

**"Förderung der Anaerobtechnologie zur
Behandlung kommunaler und industrieller
Abwässer und Abfälle"**

**Zusammenfassung
wichtiger Ergebnisse**

**für
Deutsche Gesellschaft für Technische
Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
OE 44**

Frankfurt, Dezember 1998

**TBW naturgerechte Technologien,
Bau- und Wirtschaftsberatung GmbH
Baumweg 10
D-60316 Frankfurt am Main**

Tel (49-69) 94 35 07-0
Fax (49-69) 94 35 07-11
Email tbw@pop-frankfurt.com

Vorwort

Seit die Cholera sich nach mehr als einem Jahrhundert in ganz Lateinamerika festgesetzt hat, werden Hygienefragen und der Abwasser- und Abfallbehandlung eine größere Priorität eingeräumt. Über 1,5 Millionen Krankheitsfälle und ca. 15.000 Tote in den 90er Jahren sind eine tragische Antwort auf verschmutzte Gewässer und eine über Jahre vernachlässigte Entsorgungsinfrastruktur. Wirtschaftliche Verluste werden auf das 50-100fache der im gleichen Zeitraum für die Abwasserbehandlung investierten Summe geschätzt. In Lateinamerika werden von weniger als 25% der Bevölkerung Abwässer überhaupt gesammelt. Von den gesammelten Abwässern werden wiederum etwa 5% in irgendeiner Form behandelt. Darüber hinaus werden bspw. in Mexiko nur 5% der existierenden Behandlungsanlagen als "befriedigend funktionierend" eingestuft; 95% der Anlagen sind also mehr oder weniger defizitär oder völlig defekt. Weniger als 0,1% der menschlichen Fäkalien Lateinamerikas werden demnach adäquat in Kläranlagen behandelt (QUELLE: WELTBANK 1997).

Allein für Lateinamerika werden daher die jährlich notwendigen Investitionsbedarfe für die Wasserversorgung und die Verbesserung der Abwasserqualität auf 12 Mrd. US\$ jährlich geschätzt, davon 7 Mrd. US\$ für den Abwasserteil.¹

Anaerobe Verfahren zersetzen organische Substanzen unter Luftabschluß, es entstehen Wasser, Nährstoffe und brennbares Gas.

Die Anaeroben Technologien werden in Entwicklungs- und Industrieländern zunehmend für die kommunale, industrielle und landwirtschaftliche Abwasser- und Abfallbehandlung genutzt und dabei in Gewässerschutz- und Energieprogramme, in den Sanitärbereich sowie in Aktivitäten zur Verminderung von Treibhausgasen integriert.

Es werden hochtechnisierte Anlagen für die städtische Abwasser- und Abfallbehandlung gebaut, gleichzeitig gibt es kostengünstige Systeme zur Verbesserung des Stoffkreislaufs im ländlichen Raum. Wartungsarme modulare Einheiten mit großer Kapazität für verschiedenste Substrate finden sich neben dezentralen Kleinstreaktoren mit vollautomatisierter Steuerung.

Für Industrien und Industrieparks, im Tourismus- und Krankenhausesektor, in Stadtrandgebieten, Ballungsräumen sowie für Massentierhaltung und Großmärkte kann sie ein Baustein eines ressourcenschonenden Querschnittskonzepts im Rahmen unterschiedlichen Sektor-, Umwelt-, und Regionalprogramme für eine nachhaltige Entwicklung sein.

Der vorliegende Ergebnisbericht will in Anbetracht knapper werdender Ressourcen zu einigen Anwendungsgebieten die Informationsgrundlage verbessern, um Entscheidungsträgern eine eigene und situationsgerechte Diskussion und Bewertung zu ermöglichen:

Im Mittelpunkt stehen gegenwärtige und künftige Potentiale anaerober Verfahren für die kostengünstige und umweltschonende Behandlung von wachsenden Abwasser- und Abfallmengen und ihre Wiederverwendung als Energie, zur Bodenverbesserung und Bewässerung.

Die vielfältigen Wirkungen und Einsatzbereiche der Technologie verlangen eine sektorübergreifende Zusammenarbeit bspw. zwischen den Bereichen (Ab)Wasser, Abfall, Energie, Stadtentwicklung und Umweltschutz.

"Zur Förderung der Anaerobtechnologie im Abwasser- und Abfallsektor" hat das Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit ein Sektorvorhabens mit gleichem Namen in Auftrag gegeben. Aufgrund

¹ 4,4 Mrd. US\$ für die Verbesserung der Kanalisation, je 1,2 Mrd. US\$ für Bau und Rehabilitierung von Kläranlagen.

zunächst nur spärlich vorliegender Informationen sollte zunächst der Status-Quo in Entwicklungs- und Industrieländern erhoben werden.

Trotz einer breiten Palette von Informationen aus verschiedenen Ländern gibt es noch nicht zu allen Themen gesicherte Informationen. Abschließende Antworten sind in Anbetracht der dynamischen Entwicklung in diesem Segment des Umwelt- und Biotechnologiemarktes ohnehin kaum denkbar und auch nicht wünschenswert.

Der vorliegende Bericht faßt wichtige Ergebnisse des Projekts, vor allem zum Wissensstand über Anwendung, Einsatzmöglichkeiten und -grenzen anaerober Technologien sowie Empfehlungen der Projektpartner aus Asien und Lateinamerika zusammen.

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: PRINZIPIELLER UNTERSCHIED ZWISCHEN INTENSIVEN ANAEROB- UND AEROBVERFAHREN.....	10
ABBILDUNG 2: SPEZIFISCHE ABWASSERMENGE UND -FRACHT IN ABHÄNGIGKEIT DER KLÄRANLAGENAUSBAUGRÖßE; QUELLE: ANLAGENDATENBANK; PUNKTE UND DURCHGEZOGENE LINIE = $l/E \bullet D$; OFFENE MARKER UND GESTRICHELTE LINIE = $G \text{ CSB}/E \bullet D$	43
ABBILDUNG 3: ABHÄNGIGKEIT DER CSB-REINIGUNGSLEISTUNG VON DER TEMPERATUR	44
ABBILDUNG 4: AMORTISATIONSZEIT (PAYBACK TIME) FÜR VERSTROMUNGSANLAGE BEI AEROBER ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGE IN ABHÄNGIGKEIT DES EINSPEISERLÖSES (FEEDING PROFIT) FÜR VERSCHIEDENE ANTEILE DER EIGENVERSORGUNG MIT STROM	48
ABBILDUNG 5: AMORTISATIONSZEIT (PAYBACK TIME) FÜR VERSTROMUNGSANLAGE BEI ANAEROBER ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGE IN ABHÄNGIGKEIT DES EINSPEISERLÖSES (FEEDING PROFIT) - QUASI UNABHÄNGIG VOM ANTEIL DER EIGENVERSORGUNG	48
ABBILDUNG 6: ELEKTRISCHE ENERGIEBILANZ WICHTIGER VERFAHREN ZUR REINIGUNG KOMMUNALER ABWÄSSER IN $kWh_{El}/kg \text{ BSB}_5 \text{ ABGEBAUT}$	49
ABBILDUNG 7: FLÄCHENBEDARF OPTIMALER ABWASSERREINIGUNGSVERFAHREN.....	54
ABBILDUNG 8: ANTEILE VERSCHIEDENER BRANCHEN AN INDUSTRIELLEN ANAEROBANLAGEN ZUR ABWASSERREINIGUNG IN BRASILIEN UND MEXIKO; QUELLE: ANLAGENDATENBANK DES SEKTORVORHABENS	71
ABBILDUNG 9: METHAN AUSBEUTE DIVERSER ABWÄSSER ($m^3/kg \text{ CSB}_{ABGEBAUT}$).....	73
ABBILDUNG 10: STREUUNG SPEZIFISCHER <i>INVESTITIONSKOSTEN</i> (US\$/T CSB UND TAG) DER INDUSTRIELLEN ABWASSERREINIGUNG IN EL; QUELLE: ANLAGENDATENBANK; OHNE LANDERWERBSKOSTEN, VERSCHIEDENE INDUSTRIEZWEIGE, VERSCHIEDENE ANAEROBVERFAHREN	77
ABBILDUNG 11: STREUUNG SPEZIFISCHE <i>BETRIEBSKOSTEN</i> (US\$/T CSB UND TAG) DER INDUSTRIELLEN ABWASSERREINIGUNG IN EL; QUELLE: ANLAGENDATENBANK; VERSCHIEDENE INDUSTRIEZWEIGE, VERSCHIEDENE ANAEROBVERFAHREN	78
ABBILDUNG 12: EIGNUNG ORGANISCHER ABFÄLLE FÜR DIE VERGÄRUNG ODER DIE KOMPOSTIERUNG	80
ABBILDUNG 13: SPEZIFISCHE BEHANDLUNGSKOSTEN DER ABFALLVERGÄRUNG (BASIEREND AUF INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTEN FÜR MÄRKTE IN INDUSTRIELÄNDERN SOWIE FOLGENDEN BASISWERTEN: KALKULATIONSZINSSATZ 5%, KOMPOSTERLÖS 0 DM/T, EINSPEISERVERGÜTUNG 0,147 DM/kWh).....	86
ABBILDUNG 14: SPEZIFISCHE BEHANDLUNGSKOSTEN DER ABFALLVERGÄRUNG (BASISSZENARIO I).....	88
ABBILDUNG 15: IDENTIFIZIERTE ANAEROBANLAGEN FÜR VERSCHIEDENE SUBSTRATE WELTWEIT	95
ABBILDUNG 16: LINKS: ANZAHL ANLAGEN MIT EINEM REAKTORVOLUMEN ÜBER $50 m^3$ RECHTS: DURCHSCHNITTS DURCHFLUSSGRÖßE (m^3/d) KOMMUNALER ANAEROBANLAGEN IN AUSGEWÄHLTEN EL.....	99
ABBILDUNG 17: ANAEROB BEHANDELTE SCHMUTZFRACHT AUS INDUSTRIEABWÄSSERN (TONNEN CSB/LAND $\bullet D$)	100
ABBILDUNG 18: DARSTELLUNG DER WICHTIGSTEN REAKTORTYPEN IN VERSCHIEDENEN LÄNDERN	101
ABBILDUNG 19: ANAEROB BEHANDELTE ABFALLMENGEN WELTWEIT (INKL. CO-FERMENTATION MIT GÜLLE) IN m^3/d ..	103
ABBILDUNG 20: URBANISIERUNGSTREND IN BRASILIEN UND DER WELT; QUELLE: LÄNDERBERICHT BRASILIEN, 1996..	106
ABBILDUNG 21: ENTWICKLUNG DES EINSATZES ANAEROBER VERFAHREN FÜR INDUSTRIELLE UND KOMMUNALE ABWÄSSER WELTWEIT, KOMMUNALE ANLAGEN ÜBER $50 m^3$ REAKTORVOLUMEN	118
ABBILDUNG 22: GESAMTVOLUMEN DER ANAEROBREAKTOREN ZUR KOMMUNALEN ABWASSERREINIGUNG	119
ABBILDUNG 23: AKTUELLER STAND VON ANAEROBANLAGEN ZUR BEHANDLUNG ORGANISCHER ABFÄLLE INKL. CO- FERMENTATIONSANLAGEN (1997)	119

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ÜBERSICHT ÜBER WICHTIGE VERFAHREN UND IHRE ZUORDNUNG.....	12
TABELLE 2: GESAMTREAKTORVOLUMEN DER DOKUMENTIERTEN ANLAGEN ZUR ANAEROBEN REINIGUNG KOMMUNALER ABWÄSSER *; QUELLE: ANLAGENDATENBANK, PARTNERANGABEN.....	14
TABELLE 3: HÄUFIGE VOR- UND NACHTEILE VON ANAEROBVERFAHREN	26
TABELLE 4: PRAXISRELEVANTE EINSAZTOPTIMA, OBER- UND UNTERGRENZEN ANAEROBE ABWASSERBEHANDLUNG	28
TABELLE 5: PRAXISRELEVANTE EINSAZTOPTIMA, OBER- UND UNTERGRENZEN ANAEROBE ABFALLBEHANDLUNG	29
TABELLE 6: BEWERTUNGSKRITERIEN KOMMUNALE ABWÄSSER	32
TABELLE 7: BEWERTUNGSKRITERIEN INDUSTRIELLE ABWÄSSER.....	33
TABELLE 8: BEWERTUNGSKRITERIEN FESTE ABFÄLLE.....	35
TABELLE 9: SYSTEMVERGLEICH IM ÜBERBLICK	37
TABELLE 10: GEGENÜBERSTELLUNG DER WESENTLICHEN UNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEM AEROBEN UND DEM ANAEROBEN ABBAUPROZESS; QUELLE: STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS BD. I, 1998.	41
TABELLE 11: TYPISCHE MENGEN UND CHARAKTERISTIKA KOMMUNALER ABWÄSSER AM BEISPIEL VON FÜNF PRAXISANLAGEN UND MITTELWERTE; QUELLE: MONITORINGBERICHTE UND ANLAGENDATENBANK	42
TABELLE 12: BEISPIELHAFTHE WERTE FÜR UASB-SYSTEME IM VERGLEICH ZU REFERENZVERFAHREN	45
TABELLE 13: STROMBEDARF VERSCHIEDENER BEHANDLUNGSVERFAHREN IN EL (KWH/KG BSB ₅ ABGEBAUT); QUELLE: STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS, 1998	46
TABELLE 14: FAUSTZAHLEN FÜR METHAN- UND ENERGIEPRODUKTION BEI DER ANAEROBEN ABWASSERBEHANDLUNG ..	46
TABELLE 15: EMISSIONSVERHALTEN VON UASB + NACHREINIGUNGSTEICHEN, FAKULTATIVTEICHEN UND BELEBTSCHLAMMVERFAHREN BEI KOMMUNALER ABWASSERREINIGUNG; QUELLE: STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS BD. 2, 1998.....	50
TABELLE 16: BEISPIELE FÜR ANGEWANDTE NACHBEHANDLUNGSVERFAHREN; QUELLE: MONITORINGBERICHTE D. SEKTORVORHABENS.....	56
TABELLE 17: EINFLUSSPARAMETER FÜR DIE BEHANDLUNGSDAUER UND RESULTIERENDE DIMENSIONIERUNG VON ANAEROBANLAGEN.....	56
TABELLE 18: MINDESTANFORDERUNGEN AN DIE ABLAUFKONZENTRATIONEN BZW. ABBAULEISTUNGEN IN DER KOMMUNALEN ABWASSERBEHANDLUNG INNERHALB DER EU; (NACH PORT UND TEUBER, 1991)	59
TABELLE 19: PROBENAHME IM VERGLEICH VERSCHIEDENER KOMMUNALABWASSERANLAGEN; QUELLE: MONITORINGBERICHTE DES SEKTORVORHABENS, 1997.....	61
TABELLE 20: GESICHTSPUNKTE UND PARAMETER FÜR DIE BETRIEBSKONTROLLE KOMMUNALER ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN MIT ANAEROBER REINIGUNGSSTUFE	61
TABELLE 21: DYNAMISCHER KOSTENVERGLEICH VON DREI ABWASSERREINIGUNGSMETHODEN OHNE VERSTROMUNG ..	69
TABELLE 22: DYNAMISCHER KOSTENVERGLEICH VON DREI ABWASSERREINIGUNGSMETHODEN MIT VERSTROMUNG UND UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER ERLÖSE FÜR STROMEINSPEISUNG (IN 1.000 US\$)	69
TABELLE 23: INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTEN VERSCHIEDENER UASB-ANLAGEN ZUR KOMMUNALABWASSERREINIGUNG; QUELLE: ANLAGENDATENBANK DES SEKTORVORHABENS.....	70
TABELLE 24: EMPFINDLICHKEIT DER WICHTIGSTEN ANAEROBEN VERFAHREN GEGENÜBER SCHWEBSTOFFEN	72
TABELLE 25: BEISPIELRECHNUNG EINER ENERGIEBILANZ FÜR DIE ABWASSERREINIGUNG EINER ZUCKERINDUSTRIE; QUELLE: STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS BD. 1, 1998.....	74
TABELLE 26: BEISPIELE FÜR IN ABFALLVERGÄRUNGSANLAGEN BEVORZUGT BEHANDELTE SUBSTRATE; QUELLE: STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS BD. 3, 1998	79
TABELLE 27: RICHTWERTE DER TÄGLICHEN GAS-AUSBEUTE VERSCHIEDENER GÄRMATERIALIEN (CH ₄ -GEHALT=65%); QUELLE: BERECHNET NACH „KOFERMENTATION“, E. KUHN, KTBL, 1996. SIEHE AUCH STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS BD. 3, 1998.....	81
TABELLE 28: ENERGIEBILANZ VERSCHIEDENER ABFALLBEHANDLUNGSVERFAHREN FÜR ORGANISCHEN ABFALL; QUELLE: STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS BD. 3, 1998	81

TABELLE 29: MÖGLICHE VERGLEICHSWERTE DER KLIMAWIRKUNG VERSCHIEDENER ABFALLBEHANDLUNGSVERFAHREN (T CO ₂ -ÄQUIVALENT/JAHR)	82
TABELLE 30: VERGLEICH DER ERZEUGTEN KOMPOSTMENGEN VON KOMBINIERTEN ANAEROB/AEROBEN VERFAHREN UND REINER KOMPOSTIERUNG (IN % VON FRISCHABFALL, 35% TS, KOMPOST MIT 70% TS)	82
TABELLE 31: PLATZBEDARF FÜR AEROBE, ANAEROBE UND KOMBINIERT ANAEROB/AEROBE ABFALLBEHANDLUNGSANLAGEN QUELLE: STATUSBERICHT DES SEKTORVORHABENS BD. 3, 1998	83
TABELLE 32: ANWENDUNGSVERGLEICH DER ANAEROBTECHNOLOGIE IN DEN DREI SEKTOREN KOMMUNALE ABWÄSSER, INDUSTRIELLE ABWÄSSER UND ORGANISCHE ABFÄLLE	95
TABELLE 33: ÜBERSICHT ÜBLICHER BETRIEBS-, BEMESSUNGS- UND LEISTUNGSDATEN VON UASB MIT NACHREINIGUNGSTEICHEN; QUELLE: ANLAGENDATENBANK DES SEKTORVORHABENS; VAN HAANDEL UND LETTINGA, 1994.	96
TABELLE 34: GROBE ANAEROBE REAKTOREN ZUR KOMMUNALEN ABWASSERREINIGUNG; QUELLE: ANLAGENDATENBANK UND VERSCHIEDENER ANLAGENBERICHTE DES SEKTORVORHABENS	98
TABELLE 35: DIE WICHTIGSTEN EINSATZGEBIETE DER ANAEROBTECHNOLOGIE BEI INDUSTRIELLEN ABWÄSSERN; QUELLE: ANLAGENDATENBANK UND VERSCHIEDENE BERICHTE DES SEKTORVORHABENS.	100
TABELLE 36: EINSATZ DER ANAEROBTECHNOLOGIE NACH ENTWICKLUNGSLÄNDERN.....	104
TABELLE 37: SPEZIFISCHE MÄNGEL ANAEROBER ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGEN, DEREN URSACHEN UND FOLGEN	105
TABELLE 38: AKTUELLER SACHSTAND DER BIOGASNUTZUNG BEI ANAEROBEN VERFAHREN	110

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
ACODAL	Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
AT	Anaerobtechnologie
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen
BSB ₅ abgebaut	entfernter BSB ₅
CENICAFE	Centro Nacional de Investigaciones de Café "Pedro Uribe Mejía"
CENIPALMA	Centro de Investigación en Palma de Aceite
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSB _{abgebaut}	entfernter (i.d.R. größtenteils biologisch abgebauter) CSB
d	Tag
DM	Deutsche Mark
E	Einwohner
EG	Einwohnergleichwert (<i>engl.: population equivalent p.e.</i>)
EGSB	Expanded Granular Sludge Bed (<i>Schlammbedreaktor</i>)
EL	Entwicklungsländer
EZ	Entwicklungszusammenarbeit
FB	Fixed Bed (<i>Festbedreaktor</i>)
FC	Coliforme Fäkalien (<i>engl.: Fecal Coliforms</i>)
FZ	Finanzielle Zusammenarbeit
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn
h	Stunde
HRT	Hydraulic Retention Time (<i>hydraulische Verweilzeit</i>)
HUSB	Hydrolysis Upflow Sludge Blanket
i.d.R.	in der Regel
IC	Internal Circulation
IDB	Interamerican Development Bank
IL	Industrieländer
ISAT	Information and Advisory Service on Appropriate Technology
ISV	Schlammindex
k.A.	keine Angaben verfügbar
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg	Kilogramm
VI	

kWh	Kilowattstunde
kWh _{el}	Kilowattstunde elektrisch (elektrische Energie)
kWh _{therm}	Kilowattstunde thermisch (thermische Energie)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
ℓ	Liter
m ³	1000 ℓ
mg	Milligramm
mol	mol (Molekulargewicht)
mmol	Millimol
MWh	Megawattstunde (=1.000 kWh)
N	Stickstoff
N _{kj}	Kjeldahl-Stickstoff. Gesamtstickstoff ohne Nitrit und Nitrat.
N _{tot}	Gesamtstickstoff. Setzt sich zusammen aus organischem Stickstoff, Ammonium, Nitrit und Nitrat.
Nm ³	Normkubikmeter Gas (Normbedingungen: 20 °C, 1013 mbar)
oTS	Organische Trockensubstanz
P	Phosphor
PAK	Polyzyklische aromatisierte Kohlenwasserstoffe
ppm	parts per million
RALF	Reactor Anaerobio de Flujo Pistón
RAP	Reactor Anaerobio de Pistón
SRT	Sludge Retention Time (<i>Schlammverweilzeit</i>)
SS	Suspended Solids (<i>Suspendierter Feststoff</i>)
t	Tonne
T	Temperatur
TBW	naturgerechte Technologien, Bau- und Wirtschaftsberatung GmbH, Frankfurt/Main
THP	Treibhauspotential
TMR	Totally Mixed Reaktor (<i>volldurchmischter Reaktor</i>)
TOC	Total Organic Carbon (<i>Gesamte organische Kohlenstoffe</i>)
TS	Trockensubstanz
TSS	Total Suspended Solids (<i>Schwebstoffe</i>)
TZ	Technische Zusammenarbeit
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (<i>aufwärtsdurchströmter Schlammbettreaktor</i>)
VSS	Volatile Suspended Solids (<i>flüchtige Schwebstoffe</i>)
V _{up}	Aufwärtsgerichtete Strömungsgeschwindigkeit
WB	Weltbank (<i>engl. World Bank</i>)
Y	Ertragskoeffizient für den Schlamm (<i>yield</i>)

Inhaltsverzeichnis

1 EINFÜHRUNG	3
1.1 ZIELE UND VERLAUF DES PROJEKTS	6
1.2 VERWENDBARKEIT VORLIEGENDER DATEN	8
1.3 ANAEROBE UND AEROBE BEHANDLUNGSVERFAHREN	9
1.4 REFERENZSYSTEME.....	12
1.5 DIE EINSATZFELDER DER ANAEROBTECHNOLOGIE.....	13
1.6 LEISTUNGSMERKMALE UND RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DEN EINSATZ ANAEROBER VERFAHREN	16
1.7 ÖKONOMISCHE BEWERTUNG UND MARKTPOTENTIALE DER ANAEROBTECHNOLOGIE.....	20
1.8 DIE SITUATION IN EINZELNEN LÄNDERN	21
1.9 KRITERIEN	26
1.9.1 Vor- und Nachteile von Anaerobverfahren	26
1.9.2 Einsatzoptima und Einsatzgrenzen Anaerober Verfahren.....	26
1.9.3 Bewertungskriterien für Anaerobe Verfahren	30
1.10 EMPFEHLUNGEN DER PARTNER AUS DEN ENTWICKLUNGS- UND SCHWELLENLÄNDERN.....	38
1.11 SCHLUßFOLGERUNGEN	40
2 EINSETZBARKEIT DER ANAEROBTECHNOLOGIE IM ABWASSER- UND ABFALLSEKTOR.....	41
2.1 BIOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER ANAEROBTECHNOLOGIE	41
2.2 KOMMUNALE ABWÄSSER.....	42
2.2.1 Anfall und Beschaffenheit kommunaler Abwässer	42
2.2.2 Energieaspekte	45
2.2.3 Klimarelevanz.....	50
2.2.4 Schlammanfall und -nutzung	51
2.2.5 Flächenbedarf	52
2.2.6 Nachbarschaftsprobleme	57
2.2.7 Hygienewirkungen.....	57
2.2.8 Eliminierung von Nährstoffen	58
2.2.9 Nutzung des gereinigten Abwassers	58
2.2.10 Wartung und Betrieb	59
2.2.11 Kosten.....	63
2.2.12 Ergebnisse des Anlagenvergleichs	68
2.3 INDUSTRIEABWÄSSER.....	71
2.3.1 Beschaffenheit industrieller Abwässer	71
2.3.2 Energieaspekte	73
2.3.3 Klimarelevanz.....	74
2.3.4 Schlammanfall und -nutzung	74
2.3.5 Flächenbedarf und Standortfragen	75
2.3.6 Nachbarschaftsprobleme	76
2.3.7 Nährstoffeliminierung.....	76
2.3.8 Wartung und Betrieb	76
2.3.9 Kosten.....	76
2.4 ORGANISCHE ABFÄLLE	78
2.4.1 Besonderheiten der Anaerobtechnologie.....	78
2.4.2 Substratanforderungen.....	79
2.4.3 Energieaspekte	80
2.4.4 Klimarelevanz.....	82
2.4.5 Nährstoffeliminierung.....	82

2.4.6 Einsatz und Vermarktung organischer Reststoffe.....	82
2.4.7 Überschußwasser	83
2.4.8 Flächenbedarf und Standortfragen	83
2.4.9 Ökonomische Einsatzgrenzen.....	84
3 AKTUELLE ANWENDUNG DER ANAEROBTECHNOLOGIE.....	93
3.1 AUSGANGSBEDINGUNGEN IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN	93
3.2 EINSATZGEBIETE DER ANAEROBTECHNOLOGIE	94
3.2.1 Überblick.....	94
3.2.2 Kommunale Abwässer	96
3.2.3 Industrielle Abwässer	99
3.2.4 Abfall	102
3.2.5 Schlammbehandlung	103
3.2.6 Anwendungsschwerpunkte in verschiedenen Entwicklungsländern	103
3.3 PROBLEMFELDER BEIM EINSATZ VON ANAEROBTECHNOLOGIEN IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN	104
3.4 RELEVANTE EINFLUßFAKTOREN	105
3.4.1 Naturräumliche Parameter.....	105
3.4.2 Landverfügbarkeit, Urbanisierung	106
3.4.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen.....	107
3.4.4 Energetische Aspekte.....	109
3.4.5 Klimaaspekte	110
3.4.6 Finanzierungsaspekte	110
3.4.7 Konzepte zur Förderung der Anaerobtechnologie	112
3.4.8 Soziale Aspekte und wissenschaftlich-technische Kompetenz	113
3.4.9 Institutionelle Rahmenbedingungen und Netzwerke.....	115
3.4.10 Zentralisierungsgrad der Behandlung.....	117
4 AUSBLICK.....	118
4.1 EINSATZPOTENTIAL DER ANAEROBTECHNOLOGIE	118
4.2 WIRTSCHAFTLICHES POTENTIAL DER AT	120
5 ANHANG.....	121
5.1 GLOSSAR.....	121
5.2 ORGANISATIONEN UND PARTNER	126
5.2.1 Lateinamerika.....	126
5.2.2 Asien	127
5.2.3 Afrika.....	127
5.3 AUSBILDUNGSINSTITUTIONEN	128
5.4 FINANZIERUNGSINSTITUTIONEN	129
5.5 NETZWERKE.....	129
5.6 IM RAHMEN DER ANAEROBTECHNOLOGIE WICHTIGE NETZWERKE UND ORGANISATIONEN.....	130
5.7 QUELLEN.....	134
5.8 PROJEKTLITERATUR	137
5.8.1 Statusbericht.....	137
5.8.2 Länderberichte	137
5.8.3 Reiseberichte	138
5.8.4 Vorträge und Aufsätze	138
5.8.5 Anlagenberichte.....	139
5.8.6 Anlagendokumentation.....	139
5.8.7 Institutionen und Rahmenbedingungen.....	139

Teil A

Stand der Anaerobtechnologie im Abwasser- und Abfallsektor Wichtige Ergebnisse im Überblick

1 Einführung

Der Ressourcenschutz stellt eine zentrale Aufgabe auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung dar. Damit gewinnen sowohl die Vermeidung als auch die Behandlung und Wiederverwertung von Abwässern und Abfällen eine Schlüsselfunktion für die Sicherung der Lebens- und Produktionsgrundlagen im nächsten Jahrtausend. Sich verändernde Konsumgewohnheiten treffen mit einer defizitären oder gar nicht vorhandenen Entsorgungsinfrastruktur zusammen.

