablauf, ermittelt werden.

$$N_1 = N_0 / \{(1+k_T \cdot \theta_a) \cdot (1+k_T \cdot \theta_f) \cdot (1+k_T \cdot \theta_{m1}) \cdot (1+k_T \cdot \theta_{m2}) \cdot \dots \cdot (1+k_T \cdot \theta_{mn})\}$$

Der Index $_a$ steht für anaerob, $_f$ fakultativ aerob und $_{m1}, _{m2}$ bis $_{mn}$ für nacheinander angeordnete Schönungsteiche. θ_m sollte 4-5 d betragen. Der Faktor k_T berücksichtigt die Temperaturabhängigkeit, in $[d^{-1}]$.

$$k_T = 2,6 \cdot 1,19^{T-20}.$$

Der Abbau der Nematodeneier kann für alle Teichtypen berechnet werden:

$$R = 100 \cdot \{1 - 0,41 \exp(-0,49\theta + 0,0085)^2\} / 67/.$$

Der N-Abbau in fakultativ aeroben und Schönungsteichen kann nach Reed, zitiert aus /67/, S. 45, berechnet werden, mit C_x Gesamt-N in mgN/l.

$$C_1 = C_0 \cdot \exp\{-[0,0064 \cdot (1,039)^{T-20}] \cdot [\theta + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6)]\}.$$

Pano und Middlebrooks, zitiert aus /67/, S. 45, geben für den Abbau des Ammonium-N ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) folgende Gleichungen an, mit C_x Ammonium-N in mgN/l.

$$C_1 = C_0 / \{1 + [(A/Q)(0,0038 + 0,000134T) \exp((1,041 + 0,044T)(\text{pH} - 6,6))]\} \quad \text{für } T < 20^\circ\text{C}$$

$$C_1 = C_0 / \{1 + [5,035 \cdot 10^{-3} \cdot (A/Q)] [\exp(1,540 \cdot (\text{pH} - 6,6))]\} \quad \text{für } T > 20^\circ\text{C}$$

Für die vorstehenden Gleichungen gilt $\text{pH} = 7,3 \exp \cdot (0,0005 \cdot A)$

Weitere Hinweise über Nährstoffabbau, konstruktive und sonstige Themen zu Teichkläranlagen gibt das sehr detaillierte Werk von Duncan Mara, /67/.

11.2.7 Ablaufqualität

Der BSB₅ im Ablauf aus Teichkläranlagen besteht zu 80-90% aus Algenmasse und unterscheidet sich so von dem aus Belebtschlammanlagen. Daher muß der gefilterte BSB₅ herangezogen werden, der bei gut betriebenen Anlagen unter 30 mg/l liegt. Der hohe Algenanteil wird in der EU-Abwasser-Richtlinie berücksichtigt, die 150 mg/l absetzbare Feststoffe im Ablauf von Teichanlagen gestattet, während für andere Verfahren 35 mg/l zulässig sind.

Der Algenanteil im gereinigten SW fördert die langsame Nährstoffabgabe und verbessert, durch die Erhöhung der organischen Bodenbestandteile, dessen Wasserspeicherung.

11.2.8 Flächenbedarf

Obige Gleichungen herangezogen, ergeben sich folgende spezifischen Flächenbedarfswerte. Für Verkehrsflächen, Böschungen, etc. werden etwa 25% bis 50% der Teichfläche benötigt.

	Tiefe	Flächenbedarf in [m ²] pro EW bei [°C]		
	[m]	15	20	25
Anaerober Teich	2,0	0,150	0,100	0,086
Fakultativ aerober Teich	1,1	1,364	0,752	0,386
Gesamte Teichfläche	-	1,514	0,852	0,516

Tabelle 11.2-2 Spezifischer Flächenbedarf für Grundreinigung

	Tiefe	Flächenbedarf in [m ²] pro EW bei [°C]		
	[m]	15	20	25
Grundreinigung	-	1,514	0,852	0,516
Fakultativ aerober Teich	1,0	4,200	2,340	1,680
Anzahl gleicher Teiche	-	4	3	2
Gesamte Teichfläche	-	18,31	7,87	3,88

Tabelle 11.2-3 Spezifischer Flächenbedarf für uneingeschränkte Bewässerung

Der Flächenbedarf von über 10 bis über 20 m²/EW für uneingeschränkte Bewässerung erfordert große geologisch und topographisch geeignete Flächen und wird zumeist als Hautargument gegen Teichlösungen angeführt. Für eine Kleinstadt mit 20.000 EW wird, trotz günstiger klimatischer Bedingungen, eine Fläche von 50 ha benötigt. In den meisten Fällen wird uneingeschränkte Bewässerung nicht ganzjährig benötigt, was bedeutende Flächeneinsparungen gestattet.

11.2.9 Abwasserreinigung und –speicherung

Die Langzeitspeicherung von SW-Teilströmen ergibt interessante Systemoptimierungen.

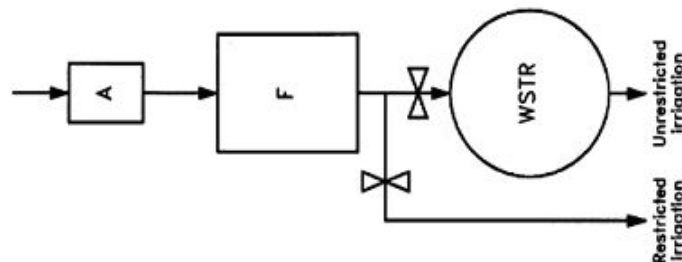


Abbildung 11-5 Abwasserreinigung und –speicherung, Anaerobteich (A), fakultativ aerober Teich (F), SW-Langzeitspeicherung und –behandlung (WSTR) (/67/, S. 82)

11.2.10 Erdbau und Bauwerke

Die Bodenmatrix anaerober und primäre fakultativ aerobe Teiche kolmatisiert durch den sich absetzenden Schlamm relativ schnell. Diese selbstabdichtende Wirkung gestattet bei $k_f < 10^{-8}$ m/s auf eine Abdichtung zu verzichten. Bei Böden mit $k_f < 10^{-7}$ m/s ist mit geringer, akzeptabler Versickerung zu rechnen, bei $k_f < 10^{-6}$ m/s kann durch den Einbau bindiger Bodenarten oder Geomembranen eine künstliche Abdichtung geschaffen werden /67/.

In Schönungsteichen ist die Abdichtungswirkung wegen der geringen Schlammmenge, gering, die möglichen Grundwasserbelastungen durch versickerndes Abwasser sind ebenfalls niedrig, da das Abwasser bereits die Reinigungskette durchlaufen hat. Die gezielte Versickerung des gereinigten Abwassers in Schönungsteichen ist ein Entsorgungsweg, der den Wasserkreislauf lokal schließt. Steht die Abwassernutzung im Vordergrund sollen die zusätzlichen Aufwendungen zur Abdichtung den möglichen Vorteilen der Abwassernutzung gegenübergestellt werden.

11.2.11 Fischzucht in Abwasserteichen

Die Wasserqualität in sekundären aeroben und Schönungsteichen gestattet die Fischzucht. In /67/ wird von der Teichkläranlage in Kalkutta, Indien, berichtet, die gezielt zur Fischzucht genutzt wird. Die Fischproduktion wird dort mit 13,5 Mg/(ha a) bei drei Ernten pro Jahr angegeben. Aus Peru wird in /28/ von einer Produktion von 4,4 Mg/ha in sehr guter Qualität berichtet. Erfahrungen mit Fischzucht in Abwasserteichen bestehen auch in Brasilien. In allen Fällen trägt die Fischproduktion einen bedeutenden Teil zur regionalen Wirtschaft bei.

Bei gezielter Fischzucht in fakultativ aeroben und Schönungsteichen, sind die WGO-Werte für uneingeschränkte Bewässerung einzuhalten. Der Zulauf zum Fischteich soll 4 kg/(ha d) Gesamt-N enthalten. Niedrigere Lasten erlauben, wegen der geringen Algenkonzentration, nur geringes Fischwachstum, höhere verursachen, wegen zu hoher Algenmengen, hohe nächtlichen O₂-Mangel und Fischsterben. Wegen der Fischgiftigkeit soll freies NH₃ unter 0,5 mgN/l liegen.

	7.0	7.5	8.0	8.5
15	0.273	0.859	2.67	7.97
16	0.294	0.925	2.87	8.54
17	0.317	0.996	3.08	9.14
18	0.342	1.07	3.31	9.78
19	0.368	1.15	3.56	10.50
20	0.396	1.24	3.82	11.20
21	0.425	1.33	4.10	11.90
22	0.457	1.43	4.39	12.70
23	0.491	1.54	4.70	13.50
24	0.527	1.65	5.03	14.40
25	0.566	1.77	5.38	15.30
26	0.607	1.89	5.75	16.20
27	0.651	2.03	6.15	17.20
28	0.691	2.17	6.56	18.20
29	0.747	2.32	7.00	19.20

Abbildung 11-6 Prozentsatz freien NH₃ bei verschiedenen pH-Werten und Temperaturen in [°C] (/67/, S. 93)

Die einzelnen Stufen können auf die Einhaltung dieser Werte ausgelegt werden.

11.2.12 Abwasserteiche zur Naherholung

Viele Teichanlagen werden eingezäunt, doch oft sind Zäune relativ schnell beschädigt. Anaerobe Teiche und technische Bauteile, wie Durchflußmessung, Rechen, etc. sollten

nicht allgemein zugänglich sein, doch für nachgeschaltete Teiche ist dies betriebstechnisch nicht stichhaltig zu begründen. Die mögliche Gefährdung und gesundheitliche Beeinträchtigung der Bevölkerung ist bei gut betriebenen Anlagen nicht höher als bei natürlichen Gewässer.

Werden Teichanlagen landschaftsplanerisch gestaltet und für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht, erhält die Bevölkerung ansprechende Möglichkeiten zur Freizeitgestaltung und wird direkt mit den Konsequenzen ihres Handelns konfrontiert und versteht so besser die Erfordernis für eine zusätzliche Leistung finanzielle Lasten auf sich zu nehmen. Der Betreiber hat die Möglichkeit, und die Verpflichtung, seine Leistung positiv darzustellen, und ist so gezwungen einen korrekten Betrieb, der Gerüche, Ungeziefer und ähnliche Probleme sicher ausschließt zu gewährleisten.

11.3 Sanierung, Erweiterung und Rückbau von Teichanlagen

11.3.1 Sanierung und Erweiterung

Zumeist geht die Sanierung einer Teichkläranlage einher mit ihrer Erweiterung. Für geeignete Sanierungsvorschläge ist das hydraulische Verhalten in einem Teich zu verstehen, denn die häufigsten Mängel sind:

- Totzonen, wo in sehr langen Zeiträumen ein Austausch des Wassers erfolgt und
- Kurzschlußströmungen, in denen das Wasser direkt zum Auslauf strömt, ohne die rechnerische Aufenthaltsdauer zu erreichen.

Die Bedeutung mangelhafter Durchströmung zeigt folgendes Beispiel. SW mit $1 \cdot 10^7$ 100 ml⁻¹ KBE soll für uneingeschränkte Bewässerung behandelt werden, der benötigte Keimabbau liegt bei 99,99%²³. Erfährt 1/100 der SW-Menge 60-prozentigen Keimabbau, ist die Reinigungswirkung

$$\Delta N/N_0 = (99/100) \cdot 99,99\% + (1/100) \cdot 60,00\% = 99,59\%.$$

Bei 99,59% Keimabbau verfehlt die Anlage deutlich das Reinigungsziel,

$$N_1 = 1 \cdot 10^7 \cdot (1 - 0,9959) = 41.000 > 1.000.$$

Die Gestaltung der Becken, der Ein- und Ausläufe und ihre Lage zueinander ist von großer Bedeutung für die Strömungsverhältnisse im Teich. Um sich der theoretisch günstigsten die Pfropfenströmung (ideales Strömungsrohr) anzunähern, sind verschiedene Vorschläge gemacht worden /72/:

- mehrere kleine, hintereinander durchflossene Teiche,
- lange und schmale Teiche oder der Einbau von Leitwänden um mäanderförmig lange und schmale Becken zu erzielen,

²³ $\Delta N/N_0 = (1 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^3) / (1 \cdot 10^7) = 99,99\%$

- horizontalimpulsarme Einläufe um Vermischung zu verringern.

Die ersten beiden Ansätze führen bei fakultativ aerobem Teich, die mit rohem SW betrieben werden, zur Überlastung der ersten Becken bzw. des Einlaufbereiches eines langen und schmalen Teiches. Im Falle nachgeschalteter Becken, deren organische Fracht bereits verringert ist, ist dies jedoch die wirksamste Lösung. Die folgende Abbildung zeigt die Wirksamkeit verschiedener Beckenkonfigurationen auf den Keimabbau.

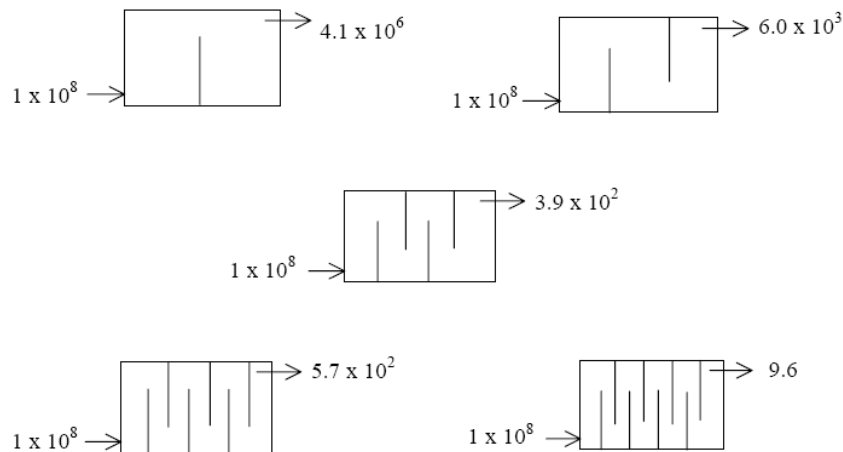


Abbildung 11-7 Unterschiedliche Wirksamkeit von Leitwänden auf den Keimabbau, KBE 100 ml^{-1} /72/

Horizontalimpulsarme Einläufe, z.B. vertikale Einläufe, haben sich nicht bewährt. Wegen des verringerten Impulses setzt sich am Einlauf vermehrt Schlamm ab, der wiederum zu einer lokalen Überlastung führt. Vergrößerte Durchmesser verringern den Horizontalimpuls geringfügig, jedoch nicht so bedeutend, daß sich das Fließregime im Teich bedeutend verändert. Verteilte Einläufe mit mehreren Einläufen entlang der Schmalseite des Teiches ergeben keine entscheidende Verbesserung der Reinigungswirkung.

Shilton und Harrison zeigen in /72/, daß sich in Teichen eine mehr oder weniger ausgeprägte Kreiselströmung einstellt, die durch den Horizontalimpuls des Einlaufs aufrechtgehalten wird.

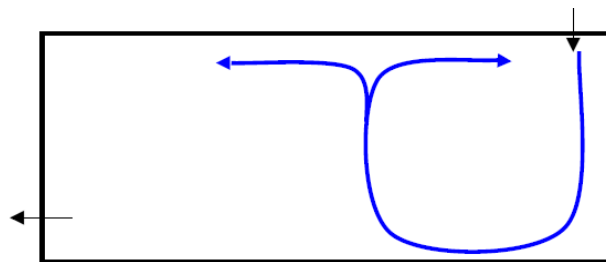


Abbildung 11-8 „Unsichtbare“ Leitwand /72/

Am wirkungsvollsten hat sich die rasche Einmischung des zufließenden SWs in das Teichvolumen mit hohem Horizontalimpuls erwiesen /72/. Die Anordnung von Zulauf

in Relation zum Becken spielt dabei eine entscheidende Rolle. Zusammen mit der sinnvollen Platzierung von Leitwänden, kann der „Kreisel“ aktiv genutzt oder gezielt vermieden und so gute Ergebnisse erzielt werden. Die Position des Ablaufs besitzt dann eine untergeordnete Rolle, wenn er außerhalb der überwiegenden Strömung im Becken in einem vermeintlichen „Totvolumen“ des Teiches liegt oder durch Leitwände gut von der Beckenströmung abgetrennt ist. Auch eine zentrale Anordnung im „Auge“ des Wasserkreisels, liefert gute Ergebnisse /72/.

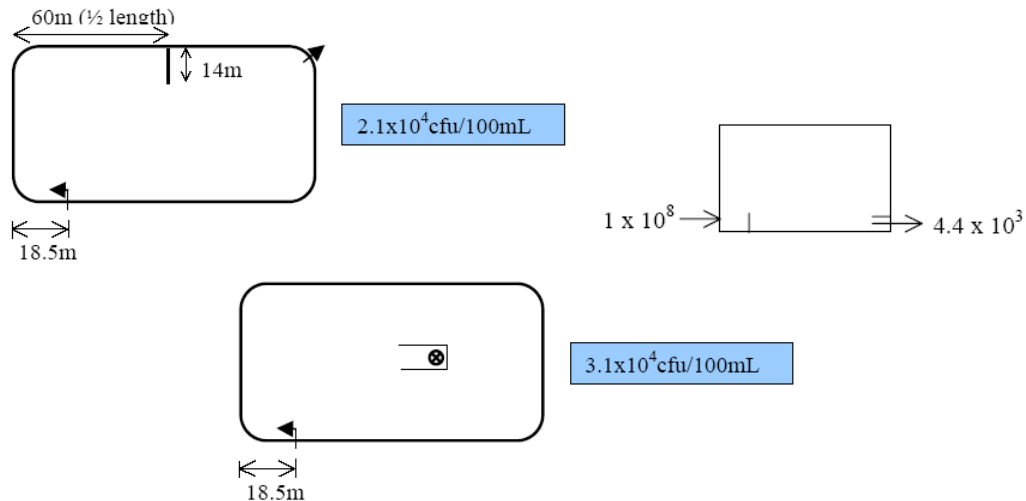


Abbildung 11-9 Wirksamkeit kurzer Leitwände auf die Reinigungsleistung /72/

Eine wirksame Lösung für fakultativ aerobe Teiche, die mit Roh-SW betrieben werden, sowohl die Reinigungswirkung als auch den Durchsatz zu erhöhen, sind anaerobe Teiche als vorgeschaltete erste Stufe. Sie reduzieren die organische Last so weit, daß nachfolgende fakultativ aerobe Teiche trotz höheren Durchsatzes geringere hydraulische Aufenthaltsdauern gestatten. In dem untern gezeigten Beispiel kann bei einem Roh-SW mit $1 \cdot 10^7$ 100 ml^{-1} KBE trotz Verdopplung des Durchsatzes die Keimbelaugung im Ablauf von 2.055 auf 575 verbessert werden, $k_T = 6,2 \text{ d}^{-1}$ für 25°C .

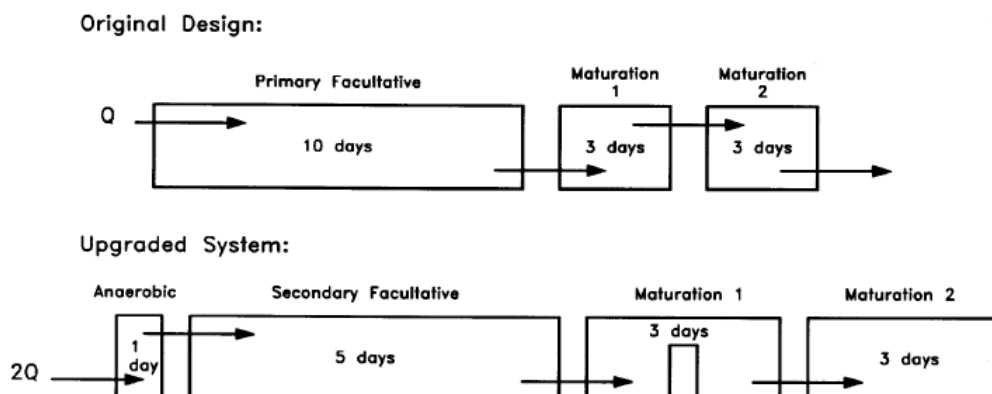


Abbildung 11-10 Möglichkeit der Erweiterung von Teichkläranlagen /67/

- $N_1 = 5 \cdot 10^7 / \{(1+6,2 \cdot 10) \cdot (1+6,2 \cdot 3)^2\} = 2.066 [100 \text{ ml}^{-1}]$
- $N_1 = 5 \cdot 10^7 / \{(1+6,2 \cdot 1) \cdot (1+6,2 \cdot 5) \cdot (1+6,2 \cdot 3)^2\} = 575 [100 \text{ ml}^{-1}]$

11.3.2 Rückbau von Teichanlagen

Obwohl ARA fehlen, muß auch ihr Rückbau ins Auge gefaßt werden. Durch verstärkte Landflucht kann innerhalb von Jahrzehnten eine Anlage so von Bebauung eingeschlossen sein, daß für Erweiterungen kein Platz vorhanden ist, und der Rückbau die vorteilhafteste Option darstellt.

Wenn keine hochbelasteten Abwässer behandelt wurden, ist der Boden nicht oder gering kontaminiert, und beschränkt sich zumeist auf den anaeroben Teich oder die Einlaufzone. Nach ausführlicher Bodenanalyse, einer geeigneten Bodenbearbeitung kann das Gelände einer anderen Nutzung zugeführt werden. Aufwendiger Abbruch von Stahlbeton-Bauwerken ist auf kleinere Bauwerke beschränkt und durch gestiegene Grundstückspreise können zusätzliche Einnahmen generiert werden.