Die fortschreitende Belastung und Kontamination der Wasserressourcen durch eine unkontrollierte Entsorgung von Abwässern und organischen Abfällen gefährdet in vielen Entwicklungsländern die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser und die Ökologie. Außerdem wird die produktive Nutzung aquatischer Ökosysteme und dadurch auch die wirtschaftliche Entwicklung beeinträchtigt, soweit sie von der Verfügbarkeit qualitativ hochwertigen Brauchwassers abhängen. Unzureichende hygienische Verhältnisse lassen die Lebensqualität sinken, erhöhen die Krankheitsanfälligkeit der Bevölkerung und führen unweigerlich zu weiteren sozialen Folgekosten. In Entwicklungs- und Schwellenländern sind diese Tendenzen besonders dramatisch.

Selbst bei einer zunächst gewünschten Reduzierung und Wiederverwertung von Abwasser und Abfall müssen die nicht vermiedenen Mengen behandelt werden. Grundsätzlich steht dafür ein breites Spektrum erprobter Technologien zur Verfügung, die jedoch für den Einsatz in subtropischen und tropischen Entwicklungsländern einer Optimierung bedürfen. Gefragt sind kostengünstige und angepaßte Systeme mittlerer und großer Kapazität² für den Einsatz in Entwicklungsländern. Wegen der klimatischen Rahmenbedingungen können anaerobe Verfahren dort von besonderem Interesse sein, aber bisher fehlte eine systematische Bewertung der Leistungsfähigkeit der Anaerobtechnologie.

Die Anaerobtechnologie ist eine der ältesten Technologien zur Behandlung von organischen Reststoffen. Nahezu alle Abwässer, Schlämme und festen Abfälle, die biologisch abbaubare organische Stoffe enthalten, können anaerob behandelt werden. Bewährte Einsatzgebiete sind die Schlammbehandlung, die in größeren Klärwerken in Industrieländern standardmäßig erfolgt, seit längerem auch die Industrieabwasserbehandlung, und die Güllebehandlung in der Landwirtschaft. In jüngerer Zeit werden anaerobe Verfahren zunehmend auch im Kommunalabwasserbereich und der Abfallbehandlung eingesetzt. Zahlreiche landwirtschaftlich orientierte Programme zur Behandlung von tierischen und menschlichen Exkrementen und zur Bereitstellung von Energie und Dünger wurden in der Vergangenheit auch von der Technischen Zusammenarbeit durchgeführt, ebenso wurden bspw. zwei größere Anlagen zur Kommunalen Abwasserbehandlung von der Finanziellen Zusammenarbeit unterstützt.

² Selbstverständlich werden auch kleine Anlagen benötigt, sind jedoch nicht Inhalt dieses Berichts. Die Untergrenze für mittelgroße Systeme wurde in diesem Projekt bei 1.500 Einwohnern bzw. einer äquivalenten Belastung (1.500 Einwohnergleichwerte) gezogen.

Neben den traditionell eingesetzten aeroben Verfahren haben sich zunehmend anaerobe Systeme³ als attraktive Behandlungsmöglichkeiten erwiesen.

Obwohl gerne als die zentrale Frage diskutiert, spielt bspw. im Kommunalabwasserbereich bei Investitionsentscheidungen für anaerobe und anaerob/aerobe Systeme der Energie- und Klimaaspekt der Technologie eher eine untergeordnete Rolle. Im Mittelpunkt stehen häufig die einfachere Verfahrenstechnik und attraktive Behandlungskosten, besonders dort, wo sich aufgrund von höheren Temperaturen gerade in Entwicklungsländern eine eigene Prozeßtechnik etabliert hat. Neben dem geringen Flächenbedarf ist die geringe Schlammproduktion anaerober Anlagen ein wichtiger Punkt. Die Weltbank schätzt, daß die Schlämme (etwa 1% des Gesamtabwassers) für 50% der Kosten bestehender Abwasseranlagen und für 90% der Probleme des Routinebetriebs verantwortlich sind.⁴

Praxisbeispiele und Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen "Anaeroben Technologien" in Entwicklungsländern waren zu Beginn des Vorhabens jedoch noch wenig bekannt. Selbst bewährte Verfahrenskombinationen werden zögerlich genutzt, der Einsatz erfolgt aufgrund mangelnden Know-hows zudem oft unsachgemäß. Ein großer Teil noch vorhandener Defizite wäre bei sachgerechtem und den lokalen Bedingungen angepaßtem Einsatz vermeidbar.

Aus diesen Gründen hat das Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH mit einer Untersuchung der Situation im Rahmen des Sektorvorhabens "Förderung der Anaerobtechnologie zur Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer und Abfälle" für eine 2-jährige Laufzeit beauftragt. Die damals zuständige GTZ-Abteilung 414 - Wasser, Abfallwirtschaft und Ressourcenschutz⁵ - beauftragte die Beratungsfirma TBW GmbH in Frankfurt mit der Durchführung des Vorhabens (36 Fachmonate), die Abteilung 4020 (ISAT) mit der Informationsverbreitung, -aufbereitung und -verwaltung. Das Vorhaben basiert auf Leitlinien des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Zusammenarbeit, wie in den Grundsatzpapieren für Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft des BMZ festgelegt.

Eine regelmäßig tagende Beratergruppe aus verschiedenen Fach- und Länderabteilungen der GTZ, Mitarbeitern der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und des BMZ, ein interdisziplinäres Team unter Einbindung der Universitäten Wageningen (Niederlande), Hannover (Deutschland) und Louvain-la-Neuve (Belgien) und ein Netz von Institutionen und Einzelexperten in den untersuchten Ländern unterstützte die Arbeit. Zur Intensivierung des Erfahrungsaustauschs wurden zudem Regionalseminare in Kolumbien, Vietnam und Brasilien veranstaltet, um die zusammengetragenen Informationen auf Plausibilität und Verlässlichkeit zu prüfen und Fragen der betrieblichen Praxis beim Einsatz der Anaerobtechnologie zu erörtern. Dies diente auch dem Erfahrungsaustausch zwischen den Experten der einzelnen Länder und der Diskussion und Fortentwicklung von jeweils aktuellen Ergebnissen des Vorhabens. Erkenntnisse sollen in Folgeprojekten für verschiedene Entscheidungsträger, Einsatzbereiche und -regionen anwendungsorientiert aufbereitet, zur Verfügung gestellt und möglichst in die Praxis umgesetzt werden.

Neben dem Stand der Technologie in Industrieländern wurden als regionale Schwerpunkte in Lateinamerika insbesondere Brasilien, Kolumbien und später auch Mexiko gewählt. Entwicklungen im asiatischen Raum (insbesondere Indien, China und Thailand) und Afrika (Marokko) wurden, soweit zugänglich, in der Schlußphase des Projektes berücksichtigt.

Existierenden Technologien standen nicht im Mittelpunkt, vielmehr konzentrieren sich Vorhaben und Bericht auf die Anaerobtechnologie. Zur Standortbestimmung der bei sachgemäßer Anwendung erzielbaren

³ Der anaerobe Abbau verlangt den Ausschluß von Sauerstoff, der aerobe Abbau das Vorhandensein bzw. die Zuführung von Sauerstoff.

⁴ Weltbank 1997, S. 62: "5-10% der organischen Kohlestoffverbindungen werden bei anaeroben Verfahren in Biomasse verwandelt, bei aeroben Verfahren sind es 50%.

⁵ Heute: Abteilung 44 - Umweltmanagement, Wasser, Energie, Transport

Wirkungen der Anaerobtechnologie mußten für ausgewählte anaerobe und aerobe Anlagentypen Modellannahmen für funktionierende Anlagen vergleichbarer Größe und Leistung getroffen werden. Diese werden als Bezugspunkte der gesammelten empirischen Informationen und Daten verwendet. Selbst verallgemeinernde Aussagen müssen dabei notgedrungen die jeweiligen speziellen Rahmenbedingungen und Besonderheiten ausblenden und sich auf einen Ausschnitt beziehen.

Die Fülle und Vielfalt von Informationen über Verfahren und Substrate bei jeweils unterschiedlichen Anlagengrößen, Standorten und Rahmenbedingungen und die Berücksichtigung von gegensätzlichen Praxiserfahrungen sind ein Spiegel des aktuell vorgefundenen Wissensstandes - trotz und wegen vielfältiger Widersprüche und verbleibender Informationslücken.

Für verallgemeinerbare, auf verschiedene Rahmenbedingungen direkt übertragbare und belastbare Bemessungsparameter zu Wirtschaftlichkeit und Leistung bedarf es jedoch noch längerfristiger und umfassender Vor-Ort-Analysen von Einzelanlagen, die u.a. für Folgeprojekte geplant sind.⁶ Angaben zu Zuflußmengen, zur Gaserfassung und -nutzung, zur Schlammbehandlung, zum Energieverbrauch, zur Nachbehandlung sowie wirtschaftliche und organisatorische Daten sind nur lückenhaft vorhanden. Bereits vorhandene Daten lassen sich, wegen der nicht hinreichend dokumentierten Rahmenbedingungen, nur abgeschwächt auf Anlagen unter anderen Bedingungen übertragen. Die Auswertung der unter unterschiedlichen Ausgangsbedingungen gewonnenen Informationen erhebt daher als Momentaufnahme eines dynamischen Prozesses keinen wissenschaftlichen Anspruch.

Auf ausführliche Beschreibungen der einzelnen Technologien, von Ländern und Anlagenbeispielen, ihrer jeweiligen Wirkungen und Kosten mußte in diesem Bericht auch um der Lesbarkeit willen verzichtet werden. Detailbeschreibungen liegen als länder-, themen-, technologie- und situationsspezifische Status- und Einzelberichte sowie als Datenbanken und Bilddokumentationen vor. Fortschritts- und Seminarberichte der Veranstaltungen mit den Partnern und Sitzungsprotokolle der begleitenden Beratergruppe dokumentieren darüber hinaus Entwicklung und Ablauf des Projekts. Eine Auflistung weiterführender Lektüre findet sich im Anhang.

Der vorliegende Bericht über Leistungen und Einsatzgrenzen der Anaerobtechnologie ist an politisch und fachlich orientierte Leser adressiert. Aus diesem Grund beginnt der Bericht mit einer eigenständigen zusammenfassenden Bewertung (Teil A) als Übersicht für den Informationsbedarf eher politisch orientierter Entscheidungsträger. Sie enthält eine Übersicht der wichtigsten Fakten über den Stand der Technologie, relevante Trends, Vor- und Nachteile, Beurteilungskriterien und Empfehlungen, welche in Zusammenarbeit mit den Partnern des Projektes in Lateinamerika, Asien und Afrika erarbeitet wurden. Soweit bereits möglich, werden Ergebnisse zusammengefaßt und bewertet. Teil B erläutert als Überblick für Entscheidungsträger aus dem Entsorgungssektor und verwandten Fachgebieten ausführlicher die Leistungspotentiale, Wirkungen und Anwendungsprobleme der Anaerobtechnologie für kommunale und industrielle Abwässer und Abfälle.⁷

Allen Partnern wie auch dem Auftraggeber sei an dieser Stelle nochmals für ihre engagierte Mitarbeit gedankt, die das Zustandekommen der vorliegenden Ergebnisse erst ermöglicht haben.

⁶ Selbst zur Verfügung gestellte Dokumente von nationalen und internationalen Finanzierungsinstitutionen (Weltbank, IDB, KfW) sind noch auf ungesicherte Umrechnungen von Datensätze unterschiedlicher Herkunft angewiesen.

⁷ Wichtige verwendete Fachbegriffe und Verfahren werden im Glossar erläutert, auf das aus Gründen der Lesbarkeit im Text des Berichts nicht jeweils verwiesen wird.

1.1 Ziele und Verlauf des Projekts

Als Projektziel wurde vereinbart:

‘Anwendungsmöglichkeiten der Anaerobtechnologie zur Reinigung bzw. Aufbereitung kommunaler und industrieller Abwässer und Abfälle erarbeitet’

Dabei waren zwei zentrale Fragen zu verfolgen:

- ➔ **Unter welchen Bedingungen ist der Einsatz anaerober Verfahren (bzw. anaerob/aerober Verfahrenskombinationen) sinnvoll?**
- ➔ **Welche speziellen Voraussetzungen lassen eine erfolgreiche Implementierung anaerober Verfahren erwarten?**

Zur Klärung dieser Fragen wurden technische Informationen und Daten erhoben und die Institutionenlandschaft im Bereich der Anaerobtechnologie analysiert. Wichtige Daten wurden in thematisch gegliederten Datenbanken (Dokumentation von Anaerobanlagen, Institutionen und Literatur) und Berichten (zum Stand der Technik in den Sektoren industrielle Abwässer, kommunale Abwässer und organische Abfälle sowie zum Einsatz in 16 Entwicklungsländern (EL)) erfaßt. Die zusammengetragenen Informationen dienen als Basis für die Entwicklung von Bewertungskriterien zu Anwendungsgrenzen und -optima der Anaerobtechnologie. Entscheidungsträger können diese als Leitlinien benutzen, um bei Implementierungsvorhaben schon im Frühstadium abzuschätzen, ob der Einsatz der Anaerobtechnologie sinnvoll sein könnte.

Das Hauptgewicht des Vorhabens lag zunächst auf der Identifikation und Kontaktaufnahme zu möglichen Partnern und der Sammlung von Daten und Informationen über bestehende Technologien, Institutionen und Anlagen, die im weiteren Verlauf des Vorhabens zusammengefaßt und ausgewertet wurden. Die Sammlung berücksichtigte den Stand der Technik und ihre möglichen Leistungen, häufige Defizite und die bisherige Verbreitung der Anaerobtechnologie in EL. Zur Erarbeitung dieser Informationen wurde ein Netz von Experten in Europa und den Partnerländern aufgebaut.

Anfänglich gesammelte Informationen konzentrierten sich vorwiegend auf Technologien für industrielle Abwässer und den Abfallsektor in westlichen Industrienationen. In diesen Ländern werden verschiedene anaerobe Verfahren in der Agroindustrie zur Abwasserbehandlung, im kommunalen Sektor bei der Schlammfäulung von Belebtschlammanlagen und zunehmend in der Abfallbehandlung eingesetzt. Dazu kommen landwirtschaftliche Anwendungen und Co-Fermentationsanlagen.⁸

Der großtechnische Einsatz für die anaerobe kommunale Rohabwasserbehandlung (Abwasser und Schlamm) ist relativ jung und derzeit noch beschränkt auf warme Klimazonen - überwiegend Schwellen- und Entwicklungsländer. Der Einsatz für die Industrieabwasserbehandlung findet in EL v.a. großtechnisch statt. Schlammfäulung⁹ für Schlämme aus künstlich belüfteten Verfahren und die Vergärung fester Abfälle werden hier bisher kaum eingesetzt.

Gut dokumentierte Anlagenbeispiele und Erfahrungsberichte sind jedoch nur selten verfügbar, viele Informationen sind nur im Rahmen persönlicher Kontakte zugänglich. Die Dokumente, die im Projektverlauf erstellt wurden, geben erstmalig in derartiger Dichte und länderübergreifend eine Übersicht über wichtige technische und nicht-technische Aspekte der Anaerobtechnologie.

⁸ Der vorliegende Bericht verzichtet auf eine Erläuterung einzelner Technologien, diese finden sich in den Statusberichten des Sektorvorhabens.

⁹ Kurze Prozeßbeschreibungen finden sich im Glossar.

- **Statusberichte** geben einen Überblick über Rahmenbedingungen und Umweltwirkungen sowie Wirtschaftlichkeit, Energie- und Klimaaspekte der Anaerobtechnologie (Band I), über technische Varianten und Lösungen für die kommunalen und industrielle anaerobe Abwasserbehandlung (Band II) und über bisher vor allem in Europa angewandte Technologien zur anaeroben Abfallbehandlung (Band III).
- Die **Länderberichte** beschreiben die Gesamtsituation in den 16 Partnerländern des Vorhabens detailliert und länderspezifisch, so daß lokale Potentiale und Fördermöglichkeiten, Details zum Anlagenbetrieb, aber auch Hindernisse ersichtlich sind. In der Auswertung konnten - trotz gewaltiger Unterschiede zwischen und in den einzelnen Ländern - auch wichtige Gemeinsamkeiten herausgearbeitet werden, die, teilweise unabhängig von lokalen Bedingungen, zu Problemen beim Technologieeinsatz führen. Beispiele sind die unzureichende Anlagenwartung, begrenzt verfügbares Know-How sowie widrige strukturelle Bedingungen wie fehlende Einspeisevergütungen für erzeugten Strom, die die Wirtschaftlichkeit von Verstromungsaggregaten stark beeinträchtigen. Ausführliche Berichte liegen aus Brasilien, Kolumbien, Equador, Mexiko, Bolivien und Jamaika sowie aus Indien, China und Thailand vor.
- Die **Institutionenlandschaft** wurde beispielhaft in drei Ländern (Bolivien, Equador, Kolumbien) intensiver untersucht, mit dem Ziel über die Aktivitäten und Wirkungsbereiche von Institutionen zu informieren, die sich mit der Anaerobtechnologie beschäftigen oder in Zukunft verstärkt in diesem Bereich aktiv werden wollen. Deutlich wurde zum einen die geringe Zahl von Ausbildungs- und Finanzierungsinstitutionen, die mit der Anaerobtechnologie vertraut sind, zum anderen die große Heterogenität der Aufgaben der in einzelnen Ländern involvierten und aktiven Organisationen. Ohne eine treibende institutionelle Kraft, ohne ein Mindestmaß an Kooperation zwischen Institutionen verschiedener Sektoren und ohne die Existenz und Kontrolle vernünftiger gesetzlicher Regelungen werden anaerobe Verfahren nur selten adäquat genutzt. Organisatorische Zusammenschlüsse mit Lobbycharakter in oder außerhalb bestehender Organisationen wie Fachverbände, Netzwerke oder Fachausschüsse sind ein weiterer entscheidender Faktor.
- **Bilddokumentationen** einzelner Beispiele mit tabellarischen Datenblättern zur Illustration wichtiger Anlagen und der zugehörigen Leistungsangaben wurden in fünf Ländern (Bolivien, Brasilien, Equador, Kolumbien, Mexiko) erstellt.
- Ausführlichere **Monitoringberichte** von weiteren fünf Anlagen in Kolumbien (Río Frío in Bucaramanga; Vivero Municipal in Cali), Brasilien (Pedregal; Jesus Neto) und Peru (UNITRAR in Lima) wurden angefertigt, wobei jedoch zu großen Teilen auf Sekundärdaten bereits gemessener Parameter zurückgegriffen werden mußte.
- Ergebnisse wurden in drei **Datenbanken** zusammengefaßt: eine Datenbank zu Anaerobanlagen erlaubt einen Überblick und erste Auswertungen des Spektrums von 400 existenten Anlagen, die Institutionendatenbank erfaßt im Projektverlauf identifizierte wichtige Institutionen und Ansprechpartner. Auch relevante Literatur ist in einer eigenen Datenbank erfaßt. Eine Bibliographie selektiert die wichtigsten Titel, ein Nutzerhandbuch für die Datenbanken gibt Unterstützung bei der Suche nach speziellen Datensätzen.
- Eine **Homepage** erlaubt den direkten Zugriff auf relevante im Rahmen des Projekts erarbeitete Informationen. Fortschritts- und Schlußberichte sowie die Dokumentationen zu Beratergruppentreffen spiegeln die Projektentwicklung und den Projektverlauf wider.
- **Publikationen und Faltblätter** in fünf Sprachen informierten Interessenten frühzeitig über Projektinhalt und Ziele. In Seminarbeiträgen wurde das Projekt dem internationalen Fachpublikum vorgestellt, so in Kolumbien, Japan, Belgien und Chile.
- Ein **Videofilm** über die Anaerobtechnologie und ihre Nutzung zur kommunalen und industriellen Abwasserreinigung in Kolumbien illustriert Praxisbeispiele. Der vorliegende Endbericht will wichtige Informationen einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich machen und vor allem politisch und technisch orientierten Entscheidungsträgern als Orientierungshilfe dienen.

Über eine Dokumentation und Verbesserung des Wissensstandes hinaus wurden Fachkräfte vernetzt, Einzelprobleme gelöst und gleichzeitig verschiedene Aktivitäten im Anaerobsektor unterstützt und angestoßen, bspw.:

- Drei **Regionalseminare** zur Anaerobtechnologie wurden mit den Projektpartnern in Bucaramanga, Kolumbien, Ho-Chi-Minh-City, Vietnam, und Belo Horizonte, Brasilien, organisiert. Die Seminare boten für viele Fachkräfte, lokale Institutionen und Entscheidungsträger erstmals die Möglichkeit des Erfahrungsaustauschs über nationale Grenzen hinweg, so daß das Interesse entsprechend groß war. Die bis dahin erarbeiteten Informationen wurden geprüft, Fragen der betrieblichen Praxis beim Einsatz der Anaerobtechnologie erörtert und eigene Handlungsmöglichkeiten ausgelotet. Im Anschluß wurden gemeinsam mit den Partnern Ergebnisse, Empfehlungen und Handlungsbedarfe für nationale Regierungen sowie für die technische (TZ) und finanzielle Zusammenarbeit (FZ) formuliert.
- **Informationsanfragen** aus Entwicklungs- und Industrieländern (IL) zu verschiedenen Themen beschäftigten das Projekt bei zunehmender Bekanntheit, u.a. zur Rehabilitierung und Planung von Anlagen, zu Fragen der Gasnutzung und zur Gestaltung und Finanzierung von Projekten und Programmen.
- **Finanzierungs-, Kooperations- und Forschungsanträge**, die in Zusammenhang mit dem Vorhaben entstanden sind oder gemeinsam bearbeitet wurden, u.a. von Partnerinstitutionen und an unterschiedliche Adressaten gerichtet, spiegeln ein wachsendes Interesse an der Technologie und eine Intensivierung der Zusammenarbeit wieder.

1.2 Verwendbarkeit vorliegender Daten

Trotz erheblicher Bemühungen, in den verschiedensten Ländern bei unterschiedlichsten Institutionen, Fachleuten und Anlagenbetreibern zugängliche Informationen zu erfassen und auszuwerten, ist tatsächlich nicht immer hinreichend nachprüfbares Datenmaterial verfügbar, um alle Detailfragen eindeutig zu beantworten.

- Gerade interessante Erfahrungen mit der Anaerobtechnologie bei der zentralen Reinigung kommunaler Abwässer sind kaum ausreichend dokumentiert, um als verlässliche Basis für eindeutige Vergleiche und Bewertungen von Leistungsparametern zu genügen.
- Erfahrungen mit industriellen Abwässern sind zumindest in IL häufiger intern dokumentiert, werden jedoch kaum der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht. Eine Übertragung der Ergebnisse auf die Verhältnisse in EL ist zudem nur unter Vorbehalt möglich.
- Die anaerobe Abfallbehandlung, in Europa ein dynamisch wachsendes Technologiesegment, steht für EL noch ganz am Anfang der Entwicklung; Erfahrungswerte sind praktisch nicht verfügbar, so daß die hier verwendeten Daten aus IL als Faustzahlen zu verstehen sind, die bei einem Technologietransfer oder einer Technologieanpassung in Entwicklungs- und Schwellenländern erst verifiziert werden müssen.

Dazu kommt:

- Abgesicherte Informationen zu Behandlungskosten und verlässliche Prozeßdaten aus der Analyse oder dem Monitoring von Praxisanlagen lassen besonders in Entwicklungs- und Schwellenländern nur aufwendig generieren.
- Die Zahl der Primärpublikationen mit Praxisrelevanz ist gering, so daß zwar eine große Informationsfülle, aber nicht in allen Aspekten die angestrebte Informationssicherheit erreicht wurde.
- Im Rahmen der Dokumentationen und der Anlagenuntersuchungen gesammelte Informationen zum Anlagenbetrieb erwiesen sich oft als lückenhaft, da einzelne Parameter bisher in EL nicht erfaßt oder gemessen wurden.

- Eigene Untersuchungen konnten im Rahmen des Projektes nur punktuell in Zusammenarbeit mit den Partnern durchgeführt werden.
- Existierende Datensätze und darin genannte Werte sind oft nicht vergleichbar, weil unterschiedliche Methoden und -programme eingesetzt wurden, die Meßpunkte variieren, Langzeitwerte mit Momentaufnahmen, Designwerte mit Betriebswerten vermischt werden und außerdem die Anlagen im täglichen Betrieb unterschiedlich ausgelastet sind.
- Ähnlich undankbar ist die Sammlung belastbarer Kosten- und Wirtschaftlichkeitsdaten (nicht nur für den Anaerobsektor), die nur im Rahmen erheblich aufwendigerer Fallstudien befriedigende und vergleichbare Datensätze hervorbringen kann.
- Widersprüche zwischen den Informationsquellen, unterschiedliche Ausgangsbedingungen und Interessenlagen sowie Streuung und Einmaligkeit der einzelnen Situationen und Rahmenbedingungen erfordern Modellannahmen, um Trendaussagen zu ermöglichen.
- Die Vergleichbarkeit wird erschwert durch unterschiedliche Maßstäbe und Einheiten für die Erfassung und Wiedergabe von Daten. Diese können oft ohne Verfälschung und Informationsverlust nicht umgerechnet werden.¹⁰

Der nachfolgende Überblick ist daher eine Synopse von im Projekt gesammelten Erfahrungen, Datensätzen und Berichten und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Er enthält subjektive Gewichtungen und Bewertungen von Informationen, ihrer Repräsentativität und Belastbarkeit und ist daher als Trendaussage zu werten.