11.4 Anaerobtechnik

11.4.1 Allgemein

Bei der anaeroben Umsetzung organischer Stoffe fällt energiereiches Biogas an, sein Gehalt an Methan (CH_4) und anderer Bestandteile (CO_2 , N_2 und S-Verbindungen) hängt von der Zusammensetzung des Rohmaterials und dem Grad der anaeroben Umsetzung ab. CO_2 und N_2 wirken sich negativ auf den Energiegehalt und des Biogases aus, S-Verbindungen sind schädlich für Motoren im Falle der Verstromung.

In anaeroben Teichen ist die Umsetzung der Abwassersubstrate zu CH_4 , das über die Wasseroberfläche sichtbar austritt, an deren „Blubbern“ deutlich zu sehen.

11.4.2 Biologische Zusammenhänge

Der anaerobe Abbau organischer Stoffe erfordert das Ineinandergreifen mehrerer Abbauschritte. In der Hydrolysephase werden hochmolekulare Substrate (Kohlehydrate, Fette, Eiweiß) enzymatisch in gelöste Bruchstücke überführt. Diese werden durch fakultativ und obligat anaerobe Bakterien in der Versäuerungsstufe in kurzkettige organische Säuren und Alkohole und in die Endprodukte H_2 und CO_2 umgesetzt. Acetogene Mikroorganismen bauen die gebildeten organischen Säuren und Alkohole in der acetogenen Stufe zu Essigsäure um. Schließlich bilden Methanbakterien aus Essigsäure energiereiches CH_4 .

Anaerobe Mikroorganismen besitzen einen deutlich engren optimalen Temperaturbereich, der für alle Arten über 20°C liegt. Der anaerobe Stoffwechsel der Mikroorganismen liefert deutlich weniger Energie für Zellwachstum, weshalb die Überschussschlammmenge anaerober Verfahren deutlich geringer ist als der aerober. Dieser ist im Gegensatz zu anaeroben Verfahren weitgehend stabilisiert und erfordert keine weiteren Behandlungsschritte.

Anaerobe Verfahren sind einfach aufgebaut, obwohl die mikrobiologischen Vorgänge

sehr komplex sind. Ihre Mißachtung ist zumeist die Ursache für Prozeßstörungen in der Praxis. Für weitergehende Zusammenhänge der Anaerobtechnik wird auf die umfangreiche Literatur zu diesem Thema verwiesen.

11.4.3 Besondere Eignung anaerober Verfahren

Anhängig von der Zusammensetzung des Roh-SW gestatten die anaeroben Verfahren die Reduktion des CSB um 65-85 % und der absetzbaren Feststoffe um 60-80 %. Im SW enthaltenes N wird durch anaerobe Verfahren nur in geringem Maße reduziert. Angewendete anaerobe Verfahren sind anaerobe Teiche, und deren gasdichte Abdeckung zur Gasfassung und aufwärtsdurchströmte anaerobe Schlammbett-Reaktoren (UASB-Reaktoren).

Anaerobe SW-Behandlung ist eine wirksame Alternative für Entwicklungsländer mit mildem Klima. Die besonderen Vorteile sind:

- einfacher Betrieb mit verhältnismäßig gering ausgebildetem Personal,
- die Kosten sind ca. drei- bis sechsfach niedriger als die aerober sekundärer Verfahren,
- wenige bewegte Teile, daher geringerer Betriebs- und Wartungsaufwand, geringer oder kein Energiebedarf,
- Hochbelastetes SW kann wirkungsvoll behandelt werden, daher kann Schlammwasser aus Absetzgruben zugegeben werden,
- Stoßbelastungen können einfacher gehandhabt werden als in aeroben Systemen, daher kann Schlammwasser aus Absetzgruben zugegeben werden,
- große Durchsatzveränderungen und längere Außerbetriebnahmen sind problemlos,
- verminderte nicht-organische Nährstoffe im Zulauf sind geeignet für die Inbetriebnahme,
- geringe Mengen an stabilisiertem Überschussschlamm, der keine weitere Behandlung erfordert, mit guten Absetz- und Entwässerungseigenschaften,
- Biogas auch kleinerer Anlagen kann wirtschaftlich genutzt werden,
- Nahezu vollständige Stabilisierung der organischen SW-Bestandteile,
- Die beste Reaktortemperatur liegt oberhalb 20°C, bei tieferen Temperaturen sind die mikrobiologischen Vorgänge verlangsamt, /75/

Als Begrenzungen können genannt werden:

- Längere Dauer der Einfahrphase, wegen der geringen Wachstumsrate anaerober Bakterien,
- Zusätzliche weitergehende Reinigungsstufe wird immer benötigt,

- Geruchskontrolle ist von größerer Bedeutung als bei aeroben Verfahren,
- die methanogene Aktivität wird durch hohe Schwermetallkonzentrationen, Giftstoffe, freies Ammonium ($> 50 \text{ mg/l}$) und freies H_2S ($> 250 \text{ mg/l}$) gestört,
- Um die Alkalinität im Reaktor aufrechtzuhalten, kann chemische Pufferung erforderlich sein,
- Korrosionsbeständige Materialien (Kunststoffe) oder spezielle Beschichtungen werden benötigt, /75/.

11.5 Einfache Biogas-Gewinnung aus Anaerobteichen

Bei anaeroben Teichen tritt Biogas über die Oberfläche aus, ein Energieinhalt geht somit verloren und trägt als Treibhausgas zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei.

Einfache Lösungen der anaeroben SW-Behandlung mit CH_4 -Nutzung sehen ihre gasdichte Abdeckung mit Kunststoffmembranen vor, um Biogas zu sammeln. Als Nebeneffekt bewirkt die Abdeckung, daß mögliche Geruchsprobleme verhindert werden.



Abbildung 11-11 Abgedeckte anaerobe Teiche in einem Palmöl-Betrieb /77/

11.6 USAB-Reaktoren

11.6.1 Systembeschreibung

Aufwärtsdurchströmte anaerobe Schlammbett- bzw. deren englische Kurzform UASB-Reaktoren, haben sich von der Reinigung industriellen SWs immer mehr zu kommunalem SW weiterentwickelt. Diese Entwicklung geht nicht zuletzt auf zahlreiche Anlagen und Forschungsarbeiten in Lateinamerika zurück.

Roh-SW fließt von unten dem Reaktor zu und wird gleichmäßig verteilt. Schlammflocken setzen sich gegen die geringe Fließgeschwindigkeit ab oder werden in Schwebelage gehalten. Sie bilden so eine dicke anaerobe Schlammsschicht; die vom SW aufwärts durchströmt wird. Partikuläre Stoffe werden dort zurückgehalten und anaerob umgesetzt. Das aufsteigende Biogas unterstützt die Vermischung des Substrates mit der anaeroben Biomasse.

Schlamm wird im Reaktorkopf zurückgehalten, ab einer reaktorspezifischen Schlammmenge gelangt Schlamm in den Ablauf, der Reaktor ist „voll“. Diese Überschussschlammmenge im Reaktorablauf entspricht somit der Wachstumsrate, die im Versuch ermittelt werden kann. Bei einer alternativen Betriebsweise wird periodisch Schlamm dem Reaktor entnommen /76/. Für die Anwendung im MERCORSUR ist die kontinuierliche Betriebsweise zu bevorzugen, da so der Wartungsaufwand verringert ist.

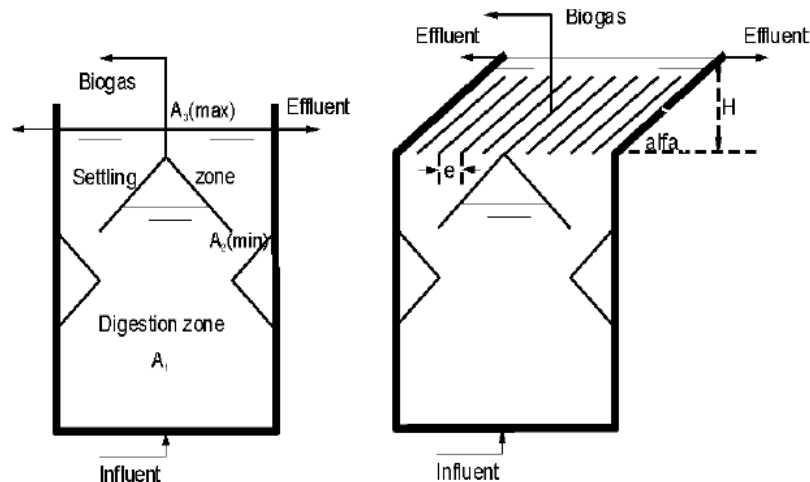


Abbildung 11-12 UASB-Reaktor, konventionelle (links) und verbesserte Phasentrennung (rechts) /76/

11.6.2 Hinweise zur Reaktorauslegung

Hydraulische Aufenthaltsdauer θ_h und Schlammalter θ_s sind die Planungskriterien, die durch die Qualität der Phasentrennung bestimmt werden.

Die Fließgeschwindigkeit im Reaktionsraum liegt bei 0,5 und 1,0 m/h /76//75/. Für kommunales SW ist die Wassertiefe üblicherweise etwa 4 m, größere Tiefen sind möglich. Soweit der Baugrund und die Grundwassertiefe es zuläßt, erlaubt die unterirdische Ausführung den freien Zulauf, ohne Energieaufwand.

Für den gleichmäßigen unteren Zulauf zum Reaktionsraum werden Zulaufrohre von oben liegenden Verteilkanälen oder –bauwerken vorgesehen, zumeist ein Zulauf pro 2,5 bis 4,0 m² Reaktorgrundfläche /75/.

Die Fließgeschwindigkeit v_3 im Austrittsquerschnitt A_3 (Indizes nach Abbildung 11-12) ist entscheidend für die Absetzleistung, da nur Partikel mit Sinkgeschwindigkeiten $v_s \geq v_3$ abgetrennt werden, $v_3 < 10$ m/h wird empfohlen für maximale Last /75/. Die übliche Phasentrennung besteht aus 50 bis 55° geneigten Flächen, die in einem Gasdom enden, 80 % von A_3 überdecken und 10 bis 20 cm die seitlichen Abweiser überlappen sollten /75/.

Ein Vorschlag zur Verbesserung der Phasentrennung und höheren Lasten wird in /76/ beschrieben. Der Winkel α beträgt 45 bis 60° um sicherzustellen, daß abgetrennte

Schlammflocken in den Reaktionsraum zurückrutschen, der Plattenabstand e von 10 bis 30 cm soll Verstopfungen verhindern und die Höhe H des Abscheiders wird konstruktiv begrenzt /76/.

Die zusätzliche Phasentrennung gestattet bei gleicher Fracht bessere Ablaufqualität, oder bei gleicher Ablaufqualität höhere Zulauffrachten.