Unabhängig von der eingesetzten Technologie findet bei den wenigsten Anlagen regelmäßige Wartung und Instandsetzung statt. U.a. bei steigendem Technik- und Betriebsaufwand, ist die Zahl der nicht funktionierenden oder nur partiell funktionierenden Reinigungsanlagen betrüblich (für Belebtschlammanlagen läßt sich bspw. ein Anteil an nicht oder nur partiell funktionierenden Anlagen in EL von deutlich über 70% annehmen¹¹), so daß Leistungswerte sowohl von anaeroben wie von Vergleichsverfahren oft idealtypische Potentiale der Technologie beinhalten, die die eigentliche Abwasserpraxis in einer Vielzahl von Ländern nicht vollständig abbildet. Dazu kommt, daß nur die wenigsten Anlagenbetreiber eine offene Informationspolitik über den Betrieb zulassen.

Einzelne Umweltwirkungen, bspw. Methanemissionen im Klimabereich, lassen sich zum Teil errechnen, wurden jedoch - als Neuland in der Diskussion - bisher kaum einer empirischen Überprüfung unterzogen.

1.3 Anaerobe und Aerobe Behandlungsverfahren

Der aerobe Abbau organischer Substanzen verlangt das Vorhandensein bzw. die Zuführung von Sauerstoff, der anaerobe Abbau den Ausschluß von Sauerstoff. Alle biologischen Behandlungsmethoden nutzen entweder aerobe oder anaerobe Bakterien, um die organische Substanz im Abwasser oder Abfall abzubauen.

Aerobe Verfahren zur Behandlung von Abwässern, am bekanntesten sind Belebtschlammanlagen, zeichnen sich durch eine vorangehende Abtrennung¹² sowie eine Behandlung des Schlammes und eine künstliche Be-

¹⁰ Beispiel BSB₅ - CSB: Eine Konsistenz in der Verwendung der Parameter für Beurteilungen wäre wünschenswert gewesen (d.h. BSB₅ für Kommunalabwässer, CSB für industrielle Abwässer); da Daten aber nicht einheitlich vorlagen und keine direkte Relation besteht, mußte für Berechnungen und Bewertungen auf die ursprünglichen Werte zurückgegriffen werden, um die Fehlerbreite nicht zu erhöhen.

¹¹ Mündliche Informationen aus KfW und Weltbank gehen von weniger als 20% voll funktionsfähigen Belebtschlammanlagen in Entwicklungsländern aus. Eine Reihe von Anlagen wird zudem zur Kosten- und Energieersparnis abgeschaltet. Eine Studie der Weltbank beziffert die Zahl aller nicht voll funktionierenden Abwasseranlagen in Mexiko sogar auf ca. 95 %.

¹² In Absetzbecken.

lüftung des verbleibenden Abwassers aus. Wesentliche Vorteile des Belebtschlammverfahrens liegen in seiner Effizienz, dem geringen Platzbedarf, sowie in bereits vorhandenem Know-How und Erfahrungen. Nachteilig sind der hohe Energiebedarf, die hohe Schlammproduktion und der Technisierungsgrad. Diese spiegeln sich in relativ hohen Investitions- und Betriebskosten wider.

Anaerobe Verfahren unterscheiden sich durch die erste biologische Behandlungsstufe, die anaerob betrieben wird und Abwasser und Schlamm, also das Rohabwasser, zumeist gemeinsam behandelt. Mit weniger Prozeßstufen, geringem Mechanisierungsgrad niedriger Schlammproduktion und geringem Energieverbrauch gelten sie als kostengünstig, wenn geeignete Temperaturen und das nötige Know-How vorhanden sind. Während der Schlamm im Prozeß bereits gut stabilisiert wird, verlangt der in anaeroben Stufen erreichbare Abwasserreinigungsgrad zumeist eine aerobe Nachbehandlung des Abwassers.

Teichsysteme bestehen i.d.R. aus einer Folge von sowohl anaeroben, fakultativen wie auch aeroben Teichen. Aerobe Teiche werden zudem gerne zur Nachreinigung und Schönung eingesetzt. Sie gelten als eher wartungsarm, unkompliziert und benötigen aufgrund des geringen Mechanisierungsgrads kaum Prozeßenergie (es sei denn sie werden mechanisch belüftet oder beschickt), so daß meist sehr geringe Betriebs- und auch niedrige Investitionskosten entstehen. Teichverfahren sind in EL, zumindest bei kleineren und mittleren Anwendungen, die am häufigsten anzutreffenden Behandlungsverfahren. Sie sind jedoch geringer belastbar, geruchsintensiv, haben einen hohen Flächenbedarf und emittieren erhebliche Mengen an klimaschädlichen Gasen.

Anaerobe und aerobe Verfahren ergänzen sich idealerweise bei der Abwasserbehandlung. Tatsächlich handelt es sich sowohl bei den anaeroben als auch aeroben Verfahren¹³ zumeist um Kombinationsverfahren. Schematisch werden die idealtypischen Konstellationen aerober wie auch anaerober Verfahren in Abbildung 1 dargestellt.

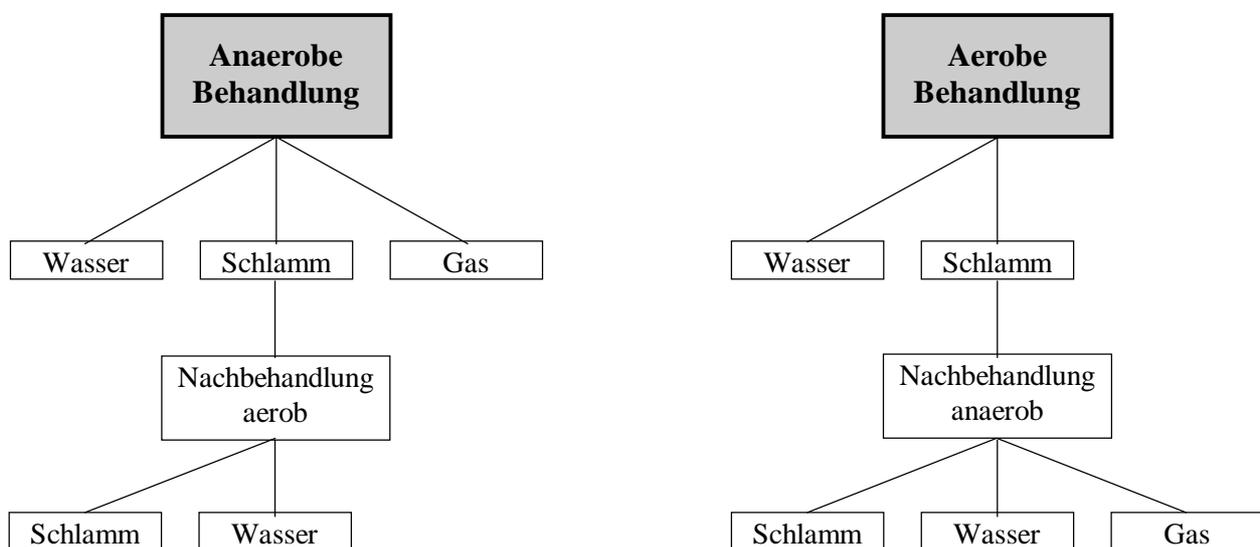


Abbildung 1: Prinzipieller Unterschied zwischen intensiven Anaerob- und Aerobverfahren¹³

Diese Idealtypen sind in der Praxis in EL jedoch eher die Ausnahme: Anaerobverfahren werden auch ohne Nachbehandlung als kostengünstige und dezentral einsetzbare Variante implementiert, dann jedoch mit be-

Merke:

¹³ Anaerob-aerobe Verfahrenskombinationen werden auch mit aerober Nachbehandlung des gereinigten Abwassers im folgenden der Einfachheit halber als "Anaerobe Verfahren" oder "Anaerobe Technologien" bezeichnet, aerobe Belebungsverfahren mit anaerober Schlammbehandlung (aerob-anaerobe Verfahren) verkürzt als "Aerobe Verfahren".

scheideneren Leistungen zugunsten größerer Behandlungsmengen. Aerobe Verfahren werden in EL zumeist ohne anaerobe Schlammbehandlung eingesetzt. Beiden Verfahren gemeinsam ist der geringe Nutzungsgrad des entstehenden Gas.

Auch im Abfallsektor beinhalten "Anaerobe Verfahren" zumeist eine anaerobe Vergärung mit anschließender aerober Kompostierung, diese Verfahren können jedoch auch einzeln eingesetzt werden.

Bei den "Anaeroben Verfahren" bzw. "Aeroben Verfahren" konnte eine große Zahl von Systemen nicht berücksichtigt werden, u.a. die folgenden:

Anaerobe Septic und Imhoff Tanks wurden trotz ihrer großen Verbreitung unter den einfacheren Verfahren und weil es sich zumeist um kleinere Systeme ohne Gassammlung und -nutzung handelt, im nachfolgenden Text nicht unter dem Begriff „anaerobe Verfahren“ angesprochen, außer wenn ausdrücklich erwähnt. Bei diesen Verfahren handelt es sich um seit Jahren dezentral genutzte Systeme mit geringer Reinigungsleistung, die vor allem das Absetzverhalten für die Abtrennung des Schlammes zur Verbesserung der Abwasserqualität nutzen.

Ähnliches gilt für traditionelle, überwiegend Anaerobe Teiche, die im Folgenden meist nicht unter „Anaeroben Verfahren“ subsumiert sind. Sie zählen zu den ältesten Reinigungsverfahren und haben einen hohen Platzbedarf. Grundsätzlich sind sie ohne Gassammlung konzipiert und werden wesentlich geringer belastet als Hochleistungsverfahren. Neuerdings werden sie in Einzelfällen mit einer Vorrichtung zur Gassammlung ausgestattet, z. B. durch Abdeckung mittels einer Kunststoffmembran. Durch eine verbesserte (aufwärtsströmende) Substratführung können anaerobe Teiche wesentlich höher belastet werden als bei traditioneller Betriebsweise. Die verbesserten Anaerobteiche werden hier als Anaerobverfahren geführt, traditionelle Anaerobteiche den Teichverfahren zugeordnet.

Anaerobfilter gelten zwar als eines der wichtigsten Hochleistungssysteme zur Behandlung industrieller Abwässer (siehe Statusbericht Band 2), da jedoch ihr Einsatz für kommunale Abwässer auf sehr kleine Anlagen beschränkt ist (die mehr als tausend *Fibrit-Anaerobfilter* in Kolumbien sind on-site Anlagen ohne Gaserfassung), werden sie im weiteren nicht zum Vergleich mit aeroben Systemen herangezogen. Überdies wird für die Konstruktion dieser Reaktoren Asbestzement verwendet, wodurch die Genehmigung in einigen Ländern nicht möglich ist.

Außerhalb der Belebtschlammverfahren wurden unzählige andere aerobe Verfahren wie bspw. Langzeitbelebungs-, Oxidationsgräben, Tropfkörper und Scheibentauchkörper, aber auch künstlich belüftete Teiche im Rahmen des Projektes nicht berücksichtigt, zum Teil weil sie sehr viel seltener eingesetzt werden, nur für kleinere Anwendungen geeignet sind oder einen ähnlichen Kosten-, Technik- und Energieaufwand verursachen wie Belebtschlammverfahren. Neben der Hauptuntergliederung

- aerobe Verfahren,
- anaerobe Verfahren und
- Teichsysteme (aerob und anaerob)

existieren in jeder Kategorie weitere technische Detaillösungen, die aufgrund der projekt- und berichtsinternen Schwerpunktsetzung nicht näher dargestellt werden können.

Nachfolgende Tabelle gibt einen unvollständigen Überblick über relevante in EL verwendeten Verfahren zur Abwasserbehandlung:

Tabelle 1: Übersicht über wichtige Verfahren und ihre Zuordnung¹⁴

Anaerobe Verfahren	Aerobe Verfahren	Anaerobe und/oder Aerobe Verfahren
Wartungsarme Verfahren geringer Effizienz	Wartungsarme Verfahren geringer Effizienz:	Teiche Naturnahe Verfahren
<ul style="list-style-type: none"> • Septic Tank • Imhoff Tank 	<ul style="list-style-type: none"> • Kiesfilter • Kaskaden 	<ul style="list-style-type: none"> • Natürlich belüftete Teiche • Belüftete Teiche • Anaerobteich • Fakultativteich • Nachreinigungsteich
Beispiele für anaerobe Intensiv-/ Hochleistungsverfahren:	Beispiele für aerobe Intensiv-/ Hochleistungsverfahren:	<ul style="list-style-type: none"> • Rieselfelder • Wurzelraumsorgung • Pflanzenklärung
<ul style="list-style-type: none"> • TMR • UASB • HUSB • RALF • RAP 	<ul style="list-style-type: none"> • EGSB • FB • Fließbettreaktor • Anaerobfilter • Verbesserte Anaerobteiche 	<ul style="list-style-type: none"> • Tropfkörper • Scheibentauchkörper • Belüftete Teiche • Belebtschlammverfahren

Auf die verschiedenen Abwasser- und Abfallbehandlungsverfahren, Vor- und Nachbehandlungen, inklusive vielfältiger Varianten anaerober Hochleistungsverfahren, deren Funktionsweise und Kombinationsmöglichkeiten wird im Rahmen des Statusberichts des Sektorvorhabens näher eingegangen.

1.4 Referenzsysteme

Der direkte empirische Vergleich der in diesem Bericht berücksichtigten verschiedenen Behandlungsstufen, -technologien, Anlagengrößen und unterschiedlichen Standorte ist schwierig, auch weil einzelne Technologien unterschiedliche und oft komplementäre Aufgaben in ihrem jeweiligen Einsatzbereich erfüllen.

Um trotz unzähliger unterschiedlicher Praxisbedingungen ein Minimum an Vergleichbarkeit für einzelne Wirkungen der wichtigsten Verfahren möglich zu machen, wurden als Bezugsbasis idealtypisch, und obwohl in der Praxis in dieser Reinform z.T. nur selten anzutreffen, für den Abwasserbereich vorwiegend die folgenden Varianten modellhaft angenommen und diskutiert:

- UASB-Verfahren¹⁵ mit Gasnutzung (und aerober Nachbehandlung) (Variante 1)
- Belebtschlammverfahren mit Schlammfäulung und Gasnutzung (Variante 2)
- Teichsysteme (Variante 3).

Die Varianten werden vor allem unter dem Gesichtspunkt des erreichbaren Reinigungszielwertes betrachtet, die UASB-Variante daher z.T. auch ohne Nachreinigung.

Im Abfallsektor wird auf die biologischen Systeme der Vergärung mit aerober Nachrotte und auf die alleinige Kompostierung eingegangen. Aufgrund der geringen Datendichte über Kosten der biologischen Abfallbehandlung wurde im Rahmen der ökonomischen Betrachtungen für die Kompostierung und Vergärung von

¹⁴ Kurze Verfahrenbeschreibungen siehe Glossar. Abkürzungen: EGSB - Expanded Granular Sludge Bed; FB - Fixed Bed; TMR - Totally Mixed Reactor; UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket; HUSB - Hydrolysis Upflow Sludge Bed; RALF - Reactor Anaerobio de Leito Fluidizado; RAP - Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón.

¹⁵ Upflow Anaerobic Sludge Blanket oder Schlammteich: Das Abwasser wird durch ein bakterielles Schlammteich am Boden des Reaktors geleitet. Eine Dreiphasentrennung separiert Schlamm, Abwasser und Gas (siehe auch Glossar).

ähnlichen Kosten ausgegangen, so daß sich wirtschaftliche Vergleiche auf Vergärungsverfahren mit Kompostierung, Deponien und Verbrennungsanlagen beschränken.

Hauptvergleichskriterien für die Abwasserbehandlung sind Städte mit ca. 50.000 Einwohnern oder vergleichbare Abwassermengen (50.000 Einwohnerequivalente (EG)) sowie die gleiche Abbauleistung der organischen Fracht. Der Parameter BSB₅ - der biologische Sauerstoffbedarf in fünf Tagen - wird überwiegend für Vergleich und Bewertung kommunaler Abwässer verwendet; der CSB - Chemischer Sauerstoffbedarf - für industrielle Abwässer¹⁶. Für Abfälle im Verfahrensvergleich der biologischen Verfahren wurde ein vergleichbarer Rottegrad der organischen Substanz zugrundegelegt.

Vergleichende Aussagen wurden, soweit nicht anders vermerkt, auf Anlagen mittlerer und hoher Kapazität beschränkt. Für den Abwasserbereich gilt dies im Rahmen des Berichts ab einem Reaktorvolumen von 50 m³ bzw. rund 1.500 EG, für den Abfallbereich ab einer Kapazität von etwa 500 t/a.

Für Kommunalabwässer repräsentieren die Varianten 2 und 3 die derzeit in EL am häufigsten eingesetzten Abwassertechnologien, wenn auch oft in modifizierter Form. Dabei stehen an erster Stelle die Teichverfahren, gefolgt von den belüfteten Hochleistungsverfahren, hier insbesondere Belebtschlammverfahren.

Schlammbettverfahren (insbesondere das UASB-System) werden unter den größeren anaeroben Hochleistungsverfahren sowohl zur Reinigung von Kommunalabwässern (rund 75% der dokumentierten Anlagen) wie auch zur Behandlung industrieller Abwässer (rund 60% sind UASB-Systeme) am häufigsten genutzt.

1.5 Die Einsatzfelder der Anaerobtechnologie

Die Anaerobtechnologie stellt ein biologisches Behandlungsverfahren dar, das unter Ausschluß von Sauerstoff organische Verunreinigungen abbaut. Dabei entstehen als wichtigste Abbauprodukte Methan, Kohlendioxid und Wasser. Methan ist als Produkt der anaeroben Behandlung organischer Substrate eine hochwertige regenerative Energiequelle, die in alle gängigen Energieformen konvertiert werden kann. Es ist aber auch ein „Treibhausgas“, so daß im Hinblick auf die ökologische Relevanz anaerober Behandlungsverfahren der Gasnutzung eine hohe Bedeutung zukommt. Zur Bewertung der Technologie ist daher das gesamte System - vom Anfall der zu entsorgenden organischen Substrate über deren Behandlung bis hin zur Verwertung der Produkte und Rückstände des Prozesses - zu untersuchen.

Der Stand der Technik läßt sich für die drei in diesem Projekt zu betrachtenden Einsatzbereiche wie folgt zusammenfassen¹⁷:

Kommunale Abwässer

Noch vor wenigen Jahren galt die Anaerobtechnologie zur Reinigung schwach belasteter Abwässer (kommunale Abwässer) als ungeeignet. Seit einigen Jahren kann eine erhebliche Zunahme des Einsatzes dieser Technologie für Anlagen mittlerer und hoher Kapazitäten in warmen Klimazonen verzeichnet werden. Dies gilt vor allem für Mittel- und Südamerika sowie für Asien. Seit Ende der 80er Jahre wurden ca. 150 Anaerobreaktoren für kommunales Abwasser errichtet oder durch anaerobe Verfahrensstufen erweitert.¹⁸ Die Kapazitäten installierter Anlagen reichen von einigen tausend bis zu mehreren hunderttausend Einwohnern.

¹⁶ Der CSB als einfach meßbare und bilanzierbare Größe wird üblicherweise im Industriesektor verwendet. Der BSB₅ für zahlreiche Berechnungen in Kommunalabwasserbereich. Häufig mußte hier jedoch ebenfalls auf CSB-Werte zurückgegriffen werden, die Abläufe der Nachbehandlung von Industrieanlagen wurden dagegen oft auch als BSB ausgedrückt, weil andere Daten nicht zur Verfügung standen; die beiden Parameter sind ohne die Kenntnis der jeweiligen spezifischen Abwasserdaten nicht ineinander umzurechnen.

¹⁷ Zur Erläuterung der Leistungsmerkmale der Technologie siehe auch Kapitel 1.6.

¹⁸ Kleinstanlagen wie Imhoff Tank oder Septic Tank sind nicht berücksichtigt.

Neben den traditionellen Verfahren wie Septic Tank und Imhoff Tank werden für kleinere Anlagen auch Anaerobfilter eingesetzt. Der UASB-Reaktor kommt besonders für mittlere und größere Anlagen in Betracht und ist in dieser Größenordnung das mit Abstand am meisten genutzte Verfahren (etwa 75% der anaeroben Verfahren in dieser Größenordnung sind UASB-Anlagen¹⁹). Anfängliche Schwierigkeiten mit der Prozeßführung von UASB-Reaktoren sind weitgehend ausgeräumt oder inzwischen beherrschbar.

Anaerobe Verfahren in Kombination mit aerober Nachreinigung stellen eine Alternative mit vergleichbarer Leistung zu konventionellen, belüfteten Intensivverfahren und Teichsystemen dar. Von besonderem Vorteil ist, daß neben der Reinigung des Abwassers gleichzeitig die Schlammstabilisierung erfolgt, so daß eine zusätzliche Schlammfäulung, anders als bei aerober Behandlung, nicht erforderlich ist - auf der anderen Seite ist es nicht nötig, aerob behandeltes Abwasser nachzubehandeln. Standardisierte technische Lösungen zum Einsatz der Anaerobtechnologie bei Behandlung kommunaler Abwässer sind aber noch nicht verfügbar. Anaerobe Intensivverfahren kommen relativ dezentral auch ohne Nachbehandlung zum Einsatz. Ziel ist dabei bisher weniger die Qualität der Ablaufwerte, als vielmehr eine Teilreinigung möglichst großer Abwassermengen mit begrenzten finanziellen Mitteln. Um die in vielen Ländern geforderten niedrigen Ablaufwerte zu erreichen, ist eine aerobe Nachbehandlung meist notwendig.

Anaerobe Intensivverfahren zur Reinigung kommunaler Abwässer können ab einer mittleren Abwassertemperatur von 18°C mit geringen jährlichen Schwankungen²⁰ und einem CSB von 250 mg/ℓ in Kombination mit einer aeroben Nachbehandlung als wirtschaftliche und umweltfreundliche Alternative zu konventionellen Verfahren in Betracht gezogen werden. Die Wirtschaftlichkeit muß im Einzelfall geprüft werden. Die meisten Anlagen funktionieren in Brasilien, Kolumbien, Mexiko, Indien und China.²¹

Tabelle 2: Gesamtreaktorvolumen der dokumentierten Anlagen zur anaeroben Reinigung kommunaler Abwässer *; Quelle: Anlagendatenbank, Partnerangaben

	Gesamtreaktorvolumen [m ³]	% Volumen	Anzahl der Anlagen	% Anzahl
außer Betrieb	6.630	1	31	18
in Betrieb	251.718	53	116	69
im Bau	220.867	46	22	13
Summe	479.215	100	169	100

* Sofern Angaben zum Anlagenstatus vorlagen; dies ist nicht für alle dokumentierten Anlagen der Fall. Gerade kleinere Anlagen sind aufgrund mangelnden Know-hows und ungenügenden Managements am häufigsten außer Betrieb.

Industrielle Abwässer

Zur Behandlung organisch hochbelasteter industrieller Abwässer ist der Einsatz anaerober Verfahren bereits weit verbreitet. Japan, Deutschland, die Niederlande und die USA sind die Industrieländer mit der größten Anzahl an Anaerobanlagen²², unter den EL sind dies Indien, Brasilien, Mexiko und Kolumbien²³. In den genannten IL tritt bereits eine Marktsättigung für anaerobe Verfahren ein, in den EL ist die Anlagenzahl stark steigend. Bei etwa 60% auch dieser Anlagen handelt es sich um UASB-Reaktoren. Die im Rahmen des Projektes erfaßten Anlagen wurden überwiegend zwischen 1985 und 1996 errichtet.

¹⁹ Anlagendatenbank des Sektorvorhabens.

²⁰ In Einzelfällen werden Anaerobanlagen auch bei niedrigeren Temperaturen betrieben (Für RAP-Reaktoren in Kolumbien werden bereits 15 °C als Einsatzgrenze genannt). Die Angaben in diesem Bericht beziehen sich mehrheitlich auf eine Abwassertemperatur von 25°C.

²¹ Für weitere Details siehe Anlagendatenbank und Länderberichte.

²² Statusbericht Band 2 und Anlagendatenbank des Sektorvorhabens.

²³ Weitere Details sind in den jeweiligen Länderberichten des Sektorvorhabens enthalten.

Vorwiegend werden anaerobe Verfahren in der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie (Brauereien, Brenneien, Zucker - und Stärkeindustrie) und der Zellstoff- und Papierindustrie eingesetzt. Generell wird der Einsatz der Anaerobtechnologie mit steigender organischer Belastung der Abwässer attraktiver, da die Vorteile hinsichtlich des produzierten Energieüberschusses, der geringeren Schlammproduktion und des geringeren Platzbedarfs deutlicher werden.

Weitere Industriezweige, wie die chemische und die pharmazeutische Industrie, erkennen zunehmend die Eignung anaerober Verfahren für die Reinigung ihrer Abwässer. Durch Anpassung und Optimierung der anaeroben Verfahren erweitern sich ihre Einsatzgebiete ständig, zumal auch in EL veränderte umweltpolitische Zielvorgaben die Industrie zum Handeln zwingen.

Technologische Grenzen der Anaerobtechnologie ergeben sich bei kalten und schwach belasteten Abwässern oder durch Hemmstoffe. Dadurch kann die Reinigungsleistung anaerober Verfahren so weit sinken, daß ihr Einsatz unwirtschaftlich wird.

Gute Ergebnisse werden vor allem bei größeren Industriebetrieben erzielt, die mit erfahrenen, auf dem internationalen Markt tätigen Anlagenkonstrukteuren zusammenarbeiten. Für industrielle Klein- und Mittelbetriebe werden bisher kaum kostengünstige Lösungen angeboten. Wenn in solchen Betrieben in EL Anaerobanlagen integriert werden, handelt es sich meist um einfache Konstruktionen aus Beton (Septic Tanks, Imhoff Tanks oder auch Festbett- und UASB-Reaktoren), die mit minimaler Wartung betrieben werden, aber ohne Nachreinigung keine optimale Reinigungsleistung erzielen können. Diese Systeme benötigen nur geringe Investitionen, keine Energiezufuhr und entfernen um ca. 50 %, in Einzelfällen auch bis zu 80% der organischen Fracht aus dem Abwasser. Das entstehende Methan wird zumeist in die Atmosphäre emittiert. Diese Anlagen stellen gewissermaßen einen Kompromiß dar, bei dem zu prüfen bleibt, ob unter ökologischen Gesichtspunkten die Vor- oder die Nachteile überwiegen. Gegenwärtig international angebotene, aber zumeist kostenintensivere Lösungen können von Kleinbetrieben oft nicht finanziert werden.²⁴

Organische Abfälle

Anaerobe Verfahren zur Behandlung organischer kommunaler und industrieller fester Abfälle, auch Co-Fermentationsanlagen in Verbindung mit landwirtschaftlichen und kommunalen Schlämmen, werden bisher hauptsächlich in der BRD und in einigen europäischen Ländern eingesetzt. In den untersuchten EL konnten kaum Anwendungen in großtechnischem Maßstab dokumentiert werden, außer einzelne Versuche vor allem mit "low-tech" Batch-Verfahren. Derzeit sind allerdings in einigen Ländern (z. B. Tansania, Indien und Thailand) großtechnische Projekte zur anaeroben Behandlung von häuslichen Abfällen in Planung bzw. im Bau. Mit der Inbetriebnahme erster Anlagen ist ab 1999 zu rechnen.