Für die kritische Sinkgeschwindigkeit s_s' , oberhalb der Abtrennung erfolgt, gilt bei verbesserter Phasentrennung:

$$v_3' = v_3 / \sin \alpha$$

$$s_s' = v_3' \cdot e \cdot \tan \alpha / \{ (H / \sin \alpha) + (e / \cos \alpha) \} /76/.$$

Bei Bauhöhen von 80 cm kann die kritische Sinkgeschwindigkeit s_s' auf 1/3 bis 1/5 der kritische Sinkgeschwindigkeit s_s ohne zusätzliche Phasentrennung verbessert werden.

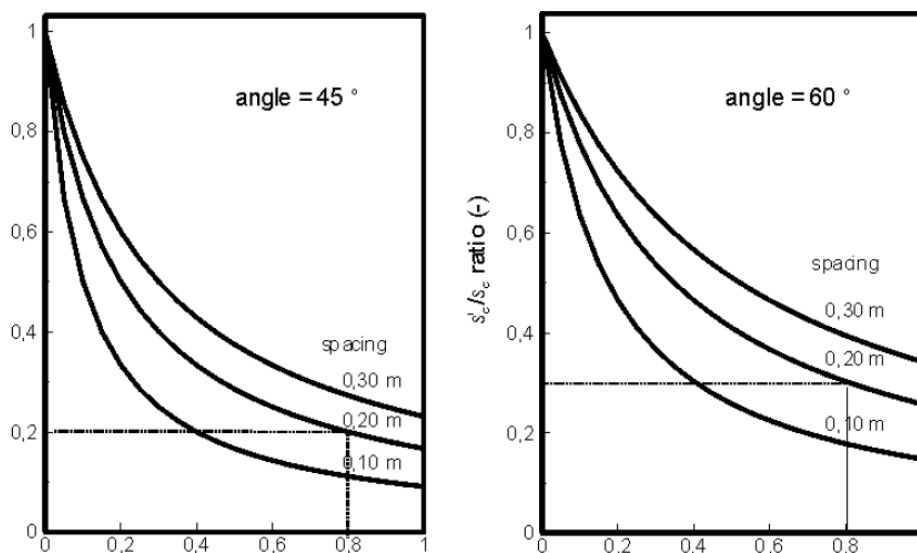


Abbildung 11-13 Wirksamkeit der verbesserten Phasentrennung für α 45°, 60° und verschiedene Plattenabstände e . Asymptote: Abscheiderhöhe H [m]. Koordinate: Relation kritischer Sinkgeschwindigkeit s_s'/s_s /76/

Organische Frachten bis 15 kg/m³ CSB können für die meisten SW-Arten und Reaktoren mit konventioneller Phasentrennung angesetzt werden /75/.

Der CSB im Zulauf S_E lässt sich drei Fraktionen einteilen, in den CSB, der

- im Ablauf verbleibt, S_A ,
- in anaeroben Schlamm umgesetzt wird, S_X , und
- in Methan umgesetzt, S_G , wird /76/.

Das Ziel der Reaktorauslegung ist S_A und S_X zu minimieren und S_G zu maximieren. Leider ist die Theorie des Verhaltens von UASB-Reaktoren noch nicht so weit fortgeschritten, daß eine geschlossene Vorausberechnung der Reaktoren möglich ist /76/.

Frasinetti (/79/, S. 21) stellt die prozentuelle Aufteilung der drei Fraktionen experimentell für SW mit Temperaturen $25^{\circ}\text{C} \pm 2\text{K}$, $6,8 > \text{pH} > 7,1$ und $\text{CSB} < 1000 \text{ mg/l}$ in UASB-Reaktoren mit konventionellen und verbesserten Abscheider dar.

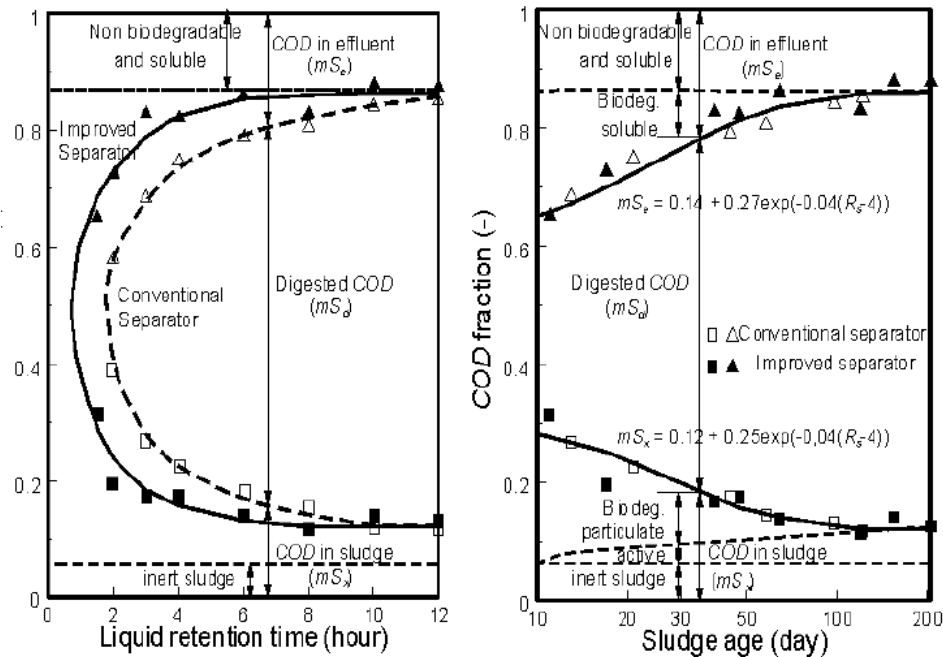


Abbildung 11-14 Umsetzung der CSB in UASB-Reaktor nach hydraulischer Aufenthaltsdauer (links) und Schlammalter (rechts) mit verbessertem (durchgezogene Linie) und konventionellem Abscheider (gestrichelte Linie) /76/

Üblicherweise liegen in warmen Regionen θ_h bei etwa 4 bis 6 Stunden bei maximaler Belastung und das Schlammalter bei 20 bis 50 Tagen /76//75/.

Peña Varon (/79/, S. 26) gibt eine vereinfachte Beziehung für die Methanproduktion $m_M dt$ an. Dabei gilt, daß $0,25 \text{ gCH}_4/\text{g}$ abgebauter CSB gebildet werden.

$$m_M dt = 0,25 \cdot k \cdot X_V \cdot S_A \cdot V / (K_S + S_A) \quad [\text{m}^3/\text{d}]$$

$$k = 0,05 \dots 0,50 \text{ gCSB}/(\text{gVSS d})$$

$$X_V = \text{VSS im Reaktor} \quad [\text{g}/\text{m}^3]$$

$$K_S = 0,2 \dots 4,0 \text{ (üblich } 1,0) \quad [\text{g/l}] \text{ „Monrod-Konstante“}$$

$$V: \text{Reaktorvolumen}$$

Organische Lasten von $15 \text{ gCSB}/\text{m}^3$ können für die meisten SW-Arten aufgebracht werden. 60 bis 70 % des CSB und 75 bis 85 % des BSB₅ werden bei SW-Temperaturen von 20 bis 35°C anaerob im Reaktor abgebaut.

11.6.3 Weiterentwicklungen der UASB-Reaktor

Um den UASB-Reaktoren im Temperaturbereich 13 bis 20°C einzusetzen, wurde an Anden Universität in *Bogotá* der Hybrid-UASB-Reaktor entwickelt. Dies gestattet ihren Einsatz im Süden des betrachteten Großraums und in den Höhenlagen der Anden.

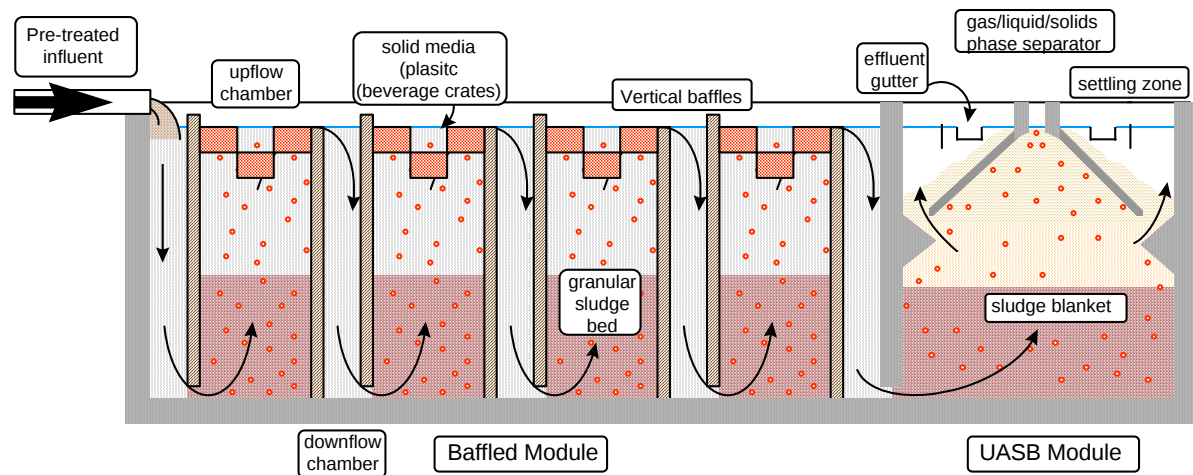


Abbildung 11-15 Hybrid-UASB-Reaktor /75/

In den vorgeschalteten Modulen wird durch die vorherrschende Pfropfenströmung die Granulation der anaeroben Bakterien gefördert. Granulierter Schlamm besitzt bessere Absetzeigenschaften als normale Schlammflocken und gestattet höhere Strömungsgeschwindigkeit im UASB-Reaktor /75/.

Durch Einbauten wird das Austreten des Biogases gefördert, hierfür haben sich Kunststoff-Getränkekisten bewährt /75/.

Weitere Systemkombinationen bestehen aus nachgeschalteten Tropfkörpern zum Nährstoffabbau.

11.6.4 Bauformen UASB-Reaktor

Besonderes Augenmerk ist auf die Korrosionsbeständigkeit der Bauteile zu achten. Daher wird zu ihrer Errichtung qualifiziertes Personal benötigt. Die übliche Ausführung sind Stahlbetonbauwerke, um diese zu vermeiden und Erdbecken, die mit Geomembranen abgedichtet und abgedeckt werden entwickelt worden.

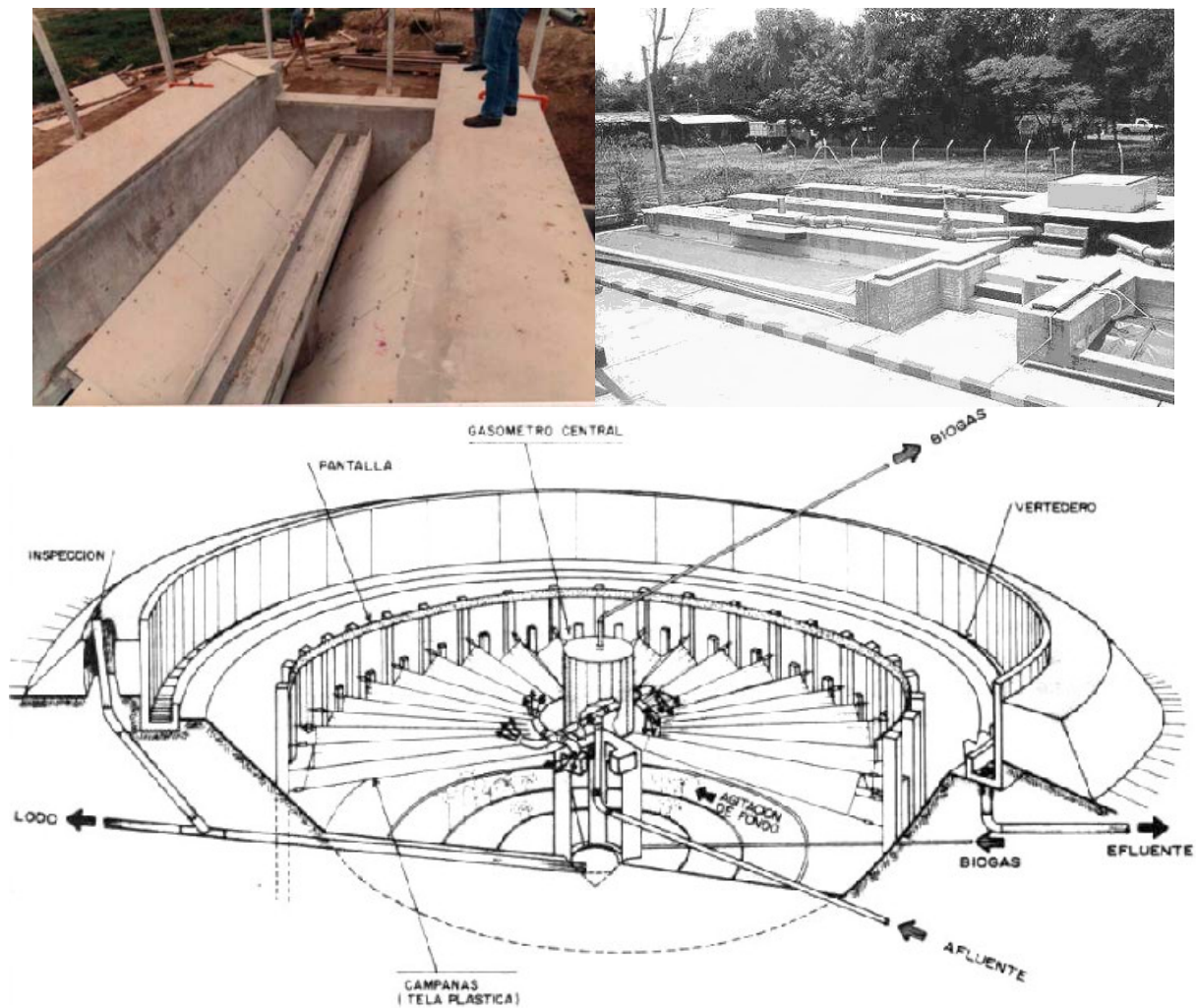


Abbildung 11-16 UASB-Reaktoren, San Juan (Argentinien) (oben links), Vivero, Cali (Kolumbien) $Q = 45 \text{ l/s}$ (oben rechts), in Erdbauweise (unten)

11.6.5 UASB-Reaktor und Schönungsteiche

Keimabbau und die Reduktion der Nematodeneier kann analog zu anaeroben Teichen berechnet werden. Als alleinige Reinigungsstufe gestatten UASB-Reaktoren daher nicht die Abwassernutzung. Schönungsteiche, die entsprechend der obigen Hinweise, ausgeführt werden, sind eine geeignete Lösung für den Keimabbau.

Da die Grundreinigung im UASB-Reaktor erfolgt, sind Schönungsteiche auf die Erfüllung der hygienischen Qualitätsanforderungen ausulegen. Dies gestattet deutlich verringerten Flächenbedarf. In vielen Fällen genügt hydraulische Aufenthaltsdauer von 5 bis 7 Tagen, gegenüber 20 Tagen reiner Teichanlagen.

12 Energieversorgung

12.1 Energiebedarf

12.1.1 Allgemein

Die Energiekosten für den Betrieb konventioneller aerober ARA sind der größte Ko-

stenblock. Werden ARA ordnungsgemäß betrieben, führen diese Kosten zu:

- hohen Beiträgen für die Nutzer, die ihre finanzielle Möglichkeiten überfordert oder stark belastet und so deren Bereitschaft zum Anschluß einschränkt,
- geringeren wirtschaftlichen Erträgen für den Betreiber, im Falle der Begrenzung der maximalen Beiträge per Dekret oder Vertrag.

In beiden Fällen führen hohe Energiekosten dazu, daß versucht wird sie zu vermeiden. Auf Kosten der Reinigungsleitung werden dann oftmals Belüftungseinrichtungen außer Betrieb genommen.

Es ist daher sehr wichtig den Energiebedarf der ARA zu minimieren. Die Minimierung des Flächenbedarfs ist in ländlichen Regionen zumeist nicht vorrangiges Ziel. Abhängig von der Verfahrenswahl der ARA ist die Bedeutung der Energieversorgung.

12.1.2 Teichanlagen

Reine Teichanlagen benötigen keinerlei Energie für ihren Betrieb. Lediglich für eventuelle Wärterunterkünfte oder kleine Werkstätten wird Strom benötigt. Einphasige 230 V-Versorgung ist zumeist ausreichend. Steht diese nicht zur Verfügung bieten sich Eigenstromversorgung auf Basis von Photovoltaikanlagen an, die wegen der hohen Sonneneinstrahlung hohe Ergiebigkeit gestattet.

Für Wartungsarbeiten, Pflege der Grünflächen und Pflanzungen, Schlammmentnahme werden dann Geräte mit Verbrennungsmotor eingesetzt. Die jährliche Schlammmentnahme aus anaeroben Teichen kann ebenfalls mit verbrennungsmotorisch getriebenen Aggregaten oder elektrisch erfolgen. Die hierfür benötigte Leistung von 3 bis 10 kW und die geringe Betriebszeit macht photovoltaische Eigenerzeugung betriebswirtschaftlich wenig interessant.

Wird Schlamm solar in Trockenbeeten getrocknet fällt hierfür kein zusätzlicher Energiebedarf an.

12.1.3 Anaerobe Abwasserbehandlung

Zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen ist die anaerobe SW-Behandlung in Verbindung mit Schönungsteichen eine erprobte Lösung. Alternative steht UV- oder chemische Desinfektion zur Verfügung. Die chemische Desinfektion verursacht zusätzliche Betriebskosten für Chemikalien und die im SW verbleibenden Reststoffe schränken die landwirtschaftliche Nutzung ein. UV-Desinfektion erfordert zusätzlichen Energiebedarf. Schönungsteiche erlauben ohne zusätzliche Betriebskosten für Energie oder Chemikalien die Ablaufqualitäten sicher einzuhalten.

Werden UASB-Reaktoren erdeingebaut ausgeführt ist freier Zulauf möglich und bei geeigneter Topographie kann auf dem Wasserweg auf Pumpen vollständig verzichtet werden.

Position	Typ	Kriterien		Bemerkung
Zulauf UASB	SW-Pumpe	$Q_{\max}$	ΔH Zulauf	kann entfallen, wenn erd-eingebauter Reaktor, oder geeignete Topographie
Entleerung Reaktor	SW-Pumpe	Q_{mittel}	ΔH Reaktorsole – 2. Reinigungsstufe	kann entfallen, wenn ober-irdischer Reaktor
Schlamm- entnahme	Schlamm- pumpe	Q_{mittel}	ΔH Reaktorsole – Schlamm-trocknung	kann entfallen, wenn ober-irdischer Reaktor
Schlamm- trocknung				kann entfallen bei solarer Trocknung
Schlamm- wasser	SW-Pumpe	Q_{mittel} Schlamm wasser	ΔH Trockenbeet – Schö-nungsteich	kann entfallen, wenn Schö-nungsteich stromabwärts Trockenbeet
Gereinigtes SW	SW-Pumpe	Q_{mittel} SW	ΔH Schönungsteich – SW-Nutzung	kann entfallen, wenn SW-Nutzung stromabwärts
Biogas- kompressi- on	Gasverdich- ter	Q_{mittel} Biogas	P_e Gasnutzung	kann entfallen, wenn Gas-nutzung eigene Verdich-tung besitzt
Steuerung	ARA		benötigter Überwa-chungsaufwand	kann minimiert werden, da UASB weitgehend selbst-regelnd
Allg. Strombe- darf	Beleuchtung, Gebäude			

Tabelle 12.1-1 Energieverbrauchsstellen bei UASB-Reaktoren

UASB-Reaktoren gestatten für die SW-Reinigung auf externe Energiequellen zu verzichten. Der verbleibende Energiebedarf für Steuerung, Beleuchtung und Gebäude kann, wegen der hohen jährlichen Nutzung, positiv durch Eigenerzeugung über Photovoltaikanlagen gedeckt werden.

Sind Belüftungseinrichtungen im Falle von Belebtschlammanlagen erforderlich, ist ganzjährig zuverlässige Energieversorgung nötig.

12.2 Verbesserung der Energieversorgung

12.2.1 Allgemein

Kleinere Städte auf dem Land werden oft über kleine Nebennetze erschlossen, die lediglich die Ortszentren erreichen. Für größere Betriebe ist daher die Eigenerzeugung daher wichtig. Brasilien leidet zudem häufig an nicht genügender Erzeugerleistung.

Zusätzliche Erzeugung elektrischer Energie kann dazu beitragen, die Versorgungssicherheit ländlicher Regionen zu erhöhen.

Ist die Energiegewinnung aus der SW-Behandlung geplant, so stehen anaerobe Verfahren zur Verfügung.

12.2.2 Verstromung

Für die Verstromung des Biogas' stehen in dem Leistungsbereich Verbrennungsmotoren zur Verfügung. Stirlingmaschinen haben trotz vieler Forschungsarbeiten noch nicht die Serienreife erreicht, die den Einsatz in ländlichen Regionen des MERCOSUR gestatten. Dieselmotoren sind wegen ihrer relativen Zuverlässigkeit und guten Motorenwirkungsgrades die üblichen Maschinen.