Die wesentlichen Vorteile der Anaerobtechnologie gegenüber anderen Verfahren²⁵ liegen in der Erzeugung erneuerbarer Energie im Überschuß, der Kompostproduktion, den niedrigen Emissionen und dem geringen Platzbedarf. Der technische Aufwand der meisten eingesetzten Verfahren ist noch relativ hoch.

Im Abfallsektor sind Vorteile gegenüber der bisher wichtigsten biologischen Behandlungsart, der Kompostierung, besonders bei feuchten Abfällen gegeben²⁶. Diese bereiten bei der Kompostierung Probleme, da sie einen größeren energetischen Aufwand für die Belüftung erfordern und mehr Geruchs- und Methanemissionen freisetzen. Die wirtschaftlichen Vorteile der Vergärung werden maßgeblich durch Entsorgungs- und Kompostpreise sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen bestimmt, wie z.B. Verkaufsmöglichkeiten und -preise für die überschüssige Energie und durch die technischen Richtlinien für den Anlagenbetrieb, insbe-

²⁴ Ausnahmen stellen moderne Kompaktanlagen dar, z.B. das im Rahmen eines GTZ-Projektes eingesetzte InWaSia-Verfahren in Jamaika.

²⁵ Die wichtigsten Alternativen sind: Kompostierung, Deponierung und Verbrennung

²⁶ Strukturreiche (ligninhaltige) Stoffe sollten aber Kompostiert werden, da diese nur schwer vergärbare sind.

sondere in Bezug auf die zulässigen Emissionen (aus Kompostanlagen). Gegenüber der energetischen Verwertung organischer Abfallstoffe durch Verbrennung oder Verschwelung bestehen Vorteile in den geringeren Kosten und der Wiederverwertung der Organik. Bei einer vollständigen Einlagerung in geordneten Deponien mit Gasnutzung reduziert sich das Deponievolumen, wenn die organische Fraktion anaerob behandelt wird. Im Vergleich zu den in EL vorherrschenden ungeordneten Deponien verringern sich zudem die Methan- und Sickerwasseremissionen. Von Nachteil ist allerdings die Notwendigkeit der Einführung einer zumindest für häusliche Abfälle erforderlichen Abfalltrennung.

Auch in der Abfallbehandlung wird die Anaerobtechnologie meist nicht als alleiniges Behandlungsverfahren eingesetzt, sondern oft mit einer Nachrotte (Kompostierung) gegebenenfalls auch einer Deponie und Verbrennung kombiniert. Das Endprodukt ist wie bei der direkten Kompostierung ein Kompost, der im Land- und Gartenbau oder in der Landschaftspflege Verwendung findet.

Neuere Entwicklungen kombinieren die Vergärung von industriellen und kommunalen Abfällen und Schlämmen und landwirtschaftlichen Reststoffen (Co-Fermentation), wodurch bspw. die direkte Rückführung der Organik in die landwirtschaftliche Produktion erleichtert und die Nutzung von thermischer und elektrischer Energie optimiert werden kann. Die erzeugte Energie kann über die Verwendung als Prozeßenergie und Verstromung hinaus bspw. auch in Kläranlagen für die Belüftung und Schlamm-trocknung, bei Verbrennungsanlagen als Stützfeuer eingesetzt werden.

1.6 Leistungsmerkmale und Rahmenbedingungen für den Einsatz anaerober Verfahren

Die Bewertung alternativer Verfahren zur Behandlung von Abwässern und organischen Abfällen ist ein komplexer Prozeß, der von zahlreichen Parametern und Standortmerkmalen bestimmt wird. Aus den im Projektverlauf erstellten Fallstudien und Länderberichten lassen sich die folgenden determinierenden Faktoren herausarbeiten:

Reinigungsleistung bei der Behandlung von Abwässern

Anaerobe Verfahren zur Abwasserreinigung erreichen hinsichtlich der Reduzierung der organischen Fracht der Abwässer nicht die Ablaufwerte, die mit aeroben Verfahren zu erzielen sind. Das gilt auch für anaerobe Hochleistungsreaktoren. Die unter Gesichtspunkten des Gewässerschutzes geforderten Ablaufwerte für BSB, CSB, TSS, mikrobiologische Belastungen und Nährstoffe sind zumeist nur in Kombination mit aeroben Nachreinigungsverfahren einzuhalten. Belüftete Intensivverfahren hingegen benötigen eine zusätzliche, meist anaerobe Nachbehandlung des Schlammes. UASB-Systeme erzielen einen BSB-Abbau von rund 80% und einen CSB-Abbau von etwa 65 - 70%.²⁷ Belebungsverfahren erreichen Reinigungsleistungen von rund 90% für BSB.

Soweit die Forderung nach Abbau spezieller Schadstoffe besteht, weisen anaerobe und aerobe Verfahren deutlich unterschiedliche Leistungsmerkmale auf, so daß je nach den Anforderung des Einzelfalls Vorteile bei der Aerob- oder bei der Anaerobtechnologie liegen können. Eine Nährstoffelimination, die künftig auch in EL an Bedeutung gewinnen dürfte, kann auch die Anaerobtechnologie ohne spezielle Verfahrensstufe nicht leisten. Maßnahmen zur gezielten Nährstoffentfernung sind bis heute die Ausnahme.

²⁷Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

Energiebilanz und Klimarelevanz der Verfahren

Viele gängige biologische Verfahren, die auf dem aeroben Abbau organischer Verunreinigungen beruhen, benötigen Energie zur Belüftung. Anaerobe Verfahren hingegen benötigen beim Betrieb nur wenig Energie und liefern zudem als Produkt der anaeroben Abbauprozesse das energetisch hochwertige Gas Methan. Daher weisen anaerobe Verfahren sowohl Vorteile hinsichtlich ökonomischer als auch ökologischer Gesichtspunkte auf:

- Aufgrund des deutlich geringeren Energiebedarfs ergeben sich bei anaeroben Verfahren auch wesentlich geringere Energiekosten.
- Im Falle einer energetischen Verwertung des Biogases können zusätzlich Erlöse aus dem Energieverkauf (z.B. Stromeinspeisung) erzielt werden. Bei aeroben Verfahren ist im günstigsten Fall eine Deckung des Eigenbedarfs möglich.
- Bei der Nutzung des entstehenden Biogases wird ein Energieüberschuß produziert, mit dem fossile Energieträger substituiert und anderweitige CO₂ – Emissionen eingespart werden können²⁸.

Diese Argumente gelten jedoch nur unter der Voraussetzung, daß das Gas erfaßt und genutzt wird. Aufgrund der hohen Klimawirksamkeit des Methans sollte für den Fall, daß das Gas nicht genutzt werden kann, zumindest eine klimaneutrale Abfackelung erfolgen. Bei Kommunalabwasseranlagen wird (anders als bei Industrieabwasseranlagen) das Potential des Biogases i.d.R. noch nicht genutzt, da die Ziele des Einsatzes der Anaerobtechnologie oft anders definiert sind: geringe Kosten, geringere Schlammproduktion und der reduzierte Energieverbrauch stehen im Vordergrund. Weitere Gründe für die nur selten anzutreffende Gaserfassung und -nutzung sind die geringe Verbreitung der Anaerobtechnologie und die Schwierigkeit, Strom zu akzeptablen Vergütungen in öffentliche Energienetze einzuspeisen. Die zukünftige Entwicklung der Verstromung von Biogas hängt auch von den zu schaffenden gesetzlichen Rahmenbedingungen in EL ab.

Flächenbedarf von Abwasserbehandlungsverfahren

Abgesehen von anaeroben Teichen haben anaerobe Verfahren für sich betrachtet einen verhältnismäßig geringen Flächenbedarf. Maßgebend für den Gesamtbedarf an Fläche ist das Nachreinigungsverfahren, das den örtlichen Gegebenheiten und Erfordernissen entsprechend gewählt und angepaßt werden muß. Insofern können kombinierte anaerob/aerobe Verfahren flexibel und in Abhängigkeit von wasserrechtlichen Anforderungen für die Einleitung in Oberflächengewässer, in das öffentliche Kanalsystem oder für Bewässerungszwecke unter Berücksichtigung der Energie- und Bodenpreise konzipiert werden. Vergleichbare Flächen werden z.B. von Belebtschlammverfahren mit Schlammfäulung und UASB-Verfahren mit Nachreinigungsteich (ohne Pathogeneliminierung) in Anspruch genommen. In der Praxis kommen als Nachreinigung vor allem Teiche zum Einsatz²⁹, deren geplante Flächenbelastung starken Einfluß auf ihren Landbedarf hat. Erfahrungsgemäß haben Teichsysteme, die den größten Flächenbedarf aufweisen, je nach Standortbedingungen und Reinigungsstandards nur bei Bodenpreisen von ab etwa 12 US\$/m² ökonomische Vorteile³⁰.

Schlammproduktion bei der Abwasserbehandlung

²⁸ Somit wird den EL die Möglichkeit gegeben, internationale Forderungen in Bezug auf einen gesenkten Ausstoß von klimaschädigenden Gasen einzuhalten.

²⁹ Zur Verfahrenskombination UASB + Tropfkörper (geringer Platzbedarf) ist erst ein Beispiel einer Anlage (im Bau) in Accra, Ghana bekannt.

³⁰ Rechnungen auf der Grundlage vorhandener Praxiswerte ergaben einen Grenzwert von 13 US\$/m².

Einen erheblichen Vorteil bieten anaerobe Abwasserreinigungsverfahren durch ihre geringe Schlammproduktion. Anaerobe Verfahren erzeugen - je nach Verfahrenskonzept - nur ca. 10 bis 50 % der Schlammmenge von aeroben Verfahren³¹. Positiv wirkt sich außerdem der bereits hohe Stabilisierungsgrad und die gute Entwässerbarkeit des Anaerobschlammes aus, wodurch sich eine weitere Schlammbehandlung, abgesehen von der Trocknung und, bei kommunalem Abwasser, der Hygienisierung, erübrigt. Auch unter betrieblichen Gesichtspunkten sind damit Vorteile verbunden, da bei anaeroben Verfahren Abwasserreinigung und Schlammbehandlung im gleichen Behälter stattfinden. Die Behandlung und Entsorgung des in belüfteten Verfahren entstehenden Schlammes erfordert hingegen einen erheblichen organisatorischen und technischen Aufwand³² und stellt einen entscheidenden Kostenfaktor solcher Anlagen dar.

Inbetriebnahme und stabile Prozeßführung bei der anaeroben Abwasserreinigung

Nachteile anaerober Verfahren ergeben sich durch die meist recht lange Anlaufphase, die je nach den Eigenschaften des zu behandelnden Substrats bis zu 6 Monaten dauern kann, d.h. der Prozeß erreicht erst dann das gewünschte Leistungsniveau. Bei leicht abbaubaren Substanzen oder bei Verfügbarkeit aktiven Schlammes (Impfung) ist die Anlaufzeit jedoch kürzer (1-3 Wochen bei Neuanlagen) und nur unwesentlich länger als die von Belebtschlammverfahren. Beim wiederholten Anfahren, etwa dem Kampagnebetrieb industrieller Anlagen, beträgt die Phase aufgrund der langen Überlebenszeit der Bakterien des Anaerobschlammes nur wenige Tage und ist damit kürzer als bei belüfteten Intensivverfahren.

Generell gelten anaerobe Prozesse als empfindlich gegen Milieuveränderungen und stellen sich nur träge auf neue Betriebsbedingungen ein. Methanogene Bakterien reagieren mit Leistungsminderung auf Hemm- oder Giftstoffen (z.B. Antibiotika, Phenole, Benzole), sind aber andererseits in der Lage, Xenobiotika (Fremdstoffe) abzubauen.

Bei industriellen Abwässern mit geringer Pufferkapazität und hohem Gehalt an leicht abbaubaren Kohlehydraten besteht eine Versäuerungsgefahr des Prozesses, deshalb ist eine korrekte pH-Kontrolle erforderlich.

Problematisch wirken sich größere Mengen Sulfat im Abwasser aus. Unter anaeroben Bedingungen entsteht Schwefelwasserstoff, der korrosiv wirkt und einen stark "fauligen" Geruch verströmt. Um Geruchsemissionen und Schäden an Gasnutzungsgeräten zu vermeiden, muß i.d.R. eine Gasreinigung eingeplant werden.

Die Charakteristika anaerober Abbauprozesse verlangen eine regelmäßige Überwachung der Abwasserzusammensetzung und der Prozeßdynamik, damit das Verfahren stabil und unter optimalen Bedingungen abläuft.

Klimatische Rahmenbedingungen und Prozeßtemperatur

Auch wenn anaerobe Aktivität bereits ab 2°C nachgewiesen werden konnte, ist der ein sinnvoller technischer Einsatz anaerober Prozesse derzeit erst ab etwa 18°C gesichert. Nichtsdestotrotz werden zahlreiche Anlagen bei niedrigeren Temperaturen betrieben³³, es muß jedoch noch im Einzelfall geprüft werden, ob bei diesen Temperaturen eine Anaerobanlage die "angepaßte" Technologie ist.

Insbesondere wenn Hochleistungen erforderlich sind, etwa bei einer Raumbelastung der Reaktoren von über 15 kg CSB/(m³ d), ist der Erfolg der Anaerobtechnologie an relativ limitierte, konstante und hohe Temperaturbereiche gebunden.

³¹ Hinzu kommt noch der Schlammanteil aus der Nachbehandlung. Der Anteil ist aber sehr gering - nur etwa 15% des BSB₅ werden hier zu Schlamm abgebaut.

³² Z.B. zur Schlammstabilisierung.

³³ Z.B. die Anlagen in Prohuila (Kolumbien), San Luis Rio Colorado, Santa Gertrudis, Toluca, San Bartolo (Mexiko) werden bei 15 - 18°C betrieben.

Mesophile Prozesse verlaufen optimal bei 30 - 40°C, thermophile Prozesse bei 50 - 65°C. Bei stark belasteten Abwässern und Abfällen kann bei Bedarf das Substrat unter Verwendung des entstehenden Methangases auf die optimale Temperatur erhitzt werden (meist über 30°C). Bei schwach belasteten Abwässern reicht die prozeßintern erzeugte Energie nicht aus, um das Substrat zu erhitzen. Diese Tatsache begrenzt den sicheren Einsatz der Anaerobtechnologie zur kommunalen Abwasserreinigung auf Klimazonen, in denen Abwassertemperaturen von über 18 °C vorherrschen.

Anforderungen an Management und Betriebsführung

Die häufig vertretene Meinung, Anaerobverfahren seien in jeder Hinsicht einfache Verfahren, hat sich während des Vorhabens durch die Daten- und Informationssammlung nicht bestätigt. Die Vorteile anaerober Verfahren werden am deutlichsten, wenn das gesamte, komplexe System - vom Anfall der zu entsorgenden organischen Substrate über deren Behandlung bis hin zur Verwertung der Produkte und Rückstände des Prozesses - aufeinander abgestimmt wird. Das ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die qualifiziertes Personal im Managementbereich und eine kontinuierliche Überwachung der Anlage erfordert. Ähnliches gilt auch für andere Behandlungsverfahren, z.B. die aerobe Belebung mit anaerober Schlammfäulung. Typische Mängel resultieren meist aus einem unzureichenden Systemverständnis und Defiziten im Anlagenmanagement. Nut Teichsysteme stellen geringere Anforderungen an Management und Betriebsführung.

Grundsätzlich ist eine möglichst breite Know-How-Basis hilfreich sowie eine stringente Koordination zwischen den involvierten Institutionen, seien es Kammern, Verbände, Finanzierungsträger und Investitionsförderungsorganismen, oder berufsbildende und wissenschaftliche Einrichtungen. Ein funktionierender Informationsfluß ohne Kompetenzüberschneidungen trägt dazu bei, daß die Rahmenbedingungen für die Nutzung aller potentiellen Vorteile einer Technologie geschaffen und erhalten werden.

Die Klärung von Fragen auf der einzelwirtschaftlichen Ebene setzt eine umfassende Unternehmens- und Umfeldanalyse voraus. Daraus gewonnene Erkenntnisse liefern Kriterien für die Identifikation der optimalen betrieblichen Organisationsform und des Anlagenmanagements und erleichtern die Suche und Auswahl potentieller Investoren und Betreiber.

Die Nutzung der Überschußenergie außerhalb des Anlagenbereichs stellt besondere Anforderungen an Anlagenmanagement und externe Organisationsstrukturen, die mit sonst keiner Behandlungstechnologie verbunden sind. In IL ist die Gastechnik durch die Nutzung des in Faultürmen aerober Anlagen entstehenden Gases bekannt, in EL sind anaerobe Schlammfäulung und Gasnutzung jedoch selten. Es bedarf daher einer zusätzlichen Ausbildung für die Gastechnik.

Das in EL in kommunalen Anaerobanlagen anfallende Methangas wird häufig nicht genutzt, weil

- die Betreiber mit der Technik und den betrieblichen Vorteilen der Gasnutzung nicht vertraut sind,
- die Umwelt- und Klimaschutzaspekte der Gasnutzung nicht bekannt sind oder gering geschätzt werden,
- niedrige (subventionierte) Energiepreise eine Gasnutzung unwirtschaftlich erscheinen lassen,
- mit der Gasnutzung ein erhöhter organisatorischer und technischer Aufwand verbunden ist,
- administrative Hemmnisse die Netzeinspeisung von erzeugtem Strom be- oder sogar verhindern.

Die Berücksichtigung und Abwägung all dieser Aspekte kann von den fachlich oft sektoral orientierten Entscheidungsträgern nicht immer geleistet werden. Andererseits erfordert der meist relativ geringe Mechanisierungsgrad der eigentlichen Kläranlage weniger technischen Sachverstand des Anlagenpersonals als maschinell aufwendiger ausgerüstete Verfahren.

1.7 Ökonomische Bewertung und Marktpotentiale der Anaerobtechnologie

Sowohl aus betriebs- als auch aus volkswirtschaftlichen Erwägungen heraus ist zu erwarten, daß nicht nur das Marktvolumen, sondern auch der Anteil der Anaerobtechnologie an der Abwasser- und Abfallbehandlung in EL in den kommenden Jahren im Vergleich zu aeroben Verfahren deutlich steigen wird.

Dies läßt sich aus der Marktentwicklung der vergangenen Jahre in den führenden Industrie- und Entwicklungsländern und aus zukunftsorientierten Plausibilitätserwägungen mit vergleichsweise hoher Sicherheit ableiten.

Die im Rahmen des Vorhabens ermittelten Investitionskosten für anaerobe Abwasserreinigungs- und Abfallbehandlungsanlagen (bei der industriellen Abwasserreinigung 20-400 US\$/kg CSB•d; für kommunale Abwasserreinigungsanlagen 3-30 US\$/EG; und für die Behandlung organischer Abfälle je nach Prozeß und Technisierungsgrad bei 15-60 US\$/t) bewegen sich auf einem Niveau, das angesichts des bestehenden Problemdrucks durch Umweltbelastungen zumindest in Lateinamerika und Südostasien mit einer intensiveren Verbreitung dieser Technologien rechnen läßt.

Für kommunale und industrielle Abwässer werden schon heute in den umweltpolitisch führenden EL mit einer hinreichenden Binnenmarktgröße (China, Brasilien, Mexiko, Indien) Neuanlagen zunehmend mit anaerober Reinigungsstufe statt mit ausschließlich aerober Behandlung gebaut. Trotz klimatisch ungünstiger Bedingungen verzeichnet die Anaerobtechnologie auch in den IL mit knappen Naturressourcen und starkem umweltpolitischen Bewußtsein in den letzten Jahren ein beeindruckendes Nachfragewachstum im Sektor der Abfall- und Schlammbehandlung³⁴.

Die Investitions- und Betriebskosten anaerober Behandlungsstufen liegen im Vergleich mit belüfteten Intensivverfahren in EL unter denen in IL. Dazu kommt, daß der Devisenbedarf geringer ist. Neben den ökonomischen beflügeln andere Faktoren die Nachfrage nach Anaerobanlagen: die unterschiedlich voranschreitende Ressourcenverknappung und -belastung von Wasser, Boden, Luft und Klima, das wachsende Umweltbewußtsein und daraus folgend mehr oder weniger umfassende umweltrechtliche Regelwerke. Die Technologie ist inzwischen so weit ausgereift, daß sie zunehmend in längerfristige und präventive Investitions- und Umweltstrategien sowie lokale Entwicklungsprogramme von Flüssen und Wassereinzugsgebieten eingebunden wird, auch weil Investitionen mit weniger Risiken behaftet sind. Wie bei anderen umweltschonenden Technologien gelten Finanzmittelknappheit und die kurzen Zeithorizonte der politischen Entscheidungsträger als prinzipielle Hemmfaktoren.

Auch wenn grundsätzlich für den Einsatz und die Verbreitung anaerober Verfahren beträchtliche Marktpotentiale auszumachen sind, so bestehen in Teilbereichen doch gravierende Entwicklungshindernisse. Das gilt vor allem für die Klein- und Mittelindustrie und den kommunalen Sektor (Abfall- und Abwasserbehandlung). Hier fehlen die notwendigen Ressourcen, um über die technischen Angebote zu informieren, angepaßte Behandlungsanlagen - einschließlich Betriebs- und Managementsystem - zu entwickeln und die erforderlichen Investitionen aufzubringen.

Es wurde deutlich, daß sich die Förderung der Anaerobtechnologie im Rahmen der entwicklungspolitischen Zusammenarbeit vorrangig auf diese Zielgruppen konzentriert und Kooperationsmöglichkeiten von TZ und FZ bei der Umsetzung von Programmen vermehrt nutzen sollte. In einzelnen Ländern (z. B. Indien) existieren bereits Ansätze für eine solche Zusammenarbeit.

³⁴ Für weitere Details siehe Statusbericht Band 3 und Anlagendatenbank des Sektorvorhabens.

1.8 Die Situation in einzelnen Ländern

Entwicklungsländer, die die Anaerobtechnologie bereits in der Abwasserreinigung und zunehmend auch in der Abfallbehandlung anwenden, zählen meist schon zu der Gruppe der Schwellenländer. In Lateinamerika gehören dazu v.a. Brasilien, Kolumbien und Mexiko, in Asien Indien, China und Thailand. Im Rahmen des Vorhabens wurden vor allem die Situation in den lateinamerikanischen Ländern intensiver untersucht.

Peru, Equador, Bolivien in Lateinamerika; Jamaika, Marokko; sowie Nepal, Indonesien, Laos und Vietnam in Asien sind Länder mit geringerer Anwendungsdichte der Technologie, mit denen jedoch innerhalb des Vorhabens ebenfalls zusammengearbeitet wurde.

In letzteren wurde die Anaerobtechnologie zum Teil in enger Beziehung mit der internationalen Entwicklungszusammenarbeit eingeführt; in den Erstgenannten besteht bereits eine eigenständige Infrastruktur für die Implementierung der Anaerobtechnologie. Hier gibt es Firmen, die über Planungs- und Betriebs-Know-How verfügen, nicht zuletzt wegen ihrer relativ großen Binnenmärkte und der eigenen industriellen Basis. In Asien weisen die Länder dieser Gruppe zugleich hohe Bevölkerungsdichten und entsprechend wachsende Umweltprobleme auf. In allen Ländern ist der Anteil von Anaerobanlagen für Industrieabwässer größer, mit dem Bau kommunaler Anlagen wurde meist erst zu einem späteren Zeitpunkt begonnen.

Einige Aspekte in wichtigen Ländern, in denen die Anaerobtechnologie Bedeutung erlangt hat, sollen im Folgenden kurz skizziert werden³⁵:

Brasilien

In Brasilien funktionieren derzeit etwa 90 Anaerobanlagen im industriellen und kommunalen Abwassersektor (davon rund 70 % Industrie, 30 % Kommunal; ohne dezentrale RALF-Reaktoren im Staat Paraná, s.u.). Neben national und international operierenden Anlagenherstellern ist dies nicht zuletzt auf einige staatliche Abwasserverbände und engagierte Mitarbeiter zurückzuführen, die die Anaerobtechnologie gezielt zur Anwendung gebracht haben.

In einigen Staaten Brasiliens können die regionalen Abwasserverbände bereits auf 15 Jahre Praxiserfahrung mit der Anaerobtechnologie im kommunalen Bereich zurückblicken (bspw. CETESB, SABESP in São Paulo, SANEPAR in Paraná, CEDAE in Rio de Janeiro). Der Staat Paraná besitzt eine eigene Anaerob-Industrie, die spezielle Anlagentypen (RALF-Reaktor: Reactor Anaerobio de Leito Fluidizado) entwickelt hat. Die Einführung der Technologie verlief weitgehend ohne Unterstützung durch die internationalen Entwicklungszusammenarbeit.

Die Anwendung der Anaerobtechnologie im Kommunalabwasserbereich konzentriert sich allerdings in urbanen Gebieten. Im Landesdurchschnitt dominieren für kleinere Siedlungen Teichsysteme, für größere traditionelle aerobe Verfahren. Im industriellen Bereich sind die häufigsten Anwendungen in der Getränke- (68%) und Lebensmittelindustrie (22%) zu finden.

Haupttriebkraft für den Einsatz der Anaerobtechnologie ist die Gewässerverschmutzung und die resultierende Umweltgesetzgebung. Es gibt Direkteinleiterstandards (länderspezifisch bzw. 60 mg BSB₅/l und 90 mg CSB/l), Indirekteinleiterstandards und Standards für den jeweiligen Vorfluter (z.T. sehr streng). Die Überwachung beschränkt sich auf BSB₅, TS und teilweise CSB. Bei ihrer Implementierung stand, wie in anderen EL auch, der Energieaspekt nicht im Vordergrund. Dies zeigt das Beispiel des RALF-Reaktors, eines modifizierten UASB, der in den meisten Fällen ohne Gaserfassung gebaut wurde, wodurch auch die Klimaproblematik keine Beachtung fand (negativer Klimaeffekt durch Methanemissionen). Für den Einsatz dieser Verfahren in Brasilien sprechen u.a. die günstigeren Kosten. Statt Großanlagen wurden von diesem Typ auch in urbanen Ballungsräumen aus Kostengründen mehrere dezentrale Kleinanlagen gebaut.

³⁵ Näheres ist den entsprechenden Länderberichten zu entnehmen.

Zentrales Problem für die nachhaltige Implementierung der Anaerobtechnologie in Brasilien ist, wie in nahezu allen anderen untersuchten Ländern, die Sicherstellung eines störungsfreien Anlagenbetriebs. Unzureichendes Management, schlecht ausgebildetes Personal und fehlende Betriebsmitteln führen zur Vernachlässigung der nötigen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten. Dies begründet einen z.T. schlechten Ruf von intensiven Behandlungsverfahren der Anaerobtechnologie. Eine vermehrte Privatisierung des Betriebs kommunaler Anlagen soll diese Defizite verringern.