Entscheidende Festlegungen bei der Verstromung des Biogas' sind:

- die Betriebsweise des Motors, zumeist stromgeführt nach dem aktuellen Strombedarf, Nutzung des Wärmeinhalts des Abgases steigert den Nutzungsgrad der Energieerzeugung, erhöht aber auch den technologischen und Wartungsaufwand, ferner sind Nutzungsmöglichkeiten der Motorenabwärme oftmals eingeschränkt.
- die Brennstoffnutzung, reiner Biogasbetrieb oder dualer Biogas-Diesel-Betrieb, bei dualen Betrieb wird 40 bis 80 % Biogas dem Regelbrennstoff beigemischt,
- die Verdichtung des Biogas, bei Turbomaschinen kann die Gasinjektion zwischen Gasfilter und Turbo erfolgen, und so auf zusätzliche Gasverdichtung verzichtet werden, abhängig vom Motorentyp und der Entfernung zwischen Anaerobreaktor und Motor kann Gasverdichtung erforderlich sein und
- die Gasaufbereitung, um Korrosion im Motor zu vermeiden, sind die H_2S -Konzentrationen von 0,14 % (1.400 ppm) auf unter 0,02 % (200 ppm) zu reduzieren.

Zur Gasaufbereitung haben sich Biofilter mit dem Bakterienstamm *Thiobacillus* bewährt, die durch Beimischung von O_2 in das Biogas, in Reaktionskolonnen mit Packungen aus organischem Material wachsen. Biofilter gestatten sichere Einhaltung von H_2S -Werten unter 0,08 % (80 ppm) möglich. Aus Sicherheitsgründen oder um noch weiter verminderte H_2S -Konzentrationen zu erzielen, kann zusätzlich ein traditioneller, chemischer Eisenoxid-Filter /77/.



Abbildung 12-1 „Dual-fuel“ Dieselmotor in einem Palmöl-Betrieb /77/

12.2.3 Thermische Nutzung

Ist die Verstromung wirtschaftlich oder wegen des höheren Wartungs- und Betriebsaufwand nicht vorteilhaft, kann Biogas thermisch genutzt werden. Als Prozeßwärme kann es in Industriebetrieben sinnvoll eingesetzt werden.

Die Nutzung von, in Flaschen abgefülltem, Flüssiggas ist weit verbreitet für Haushalts- und Kochwecke. 20-kg-Stahlbomben werden hauptsächlich in Supermärkten und Tankstellen landesweit vertrieben. Die erforderliche Infrastruktur in den Haushalten ist daher vorhanden. Zur thermischen und wirtschaftlichen Nutzung des Biogas' kann es verdichtet und in Flaschenabgefüllt vermarktet werden. Werden die Flaschen durch die Nutzer von der ARA direkt abgeholt entstehen keine zusätzlichen Aufwendungen zur Vermarktung.

Eleganter, jedoch mit höherem Investitionsaufwand verbunden, ist die Schaffung eines Niederdruck-Biogas-Netzes, zur Verteilung des Biogas' bis direkt zu den Haushaltungen. Projekte aus Lateinamerika /78/ belegen, daß etwa 6 % des Entwässerungsnetzes mit dem erzeugten Biogas, für etwa 3 USD pro Familie und Monat, versorgt werden kann. Eine Gasaufbereitung ist nicht erforderlich und kann mit dem Ziel der Kostenminimierung entfallen.

13 Chancen für deutsche Unternehmen

Grundsätzlich besteht ein sehr hohes Ansehen der deutschen Industrie im MERCOSUR. Persönlich besteht oft erheblich größere Neigung deutsche Unternehmen zu beauftragen als US-amerikanische. Leider sind bei öffentlichen Aufträgen, insbesondere solche, die Finanzierung über IAEB erhalten, die Wettbewerbschancen deutlich eingeschränkt.

Für Planungs- und Ingenieurbüros, bestehen aber gewisse Chancen, insbesondere wenn Arbeitsgemeinschaften mit lokalen Büros eingegangen werden. In dem hier betreffenden Zusammenhang sind dann Chancen für eine erfolgreiche Projektabwicklung gegeben, wenn es gelingt, aufbauend auf den hohen Standard Deutschlands, angepaßte

und integrale Lösungen zu entwickeln. Die schlichte Übertragung deutscher Regelwerke und Planungslösungen und die reich technische Ausrichtung führen zum langfristigen Scheitern der Projekte.

Die Möglichkeiten für deutsche Anlagenbau-Unternehmen sind im ländlichen Bereich des MERCORUR und bei der Zielsetzung durch angepaßte Lösungen lokale Entwicklung anzustoßen sicher sehr eingeschränkt. Denn das Ziel all der beschriebenen Ansätze ist es gerade eigene, lokale Kompetenz aufzubauen. Im Falle von privatwirtschaftlichen Organisationsformen, Konzessionen, für größere oder mehrere kleinere Entsorgungsgebiete, ist die Situation eine andere. Dann bestehen konkrete Möglichkeiten für deutsche Beteiligungen. Es muß aber klar gesagt werden, daß derzeit der „Boom“ der Privatisierungen stark nachläßt, und die Diskussion wieder dahin geht privatisierte Betriebe zu renationalisieren.

14 Rückblick und Ausblick

14.1 Beispielhafter Rückblick

In den Jahren 1997 bis 2002 wurden mit Finanzierung der IAEB in sieben paraguayischen Städten mit max. 35.000 EW neue Wasserver- und SW-Entsorgungssysteme errichtet. Das Projekt *Caaguazú* wird hier beispielhaft herausgegriffen und näher betrachtet. Es besteht aus:

- Wassergewinnung mit mehreren Tiefbunnen und –speicherung in oberirdischem Stahlbetonbehälter mit zwei Kammern, Stahlbetonwasserturm, TW-Pumpwerk, Chlorung
- TW-Verteilung,
- SW-Hausanschlüsse (ohne Anschluß an Hausinstallation), SW-Sammler; SW-Pumpwerke und Druckleitungen,
- SW-Klärteich mit Sandfang, zwei primären fakultativ aeroben und einem sekundären fakultativ aeroben Klärteich.



Abbildung 14-1 Sandabscheider und Klärteich für ca. 30.000 EW

Das Bauvolumen betrug ca. 10 Mio. USD für etwa 35.000 EW. Auftraggeber war der staatliche Wasserversorger *Corpoasana*, heute *ESSAP*.

Vor der Baumaßnahme bezogen nahezu alle Haushalte TW von privaten Wasserversorgern, die SW-Entsorgung erfolgte überwiegend in Faulgruben.

Durch das Projekt wurde eine zusätzliche zentrale TW-Versorgung errichtet. Randgebiete werden nicht von dem Projekt erfaßt. Zeitungsberichten zufolge wurden bis 2004 lediglich 514 der etwa 7.000 TW-Hausanschlüsse erstellt, aber 71 haben ihre Anschlüsse wieder entfernt, um erneut von privaten Versorgern TW zu beziehen. Die hohen Anschluß- und Betriebsgebühren werden hierfür als Grund angegeben. Die TW-Komponente ist wenig am tatsächlichen Bedarf der Bevölkerung ausgerichtet gewesen, die bislang nicht primär unter TW-Mangel litt, sie wurde kaum in die Projektgestaltung eingebunden. Sie ist somit von Anfang an wenig geeignet gewesen die Situation oder Qualität der TW-Versorgung zu verbessern. Die Integration und die Verbesserung der TW-Versorgung der privaten Versorger war nicht Bestandteil der Maßnahme.

Größeres Interesse bestand seitens der Bevölkerung an einer geregelten SW-Entsorgung, da viele Faulgruben überlaufen und zu Problemen führen. Die SW-Sammler wurden im gesamten Stadtbereich als konventionelles System ausgeführt mit Trassenführung in der Straßenmitte und Kanaltiefen bis über 5 m. Ca. 5.000 Hausanschlußkanäle, jedoch ohne Anschluß, wurden erstellt, ohne daß hierfür die Abstimmung mit den Anliegern erfolgte. Daher wurden einzelne Anschlüsse am entgegengesetzten Ende der Grundstücke errichtet. Dies zeigt, daß auch hier die Bevölkerung nicht ernst genommen und auch nicht in das Projekt eingebunden wurde. Der größte SW-Produzent, der städtische Markt, wurde nicht in die eingeschlossen. SW-Pumpwerke erhielten Entlastungen, um bei Regen Fremdwasser zu entlasten.

Die SW-Behandlung erfolgt in drei fakultativen Teichen, mit zusammen etwa 13,5 ha Wasserfläche, etwa 500 m von der letzten Bebauung entfernt, Stromversorgung be-

steht keine und die Erdstraße ist nach Hochwasser oftmals weggespült. Die Anlage ist dann nur auf Umwegen zu erreichen. Durch das geneigte Gelände sind Deiche bis 15 m Höhe erforderlich gewesen. Gereinigtes SW wird in einen Bach geleitet, seine Nutzung ist nicht vorgesehen. Alternative ARA-Konzeptionen wurden nicht untersucht. Wartung und Betrieb wurden in der Anlagenkonzeption nicht berücksichtigt, der Sandfang, trotz guter Absetzwirkung, weist keine geplante Sandentnahme und keine Einrichtungen zu dessen Abtransport auf, Stromversorgung und Wärterunterkünfte fehlen.

Die Anlagen, die in sechs weiteren Städten, errichtet wurden weisen ähnliche Defizite auf. Sogar die Errichtung der ARA konnte wegen Bürgerprotesten an einem Standort nicht realisiert werden, andere sehen ARA gar nicht vor, sondern führen SW ungereinigt der Vorflut zu.

Insgesamt sind solche Projekte wenig geeignet die Situation der TW-Versorgung und der SW-Entsorgung langfristig zu verbessern. Die internationale Finanzierung ist noch lange kein Beleg für die Nützlichkeit einer Maßnahme. Durch nicht angepaßte Lösungen, die von oben herab der Bevölkerung „aufoktroziert“ werden und sie nicht einbinden, örtliche Gegebenheiten nicht berücksichtigen, sind Millionen verbaut worden ohne dem Ziel des Jahrtausendgipfels bedeutend näher gekommen zu sein.

Leider ist dies kein Einzelfall.

14.2 Ausblick

Werden die Möglichkeiten angepaßter Technik ernst genommen und sind alle Seiten bestrebt die „beste technisch und wirtschaftlich lokal verfügbare Technik“ zu liefern, wird die Bevölkerung von Anfang an eingebunden und ihre Bedürfnisse, Möglichkeiten und Begrenzungen berücksichtigt, stehen Werkzeuge und Techniken zur Verfügung, die eine langfristige Verbesserung der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung gestatten. Einige Beispiele wurden hier vorgestellt.

Entscheidend ist daß die Bevölkerung „ihr“ System unterstützt. Diese Unterstützung läßt sich durch Zusatznutzen für die Bevölkerung leichter erreichen, dies kann die Schaffung zusätzlicher langfristiger Arbeitsplätze, eine verbesserte Energieversorgung, die Schaffung von Naherholungsmöglichkeiten oder die Stärkung der Landwirtschaft sein.

Dies erfordert aber ein Umdenken von Entwicklungsbanken, die Maßnahmen finanzieren, von Planern, die weniger die technische als gesellschaftliche Aspekte in den Vordergrund rücken müssen, von Betreibern, die Systeme so betreiben müssen, daß die Nutzer auch bereit sind für diese Leistung zu bezahlen.