Im Abfallbereich gibt es seit über 10 Jahren punktuelle Erfahrungen mit Getrenntmüllsammlung (Sao Paulo, Curitiba, Porto Alegre, Florianopolis, Niterói). Schon seit dem letzten Jahrhundert haben im sogenannten informellen Sektor arbeitende Müllsammler (catadores) Fraktionen getrennt und weiterverkauft. Besonders seit der Weltumweltkonferenz von Rio de Janeiro 1992 erhöhte sich mit der Sensibilisierung einiger Brasilianer das Engagement von Nicht-Regierungs-Organisationen (NRO's). Seit rund 5 Jahren unterstützen auch vermehrt staatliche Träger die Abfalltrennung. Private Unternehmen erkennen das Marktpotential innerhalb des Recyclingsektors, was indirekt auch zu Anstrengungen führt, vermehrt die organische Fraktion von anderen Wertstoffen zu trennen. Einige Fraktionen (Aluminium, Glas, Papier und Plastik) werden in manchen Städten getrennt und gewinnbringend dem Wirtschaftskreislauf wieder zugeführt.

Nach wie vor dominiert jedoch die Entsorgung nicht getrennten Abfalls, was die Verbreitung der auch in Brasilien schon seit über 20 Jahren vorhandener Kompostierungsanlagen (Rio de Janeiro) erschwert; Vergärungsverfahren sind noch nicht im Einsatz. Mit der sogenannten Bioremediation von Deponien, bei der der Deponiekörper hermetisch abgeschlossen wird, um eine kontrollierte Vergärung zu ermöglichen, wurden erstmals technische Schritte in dieser Richtung unternommen.

Infolge der relativen wirtschaftspolitischen Stabilität und der jüngsten Anstrengungen bundesstaatlicher Umweltorgane ist in den nächsten fünf Jahren besonders in kleinen und mittleren Städten der Bundesstaaten Sao Paulo, Minas Gerais und Paraná mit erheblichen Neuinvestitionen (insgesamt: dreistellige Millionenbeträge) in Abfallbehandlungsanlagen zu rechnen.

Kolumbien

Die Anzahl kommunaler Anaerobanlagen ist sehr viel geringer als in Brasilien, obwohl der Anaerobsektor intensiv durch die holländische und deutsche Entwicklungszusammenarbeit unterstützt wurde: Zwei Großanlagen sind in Bucaramanga und Cali bisher in Betrieb gegangen. Industrielle Anlagen wurden überwiegend von internationalen Firmen gebaut. Eine kolumbianische Entwicklung ist der RAP (Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón), der für die Behandlung von Abwässern mit niedrigeren Temperaturen (15 - 20 °C) ausgelegt ist.

Auf institutioneller Ebene sind einige der 18 existierenden Regionalverbände (insbesondere Bucaramanga, Cali, Bogotá und Medellín), die sich in städtischen Großräumen und deren Umgebung mit Umweltbelangen auseinandersetzen, sowie auch einige Universitäten (u.a. Universidad del Valle UNIVALLE, Cali; Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá; Universidad de Antioquia, Medellín) für die Anaerobtechnologie von Bedeutung. Die Institutionen sind untereinander gut vernetzt: An der UNIVALLE hat ein funktionierendes kolumbianisches Anaerobnetzwerk seinen Sitz (RECBAM - Red Colombiana de Biotecnología Ambiental), sowie ein eigenständiges "Lateinamerika-Netzwerk", das weitgehend informell und im Rahmen einer Konferenzserie den Austausch über Probleme anaerober Technologien mit involvierten nationalen Organisationen und Fachkräften in Lateinamerika sicherstellt.

Probleme beim Einsatz der Anaerobtechnologie in Kolumbien sind vor allem in Planungen begründet, die ohne ausreichendes Know-how durchgeführt wurden; hinzu kommt eine ungünstige Trennung der Zuständigkeiten für Auslegung, Implementierung und Betrieb der Anlagen. Gleichzeitig wurden lange Zeit Kontrollfunktionen staatlicher Behörden an die Technologie und Lieferantenwahl gekoppelt.

Geruchsprobleme durch entstehende Gase lassen sich auf eine Vernachlässigung von Gasfassung und -nutzung bereits im Planungsstadium zurückführen. Diese sind bis heute nur zum Teil beseitigt und führten zu einer ablehnenden Haltung der anwohnenden Bevölkerung.

Der Umweltgesetzgebung fällt auch in Kolumbien eine entscheidende Rolle bei Investitionsentscheidungen in diesem Sektor zu. Detaillierte Regelwerke, wirksame Kontrollen wie auch die Refinanzierung kommunaler Anlagen durch Gebühreneinzug gestalten sich allerdings schwierig.

Eine anaerobe Abfallbehandlung wird zwar in Kolumbien seit längerem intensiv diskutiert, ist derzeit (bis 1998) aber noch an keinem Standort realisiert.

Mexiko

In Mexiko sind sowohl nationale als auch internationale Anlagenbauer etwa gleichgewichtig präsent. Nationale Firmen können sich zunehmend behaupten, da sie zwar oft noch mit qualitativen Mängeln zu kämpfen haben, aber deutlich kostengünstiger anbieten als die internationale Konkurrenz.

Es wurden etwa 80 kommunale und industrielle Anaerobanlagen gebaut. Der Schwerpunkt der industriellen Anwendungen liegt auch hier, wie in Brasilien in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie (48 respektive 38%). Teilweise konnten die Anlagen unter Mithilfe von Erdöl-Einnahmen in Mexiko national finanziert werden, doch auch internationale Geber sind an der Finanzierung beteiligt. Eine wichtige Rolle spielen auch die Universitäten (u.a. Universidad Autonoma Metropolitana UAM), an denen hervorragendes Fach-Know-how zu finden ist.

Die Entscheidung zugunsten anaerober Behandlungsverfahren fällt auch in Mexiko vorwiegend wegen ihres kostengünstigen Baues und Betriebes. Aufgrund der niedrigen Ölpreise spielt der Energieaspekt der Technologie zumeist beim Kommunalabwasser keine Rolle. Ein qualifiziertes Management der Anlagen ist jedoch auch in Mexiko schwer sicherzustellen, so daß eine Reihe von Anlagen erhebliche Mängel aufweisen.

Wegen der Wirtschaftskrise kam es in den Jahren 1995 - 96 zu einer Stagnation im Anlagenbau. Umweltbelange wurden als nachrangig eingestuft und Investitionen entsprechend reduziert.

Die Umweltgesetzgebung ist inzwischen vereinfacht und für den Abwasser- und Abfallsektor auf fünf Richtlinien reduziert. Zwar existieren einige kompetente dezentrale staatliche Kontrollinstanzen, ihre Durchsetzungskraft ist jedoch auch hier ein großes Problem und wird zusätzlich durch die schlechte wirtschaftliche Lage gebremst.

Thailand

Die Anaerobtechnologie wird in Thailand in der kommunalen Abwasserreinigung noch nicht eingesetzt, in der Industrie funktionieren zahlreiche Anlagen vor allem als Vorbehandlungsstufe in der Tapiokaindustrie und in Destillieren, woran besonders die holländische TZ beteiligt war. So wurde eine Serie von Anlagen desselben Typs zeitgleich aus Holland importiert, allerdings ohne die spezifischen Unterschiede in der Abwasserzusammensetzung und im Prozeßablauf der jeweiligen Brennereien zu berücksichtigen; dies hatte erhebliche Probleme während der Inbetriebnahme zur Folge. Im Zuge der Nachbesserungen wurden jedoch wichtige Erfahrungen über Grenzen und Risiken einer vorschnellen Anlagenstandardisierung gemacht, die verdeutlichen, daß prozeßspezifische Parameter bei jeder einzelnen Anlagenplanung individuell berücksichtigt werden müssen.

Es hat sich inzwischen eine, wenn auch bescheidene, eigene Anaerob-Industrie entwickelt, die sich zumindest bis zur "Asienkrise" durch steigendes Umweltbewußtsein und umweltpolitische Initiativen einer wachsenden Nachfrage erfreute. Der Ruf der Anaerobtechnologie konnte auch durch deutsche TZ-Maßnahmen deutlich verbessert werden. Mittlerweile gibt es ein tiefer greifendes Interesse an der Abfallvergärung, mit dem Bau einer ersten Pilotanlage wird z.Z. begonnen. Aufgrund des finanziellen „Einbruchs“ ist jedoch

kaum Kapital verfügbar und die Investitionsbereitschaft nahezu ausschließlich von staatlichen Auflagen abhängig.

China

In China kann die Anaerobtechnologie - ähnlich wie in Indien - auf die zeitlich längste und großräumigste Verbreitung zurückblicken. Die verschiedenen Anwendungsformen und eingesetzten Verfahren wurden weitgehend aus der traditionellen landwirtschaftlichen Vergärungspraxis entwickelt.

In China besteht durch eine lange Recycling-Tradition, die sich auch auf Fäkalien erstreckt, ein "besonderes Verhältnis" zu organischen Abfällen. Anstrengungen zur Wiederverwertung in der Landwirtschaft und damit verbundene Recyclingtechnologien werden ernst genommen und können auf ein entsprechendes Bewußtsein aufbauen. Anaerobe Abwassertechnologien werden zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt: neben der eigentlichen Behandlung zum Organik- und Pathogenabbau sind dies Wasser- und Schlammrecycling, aber auch die Energiegewinnung. Eigene Verfahren sind verbesserte Absetzbecken mit Gasgewinnung, eine Variante des UASB-Reaktors (HUSB - Hydrolysis Upflow Sludge Blanket) sowie Schlammbett- und Festbettreaktoren. Einsatz findet die Technologie vor allem auch im dezentralen Bereich mit und ohne Energienutzung. Ebenso werden bereits erste Co-Fermentationsanlagen gebaut und Abfallvergärungsanlagen konzipiert.

Unterschiedlich zu lateinamerikanischen Anlagen hat die Gasnutzung in China eine längere Tradition, so daß selbst bei kleineren dezentralen Kommunalabwasseranlagen das Gas zumeist genutzt wird, u.a. zu Kochzwecken.

Es existieren bereits eine Vielzahl von Anlagen zur agroindustriellen Industrieabwasserreinigung (Brennereien, Weinproduktion, Schlachtereien, Sojabohnen), die Entwicklung ist wegen des großen Marktpotentials und der zahlreichen nationalen Aktivitäten vielversprechend. Allerdings konnten im Rahmen des Vorhabens die Aktivitäten in China nur punktuell erfaßt werden.

Indien

Auch Indien kann auf eine lange Tradition in der vornehmlich landwirtschaftlichen Anwendung anaerober Verfahren zurückblicken. Die Haupttechnologie zur Abwasserbehandlung ist der UASB-Reaktor, derzeit werden etwa 35 Anlagen betrieben. Das Streben nach politischer Eigenständigkeit und Unabhängigkeit vom Weltmarkt hat der Anaerobtechnologie zu einem hohen Stellenwert verholfen. Trotz des lange Zeit relativ geschlossenen Marktes werden zunehmend verschiedene anaerobe Technologien aus IL importiert, so daß auch einzelne, von internationalen Firmen geplante Anlagen schon seit längerem in Betrieb sind. Zögernd werden auch Abfallvergärungs- und Co-Fermentationsanlagen nachgefragt.

Die Anschlußraten an die Kanalisation sind aber gering, maximal 30 % der gesamten indischen Bevölkerung ist mit einem Abwassernetz verbunden. In größeren Städten sind zwischen 30 und 80 % der Haushalte angeschlossen, wobei noch heute 35 % des gesamten häuslichen Abwassers gar nicht behandelt werden.

Wichtigste Instanz der Umweltgesetzgebung ist das Ministry of Environment and Forests, mit seinen regionalen und lokalen Untergliederungen. Die Einleitgrenzwerte sind für Kommunalabwasser auf 30 mg BSB₅/l und 50 g TS/l festgelegt.

Die Gesetzgebung zur Energieeinspeisung ist gut und ausdifferenziert: Es gibt die Möglichkeit des "Energy-Banking", das eine Energieeinspeisung und davon zeitlich losgelöste Entnahme der entsprechenden Energiemengen aus dem öffentlichen Netz ermöglicht. Bemerkenswert ist in Indien, daß aus erneuerbaren Energien eingespeister Strom höher vergütet wird als ein Bezug aus dem Netz kosten würde.

Internationale Finanzierungsprogramme unterstützen gegenwärtig die Implementierung eines breiten Spektrums anaerober Technologien für verschiedenste Abwässer, kommunale und industrielle Abfälle und die

Massentierhaltung. Hierzu zählen das UNDP-gestützte "Waste to Energy"-Programm und der von der Weltbank mitfinanzierte "Ganga-Action-Plan".

Trotz des vorhandenen Basis-Know-hows, das sich über Jahrzehnte vor Ort entwickelt hat, der langen Tradition der Organikverwertung und der herrschenden Wasserknappheit ist eine verstärkte Nutzung anaerober Verfahren auch in Indien vor allem von der Durchsetzung der Umweltgesetzgebung und der Bereitstellung hinreichender Finanzmittel abhängig.³⁶

³⁶ Ausführliche Details zur Situation der Abwasserbehandlung in Indien finden sich im zugehörigen Länderbericht des Sektorvorhabens.

1.9 Kriterien

1.9.1 Vor- und Nachteile von Anaerobverfahren

In der folgenden Tabelle werden wichtige Vor- und Nachteile der Anaerobtechnologie für Schwellen- und Entwicklungsländer aufgeführt, die situationsabhängig eintreten können.

Tabelle 3: Häufige Vor- und Nachteile von Anaerobverfahren

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Akzeptable Investitionskosten • Geringe Betriebskosten • Geringer Platzbedarf • Geringer Schlammanfall • Begrenzter Geräte- und Maschinenaufwand • Begrenzter Steuerungs- und Wartungsbedarf • Geringer Fremdenenergiebedarf • Hohe CSB-Belastungen möglich • Gute Schlammqualität • Geringer Devisenbedarf • Energieproduktion und Begrenzung von klimarelevanten Emissionen (CO₂ und CH₄) • Abfall: Produktion von Kompost und Energie • Gute Kombinationsmöglichkeiten • Geringer Betriebsmittelbedarf • Wenig Verfahrensstufen • Lokale Herstellung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Anfangskapitalbedarf (im Vergleich zu Teichen) • Betrieb + Wartung sind oft nicht gesichert • Unzureichende Standardisierung und Anpassung • Zu wenig situationsspezifischen Praxisbeispiele für diverse Größen, Industrien, Temperaturen, Abfälle • Technologie ist nicht in allen Regionen bekannt • Know-how und Prozeßverständnis wenig verfügbar • Unsachgemäße Planung oder Betrieb führt zu hohen Methan- und Geruchsemissionen • Trennung ist erforderlich für kommunale Abfälle • Sensitivität für toxische Substanzen • Besonders bei kalten Klimata Energie für Heizung notwendig • Lange Anfahrphasen • Relativ hohe Restbelastung der Abwässer ohne Nachbehandlung / Niedrige Umsatzraten • Endprodukte sind nicht geruchsfrei • Geringe Pathogeneliminierung und Naturstoffentfernung

Die Ausprägung von Vor- und Nachteilen hängt von zahlreichen Faktoren ab und kann sich im konkreten Einzelfall auch ins Gegenteil verkehren.

1.9.2 Einsatzoptima und Einsatzgrenzen Anaerober Verfahren

In den folgenden Tabellen werden wichtige Einflußgrößen als erstes Grobraster für eine Verfahrenswahl zusammengefaßt. Angaben zu kommunalen und industriellen Abwässern bzw. zu kommunalen Abfällen basieren auf vorhandenen Technologien und sind durchschnittliche Orientierungspunkte.

Die Tabellen 4 und 5 beschränken sich auf kombiniert anaerobe/aerobe Verfahren für Abwasser - und Abfallbehandlung und skizzieren praxisrelevante **Einsatzoptima** wie auch **Ober- und Untergrenzen**, außerhalb derer ein Einsatz der Technologie nicht mehr sinnvoll erscheint. Darüber hinaus werden für eine Technologieanwendung unbedingt **Notwendige Voraussetzungen**, förderliche Faktoren und **Wettbewerbsvorteile** benannt.

Anhand der Tabellen wird deutlich, daß nur wenige abwasserbezogene Anwendungsgrenzen und Ausschlußkriterien beim Kommunalabwasser (Temperatur, Organikkonzentration und ungewöhnlich hohe Konzentrationen an toxischen Stoffen) ausgemacht wurden. Ein Mindestmaß an Personalqualifikation und Or-

ganisationsstruktur zur Deckung der Betriebskosten ist jedoch unabdingbare Voraussetzung für einen nachhaltigen Betrieb. Dies kann zumeist erst ab Anlagengrößen über 10.000 EG gewährleistet werden.

Anaerobe Behandlungssysteme für industrielle Abwässer werden aufgrund höheren Energiegehaltes der Abwässer auch in Europa eingesetzt. Grenzen einer sinnvollen Anwendung werden weitestgehend durch die höchst unterschiedliche Zusammensetzung des jeweiligen Abwassers, die (Dis-) Kontinuität des Anfalls und wesentlich häufiger die relevanten toxischen Stoffen bestimmt. Darüber hinaus beeinflussen vor allem Kostenfaktoren, das Know-how und sehr stark auch der gesetzliche Rahmen (Einleitgebühren, Strafen, Kontrollen) den Technologieeinsatz. Bei Industrieabwässern spielt, weit ausgeprägter als bei kommunalen Abwässern, der Energiepreis eine entscheidende Rolle. Auch Schlammentsorgungskosten können aufgrund der höheren Schlammengen entscheidend für die Technologiewahl sein.

Bei kommunalen oder auch industriellen Abfällen ist der Anteil an (abbaubarer) Organik die entscheidende technologische Grenze, je nach Technologiewahl mehr oder weniger eng verbunden mit Möglichkeiten einer Abfalltrennung, durch die der Organikanteil des zu behandelnden Abfalls erhöht werden kann. Maßgeblich sind außerdem Flächenkosten (für Deponien), Entsorgungseinnahmen und Kompostpreise und erst dann die Bewertung von Energieüberschüssen und resultierenden Energieerlösen. Anaerobe Verfahren zur Abfallbehandlung bedürfen einer hohen Personalqualifikation, eines wohlorganisierten Betriebsmanagements und einer verlässlichen Betriebskostendeckung.

Zusätzlich genannte förderliche Faktoren beziehen sich auf die Knappheit und den Preis von vorwiegend umweltbezogenen Ressourcen und bestimmen die relative Vorteilhaftigkeit der Technologie im jeweiligen Kontext. Sehr wichtig sind die Flächenverfügbarkeit und die resultierenden Bodenpreise. Auswahlentscheidungen für Technologien können dabei nicht von einem einzelnen dieser Faktoren abhängig gemacht werden, sondern dürfen sinnvollerweise nur im Rahmen einer Gesamtschau aller Einflußgrößen getroffen werden.

Tabelle 4: Praxisrelevante Einsatzoptima, Ober- und Untergrenzen anaerobe Abwasserbehandlung

Anaerobe Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer						
Kriterien		Unterer Einsatzbereich	Optimum	Oberer Einsatzbereich	Notwendige Voraussetzung	Wettbewerbsvorteile bei:
1. PROZEß KRITERIEN zur Gewährleistung des anaeroben Abbaus						
CSB		> 250 mg/ℓ	> 400 mg/ℓ kommunal > 3.000 mg/ℓ industriell	- ^A		
Temperatur		> 15°C	18-35°C	Bis 55°C		
Abwasseranfall		Mengenschwankungen sind hinreichend eingeplant	Kontinuierl. Abwasseranfall ^B , Trennkanalisation ^C			
Nährstoffe		- ^{D, E}	Verhältnis CSB : N : P : S 350 : 5 : 1 : 1	- ^{D, E}		
Toxische Substanzen/Schwebstoffe ^D		-	Wenige ^E	Keine prohibitiven Konz. ^F		
Alle Mikronährstoffe vorhanden					X ^D	
Anlagengröße		-	> 50.000 EG	-		
2. BETRIEBLICH -GESELLSCHAFTLICHE KRITERIEN						
Hauptkriterien	Qualifikation des Personals	Abwassertechniker	Anaerobfachkräfte	-	X ^G	
	Betrieb und Wartung	Stabile institutionelle Struktur vorhanden	Anlagenmanagement/ Betriebskosten gesichert	-	X ^H	
Nebenkriterien	Landknappheit	Je höher/größer, desto vorteilhafter				X ^I
	Schlammensorgungskosten					X ^J
	Strompreis/Einspeisemöglichkeit					X ^J
	Eigenbedarf Gas, Strom, Wärme					X
	Bewertung von Umweltressourcen					X
	gesetzliche Kontrolle					
Wasserknappheit			X			

- A: Bei sehr hohen Konzentrationen geht die Konsistenz der Abwässer zu Schlämmen über.
- B: Tageszeitliche oder saisonale Mengenschwankungen können sehr unterschiedlich sein.
- C: Getrennte Regenwassererfassung ist die Ausnahme.
- D: Konzentrationsprobleme lassen sich technologisch im Vorfeld oder im Prozeß lösen
- E: Dies ist in der Praxis fast nur für Industrieabwässer relevant.
- F: Wichtige Hemmstoffe: Phenol, Benzol, PAK, Antibiotika.
- G: Durch Ausbildungsanstrengungen zu lösen.
- H: Muß im Rahmen der Projektplanung bzw. -implementierung berücksichtigt oder geschaffen werden.

- I: Landverfügbarkeit und -kosten sind bei Kommunalabwasseranlagen zumeist der entscheidende Wettbewerbsvorteil oder -nachteil im Vergleich zur Hauptalternative, den Teichsystemen. Die Grenze ist regional/situationsabhängig stark unterschiedlich, ab rund 12 US\$/m².
- J: Begünstigend wirken Preise ab etwa 20 US\$/t Schlammensorgungskosten, 12 Pf/kWh Einspeisepreis; diese fallen besonders bei konzentrierten Industrieabwässern ins Gewicht.

Tabelle 5: Praxisrelevante Einsatzoptima, Ober- und Untergrenzen anaerobe Abfallbehandlung

Anaerobe Behandlung kommunaler Abfälle						
Kriterium		Unterer Einsatzbereich	Optimum	Oberer Einsatzbereich	Notwendige Voraussetzung	Wettbewerbsvorteile bei
1. PROZESS-KRITERIEN zur Gewährleistung des anaeroben Abbaus						
Temperatur		-	35-55°C ^K	-		
TS-Gehalt		5-10% ^L	10-15%	Bis 40%		
Anaerob abbaubare Organik		>50% ^M	>95%	-		
Toxische Substanzen		-	Wenige	keine prohibitiven ^N Konzentrationen		
2. BETRIEBLICH -GESELLSCHAFTLICHE KRITERIEN						
Hauptkriterien	Qualifikation des Personals	Abfalltechniker vorhanden	Anaerobfachkräfte vorhanden	-	X ^O	
	Betrieb und Wartung	Stabile institutionelle Struktur vorhanden	Anlagenmanagement/ Betriebskosten gesichert	-	X ^P	
	Behandlungsentgelt	 Je höher/größer, desto vorteilhafter				X ^Q
	Komposterlös					X ^Q
	Klimaschutz ^R					X ^R
	Abfalltrennung				X ^S	
Strompreis					X ^{Q, T}	
Nebenkriterien	Bewertung von Umweltressourcen/ gesetzliche Kontrolle				X ^U	

- K: Anlagen werden i.d.R. beheizt, daher wird nur der optimale Temperaturbereich für die Behandlung genannt.
- L: Unter dieser Konzentration haben Substrate Abwasser- oder Schlammkonsistenz.
- M: Nur dann sinnvoll, wenn Abfalltrennung möglich.
- N: Wichtige Hemmstoffe: Phenole, Benzole, Desinfektionsmittel, Antibiotika (v.a. bei Co-Fermentation), zu hoher Ligningehalt. Prohibitiv Konzentrationen von Hemmstoffen kommen im europäischen Bioabfall gegenwärtig praktisch nicht vor.
- O: Durch Ausbildungsanstrengungen zu lösen.
- P: Muß im Rahmen der Projektplanung bzw. -implementierung berücksichtigt oder geschaffen werden.

- Q: Regional/situationsabhängig stark unterschiedlich, ab rund 20 DM/t Behandlungsentgelt/Komposterlös, 12 Pf/kWh Einspeisepreis.
- R: Wenn Technologie aus Klimaschutzgründen gefördert wird.
- S: Entweder am Haushalt/Betrieb, in einer Translation oder an bzw. in der Anlage.
- T: Vor allem für Co-Fermentationsanlagen wegen der zumeist geringen Kapitalkostenbelastung relevant.
- U: Bspw. Gewässerschutz (Deponiesickerwasser), Deponiegasemissionen (Geruch, Klima, Brände).

1.9.3 Bewertungskriterien für Anaerobe Verfahren

Tabelle 6 bis Tabelle 8 stellen die vorrangig untersuchten Verfahrensvarianten vergleichend nebeneinander³⁷. Eine vertiefende Diskussion der Relevanz ausgewählter Einflußfaktoren und ihre wechselnden Zusammenhänge können dem Teil B des Berichts entnommen werden. Wie bereits angesprochen, variieren die Faktoren situationsabhängig in einer großen Bandbreite, einige Kriterien und Bewertungen müssen Zusammenhänge notwendigerweise stark vereinfachen.

Tabelle 6 und 7 - Abwasser

Kommunalabwässer

- Es wird deutlich, daß Teichverfahren sowohl bezüglich ihrer Leistung, der Investitions- und Betriebskosten wie auch des Know-how Bedarfs, der Pathogen- und möglichen Nährstoffeliminierung erhebliche Vorteile aufweisen können, solange das Land verfügbar und bezahlbar ist. Nachteile sind Geruchs- und Klimaemissionen, häufige Moskitoplagen und der zugehörige Verzicht auf eine Nutzung der Energiepotentiale.

Belebtschlammanlagen zeichnen sich durch hohe Reinigungsleistung, Prozeßstabilität, geringen Platzbedarf und die in verschiedenen Ländern bereits vorhandene Erfahrung mit dieser Technologie aus. Von Nachteil sind insbesondere die hohen Investitions-, Betriebs- und Devisenkosten, Anforderungen an das Betriebspersonal und der Energiebedarf.

Anaerobe Verfahren können im Vergleich zu Belebtschlammverfahren preisgünstiger sein und ökologische wie auch logistische Vorteile (reduzierter Schlammtransport durch geringere Mengen) aufweisen, wenn die vorhandenen Erfahrungs- und Know-how Defizite kompensiert werden können. Hauptvorteile gegenüber Teichverfahren sind der geringere Platzbedarf und, je nach Gasverwendung, geringere Emissionen, Nachteile die höheren Kosten für Investition und Betrieb. Häufig ist eine Minimalgröße (> 10.000 EG) jedoch Voraussetzung für einen sinnvollen Einsatz.

Industrieabwässer

- Für Industrieabwässer wiegen die obigen Vorteile anaerober Verfahren wegen des geringeren Energiebedarfs und der höheren Energieproduktion im Vergleich zu beiden Alternativen schwerer, solange die Substratzusammensetzung für den anaeroben Prozeß geeignet ist. Das erforderliche Management inklusive einer Gasnutzung läßt sich in diesem Rahmen zumeist gewährleisten. Daß der eher privatrechtlich organisierte Industriesektor zumindest bei größeren Substratmengen zunehmend anaerobe Verfahren anwendet, belegt praxisnah, daß trotz bislang vergleichsweise hoher Investitionskosten gerade bei Industrieanlagen auch auf betriebswirtschaftlicher Ebene ökonomische Vorteile beim Einsatz anaerober Verfahren entstehen können.

Tabelle 8 - Organische Abfälle

- Biologische Behandlungsverfahren für Abfälle (Vergärung, Kompostierung) setzen einen hohen Organikanteil im Abfall und/oder eine Abfalltrennung voraus. Vergärungsanlagen verlangen im Vergleich zu einfachen Kompostierungsanlagen hohe Investitions- und auch hohe Betriebskosten, bei modernen eingehausten Kompostierungsanlagen verliert sich der Unterschied. Vergärungsanlagen können ein feuchteres und strukturärmeres Materialspektrum verwerten und erzielen einen Energieüberschuß. Betriebserfahrung und lokale Anpassung sind Voraussetzung für die Akzeptanz und Vorteilhaftigkeit dieser Verfahren. Der Vergleich mit einer Kompostierung wird erschwert durch die große Bandbreite der existierenden Verfahren

³⁷ Der Vollständigkeit halber wurden beim Abfall zusätzlich auch Deponierungs- und Verbrennungsverfahren berücksichtigt.

- Im Vergleich zu Deponien sparen biologische Verfahren Fläche und reduzieren Gas- und Sickerwasseremissionen, soweit diese in kontrollierten Deponien nicht aufgefangen werden. Sowohl Vergärung als auch Kompostierung erzeugen anders als Deponien Kompost. Darüber hinaus entstehen bei der Vergärung nutzbare Energieüberschüsse.
- Verbrennungsverfahren können den gesamten Abfall auf kleiner Fläche behandeln, sind jedoch sehr kosten- und wartungsintensiv. Auch hier wird ein Energieüberschuß produziert.
- Unter ökologischen Gesichtspunkten ist eine energetische und stoffliche Verwertung (Vergärung) gegenüber einer nur stofflichen (Kompostierung) oder nur energetischen Verwertung (Verbrennung) im Prinzip vorzuziehen.
- Deponien ohne stoffliche und ohne energetische Verwertung werden jedoch aus Kostengründen und wegen ihres geringeren Know-how-Bedarfs, aber unter Vernachlässigung von Folgeschäden, in EL bisher mit Abstand am häufigsten eingesetzt.
- Im Regelfall ist eine Kombination der oben genannten Verfahren für unterschiedliche Stoffströme die langfristig geeignetste Lösung für den Abfallsektor.

Tabelle 6: Bewertungskriterien kommunale Abwässer

Zentrale Behandlung kommunaler Abwässer (Anlagen mit Substratfluß > 500 m³/d)			
	Kombiniert anaerob/aerob	Belebtschlamm + Schlammfäulung	Teichverfahren
Reinigungsprozeß			
Organikabbau	hoch	hoch	hoch
Pathogenentfernung	gering	gering - mittel	hoch
Schwebstoffabbau	mittel - hoch	hoch	mittel - hoch
Schlammproduktion	gering	hoch	gering
Gasproduktion	mittel	gering	gering - mittel
Empfindlichkeit gegen toxische Substanzen	hoch	mittel	gering
Landbedarf	gering	gering	sehr hoch
Optimale Größe	mittel - groß	groß	klein - mittel
Energiebedarf	gering	hoch	gering
Nutzungsmöglichkeiten Endprodukte			
Wasser ^{A1}	gering - hoch	gering - hoch	gering - hoch
Schlamm ^{B1}	gering - hoch	gering - hoch	gering ^{C1}
Gas	gering - hoch ^{D1}	mittel ^{D1}	gering ^{E1}
Möglichkeiten lokaler Fertigung	mittel - hoch	mittel	hoch
Betrieb			
Technisierungsgrad	mittel - hoch	hoch	gering
Abhängigkeit von Energieversorgung	gering	mittel – hoch ^{F1}	gering
Wartungsintensität	mittel - hoch	Hoch	gering
Personal			
1. Anforderungen/Qualifikation	mittel - hoch	Hoch	gering - mittel
2. Bedarf an Fachkräften	mittel - hoch	Hoch	gering
Know-how-Verfügbarkeit	gering - mittel	Hoch	mittel - hoch
Betriebsmittel/Ersatzteilbedarf	gering	hoch	gering
Kosten			
Investitionskosten (exkl. Land)	mittel	hoch	gering
Landerwerbskosten	gering	gering	hoch
Betriebskosten	mittel	hoch	gering
Devisenbedarf	mittel	hoch	gering
Umweltaspekte/ Gefährdungspotential			
Klima			
1. CH ₄ -Emissionen ^{G1}	gering - hoch	gering - hoch	gering - hoch
2. CO ₂ -Emissionen	gering	gering ^{H1} - hoch	gering
Nährstoffentfernung ^{I1}	gering	gering - mittel	hoch
Geruch	gering - hoch ^{J1}	gering - hoch ^{J1}	gering - hoch ^{K1}
Moskitos	gering	gering	hoch
Akzeptanz ^{L1}	gering - mittel	mittel - hoch	gering - hoch

Tabelle 7: Bewertungskriterien industrielle Abwässer

Industrielle Abwässer			
	Kombiniert anaerob/aerob	Belebtschlamm + Schlammfäulung	Teichverfahren
Reinigungsprozeß			
Organikabbau	hoch	hoch	hoch
Pathogenentfernung ^{M1}	-	-	-
Schwebstoffabbau	mittel - hoch	hoch	mittel - hoch
Schlammproduktion	mittel ^{N1}	sehr hoch	mittel
Gasproduktion	sehr hoch	mittel - hoch	gering - hoch ^{O1}
Empfindlichkeit gegen toxische Substanzen	hoch	mittel	mittel
Landbedarf	gering	gering	sehr hoch
Optimale Größe	klein - groß	klein - groß	klein - mittel
Energiebedarf	gering	sehr hoch	gering
Nutzungsmöglichkeiten Endprodukte			
Wasser ^{A1}	gering - hoch	gering - hoch	gering - hoch
Schlamm	gering - hoch	gering - hoch	gering
Gas	sehr hoch ^{D1}	sehr hoch ^{D1}	gering ^{E1}
Möglichkeiten lokaler Fertigung	mittel	mittel	hoch
Betrieb			
Technisierungsgrad	mittel - sehr hoch	hoch - sehr hoch	gering
Abhängigkeit von Energieversorgung	keine - gering	mittel - hoch ^{F1}	keine - gering
Wartungsintensität	mittel - sehr hoch	hoch - sehr hoch	gering
Personal			
1. Anforderungen/Qualifikation	hoch	hoch	gering - mittel
2. Bedarf an Fachkräften	mittel - sehr hoch	hoch - sehr hoch	gering
Know-how-Verfügbarkeit	gering - mittel	hoch	hoch
Betriebsmittel/Ersatzteilbedarf	mittel - hoch ^{P1}	hoch	gering
Kosten			
Investitionskosten (exkl. Land)	mittel - sehr hoch	hoch - sehr hoch	gering
Landerwerbskosten	gering	gering	hoch
Betriebskosten	mittel	hoch	gering
Devisenbedarf	mittel - sehr hoch	hoch - sehr hoch	gering
Umweltaspekte/ Gefährdungspotential			
Klima			
1. CH ₄ -Emissionen ^{G1}	gering - sehr hoch	gering - hoch	gering - hoch
2. CO ₂ -Emissionen	gering	gering ^{H1} - sehr hoch	gering
Nährstoffentfernung ^{I1}	gering - hoch	gering - hoch	mittel - hoch
Geruch	gering - mittel	gering - mittel	hoch ^{K1}
Moskitos	gering	gering	hoch
Akzeptanz ^A	mittel - hoch	mittel - hoch	gering - hoch

Anmerkungen zu den Bewertungskriterien kommunale und industrielle Abwässer

- A1: Stark situationsabhängig.
- B1: Nutzungsmöglichkeiten je nach Transportkosten, Pathogen- und Schwermetallbelastung; Aufwand für die erforderliche Nachbehandlung von Schlämmen aus Belebtschlammanlagen ist höher, um eine Nutzung möglich zu machen.
- C1: Sehr geringe Schlammproduktion; periodischer Anfall.
- D1: Hoch, sofern Eigenbedarf und Stromproduktion sich zumindest z.T. zeitlich decken oder eine Einspeisung gewährleistet ist. Kompression zu Verkaufszwecken nur bei großen Anlagen rentabel. Sehr hoch bei Industrieanlagen, da zumeist direkte Eigennutzung möglich.
- E1: Bei Anaerobteichen; Gassammlung aufgrund Flächengröße kostenaufwendig, bisher kaum realisiert.
- F1: Je nach Realisierung von Verstromung und Möglichkeiten der innerbetrieblichen Energienutzung.
- G1: Bisher erst wenig belastbare Messungen; stark prozeßabhängig; hohe Emissionen durch anaerobe Prozesse, wenn keine Gaserfassung und -verwendung vorgesehen.
- H1: Technisch zu lösen, wenn es gelingt, den Energiebedarf weitestgehend durch die Biogasproduktion der Schlammfäulung zu decken.
- II: Technisch zu lösen (anaerob/aerob: Nachreinigung; aerob: Denitrifikation), im Industriesektor werden Nährstoffe häufiger eliminiert
- J1: Besonders bei anaeroben Reaktoren ohne Gaserfassung bzw. ohne Gasnutzung.
- K1: Starke Geruchsentwicklung bei Überlastung und bei anaeroben Teichen, bei Belebtschlammverfahren, wenn der Schlamm nicht nachbehandelt wird (Fäulung).
- L1: Die Akzeptanz durch die benachbarte Bevölkerung unterscheidet sich evtl. von der institutionellen (Geruchsemissionen haben z.B. schlechtere lokale Akzeptanz zur Folge).
- M1: Die Pathogenbelastung industrieller Abwässer ist i.d.R. zu vernachlässigen; anders jedoch bei Industrieanlagen, die Fäkalien mitbehandeln. Für Krankenhäuser, Schlachthöfe, Landwirtschaft regeln v.a. Temperatur, Aufenthaltszeit und Nachbehandlung die Pathogeneliminierung.
- N1: Die Schlammproduktion aus industriellen Abwässern ist durch die meist höheren CSB-Gehalte für alle Verfahren höher. Die Mengendifferenzen zwischen anaerob/aeroben und Belebtschlammverfahren verstärken sich jedoch wesentlich; daher die Einstufungen gering bzw. sehr hoch für anaerob/aerob und Belebtschlammverfahren.
- O1: Je nach Teichverfahren und Intensität des anaeroben Abbaus.
- P1: Üblicherweise höherer Technisierungsgrad als bei Kommunalanlagen.

Tabelle 8: Bewertungskriterien feste Abfälle

Zentrale Behandlung fester Abfälle (Anlagen mit Input > 500 t/a)				
	Kombiniert anaerob/aerob	Kompostierung^{A2}	Deponie	Verbrennung
Abbauprozess				
Stabilisierung	hoch	hoch	gering ^{B2}	hoch
Verweilzeit	mittel	hoch	sehr hoch	gering
Abwasserproduktion	hoch	gering - sehr hoch ^{C2}	hoch	gering
Energieproduktion	sehr hoch	gering ^{D2}	gering - hoch ^{E2}	hoch
Empfindlichkeit gegen toxische Substanzen	gering	gering	gering	gering
Landbedarf	gering ^{F2}	mittel	sehr hoch	gering
Energiebedarf	mittel - hoch ^{G2}	gering - hoch ^{H2}	gering	gering - hoch ^{I2}
Nutzungsmöglichkeiten Endprodukte				
Kompost/Gärschlamm	hoch	hoch	gering	gering
Energie	hoch	gering	gering - hoch ^{E2}	hoch
Möglichkeiten der lokalen Fertigung	mittel	mittel - hoch	hoch ^{J2}	gering
Betrieb^{A2}				
Technisierungsgrad	hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
Abhängigkeit von Energieversorgung	gering ^{G2}	gering - hoch	gering	gering - hoch
Wartungsintensität	mittel - hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
Personal				
1. Anforderungen/Qualifikation	mittel - hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
2. Bedarf an Fachkräften	mittel - hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
Know-how-Verfügbarkeit	gering	gering - mittel	gering - mittel	gering
Betriebsmittel/Ersatzteilbedarf	mittel - hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
Kosten				
Investitionskosten (exkl. Land)	hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
Landerwerbskosten	gering	mittel	sehr hoch	gering
Betriebskosten	mittel - hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
Devisenbedarf	mittel - hoch	gering - hoch	gering - mittel ^{E2}	sehr hoch
Umweltaspekte/Gefährdungspotential				
Klima				
1. CH ₄ -Emissionen	gering - mittel ^{K2}	gering - mittel ^{K2}	gering ^{E2} - sehr hoch	gering
2. CO ₂ -Emissionen	mittel ^{G2}	mittel - hoch ^{L2}	gering	gering - hoch ^{O2}
Geruch	gering - mittel ^{K2}	mittel - hoch ^{M2}	mittel - hoch	gering
Akzeptanz	gering ^{N2}	mittel	gering - hoch	gering

Anmerkungen zu den Bewertungskriterien feste Abfälle

- A2: Der Vergleich wird erschwert durch die große Bandbreite an Kompostierungsverfahren.
- B2: Die Stabilisierung findet erst am Ort der Endlagerung, der Deponie, statt.
- C2: Bei offener Kompostierung sehr hoch durch Eintrag von Niederschlagswasser.
- D2: Nur Wärmeproduktion durch exotherme Reaktion, diese wird jedoch i.d.R. nicht genutzt.
- E2: Bei hohem Deponiestandard mit Sickerwasserfassung, Entgasung und Gasnutzung; dies wird in EL praktisch nicht realisiert.
- F2: Abhängig von Dauer der Nachrotte.
- G2: Prozeßenergiebedarf wird i.d.R. aus Eigenproduktion gedeckt.
- H2: je nach Maschinenaufwand und Technisierungsgrad.
- I2: Verbrennungsanlagen benötigen zumeist eine Stützfeuerung. Aus energetischen Gründen ist daher eine Kombination Vergärung - Verbrennung interessant, wobei das Biogas für das Stützfeuer der Verbrennung genutzt wird (Beispiel: Vals, Österreich).
- J2: Gilt nur für Anlagen ohne Sickerwasser- und Gaserfassung.
- K2: Je nach Qualität der Betriebsführung.
- L2: CO₂-Bilanz: Vergärung: Nettoeinsparung an CO₂, Kompostierung: Nettoproduktion von CO₂.
- M2: Abhängig von Art der Anlage (offene Mietenkompostierung: hoch bei Umsetzen der Mieten).
- N2: U.a. weil bisher wenig bekannt/unbekannt.
- O2: Je nach Stützfeuerung.

Tabelle 9: Systemvergleich im Überblick

• <u>Kommunalabwässer...</u>	<p><i>...benötigen Temperaturen über 18°C und einen Chemischen Sauerstoffbedarf über 250 mg/ℓ, damit ein Einsatz anaerober Verfahren beim aktuellen Stand der Entwicklung ökonomisch sinnvoll sein kann. Werden diese Kriterien erfüllt, weisen anaerobe Verfahren i.d.R. geringere Behandlungskosten als intensive Aerobverfahren auf. Eine Nachbehandlung ist meist zu empfehlen, um gewünschte Ablaufwerte zu erreichen und Nährstoffe und Pathogene zu reduzieren. Im Vergleich zu extensiven Teichverfahren ist eine ökonomische Vorteilhaftigkeit bei Landpreisen zwischen 12 und 18 US\$/m² zu erwarten.</i></p>
• <u>Industrieabwässer...</u>	<p><i>...bergen, wenn organisch hoch belastet, die Möglichkeit der Beheizung, so daß auch Abwässer mit niedrigen Temperaturen flächensparend behandelt werden können. Abwasserzusammensetzung und toxische Bestandteile dürfen den Abbau nicht hemmen. Trotz gelegentlich höherer Investitionskosten gegenüber intensiven Aerobverfahren führen geringere Betriebskosten zumindest bei größeren Anlagen zu niedrigeren Behandlungskosten. Die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit steigt mit der Organikkonzentration im Abwasser und den gesetzlichen Auflagen.</i></p>
• <u>Abfälle...</u>	<p><i>...und Schlämme mit einem hohen Organikanteil (in der Praxis: Störstoffe zumeist < 10%) können unabhängig von der Außentemperatur grundsätzlich anaerob behandelt werden. Dabei werden die Abfälle flächensparend sowohl stofflich wie auch energetisch verwertet. Kostenseitig vergleichbar der reinen Kompostierung, haben sie wirtschaftliche Vorteile gegenüber der Verbrennung, sind im Vergleich zu Deponien aber zumindest kurzfristig kostenintensiver. Bei Kombinationssystemen können vielfältige Synergien genutzt werden.</i></p>
• <u>Begünstigend...</u>	<p><i>...auf den Einsatz der Anaerobtechnologie wirken grundsätzlich hohe Energie- und Landpreise, hohe Abfall- und Schlamm Entsorgungskosten bzw. Kompostpreise, sowie zumeist auch hohe Ausrüstungsgüterpreise und Devisen. Strenge Umweltgesetze, die ökonomische Bewertung von Umwelt- und Klimawirkungen sowie eine mögliche Nutzung der entstehenden Sekundärprodukte sind weitere fördernde Faktoren.</i></p>
• <u>Voraussetzung...</u>	<p><i>... für eine langfristig erfolgreiche Technologienutzung sind qualifizierte Planung und Management und die gesicherte Finanzierung des Anlagenbetriebs.</i></p>

1.10 Empfehlungen der Partner aus den Entwicklungs- und Schwellenländern

Zusammenfassung der Empfehlungen der Regionalseminare in Bucaramanga, Belo Horizonte, Ho-Chi-Minh-City³⁸

Aufbauend auf den ersten Projektergebnissen formulierten die Teilnehmer der in Asien und Lateinamerika mit Hilfe des Projektes organisierten Anaerob-Seminare Empfehlungen für Folgeprojekte, die internationale EZ und eigene Entwicklungsperspektiven. Trotz einer Reihe betriebsbezogener Probleme mit der Anaerobtechnologie wurden die Erfahrungen, vor allem die Potentiale der Anaerobtechnologie positiv eingeschätzt. Grundsätzlich wurden Entscheidungsträger in Entwicklungs-, Finanzierungs- und Implementierungsorganisationen aufgefordert, die umweltbezogenen Möglichkeiten dieser Technologien verstärkt zu nutzen, bspw. durch Einbindung in städtische Umwelt- und Sanitärprogramme, in Programme zur Sanierung von Wassereinzugsgebieten, im Bereich des Energieversorgungs- und des Klimaschutzes wie auch bei Personalqualifikationen. Institutionen, die sich mit Technologietransfer und -anpassung befassen, sind gebeten, praxisorientiert Maßnahmen zur vermehrten Anwendung und Anpassung anaerober Prozesse im Abwasser- und Abfallsektor zu unterstützen. Die unterschiedlichen Empfehlungen konzentrierten sich auf folgende Schlüsselbereiche:

Technische Aspekte

Neben der Optimierung und Rehabilitierung in Betrieb befindlicher Anlagen lag das Hauptaugenmerk auf einer Kostenreduzierung und weiteren Anpassung für die verschiedenen Technologien an Bedingungen in EL, sowie der Erprobung angepasster Vor- und Nachbehandlungssysteme. Zur Verringerung der Planungskosten soll vermehrt auf modulare Bauweise, Teilstandardisierung und lokal verfügbare, widerstandsfähige Materialien und Komponenten zurückgegriffen werden.

Im Kommunalabwasserbereich gilt es vor allem, Geruchsbelästigungen und ungenügende Gasnutzung zu verhindern und eine Reihe von technischen Detailproblemen (Dreiphasentrennung, Schlammaswaschung, Verteilung, Verstopfung, Monitoring) zu optimieren.

Im Industrieabwasserbereich müssen vor allem bezahlbare kleinere und mittlere Systeme für spezielle Abwässer der Nahrungsmittelindustrie branchenbezogen (bspw. Kaffee, Stärke, Fruchtsaft, Tourismusindustrie) zur Marktreife, ggfs auch als Kompaktanlagen weiterentwickelt werden. Es wurde empfohlen, durch gezielte Serien von Pilotanlagen Erfahrungen zunächst im kleineren Maßstab zu sammeln.

Auch bei den Anlagen zur anaeroben Behandlung kommunaler Abfälle und der Co-Fermentation, einem auch unter Umwelt-, Energie- und Klimagesichtspunkten vielversprechenden Bereich der Umwelttechnologie, gilt es zunächst im Rahmen von Technologietransferprogrammen mit Hilfe von Pilotanlagen geeignete Anpassungen an Bedingungen in Schwellen- und Entwicklungsländer vorzunehmen.

Institutionelle Einbindung

Von den Partnern wurde eine verstärkte Berücksichtigung und Einbindung auch dezentraler Abwasser- und Abfalltrennkonzepete, wie auch der Bau von Beispielanlagen in großen Städten und in den Metropolen der Schwellenländer für die Abwasser- und Abfallbehandlung eingefordert. Zu diesem Zweck sollen vermehrt Querschnittsarbeitsgruppen und Know-how-Netzwerke gebildet und (wie in Kolumbien) ausgebaut werden, die die Einbindung von Abwasser-, Abfall-, Boden-, Energie- und Klimafragen sektorübergreifend in den zuständigen Institutionen vertreten. Information und Wirksamkeit von Kontakten zum Gesetzgeber wie zu nationalen und internationalen Finanzierungs- und Implementierungsinstitutionen sollen so gleichermaßen verbessert werden. Bezüglich der Gesetzgebung wurden insbesondere vermehrte Kontrollen von Ablauf-

³⁸ Siehe auch die Berichte zu den genannten Seminaren.

werten und Qualitätsstandards für die Anlagen, auch mengenbezogene Abwasserstandards, Rahmengesetze zur Abfalltrennung sowie die Verbesserung von Netzeinspeisebedingungen für Gas und Strom gefordert.

Ausbildung und Information

Schwerwiegenden Defizite bei der formalen Ausbildung im Bereich der Planung und des Betriebs von Anaerobanlagen sollen vor allem durch geeignete und praxisorientierte Angebote für Planer und Betriebspersonal verringert werden. Trainingsmaßnahmen müssen auch für Entscheidungsträger, in Universitäten (Ingenieursausbildung) und auf institutioneller Ebene realisiert werden. Für Ausbildungszwecke sollten fehlerhafte Anlagenbeispiele vermehrt dokumentiert und kommuniziert werden, um Defizite künftig zu vermeiden. Auch die Weiterentwicklung von Curricula und Lehrmaterialien wird als dringend erforderlich angesehen. Damit eng verknüpft sind verbesserte Informationsflüsse zu Entscheidungsträgern im technischen und politischen Bereich sowie zu den Finanzierungsträgern.

Anlagenbetrieb

Trotz geringeren Geräte- und Betriebsmittelaufwandes und potentieller Energieerträge ist die Gewährleistung eines kontinuierlichen und qualifizierten Anlagenbetriebs auch bei Anaerobanlagen die Achillesferse. Neben einer kontinuierlichen Kontrolle des Abwassers, vermehrten Ausbildungsanstrengungen und einer hinreichenden kommunalen Aufsicht werden verbesserte Organisationsmodelle, die die Einbindung der Bevölkerung, klare Verantwortung und Eigeninteresse der Anlagenbetreiber und die Deckung benötigter Betriebskosten sicherstellen, dringend empfohlen. Darüber hinaus sollen sowohl einfache wie auch automatisierte Steuerungs- und Monitoringsysteme auf zentrale Meßgrößen beschränkt und normiert werden.

Nutzung der Endprodukte

Die häufig sträfliche Vernachlässigung einer Nutzung der entstehenden Endprodukte (Schlamm, Wasser, Energie) wurde vor allem als eigene Handlungsperspektive der Partner identifiziert. Obwohl häufig bereits in der Planungsphase "übersehen", z.T. auch durch gesellschaftliche Strukturen und den ordnungsrechtlichen Rahmen begrenzt, liegen Defizite in vielen Fällen bei den Anlagenbetreibern selbst. Insbesondere die von kommunalen Trägern ungenutzten Energiepotentiale, mit gravierenden Klima- und Nachbarschaftsproblemen, ließen sich durch eigene Anstrengungen beheben.

Entwicklungszusammenarbeit

Der Entwicklungszusammenarbeit wurden zunächst u.a. die folgende konkreten Schritte empfohlen:

- Förderung von Aktivitäten zur Verbreitung von Informationen über die Potentiale und Grenzen der Anaerobtechnologien zur Behandlung von Abwässern und organischen Abfällen unter Einsatz elektronischer Kommunikationssysteme
- Unterstützung regionaler und internationaler Netzwerke zum Austausch von Erfahrungen bei der Entwicklung und im Betrieb von anaeroben Verfahren
- Vertiefende Prozeßdatensammlung über die anaerobe kommunale Abwasserreinigung im großtechnischen Maßstab auch für Anlagen mit Abwassertemperaturen $< 18^{\circ}\text{C}$
- Vermehrte Ausbildung von Planungs-, Bau- und Betriebspersonal im Bereich anaerober Technologien
- Technologische Anpassungs- und Entwicklungsmaßnahmen insbesondere für die Abwasserbehandlung in der Klein- und Mittelindustrie sowie im kommunalen Bereich; dabei sind TZ- und FZ-Aktivitäten sinnvoll zu verknüpfen

- Demonstrationsvorhaben zur anaeroben Behandlung organischer Abfälle inklusive der Co-Fermentation, also der Nutzung von energetischer und stofflicher Synergie bei der kombinierten Behandlung von Abwasser, Schlamm und Abfall. Dabei können städtische, industrielle und landwirtschaftliche Systeme situationsbezogen sinnvoll verknüpft werden.
- Modellhafte Entwicklung geeigneter Managementsysteme für Betrieb und Finanzierung komplexer Anlagen und die Qualifikation von Betriebspersonal in Pilotprojekten.
- Verstärkte Berücksichtigung von anaeroben Verfahren als ressourcenschonende, kostengünstige und an EL angepasste Behandlungsalternative bei zukünftigen Finanzierungsvorhaben der FZ.

1.11 Schlußfolgerungen

Nach Abschluß des Vorhabens und unter Einbeziehung der gesammelten Informationen und Erfahrungen lassen sich folgende Kernaussagen formulieren:

- 1) Die Anaerobtechnologie ist im Abwasserbereich grundsätzlich etabliert. Ihre ökologische und ökonomische Vorteilhaftigkeit ist zumindest in Einzelfällen nachgewiesen, besonders wenn Biogas, Schlamm und gereinigtes Abwasser unter Beachtung der Hygieneproblematik genutzt werden.
- 2) In der industriellen Abwasserreinigung ist die Anaerobtechnologie bei Brennereien, der Zucker-, Alkohol-, Stärke-, sowie bei der Obst und Gemüse verarbeitenden Industrie auf breiter Basis im Einsatz. Auch in EL hat sich ein Markt dafür entwickelt. Für eine Reihe weiterer Industrien wie (Petro)Chemie und Pharmaindustrie, Schlachthöfe, Milchverarbeitung, sind Einzelprojekte realisiert. Weitere Anpassungen und Entwicklungen sind v.a. für die Klein- und Mittelindustrie notwendig.
- 3) Im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung steht der Einsatz der Anaerobtechnologie noch am Anfang (mit Ausnahme der Schlammfäulung). Der Bau direkter anaerober Abwasserreinigungsanlagen zeigt bei Abwassertemperaturen oberhalb 18°C auch in Größenordnungen mehrerer hunderttausend Einwohnergleichwerte steigende Tendenz. Wie bei anderen Abwasserreinigungssystemen auch, erfordert die nachhaltige Nutzung der Anaerobtechnologie den Aufbau eines spezifischen Managementsystems.
- 4) Die anaerobe Abfallbehandlung ist bisher vorrangig in Mitteleuropa im Einsatz und entwickelt sich dort ständig. Erste Ansätze für ihren Einsatz in EL sind erkennbar. Mit zunehmenden Abfallmengen und abnehmendem Deponieraum wird sich auch in EL die Frage nach Trennung und Wiederverwertung von Abfällen stellen müssen. Dabei werden vermehrt auch Kombinationsmöglichkeiten von biologischer Abfall-, Schlamm- und Abwasserbehandlung, Deponierung und Verbrennung in Erwägung gezogen.
- 5) Zur verbesserten Nutzung anaerober Technologien im Rahmen der künftigen Entwicklungszusammenarbeit gilt es, sie intensiver in geeignete Entwicklungs-, Know-how- und Technologietransfermaßnahmen einzubinden und dabei Technische und Finanzielle Zusammenarbeit sinnvoll auch mit privatem Engagement zu verknüpfen. Stadtentwicklungs-, Industrie-, Sanitär-, aber auch Umwelt-, Energie- und Klimaprogramme sollten disziplinenübergreifend und gezielter von möglichen Synergien für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft Gebrauch machen.