Literaturverzeichnis

- /1/ Auswärtiges Amt: Wirtschaftsdatenblatt Brasilien, 2004
- /2/ Dr. Peter Baumann, Brigitte Looseen-Matschek: Solare Klärschlamm-trocknung – Auslegung, Wirtschaftlichkeit und Realisierung. In: GVC – VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Hrsg.), Düsseldorf, 5. GVC-Abwasser-Kongress. Düsseldorf: VDI, 2003
- /3/ Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Eschborn (Hrsg.): Grundlagen, Verbesserung der Entsorgung in städtischen Armutsgebieten. Wiesbaden, Universum Verlagsanstalt, 2002
- /4/ Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Eschborn (Hrsg.): Baustein 1: Technische Konzepte, Verbesserung der Entsorgung in städtischen Armutsgebieten. Wiesbaden: Universum Verlagsanstalt, 2002
- /5/ Prof. Dr.-Ing. Werner Hegemann, Inka Hobus, Katharina Teschner: Ein einfaches Verfahren zur Abwasserreinigung für die landwirtschaftliche Bewässerung. In: GVC – VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Hrsg.), Düsseldorf, 5. GVC-Abwasser-Kongress. Düsseldorf: VDI, 2003
- /6/ Harald Wolf: Angepaßte Techniken zur Abwasserbehandlung in Lateinamerika. In: GVC – VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Hrsg.), Düsseldorf, 5. GVC-Abwasser-Kongress. Düsseldorf: VDI, 2003
- /7/ Prof. Dr. Axel Borsdorf, Hannes Hoffert: Naturräume Lateinamerikas – Vom Feuerland bis in die Karibik. In: Österreichisches Lateinamerika-Institut, Wien, <http://www.lateinamerika-studien.at>
- /8/ Bodo Harenberg (Hrsg.): Harenberg Kompaktlexikon in 5 Bänden. Dortmund: Harenberg Lexikon Verlag, 1994
- /9/ The World Bank: Environmental Protection and Sustainable Development of the Guarani Aquifer System Project, Project Appraisal Document. In: Washington: 2002
- /10/ Dr. Jorge N. Santa Cruz: El Proyecto Sistema Acuífero Guaraní, Mercosur – Unión también en la geología y el agua subteránea. In: INA; Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, <http://www.ina.gov.ar/internas/guarani.htm>
- /11/ Emanuel Idelkovitch, Klas Ringskog: Wastewater Treatment in Latin America, Old and New Options, ISBN 0-8213-3969-9. Washington: Library of Congress, 1997
- /12/ World Health Organization: Water, Sanitation and Hygiene Links to Health, Facts and Figures – updated March 2004. Geneve: 2004. In: <http://www.who.int>
- /13/ Business News America: Arsenico en agua potable
- /14/ Peter Grombach †, Dr. Klaus Haberer, Dr. Gerhard Merkel, Dr. Ernst U. Trüeb: Handbuch der Wasserversorgungstechnik, 3. Auflage. München, Wien: Oldenburg Industrieverlag, 2000
- /15/ Nicole Kretschmer, Lars Ribbe, Helmut Gaese: Wastewater Reuse for Agricul-

- ture. In: Fachhochschule Köln (Hrsg.): Technology, Resource Management and Development, Vol. 2, Special Issue: Watermanagement. Köln, 2002
- /16/ World Resources Institute (Hrsg.) United Nations Development Programme, the United Nations Environment Programme, and the World Bank: World Resources 2000-2001: People and ecosystems: The fraying web of life. Hampden Station (USA): WRI-Publishing, 2000.
- /17/ Greenpeace Argentina: Soja transgénica: Greenpeace acusó a Monsanto de “chantajear” al Gobierno Argentino con su anuncio de irse del país. Buenos Aires, 2003, In: <http://www.greenpeace.org.ar>
- /18/ Diario ABC: Mi Paraguay. Asunción, 2004. In: <http://www.diarioabc.com.py>
- /19/ Unicef Oficina de Argentina, Ministerio de Salud de la Nación, INDEC: Evolución de la mortalidad infantil durante la década de los noventa en la Argentina, in: Boletín Estadístico del Unicef – Oficina de Argentina / Ministerio de la Salud de la Nación / INDEC, Sept. 2002, 1. Jahr, Nr. 2. Buenos Aires, 2002. In: <http://www.unicef.org/argentina>
- /20/ Dr. Juan C. Bossio, Dr. Serjio J. Arias: Mortalidad infantil en Argentina. In: Archivo argentino pediátrico. Buenos Aires (2000), Aug. 99(6), S. 547 ff
- /21/ United Nations Children’s Fund (UNICEF). Serie Directrices Técnicas sobre Agua, Medio Ambiente y Saneamiento – Nr.: 3, Hacia una mejor programación: Manual sobre Saneamiento. New York, 1999
- /22/ Ministerio de Salud, Secretaria de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias, Subsecretaria de Relaciones Sanitarias e Investigación en Salud, Dirección de Estadísticas e Información de Salud: Defunciones de Menores de cinco años, Indicadores seleccionados, Argentina 2001. Buenos Aires: Juli 2003
- /23/ Dr. Heiner Müller-Mehrbach: Operations Research Methoden und Modelle der Optimalplanung, 3. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen, 1973, 10. Nachdruck 1992
- /24/ Charo Quesada: ¿Quién pagará el agua?. Washington: November 2003. In: BID América
- /25/ CEPIS: Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento 2000 en las Americas, Argentina; Informe Analítico. Lima: 2000. In: <http://www.cepis-oms.org>
- /26/ Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud: Serie Informes Técnicos No. 2, Desigualdades en el acceso, uso y gasto en el agua potable en América Latina y el Caribe, Brasil: Washington, DC: 2001. In: [http://www.cepis-oms.org/agua potable y saneamiento textos completos](http://www.cepis-oms.org/agua%20potable%20y%20saneamiento%20textos%20completos)
- /27/ Brasilien Bevölkerung
- /28/ Julio Mocosó: Uso de Agua Residuales. Lima: 1994. In: Cepis, hojas de divulgación técnica
- /29/ Brigitte Biesinger: Paraguay Sector agua potable y saneamiento –Proyecto

- PLANDES. Asunción: Juli 1998
- /30/ In: www.sg-acuifero.org
- /31/ Franz R. Drees: Output-based aid for small town water supply, early experiences from Paraguay. Washington: 2002
- /32/ Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Serie Informes Técnicos No. 10, Desigualdades en el acceso, uso y gasto en el agua potable en América Latina y el Caribe, Paraguay: Washington, DC: 2001. In: [http://www.cepis-oms.org/agua potable y saneamiento textos completos](http://www.cepis-oms.org/agua_potable_y_saneamiento_textos_completos)
- /33/ Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, División de Salud y Ambiente, Gobierno de la República Oriental del Uruguay: Análisis sectorial de Agua Potable y Saneamiento Uruguay. Lima: 2001. In: [http://www.cepis-oms.org/agua potable y saneamiento textos completos](http://www.cepis-oms.org/agua_potable_y_saneamiento_textos_completos)
- /34/ Rachel Ayres, Duncan, WGO (Hrsg.): Analysis of Wastewater for Use in Agruculture - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. Genf: 1996
- /35/ SODIS (Hrsg.), EAWAG: SODIS – Technical Note # 9. In: www.sodis.ch
- /36/ SODIS (Hrsg.), EAWAG: SODIS – In 6 Stunden Trinkwasser. In: www.sodis.ch
- /37/ Organización Panamericana de la Salud, Agencia Española de Cooperación Internacional, Unión Mundial para la naturaleza, Fundación de Costa Rica: Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento. 1997.
- /38/ Dr. Wolfgang Wagner (Hrsg.): Abwassertechnik und Gewässerschutz. Heidelberg: C.F. Müller Verlag, Verlagsgruppe Hüthig, Jehle, Rehm, 2001
- /39/ Fundación (FAO): AQUASTAT - Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO, Argentina. In: <http://www.fao.org>, 2000
- /40/ (FAO): AQUASTAT – FAO’s Information System on Water and Agriculture, Brazil. In: <http://www.fao.org>, 2000
- /41/ Fundación (FAO): AQUASTAT - Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO, Paraguay. In: <http://www.fao.org>, 2000
- /42/ Fundación (FAO): AQUASTAT - Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO, Uruguay. In: <http://www.fao.org>, 2000
- /43/ Ana Domínguez, Amigos de la Tierra, Uruguay sustentable (Hrsg.): La gestion sustentable del agua en Uruguay. Montevideo: 2001.
- /44/ Brigitte Biesinger: Paraguay Sector agua potable y saneamiento –Proyecto PLANDES, Informe final para el „Programa Visión Estratégica“. Asunción: Juli 1998
- /45/ Herr Haertl, persönliche Mitteilung, 1999
- /46/ Eduardo Barbeito Anzorena: Estudio General del Caso, Campo Espejo del Aglomerado Gran Mendoza, República de Argentina. Organización

- Panamerican del Salud, 2001
- /47/ Philippe Conil: La tecnología anaeróbica U.A.S.B. en el tratamiento de las aguas residuales domésticas: 10 años de desarrollo y maduración en América Latina. Cali. In: <http://www.bio-tec.net>
- /48/ Enrique V. Iglesias: Una lección desde Isla Trinitaria. Washington: März 2004. In: BID América
- /49/ Jana Schlick, Christine Werner: „ecosan – Einführung der Kreislaufwirtschaft im Abwassermanagement – ein neues überregionales Projekt der GTZ“/Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn. Eschborn: 2002
- /50/ UNEP/GPA (Hrsg.), UNESCO/IHE (Hrsg.): Improving Municipal Wastewater Management in Coastal Cities. Den Haag: 2004
- /51/ Gabriela Moeller Ch, Violeta Escalante E.: Las lagunas de estabilización: Tecnología apropiada o tecnología de punta para el tratamiento de aguas residuales? La experiencia mexicana. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental
- /52/ J. Jedlitschka, Prof. Dr.-Ing. H. Orth: Abwasser I – Abwasserableitung, Druck-, Unterdruck- und Absetzentwässerung/Bauhaus-Universität, Weiterbildendes Studium Bauingenieurwesen, Wasser und Umwelt, Weimar. Weimar: 2002
- /53/ Klaus Dieter Neder, Pery Nazareth: Condominial Sewerage Systems for the Federal District of Brazil. CAESB - Water and Sewerage Company of Brasília, 1998
- /54/ Dirección General de Saneamiento Básico (DIGESBA): Reglamento Nacional 688 Reglamentos técnicos de diseño para sistemas de alcantarillado, Reglamento técnico de diseño para proyecto de cámaras de inspección. La Paz: Talleres Gráficos de Génesis Publicidad e Impresión, 2001
- /55/ Alexander Bakaian, Albert Wright, Richard Otis, José de Azevedo Netto: Simplified Sewerage: Design Guidelines/UNDP-World Bank Water & Sanitation Program. Washington: 1994
- /56/ Gabrielle Watson: Good Sewers Cheap? Agency-Customer Interactions in Low-Cost Urban Sanitation in Brazil/The World Bank Water and Sanitation Division. Washington: 1995
- /57/ Duncan Mara, Andrew Sleight, Kevin Tayler: PC-based Simplified Sewer Design. 2000
- /58/ UNICEF: Small Bore Sewerage System Monitoring, Komandoo, Shaviyani Atoll, 25. – 26. Juni 2001
- /59/ Environmental Protection Agency (EPA): Folleto informativo de sistemas descentralizados - Alcantarillado por gravedad de diámetro reducido. Washington: 2000
- /60/ R. Schluff: Design and construction of the vacuum sewerage system/Sewerage