Teil B

Stand der Anaerobtechnologie im Abwasser- und Abfallsektor Ergebnisse für fachlich orientierte Entscheidungsträger

2 Einsetzbarkeit der Anaerobtechnologie im Abwasser- und Abfallsektor

2.1 Biologische Grundlagen der Anaerobtechnologie

Anaerobe Bakterien sind als effiziente Destruenten bekannt. Sie zersetzen organische Substanzen in Abwesenheit von Sauerstoff zu Mineralstoffen, Wasser, Kohlendioxid und Methan. Die Abbauleistung ist das Ergebnis eines komplexen, gut abgestimmten Zusammenwirkens verschiedener Bakteriengruppen. Diesen Prozeß macht sich der Mensch zunutze, wenn er ihn zur Behandlung organischer Reststoffe einsetzt. Der anaerobe Abbau ist eine Alternative zur aeroben Veratmung, wobei es sich unter technischen und ökonomischen Gesichtspunkten empfiehlt, den aeroben und anaeroben Abbau komplementär anzuwenden.

Aerob erfolgt der Abbau von Kohlenstoffverbindungen durch mikrobiologische Systeme, bei denen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Mikroorganismen eine deutlich geringere Rolle als bei anaeroben Systemen spielen. Aerobe Systeme weisen eine höhere Wachstumsdynamik auf, haben aber den Nachteil, daß sie wesentlich mehr Biomasse (Schlamm) erzeugen (bis zu 50 % des abgebauten CSB) und damit Entsorgungsprobleme verursachen können.

Anaerobe Abbauprozesse verlaufen bei konstant höheren Temperaturen besonders effektiv. Diese Bedingungen sind am ehesten in tropischen und subtropischen Ländern anzutreffen.

Tabelle 10: Gegenüberstellung der wesentlichen Unterschiede zwischen dem aeroben und dem anaeroben Abbauprozess; Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. I, 1998.

Parameter	Aerober Abbauprozess	Anaerober Abbauprozess
Abbauvorgang	Abbau der organischen Inhaltsstoffe i. a. durch einen dominierenden Organismus zu CO ₂ , H ₂ O, Nitrat, Sulfat, Phosphat und Biomasse	stufenweise Abbau der organischen Inhaltsstoffe durch mehrere Organismen zu CO ₂ , NH ₄ , Methan und Biomasse, ggf. H ₂ S
Organismenwachstum	sehr schnelles Wachstum, geringe Generationszeiten; dadurch hohe Biomasseproduktion	langsames Wachstum (besonders der methanogenen Bakterien), hohe Generationszeiten, dadurch geringe Biomasseproduktion
Milieuanforderungen der Organismen	große Artenvielfalt mit breitem Abbauspektrum, wenig spezialisiert, unempfindlich	mehrere Organismengruppen mit z. T. gegensätzlichen Anforderungen, sehr empfindlich gegen Milieuänderungen
Betriebssicherheit	biologisch stabil, einfache Überwachung, geringe Einarbeitungszeit	biologisch störungsanfällig, kontinuierliche Überwachung, lange Einarbeitungszeit
Energiebedarf	als Wasserstoffakzeptor wird O ₂ benötigt, dadurch verhältnismäßig hoher Bedarf an Fremdenergie	als Wasserstoffakzeptor wird kein O ₂ benötigt, dadurch geringer Bedarf an Fremdenergie
Energiegewinn	große Energiedifferenz zwischen Anfangs- und Endprodukt, damit Selbsterwärmung durch exotherme Stoffwechselfähigkeit möglich; Endprodukte energetisch wertlos	energetisch wertvolles Endprodukt (Methan), geringe Energiedifferenz zwischen Anfangs- und Endprodukt, dadurch keine oder nur geringe Selbsterwärmung

2.2 Kommunale Abwässer

In ihrer Gesamtheit betrachtet sind kommunale Abwässer geringer belastet und untereinander homogener als die Gruppe der industriellen Abwässer. Unabhängig von der Technologie erleichtert dies ihre Behandlung. Kommunale Klärwerke können deshalb eher standardisiert ausgelegt werden, da i.d.R. keine extremen Belastungen vorkommen, die besondere konstruktive Maßnahmen erfordern. Auch wenn kommunale Abwässer durch unterschiedlichen Wasserkonsum, variierende Anteile an (teilgereinigten) industriellen Abwässern und Verdünnung durch Regenwasser CSB-Werte zwischen 300 und 1.500 mg/ℓ aufweisen, ist dies im Vergleich zu industriellen Abwässern mit CSB-Werten von unter 100 bis 80.000 mg/ℓ gering. Durch hohe und wechselnde Verdünnung und meist niedrige Temperatur bieten kommunale Abwässer jedoch ungünstigere Voraussetzungen für eine anaerobe Reinigung als industrielle Abwässer.

2.2.1 Anfall und Beschaffenheit kommunaler Abwässer

Die im Rahmen des Projekts erhobenen Daten zeigen, daß in den letzten Jahren Fortschritte beim Einsatz anaerober Reinigungsverfahren für schwächer belastete Abwässer erzielt worden sind. Die Vorteile anaerober Verfahren treten zwar bei steigender Belastung der Abwässer stärker hervor (ein oberer Grenzwert für den Einsatz der Anaerobtechnologie läßt sich nicht angeben), aber nach den jetzt vorliegenden Erfahrungen können auch schwach belastete Abwässer anaerob behandelt werden. Die untere Grenze für den sinnvollen Einsatz anaerober Verfahren bewegt sich aktuell bei einer organischen Belastung von ca. 250 mg CSB/ℓ.

Die in kommunalen Abwässern enthaltenen Schwebstoffmengen beeinflussen die Einsetzbarkeit von anaeroben Verfahren normalerweise nicht.

Tabelle 11 stellt Mengen und Charakteristika der Abwässer verschiedener anaerober Kommunalanlagen sowie Durchschnittswerte zusammen.

Tabelle 11: Typische Mengen und Charakteristika kommunaler Abwässer am Beispiel von fünf Praxisanlagen und Mittelwerte; Quelle: Monitoringberichte und Anlagendatenbank

Anlage Name	Temp. °C	Einwohner		BSB ₅		CSB		TS		Nährstoff (N)	
		EG	ℓ/EG•d	mg/ℓ	g/EG•d	mg/ℓ	g/EG•d	mg/ℓ	g/EG•d	mg/ℓ	g/EG•d
Pedregal/Brasilien	24	5.000	45	368	17	727	33	429	19	44	2
UNITRAR/Peru	24	10.000	38	200	8	500	19	120	5	40	2
Cali/Kolumbien	25	20.000	194	131	25	315	61	220	43	24	5
Rio Frio/Kolumbien	26	240.000	116	185	22	390	45	245	28	k.A.	k.A.
Ben Sergao/Marokko	21	10.000	75	374	28	1.189	89	431	32	k.A.	k.A.
Mittel*	22	24.000	129	320	41	610	70	320	41	43	6

* Ermittelt aus 120 kommunalen Anlagen der Anlagendatenbank

Aus der Anlagendatenbank wurde aus den Angaben über angeschlossene Einwohner und die tatsächlich zufließende Abwassermenge der Abwasseranfall je Einwohnergleichwert in Abhängigkeit der Ausbaugröße (in EG) ermittelt. Auch die Schmutzfracht (in kg CSB) wurde auf die angeschlossenen EG bezogen und so die einwohnerspezifische Schmutzfracht ermittelt. Dabei wurden nur die Daten der Anlagen > 1.000 E berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt.

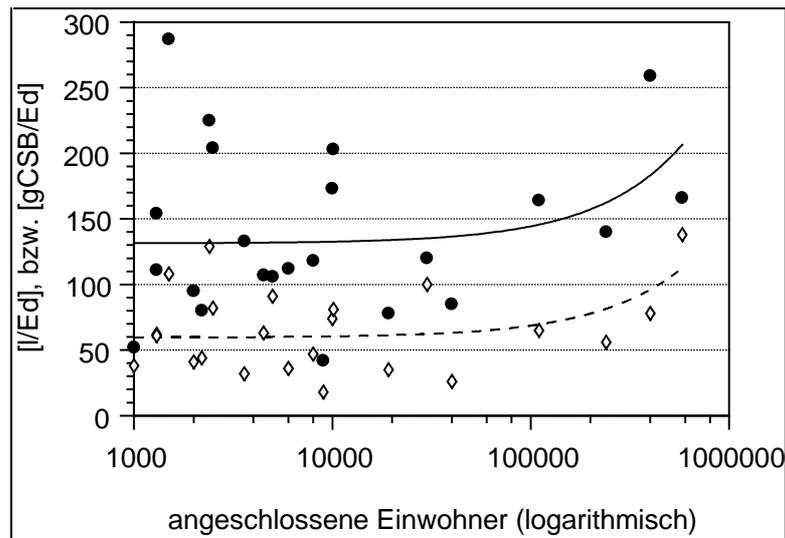


Abbildung 2: Spezifische Abwassermenge und -fracht in Abhängigkeit der Kläranlagenausbaugröße; Quelle: Anlagendatenbank; Punkte und durchgezogene Linie = l/E•d; offene Marker und gestrichelte Linie = g CSB/E•d

Bei den insgesamt dokumentierten Anlagen schwankt der Abwasseranfall zwischen 40 und 300 l/E•d und die CSB-Fracht zwischen 20 und 130 g CSB/E•d. Im Bereich über 50.000 E ist ein Trend zu höheren spezifischen Wasserverbräuchen und höheren spezifischen Frachten bei steigender Ausbaugröße unverkennbar.

Im Abwasser enthaltene Schadstoffe (z. B. Schwermetalle) können den Abbauprozess hemmen bzw. zum Erliegen bringen, aber es lassen sich auch zahlreiche organische Xenobiotika (Fremdstoffe) einem anaeroben Abbau unterziehen (Eggert et al. 1988).³⁹ Hohe Calcium-, Magnesium- und Ammoniumkonzentrationen können zu Ablagerungen in Rohrleitungen, u.U. bis zu deren Verstopfung führen.

Risiken für die biologischen Reinigungsprozesse durch prozeßhemmende Inhaltsstoffe sind erfahrungsgemäß bei Kommunalabwasser relativ gering und anhand von Daten zur Abwasserzusammensetzung im Einzelfall abzuschätzen, um betriebliche Störungen und Einschränkungen bereits vorab zu vermeiden.

Den wohl wichtigsten limitierenden Parameter für den Einsatz der Anaerobtechnik stellt - zumindest in den gemäßigten Klimazonen - die Temperatur dar.

Die bakterielle Aktivität nimmt mit sinkender Temperatur ab. Deshalb muß sich die Verweilzeit des Substrats im Reaktor mit sinkender Temperatur verlängern, um den gleichen Reinigungsgrad zu erreichen. Dadurch nehmen Anlagengröße und Behandlungskosten im Prinzip zu⁴⁰.

Abbildung 3 zeigt die Streuung der im Rahmen des Projektes erhobenen Praxiswerte, die diesen grundsätzlich erwiesenen Zusammenhang zunächst nicht belegen.

³⁹ Es wird sogar der Einsatz anaerober Verfahren zur Entgiftung flüssiger Sonderabfälle erwogen, zumal sich mit modernen biotechnologischen Methoden diesbezüglich erhebliche Entwicklungsmöglichkeiten abzeichnen (ADRIAN ET AL. 1996).

⁴⁰ Annahmen über relativ hohe Abnahmen der Aktivität mit sinkender Temperatur (van Haandel und Lettinga, "Anaerobic Sewage Treatment", Wiley, 1994, nehmen an, daß sich bei einer Temperaturänderung von 25 auf 15°C die Abbaurate um mehr als die Hälfte senkt) stimmen allerdings nicht mit Werten aus den Anlagendatenblättern des Projektes überein, die in der Praxis kaum eine Temperaturabhängigkeit erkennen lassen und auch bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen noch CSB Reinigungsleistungen zwischen 65 und 70% nahelegen. Möglicherweise kann die verminderte bakterielle Aktivität durch eine ausreichende Schlammmenge kompensiert werden.

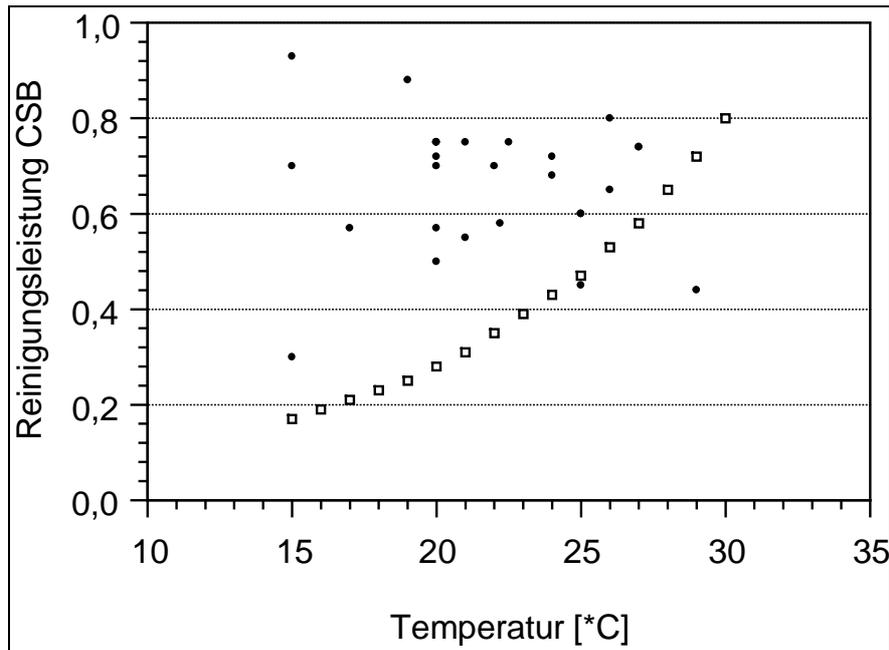


Abbildung 3: Abhängigkeit der CSB-Reinigungsleistung von der Temperatur

Punkt-Marker: Anlagendatenbank; Offene Marker nach Van HAANDEL und LETTINGA (1994) nach HENZEN und HARREMOES (1983); relative Abbauleistungen bezogen auf angenommene CSB = 80% bei 30°C.

Die Aktivitätsabnahme anaerober Bakterien bei sinkender Temperatur ist in jedem Fall größer als die von aeroben Bakterien, letztere erzeugen selbst hohe Mengen an Wärme. Das Temperaturoptimum für in kommunalen Abwässern vorkommende anaerobe Bakterien liegt bei ca. 35°C und ist somit höher als das aerobere Bakterien.

Durch die hohe Verdünnung kommunaler Abwässer kann aus dem entstehenden Biogas nicht genug Energie erzeugt werden, um das Abwasser aufzuheizen. Die Temperatur kommunaler Abwässer muß demnach als ein nicht zu beeinflussender Faktor angesehen werden.

Im Vorfeld einer Technologiewahl ist auch der Temperaturverlauf zu beobachten. Hohe Temperaturschwankungen können die Prozeßstabilität beeinflussen. Dies ist besonders in Regionen mit ausgeprägtem jahreszeitlichem Wechsel der Fall.⁴¹ Generell kann gesagt werden, daß tropische Regionen mit ganzjährig weitgehend konstanten Temperaturen für den Einsatz der Anaerobtechnologie optimal geeignet sind. Eine klimatische Anwendungsgrenze liegt im Mittelmeerraum, wo sich voraussichtlich in den nächsten Jahren durch den Bau und Betrieb von Anaerobanlagen die realen Praxisgrenzen ablesen lassen. Genaue Temperaturgrenzen liegen de facto bis dato nicht fest. Eine anaerobe Reinigung sollte jedoch nach gegenwärtigem Wissensstand ab einer mittleren Abwassertemperatur von 18°C erwogen werden, obwohl positive Praxiserfahrungen auch bereits bei Temperaturen unterhalb dieser Grenze gemacht wurden⁴².

Untere Einsatzgrenzen der Anaerobtechnologie:
CSB - Gehalt > ca. 250 mg/ℓ **Abwassertemperatur > ca. 18°C**

⁴¹ Z. B. in der BRD. Hier können die Abwassertemperaturen bspw. zwischen 20°C im Sommer und 7°C im Winter schwanken.

⁴² Die Anlagendatenbank des Sektorvorhabens beinhaltet einige Anlagen, die erfolgreich bei 15 °C Abwassertemperatur betrieben werden (in Kolumbien, Bolivien, Mexiko); der Einsatz des RAP-Reaktors in Kolumbien ist für Abwassertemperaturen ab 15 °C vorgesehen (siehe Länderbericht Kolumbien des Sektorvorhabens).

Tabelle 12 stellt beispielhaft typische Werte für wichtige Abwasserbehandlungsverfahren dar, die aus verschiedenen Quellen gemittelt wurden.

Tabelle 12: Beispielhafte Werte für UASB-Systeme im Vergleich zu Referenzverfahren

	Abbau (%)				Schwebstoffe (TSS) Auslauf mg/ℓ	Gasproduktion* ℓ/(EG•d)	Schlamm- erzeugung kg TS/kg CSB _{entfernt} ^{*****}	Referenz
	BSB ₅	N _{kj}	N _{tot}	P				
UASB	75-90	ca. 0	ca. 0	ca. 0	ca. 100	19 ^{***}	0,2-0,4	E
UASB + Nachreinigungsteich ^{*****}	bis 98	bis 20	-	-	<30	19 ^{***}	0,2-0,4	E
Belebtschlammverfahren: hoch belastet	90	25	30	45	25	17-35	0,9-1,0	A,B,C
schwach belastet	95	75	55	10-20	10	20	0,5-0,7	A,B,C
Teichsystem ^{*****}	80-90 ^{**}	-	50-90	-	50-75% (Abbau)	0	0,03-0,08 m ³ /E•a	A,B,D

A = Länderbericht Indien des Sektorvorhabens, 1997; B = Metcalf and Eddy (1984); C = STORA (1988); D = Arthur (1983); E = Statusbericht des Sektorvorhabens, 1998.

* ca. 65% CH₄ bei Schlammfäulung, ca. 75% CH₄ bei anaerober Abwasserreinigung; ** L. Sasse geht von einem BSB₅-Abbau von 70-95% aus (DEWATS, Borda, 1998); *** bei 70% CSB-Abbau, **** Verhältnis CSB/BSB₅ = 2-2,5, ***** Ein Teil des BSB und der Schwebstoffe wird in Algen transformiert.

2.2.2 Energieaspekte

Energiebedarf

Der Energiebedarf zum Betrieb kommunaler Abwasserreinigungsanlagen beschränkt sich i.d.R. auf den End-energieträger Strom. Ein Bedarf an Prozeßwärme ist bei aeroben Anlagen aus prozeßtechnischen Gründen nicht erforderlich, bei anaeroben Verfahren könnte mit einer Substraterwärmung zwar eine Verbesserung des Organikabbaus erzielt werden, aufgrund der geringen organischen Belastung kommunaler Abwässer würde dies jedoch in keinem vernünftigen Verhältnis zum erzielbaren Mehrertrag stehen.

Der Strombedarf der meisten anaeroben Reinigungsverfahren für kommunale Abwässer ist im Gegensatz zur Mehrzahl der aeroben Verfahren - insbesondere dem Belebtschlammverfahren - gering. Dies hat niedrigere Kosten für die Energiebereitstellung zur Folge. Angesichts der Tatsache, daß das Scheitern von Abwasserreinigungsprojekten in EL häufig darin begründet ist, daß die Betriebskosten auf Dauer nicht getragen werden können, wirken sich die geringen Energiekosten bei Anaerobanlagen positiv auf einen nachhaltigen Betrieb aus.

Vergleicht man den Energiebedarf der drei wichtigsten Abwasserbehandlungsverfahren in EL, dann ergibt sich zusammengefaßt folgendes Ergebnis:

- der Energieverbrauch von Belebtschlammverfahren ist in EL aufgrund geringerer Anforderungen bezüglich der organischen Restfracht und der Nährstoffeliminierung nur etwa halb so groß wie in mitteleuropäischen Anlagen,
- der Energieverbrauch der Verfahrenskombination UASB + Nachreinigungsteich ist um fast eine Größenordnung geringer als der von Belebtschlammverfahren,
- Natürlich belüftete Teichverfahren weisen keinen Prozeßenergiebedarf auf und benötigen lediglich Strom für die Anlagenbeleuchtung und evtl. für automatische Rechenanlagen.

Die folgende Tabelle 13 zeigt mittlere Werte für den spezifischen Strombedarf verschiedener Verfahren in EL:

Tabelle 13: Strombedarf verschiedener Behandlungsverfahren in EL (kWh/kg BSB₅ abgebaut); Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens, 1998

UASB + Nachreinigungsteich	Natürlich belüftete Teiche	Belebtschlammverfahren
0,1-0,15	ca. 0,1 - 0,15*	0,8 - 1,0

* Vergleichbar mit UASB + Nachreinigung

Energieerzeugung

Beim Einsatz der Anaerobtechnologie im Kommunalabwasserbereich tritt nicht nur ein geringerer Prozeßenergiebedarf auf, es wird darüber hinaus auch Biogas erzeugt, welches zu etwa 65-75% aus dem energetisch hochwertigen Methan besteht (VAN HAANDEL UND LETTINGA, 1994). Die übrigen Bestandteile des Biogases setzen sich im wesentlichen CO₂ sowie einer Reihe von Spurengasen zusammen.

Aufgrund der in der Biomasse gespeicherten chemischen Energie ergibt sich rein rechnerisch eine Gasproduktionsrate von 0,35 m³ Methan/kg CSB. Da jedoch die organische Substanz nicht vollständig abgebaut und ein Teil des Gases nicht genutzt werden kann (da es im Abwasser gelöst aus dem Reaktor herausgetragen wird oder auf anderen Wegen entweicht), ergeben sich in der Praxis niedrigere Erträge.

Die im Rahmen des Sektorprojektes erhobenen Daten zur Energieproduktion bei anaeroben Anlagen weisen erhebliche Schwankungen auf und sind statistisch kaum verwertbar. Aus Literaturangaben kann man als Faustzahl für die Methanproduktion bei häuslichen Abwässern einen Wert von ca. 0,2 m³ CH₄/kg CSB_{abgebaut} annehmen. Dies entspricht einem Bruttoenergiegehalt von ca. 2 kWh/kg CSB_{abgebaut}.

Tabelle 14: Faustzahlen für Methan- und Energieproduktion bei der anaeroben Abwasserbehandlung

Biogasproduktion	Methanproduktion	Bruttoenergie
0,3 m ³ Biogas/kg CSB _{abgebaut}	0,20 m ³ CH ₄ /kg CSB _{abgebaut}	2,0 kWh/kg CSB _{abgebaut}

Beispiel: bei einem mittleren CSB-Gehalt von 400 mg/ℓ und einer CSB-Abbaurrate von 70% entspricht dies einem Bruttoenergieertrag von 0,56 kWh/m³ Abwasser.

Bei Belüftungsverfahren mit anaerober Schlammfäulung ist der Ertrag an Methangas etwas geringer als bei Verfahren mit anaerober Hauptbehandlung des Rohabwassers. Der Strombedarf zur Belüftung kann mit technisch ausgereiften Verstromungsanlagen meist durch die eigene Erzeugung gedeckt werden. Das Verhältnis von Strombedarf und Stromerzeugung beim Belebtschlammverfahren hängt jedoch von zahlreichen Faktoren ab, und kann sowohl kleiner als auch größer 1 sein.

Bei Verfahren mit konventionellen Teichen wird keine Energie gewonnen. In einzelnen Fallbeispielen mit abgedeckten Teichen konnte zwar ebenfalls Biogas kontrolliert gesammelt werden, diese Lösungen spielen in der Praxis jedoch keine Rolle.

Energienutzung

Mit dem erzeugten Biogas steht eine erneuerbare Energiequelle zur Verfügung, die zur Deckung des internen Energiebedarfs und/oder zur Versorgung externer Verbraucher genutzt werden kann. Da das bei der Reinigung kommunaler Abwässer entstehende Gas im allgemeinen nicht zur Substratbeheizung genutzt wird, kann es für andere Zwecke verwendet werden.

Während bei der industriellen Abwasserreinigung meist gute Voraussetzungen für eine Gasnutzung vorherrschen, da in vielen Betrieben sowohl ein erheblicher Strom- als auch Wärmebedarf existiert, besteht bei kommunalen Abwasserreinigungsanlagen i.d.R. kein Wärmebedarf und - außer bei Belebungsverfahren - auch nur ein geringer Strombedarf. Sofern keine andere Nutzungsmöglichkeit für das Biogas besteht, bleibt

nur die Möglichkeit der Verstromung mit dem Ziel der Einspeisung in das Netz des Energieversorgers. Dies ist jedoch nur dann wirtschaftlich tragbar, wenn akzeptable Einspeisebedingungen vorherrschen. In vielen Entwicklungsländern ist die Einspeisung jedoch durch administrative Hemmnisse und/oder durch zu niedrige Einspeisevergütungen unattraktiv. Ein wirtschaftlicher Betrieb von reinen Verstromungsanlagen kann meist erst ab einer Vergütung von mehr als 8-10 Pf/kWh (je nach örtlichen Gegebenheiten) gewährleistet werden.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß in EL eine Biogasnutzung in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen - außer in China - eher eine Ausnahme ist, und zwar nicht nur bei anaeroben, sondern auch bei aeroben Anlagen - trotz deren deutlich höheren Eigenbedarfs. Dies liegt i.d.R. nicht nur an ungünstigen Einspeisebedingungen, sondern auch an nichtmonetären Hindernissen. Hierzu gehören organisatorische und administrative Hürden, die es zu überwinden gilt, aber auch mangelndes Know-how, fehlende Erfahrung, geringes Interesse und eine gewisse „Betriebsblindheit“ der Betreiber.⁴³ In vielen Fällen wird das Gas sogar unmittelbar in die Atmosphäre abgelassen, was aus Klimaschutzgründen nicht akzeptabel ist. Falls eine Gasnutzung nicht möglich ist, sollte in jedem Fall zumindest eine Abfackelung erfolgen.