- System technology in upheaval University Stuttgart, report regarding the settlement water economy, Volume 140
- /61/ Daniel Wendler, Karl-Heinz Rosenwinkel: Einflüsse von Küchenabfallzerkleinern auf Kanalisation, Abwasserreinigung und anaerobe Schlammbehandlung. Korrespondenz Abwasser: Ausgabe 5, 2003
- /62/ Gernod Dilewski, ATV-DVWK (Hrsg.): Entwicklung von Deponiestandards – Auswertung und Erfahrungen aus Entwicklungs- und Schwellenländern. Internationales Forum, 23./24. Januar 2003
- /63/ Wolz: Controlling in der Abwasserwirtschaft/Bauhaus-Universität, Weiterbildendes Studium Bauingenieurwesen, Wasser und Umwelt, Weimar. Weimar: WS 2001/2002
- /64/ Ursula .J. Blumenthal, D. Duncan Mara, Anne Peasy, Guillermo Ruíz-Palacios, Rebeca Scott: Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. World Health Organisation (Hrsg.), Bulletin of the World Health Organization, 78(9), S. 1104 ff: 2000
- /65/ Philippe Conil: El aprovechamiento del biogas de las lagunas de Palma: Perfil del proyecto “Palmeiras” en Tumaco (Colombia). In: <http://www.bio-tec.net>
- /66/ ATV: Grundsätze für die Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichen für kommunales Abwasser, Arbeitsblatt A-201, 2. Auflage. Bad Hennef: 1989
- /67/ Duncan Mara: Design Manual for Waste Stabilization Ponds in India. Leeds: Lagoon Technology International Ltd., 1997
- /68/ Duncan Mara, Howard Pearson, John Orangui, Helen Arridge, Salomão A. Silva: Development of a new approach to waste stabilisation pond design. Leeds: University of Leeds, 2001
- /69/ Volker Schmid-Schmieder: Teichkläranlagen. In: Dr. Wolfgang Wagner (Hrsg.): Abwassertechnik und Gewässerschutz. Heidelberg: C.F. Müller Verlag, 2003
- /70/ Lothar Schanne: Technologien zur Abwasserdesinfektion. In: Dr. Wolfgang Wagner (Hrsg.): Abwassertechnik und Gewässerschutz. Heidelberg: C.F. Müller Verlag, 2003
- /71/ Dr. D. Borchard, F. Mendadj: Empfehlungen für die Errichtung und den Betrieb von belüfteten Teichkläranlagen. Kassel: Institut für Gewässerforschung und Gewässerschutz, Universität, Gesamthochschule Kassel, 2001
- /72/ Shilton, Harrison: Guidelines for the Design of Waste Stabilisation Ponds. Massey: Massey University, 2002
- /73/ S.J. Arceivala, J.S.S. Lakshminarayana, S.R. Alagarsamy, C.A. Sastry: Waste Stabilisation Ponds, Design Construction and Operation in India. Nagpur: Central Public Health Engineering Research Institute, 1970
- /74/ K. Dialer, U. Onken, K. Leschonski: Grundzüge der Verfahrenstechnik und

- Reaktionstechnik. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1986
- /75/ W. K. (Tim) Journey, Scott McNiven: Anaerobic Enhanced Treatment of Wastewater and Options for Further Treatment. Washington: ACDI/VOCA, 1996
- /76/ Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti: Integrated Application of the UASB Reactor and Ponds for Domestic Sewage Treatment in Tropical Regions. Promotionsschrift, Wageningen Universiteit: 2003
- /77/ Philippe Conil: El aprovechamiento del Biogas de las lagunas de Palma – perfil del proyecto “Palmeiras” en Tumaco (Colombia). Cali: 1999
- /78/ Philippe Conil: A wastewater treatment plant as a tool for rural development: The case of the Solola plant in the highlands of Guatemala. Cali: ohne Datum
- /79/ Miguel Ricardo Peña Varon: Advanced primary treatment of domestic wastewater in tropical countries: Development of high rate anaerobic ponds. Promotionsschrift University of Leeds, School of Civil Engineering: 2003

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Subtropischer MERCOSUR	11
Abbildung 4-1 Wassernutzung /40//41//42//43/	16
Abbildung 4-2 Landwirtschaftliche Ausbeute (links), Nährstoffgehalt im Boden (rechts)/16/ 22	
Abbildung 4-3 „Brennpunkte“, Nährstoffmangel im Boden und abnehmende landwirtschaftliche Ausbeute/16/	22
Abbildung 4-4 Landwirtschaftlich genutzte Fläche und künstlich bewässerte Fläche (*nur südliche Bundesstaaten)/39//40//41//42/	23
Abbildung 4-5 Landwirtschaftliche Bewässerung (*für Brasilien keine Angaben)/39//40//41//42/	23
Abbildung 6-1 Erdstraße im Osten Paraguays (links) und Nordwesten Argentinien (rechts) bei guten Straßenbedingungen und Erdstraße in Argentinien nach Regenereignis 37	
Abbildung 9-1 Solare Desinfektion auf Haushaltesebene /36/	45
Abbildung 9-2 Langsamsandfilter auf Haushaltesebene /37/	45
Abbildung 10-1 Vergleich konventioneller Entwässerung (links außen) und vereinfachter Entwässerung (mitte) mit Leitungsführung im Vorgarten, im Garten und Bürgersteig. Beispiel eines vereinfachten SW-Systems /53/	49
Abbildung 10-2 Inspektions- und Reinigungs-T, Fabrikat Tigre	49
Abbildung 10-3 SELIN, Hausanschlußstücke für kleine und größere SW-Sammler ...	50
Abbildung 10-4 Küchenabfallzerkleinerer	59
Abbildung 11-1 Stoffwechselbeziehung zwischen Algen und Mikroorganismen in sekundären fakultativ aeroben Klärteichen (/67/, S. 23)	63
Abbildung 11-2 Stoffwechselbeziehung zwischen Algen und Mikroorganismen in primären fakultativ aeroben Klärteichen (/67/, S. 24)	64
Abbildung 11-3 Dreifache Wirkung des Sonnenlichts für den Keimabbau in Klärteichen (/67/, S. 26)	65
Abbildung 11-4 Oberflächenbelastung für aerobe Klärteiche für verschiedene Städte	66
Abbildung 11-5 Abwasserreinigung und –speicherung, Anaerobteich (A), fakultativ aerober Teich (F), SW-Langzeitspeicherung und –behandlung (WSTR) (/67/, S. 82).	68
Abbildung 11-6 Prozentsatz freien NH_3 bei verschiedenen pH-Werten und Temperaturen in $^{\circ}\text{C}$ (/67/, S. 93)	69
Abbildung 11-7 Unterschiedliche Wirksamkeit von Leitwänden auf den Keimabbau, KBE 100 ml^{-1} /72/	71

Abbildung 11-8 „Unsichtbare“ Leitwand /72/	71
Abbildung 11-9 Wirksamkeit kurzer Leitwände auf die Reinigungsleistung /72/.....	72
Abbildung 11-10 Möglichkeit der Erweiterung von Teichkläranlagen /67/	72
Abbildung 11-11 Abgedeckte anaerobe Teiche in einem Palmöl-Betrieb /77/	75
Abbildung 11-12 UASB-Reaktor, konventionelle (links) und verbesserte Phasentrennung (rechts) /76/	76
Abbildung 11-13 Wirksamkeit der verbesserten Phasentrennung für α 45°, 60° und verschiedene Plattenabstände e. Asymptote: Abscheiderhöhe H [m]. Koordiante: Relation kritischer Sinkgeschwindigkeit s_s'/s_s /76/	77
Abbildung 11-14 Umsetzung der CSB in UASB-Reaktor nach hydraulischer Aufenthaltsdauer (links) und Schlammalter (rechts) mit verbessertem (durchgezogene Linie) und konventionellem Abscheider (gestrichelte Linie) /76/	78
Abbildung 11-15 Hybrid-UASB-Reaktor /75/	79
Abbildung 11-16 UASB-Reaktoren, San Juan (Argentinien) (oben links), Vivero, Cali (Kolumbien) Q = 45 l/s (oben rechts), in Erdbauweise (unten)	80
Abbildung 12-1 „Dual-fuel“ Dieselmotor in einem Palmöl-Betrieb /77/	84
Abbildung 14-1 Sandabscheider und Klärteich für ca. 30.000 EW	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.7-1 Situation der städtischen Abwasserbeseitigung im MERCOSUR (/6/, ergänzt um kürzlich abgeschlossene Projekte).....	25
Tabelle 4.7-2 Situation der ländlichen Abwasserbeseitigung im MERCOSUR (/6/, ergänzt um kürzlich abgeschlossene Projekte).....	25
Tabelle 5.1-1 Aufgaben der Wasserwirtschaft im MERCOSUR.....	28
Tabelle 5.4-1 Ertrag an Bohnen bei Düngung mit geklärtem Abwasser /28/	32
Tabelle 5.4-2 WHO Wasserqualität zur Bewässerung /34/.....	33
Tabelle 9.1-1 Technische Möglichkeiten der Wasserversorgung /34/	43
Tabelle 9.2-1 Temperatur für vollständige Keimzerstörung /35/.....	44
Tabelle 9.3-1 Vergleich verschiedener dezentraler Versorgungskonzepte	47
Tabelle 10.5-1 Einflüsse der KAZ-Anwendung auf die Abwasser- und Schlammbehandlung bei einem 100-prozentigen KAZ-Verbreitungsgrad /61/	57
Tabelle 10.5-2 Energiebilanz KAZ, ARA mit Nitrifikation und Denitrifikation.....	57
Tabelle 10.5-3 Energiebilanz KAZ, ARA mit UASB und Klärlagunen.....	58
Tabelle 11.2-1 Planungsparameter für zulässige BSB5-Volumenbelastung und BSB5-Abbau in anaeroben Teichen (/67/, S. 34).....	65
Tabelle 11.2-2 Spezifischer Flächenbedarf für Grundreinigung.....	68
Tabelle 11.2-3 Spezifischer Flächenbedarf für uneingeschränkte Bewässerung	68
Tabelle 12.1-1 Energieverbrauchsstellen bei UASB-Reaktoren.....	82