Die Erfahrungen in europäischen Klärwerken haben gezeigt, daß diese Hindernisse auch dann eine Gasverstromung erschweren, wenn Aussichten auf ein positives wirtschaftliches Ergebnis bestehen. Die im Rahmen des Sektorvorhabens gewonnenen Erkenntnisse bestätigen diese Beobachtung auch für EL. Sie legen zudem die Vermutung nahe, daß hinsichtlich der Gasnutzung keine wesentlichen Unterschiede zwischen anaeroben und aeroben Verfahren bestehen, solange die o.g. Hemmnisse nicht abgebaut werden. Die Technik der Biogasverstromung wird sich unter den derzeitigen, globalen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht von selbst verbreiten. Es bedarf vielmehr der Beseitigung von Hemmnissen und - zumindest in der Anfangsphase - der Schaffung von Anreizen, damit die für die erfolgreiche Implementierung notwendigen Erfahrungen gesammelt werden können und sich ein ausreichend attraktiver Markt von Anbietern entwickelt. Grundvoraussetzung hierfür ist selbstverständlich, daß eine Einspeisung bei einer akzeptablen Vergütung möglich ist, und daß rechtliche und administrative Hürden abgebaut werden.

Beim (aeroben) Belebtschlammverfahren mit (anaerober) Schlammfäulung besteht im Gegensatz zu rein anaeroben Verfahren ein erheblich größerer Prozeßstrombedarf, so daß wesentlich mehr Strom aus der Eigenenergiezeugung in der eigenen Anlage genutzt werden kann. Allerdings kann aufgrund des nicht gleichmäßigen Lastverlaufs von Kläranlagen der erzeugte Strom nicht vollständig selbst genutzt werden, denn in Schwachlastzeiten übersteigt die Stromerzeugung oft den Bedarf, während in Spitzenlastzeiten eine Zusatzversorgung aus dem Netz erforderlich wird. Da nicht mit einer 100 %igen Verfügbarkeit des Aggregats gerechnet werden kann, muß in Ausfallzeiten der Bedarf ebenfalls aus dem Netz oder mittels Spitzenlastaggregaten gedeckt werden. Die Wirtschaftlichkeit einer Biogasverstromung hängt daher auch bei dieser Verfahrenskombination zunächst oft von der Höhe der Einspeisevergütung ab. Dies gilt um so mehr, je geringer der selbst genutzte Anteil des erzeugten Stromes ist.

Die folgenden Grafiken, die auf der Grundlage einer exemplarischen Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine Abwasserbehandlungsanlage einer Kleinstadt (20.000 EG) erstellt wurden, verdeutlichen diesen Zusammenhang.⁴⁴

⁴³ Von den 7 näher beschriebenen Einzelbeispielen ist bei 2 Anlagen (den letzteren) die Gasnutzung nachgewiesen: Jesus Neto/Brasilien, Pedregal/Brasilien, Rio Frio/Kolumbien, UNITRAR/Peru, Vivero Municipal/Kolumbien, Ben Sergao/Marokko, Tiburcio Toro/Kolumbien).

⁴⁴ Siehe Statusbericht des Sektorvorhabens, Bd. 1, 1998. Die in diesem Fall für das Belebtschlammverfahren zugrunde gelegte Gasausbeute führt zu einer etwa gleich hohen Stromerzeugung im Vergleich zum Strombedarf. Bei höherem Gasertrag (d.h. höherer Stromerzeugung) tritt der vorgestellte Effekt noch deutlicher zu Tage.

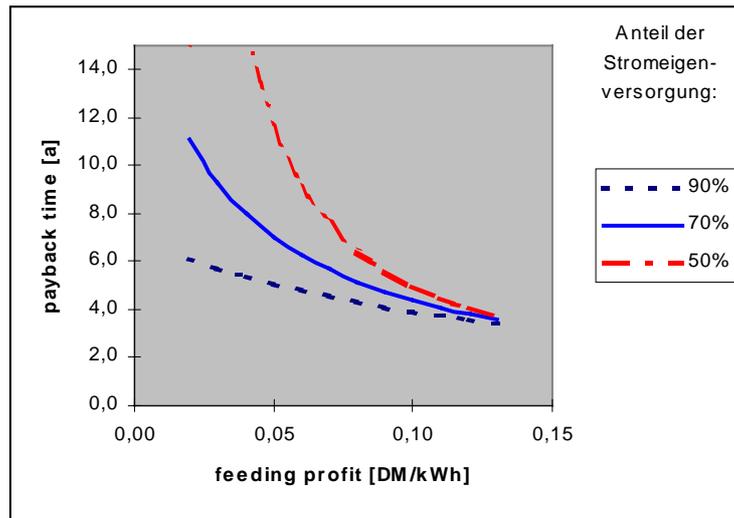


Abbildung 4: Amortisationszeit (payback time) für Verstromungsanlage bei aerober Abwasserbehandlungsanlage in Abhängigkeit des Einspeiseerlöses (feeding profit) für verschiedene Anteile der Eigenversorgung mit Strom

Werden von dem selbst erzeugten Strom 90 % in der eigenen Anlage genutzt, dann ergibt sich nur eine geringe Abhängigkeit der Amortisationszeit von dem Einspeiseerlös. Sinkt dieser Anteil jedoch auf 50 %, dann verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit bei fallendem Einspeiseerlös deutlich. Eine Verstromung erscheint dann bereits ab einem Erlös von weniger als 8 Pf/kWh kaum noch attraktiv.

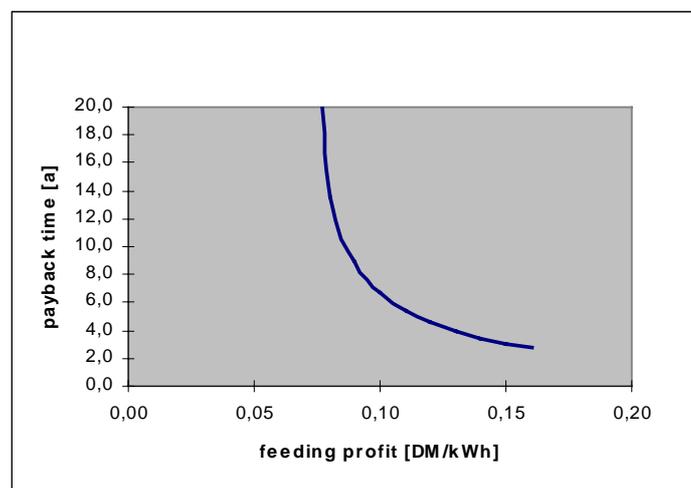


Abbildung 5: Amortisationszeit (payback time) für Verstromungsanlage bei anaerober Abwasserbehandlungsanlage in Abhängigkeit des Einspeiseerlöses (feeding profit) - quasi unabhängig vom Anteil der Eigenversorgung

Bei anaeroben Anlagen besteht aufgrund des geringen Eigenbedarfs nur eine vernachlässigbare Abhängigkeit vom Anteil der Eigennutzung. Jedoch ist die Wirtschaftlichkeit stark abhängig von der Höhe des Einspeiseerlöses. Sind keine günstigen Bedingungen für eine Stromeinspeisung gegeben und kann produzierter Strom nicht sinnvoll genutzt werden, dann ist der geringe Eigenbedarf anaerober Anlagen eher von Nachteil

für eine Verstromung. In dem dargestellten Fall sollte der Einspeiseerlös mehr als 10 Pf/kWh betragen, damit eine Verstromung wirtschaftlich vorteilhaft erscheint.

Für die Verstromung bei Belebtschlammverfahren mit Schlammfäulung ergibt sich dagegen gerade durch ihren vergleichsweise hohen Eigenbedarf eine bessere Wirtschaftlichkeit, sofern ein großer Teil des erzeugten Stromes für die Deckung des eigenen Bedarfs genutzt wird. Unter diesen Bedingungen sind die Voraussetzungen für eine Verstromung des erzeugten Biogases auch dann gut, wenn rechtlich unklare oder wirtschaftlich unattraktive Einspeisebedingungen vorliegen. Da letzteres in EL häufig der Fall ist, sind die ökonomischen Hemmnisse beim Einsatz von Verstromungsanlagen bei Belebtschlammverfahren tendenziell geringer einzuschätzen als bei anaeroben Verfahren. Allerdings spielen, wie bereits erwähnt, bei der Verbreitung der Biogasverstromung auch eine Reihe anderer Hemmnisse eine Rolle, so daß dieser Umstand nicht als allein maßgebend betrachtet werden sollte.

Die Verhältnisse dieses Beispiels sind prinzipiell auch auf größere Anlagen übertragbar, wobei sich jedoch aufgrund der geringeren spezifischen Kosten größerer Aggregate die Amortisationszeiten bei gleichen Strompreisbedingungen etwas verringern können.

Energiebilanz

Die im Rahmen des Sektorprojektes erhobenen Daten zur Energieproduktion bei anaeroben Anlagen weisen erhebliche Schwankungen auf. Zudem liegen über den Energieverbrauch dieser Anlagen zumeist wenig Informationen vor. Daher kann aus den Daten der Anlagendatenbank keine repräsentative Energiebilanz ermittelt werden.

Für die drei am häufigsten eingesetzten Abwasserreinigungsverfahren (UASB-Reaktor und nachgeschalteter Nachreinigungsteich, Belebungsanlage mit Schlammfäulung, konventionelles Teichsystem) soll daher anhand von Literaturwerten eine beispielhafte Energiebilanz (ohne Wärmenutzung) mit einer Biogasverstromung aufgestellt werden.

Unter der Voraussetzung, daß das bei der kontrollierten Vergärung entstehende Biogas energetisch genutzt (verstromt) wird, kann sich für die drei am häufigsten eingesetzten Abwasserreinigungsverfahren (UASB-Reaktor und nachgeschalteter Nachreinigungsteich, Belebungsanlage mit Schlammfäulung, konventionelles Teichsystem) bspw. nachfolgend dargestellte Energiebilanz (ohne Wärmenutzung) ergeben:

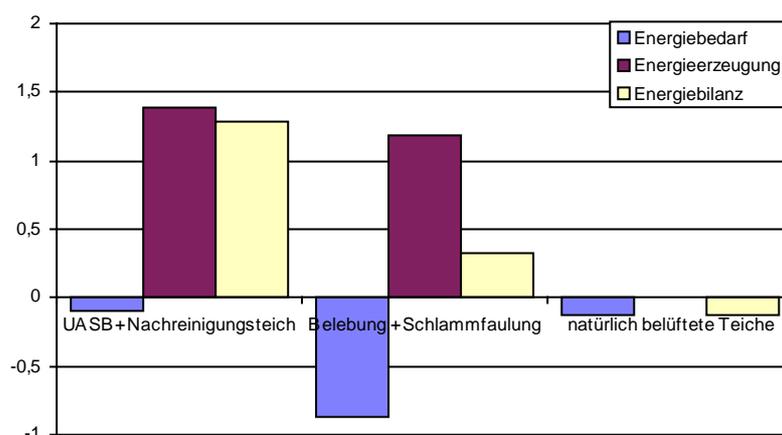


Abbildung 6: Elektrische Energiebilanz wichtiger Verfahren zur Reinigung kommunaler Abwässer in kWh_e/kg BSB₅ abgebaut ; Quelle: DHV, 1993

Danach weist die Kombination eines anaeroben Hochleistungsverfahrens (UASB-Reaktor) mit einem nachgeschalteten Nachreinigungsteich die günstigste Energiebilanz auf. Wie bereits erwähnt, kommen die Vor-

teile dieses Verfahrens allerdings nur dann zum Tragen, wenn entweder eine Einspeisung des erzeugten Stromes in das Netz möglich ist, oder wenn der Strom am Ort der Anlage genutzt werden kann.

Ohne Gasnutzung, wie dies in EL häufig der Fall ist, weisen die Verfahren mit dem geringsten Energieverbrauch die beste Energiebilanz auf.

2.2.3 Klimarelevanz

Bisher wurde der Aspekt des Klimaschutzes bei der Diskussion um Abwassertechnologien kaum berücksichtigt. Da jedoch in Abhängigkeit vom gewählten Verfahren sowohl der Verbrauch (bzw. die Substitution) fossiler Energien als auch die mit der Abwasserreinigung möglicherweise verbundenen Emissionen des Klimagases Methan zur Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, muß diesem Problem mehr Beachtung geschenkt werden.

Bei Anaerobanlagen wird durch den geringen Prozeßenergiebedarf im Vergleich zum Belebtschlammverfahren fossile Energie eingespart und somit ein Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen geleistet. Ein weiterer Beitrag zum Klimaschutz ergibt sich, wenn das in anaeroben Abwasserbehandlungsanlagen bzw. bei der Schlammfäulung in aeroben Anlagen entstehende Biogas energetisch genutzt wird, da auch damit fossile Energieträger ersetzt werden können.

Tabelle 15 gibt spezifische, auf die Einwohnerzahl bezogene Emissionen in CO₂-Äquivalenten nach einer Modellrechnung wieder.

Tabelle 15: Emissionsverhalten von UASB + Nachreinigungsteichen, Fakultativteichen und Belebtschlammverfahren bei kommunaler Abwasserreinigung; Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 2, 1998

	UASB + Nachreinigungsteich			Fakultativteiche	Belebtschlammverfahren	
	+ Gasnutzung	+ Abfackelung	Ohne Gasnutzung		ohne Fäulung	+ Fäulung und Gasnutzung
CO ₂ Emissionen kg/EG•a	- 3	+ 8	+ 61	+ 8	+ 27	+ 1

Bei Verfahren mit kontrollierter Gaserzeugung und Nutzung des Biogases kann besonders das UASB-Verfahren mit Nachreinigungsteich über den eigenen Bedarf hinaus Energie bereitstellen. Fehlende Einspeisebedingungen begünstigen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten Belebtschlammverfahren mit Gasnutzung vor UASB mit Gasnutzung, da bei letzteren die Stromabnahme nicht gesichert ist. Die unter diesen Bedingungen eingesetzten UASB-Anlagen ohne Gasnutzung haben eine schlechtere Klimawirkung als Belebungsverfahren.

Wird das Gas aus UASB lediglich abgefackelt, ist die Klimawirksamkeit vergleichbar mit der von Fakultativteichen. Eine Belebung mit Schlammfäulung und Gasnutzung ist in diesem Fall günstiger zu beurteilen.

Findet weder eine Gasnutzung noch eine kontrollierte Abfackelung statt, dann überwiegen die klimaschädlichen Auswirkungen des Methans deutlich, da dieses im Vergleich zu CO₂ eine um den Faktor 21 stärkere Treibhauswirkung hat⁴⁵. UASB- und Belebungsanlagen müssen dann als deutlich klimaschädigend gesehen werden, die Schadenswirkung von UASB-Anlagen ist in solch einem Fall mehr als doppelt so hoch.

⁴⁵ Der Faktor ist abhängig vom Betrachtungszeitraum; hier wurde ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren gewählt. Bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren erhöht sich dieser Faktor auf 56.

Zum Vergleich der Klimawirkungen von Methanemissionen und von CO₂ aus fossilen Energieträgern, soll folgende Abschätzung dienen, die auch die Klimarelevanz einer vollständigen Gaserfassung und -verwertung verdeutlicht: Bei anaerobem Abbau treten pro Tonne CSB_{abgebaut} etwa 4-5 Tonnen CO₂-Äquivalente auf. Dies entspricht der Menge an CO₂, die bei der Verbrennung von 1.500 bis 1.900 Litern leichtem Heizöl frei wird. Andererseits kann die pro Tonne CSB_{abgebaut} erzeugte Menge Methan lediglich 200 Liter leichtes Heizöl substituieren. Der Klimaeffekt aufgrund des frei werdenden Methans liegt also um fast eine Zehnerpotenz höher.

In EL werden Belebtschlammverfahren meist ohne nachfolgende Faulung eingesetzt. Hierbei tragen v.a. die Methanemissionen, die während der Schlammdeponierung auftreten, zum Klimaeffekt bei. Die klimatischen Auswirkungen durch den höheren Fremdenergieverbrauch aufgrund der fehlenden Eigenerzeugung sind deutlich geringer.

Der durch fossile Energieträger bedingte CO₂-Ausstoß beim Betrieb natürlich belüfteter Teiche ist aufgrund des limitierten Energiebedarfs gering. Die Klimawirksamkeit wird hier hauptsächlich durch kontinuierliche Methanemissionen der fakultativen Teiche ausgelöst, und wiegt um so schwerer, je tiefer die Teiche und je höher die Belastung ist. In der vorliegenden Modellrechnung ist von einem anteilig relativ geringen anaeroben Abbau ausgegangen worden, die Klimaschäden liegen auch hier häufig deutlich höher.

2.2.4 Schlammanfall und -nutzung

Bei anaeroben Verfahren werden zwei Prozesse in einem Behälter durchgeführt, die Abwasserreinigung und die Schlammfäulung. Ein wichtiger Grund für den Einsatz der Verfahren ist der sehr geringe Schlammanfall. Nach den im Rahmen des Projekts gesammelten Informationen beträgt der Schlammanfall der Kombination UASB + Nachreinigungsteiche bei kommunalen Abwässern nur etwa 25 bis 50 % des Schlammanfalls eines Belebtschlammverfahrens. Die Erfahrungswerte liegen für die UASB-Kombination bei ca. 25 - 30 g TS/EG. Bei Belebtschlammverfahren wurden Werte von 65 bis 85g TS/EG und Tag gemessen.⁴⁶ Berücksichtigt man, daß 50 % der Behandlungskosten auf Schlammbehandlung und -entsorgung entfallen (Einschätzungen von Idelovitch und Ringskog (WELTBANK, 1997)), so gewinnt die geringe Schlammproduktion an Bedeutung.

Überwiegend anaerobe Teichsysteme weisen eine vergleichbare Schlammproduktion auf wie Verfahren mit anaerober Hauptbehandlung. Ihr Nachteil besteht darin, daß der Schlamm nicht wie bei anaeroben oder aeroben Hochleistungsverfahren kontinuierlich anfällt, sondern in mehrjährigen Abständen und dann in großen Mengen, so daß eine Trocknung in Trockenbeeten problematisch ist. Außer der Schlammmenge sind bestimmte Charakteristika des Schlammes von Bedeutung. So ist der bei der anaeroben Reinigung von kommunalen Abwässern entstehende Schlamm bereits stabilisiert und weist deshalb gute Entwässerungseigenschaften auf, die in etwa mit denen von ausgefautem Primärschlamm aus Aerobanlagen vergleichbar sind (SANDERS, 1997). Aus kommunalen Abwässern entsteht allerdings i.d.R. kein Kornschlamm, wie häufig bei industriellen Abwässern, dessen Entwässerungseigenschaften nochmals deutlich besser sind (siehe Kapitel 2.3.4). Auch der Schlamm aus Teichsystemen weist eine gute Stabilität und Entwässerbarkeit auf, ist jedoch, wie der Schlamm anderer Verfahren auch, mit Parasiteneiern kontaminiert.

Der bei Aerobanlagen anfallende Primär- und Aktivschlamm hingegen ist schlecht stabilisiert; im allgemeinen wird geraten, diesen Schlamm nachzubehandeln. Das gängigste Schlammstabilisierungsverfahren in Europa besteht in der anaeroben Vergärung in Faultürmen bzw. in einer weitergehenden aeroben Belüftung. Zusätzlich werden oft Eindicker (Filtration, Pressen, chemische Konditionierung) zur Entwässerung benö-

⁴⁶ Die Zahlen basieren auf Praxiswerten aus Großanlagen. Der Oberwert (85 g TS/EG•d) wurde nach Prof. Koot (Niederlande) bestimmt. Beispielsrechnung siehe Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 2, 1998.

tigt. Funktionierende Beispiele aus EL für eine anaerobe Nachbehandlung des Schlammes aus Belebungsanlagen wurden im Rahmen von Befragungen und der Untersuchungen der Länderberichte nicht identifiziert, einzelne Anlagen sollen jedoch beispielsweise in den bevölkerungsdichten Stadtstaaten Südostasiens und Taiwan in Betrieb sein (MÜNDLICHE MITTEILUNG, HERR STOLL, KFW).

Anaerobschlamm - ob aus anaeroben Verfahren oder der Schlammfäulung aerober Verfahren - kann getrocknet und durch Kompostierung hygienisiert werden, um noch aktive Parasiteneier abzutöten.

Grundsätzlich werden die entstehenden Schlämme noch relativ selten genutzt. In Einzelfällen finden sie Verwendung in der Fischzucht, Algenproduktion, Kompostherstellung und Erosionsschutz. Zum Beispiel wird der Schlamm aus der Kommunalabwasseranlage *Rio Frio, Bucaramanga/Kolumbien* nach der Trocknung zum Erosionsschutz eingesetzt (CDMB, PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS RIO FRIO, BUCARAMANGA, COLOMBIA, 1997). Eine Nutzung in der Landwirtschaft ist oft auch in EL wegen der enthaltenen Schwermetalle und der Risiken durch Pathogenbelastung problematisch.

Weitergehende empirische Aussagen über Schlammcharakteristika zu den im Rahmen des Projektes näher beschriebenen Anlagen sind aufgrund der äußerst lückenhaften Angaben leider nicht möglich.⁴⁷

Aufgrund des geringen Organikgehalts von Anaerobschlämmen kann von einer schwächeren bodenverbessernden Wirkung ausgegangen werden als bei Aerobschlämmen.

Schlämme aus Anaerobverfahren:	
Geringe Mengen	Mögliche Pathogenbelastung
Hohe Stabilisierung	Mögliche Schwermetallbelastung
Hoher Nährstoffgehalt	

2.2.5 Flächenbedarf

Insbesondere in urbanen Gebieten ist das zur Verfügung stehende Land wichtig für die Auswahl von Abwasserreinigungsverfahren. Der spezifische Flächenbedarf der Systeme ist deshalb ein Schlüsselparame- ter, der sich im wesentlichen aus den Flächen für Hauptbehandlung (Reaktorfläche), Nachbehandlung und Schlamm- trocknung zusammensetzt:

Reaktorfläche:

Anaerobe Verfahren gelten - mit Ausnahme der anaeroben Teiche - als platzsparend. Eine realistischer Wert für gegenwärtig betriebene UASB-Reaktoren (einschließlich mechanischer Vorreinigung und Puffer für Abwassermengenschwankungen) ist ein Platzbedarf zwischen 0,15 bis 0,2 m²/E.^{48, 49}

Fläche für Nachbehandlung:

Die Auswahl des Nachreinigungsverfahrens ist maßgeblich für den Platzbedarf eines kombiniert anaerob/aeroben Systems. In EL werden häufig Fakultativteiche als Nachbehandlung nach einem anaeroben Verfahrensschritt eingesetzt. Die Reinigungsleistung der Teiche wird bestimmt von der Flächenbelastung, mit der sie beschickt werden: je niedriger die Belastung, desto größer der erzielbare Abbau der noch vor- handenen organischen Substanz. Im Vergleich zur Rohabwasserbehandlung in Teichen kann die Flächenbe-

⁴⁷ Siehe auch Monitoringberichte des Sektorvorhabens zu den verschiedenen Anlagen

⁴⁸ VAN HAANDEL (1997) konnte bei besonders konzentrierten kommunalen Abwässern den Platzbedarf sogar bis auf 0,01 m²/E sen- ken. Siehe auch Monitoringbericht des Sektorvorhabens "Design and Operation of the UASB Plant at Pedregal, Brazil", 1997.

⁴⁹ Dieser Wert basiert auf durchschnittliche Verweilzeiten von 8 h. Dies sind Erfahrungswerte aus Praxisanlagen mit häufig nicht optimaler Prozeßführung, für gut gesteuerte Anlagen sind je nach Temperatur Verweilzeiten von 5 - 6 h ausreichend. Berechnun- gen für optimierte Anlage in diesem Bericht werden daher auf die obere Grenze von 6 h gestützt.

lastung jedoch deutlich höher angesetzt werden: leicht abbaubare organische Substanzen werden bereits im anaeroben Verfahrensschritt weitestgehend abgebaut, die Gefahr einer Überlastung der Teiche tritt wesentlich später auf⁵⁰.

Zur Pathogeneliminierung ist eine längere Verweilzeit und somit ein höherer Flächenbedarf notwendig, so daß der Gesamtflächenbedarf der Verfahrenskombination steigt. Die Behandlungsleistung kann allerdings mit Konzepten der Pfropfströmung⁵¹ in den Teichen gesteigert werden, die relativ einfach zu realisieren sind, bisher jedoch zuwenig Beachtung fanden. Nach VAN HAANDEL (1997) kann bei Pfropfströmung dann bereits mit einer Fläche von 0,85 m²/E und einer Verweilzeit von 5 Tagen eine ausreichende Pathogeneliminierung (über 99,99%) in den Nachreinigungsteichen erreicht werden⁵².

In der Praxis wird jedoch bisher in den allerwenigsten EL eine Pathogeneliminierung im Ablauf integriert, Ist das prinzipielle Designkriterium daher ein umfassender Organikabbau, kann die notwendige Fläche der Teiche allein bis unter 0,21 m²/E gesenkt werden⁵³.

Fläche für Schlamm Trocknung:

Für das in EL weit verbreitete Schlamm Trocknungsverfahren in Trockenbeeten variiert der Platzbedarf erheblich. Angaben über benötigte Flächen in lateinamerikanischen Ländern liegen zwischen 0,02 und 0,07 m²/E für die Schlammengen aus der Kombination UASB + Nachreinigungsteiche⁵⁴. Die Dimensionen der Trockenbeete sind abhängig von der lokalen Witterung, da die zur Trocknung benötigte Zeit und damit auch die Fläche proportional zu den Niederschlagsmengen und der Luftfeuchtigkeit ansteigt. An besonders niederschlagsreichen Standorten kann eine Überdachung der Trockenbeete ökonomisch sinnvoll sein. Da Anaerobschlamm im Vergleich zu Aerobschlamm leichter entwässerbar ist, wird für die Trocknung alleine aufgrund der Schlammcharakteristika eine um etwa 35 % geringere Fläche für die gleiche Menge benötigt. In Verbindung mit der geringeren Schlammproduktion ergibt sich so bei dem System UASB + Nachreinigungsteich für Trockenbeete ca. 1/5 der bei Belebtschlammverfahren benötigten Fläche. Der Anteil der Trockenbeete am Gesamtflächenbedarf von UASB-Systemen unterscheidet sich je nach Dimensionierung der Nachbehandlung: Für die Variante „UASB + Nachreinigungsteich mit Pathogenentfernung“ beträgt die Schlamm Trocknungsfläche nur rund 4% des Gesamtflächenbedarfs, ohne Pathogenentfernung liegt ihr Anteil bei 8% (kleinere Teichfläche bei gleicher Schlamm Trocknungsfläche).

In Abbildung 7 werden errechnete Trends für Flächenbedarfe verschiedener Abwasserreinigungsanlagen bzw. Verfahrenskombinationen dargestellt.

⁵⁰ Ein konservativer Wert für die Belastung in Nachreinigungsteichen sind 220 kg BSB₅/ha•d. Praxiserfahrungen der UASB-Anlagen Rio Frio, Bucaramanga, Kolumbien (500 kg BSB₅/ha•d) und Mirzapur, Indien (400 kg BSB₅/ha•d) bestätigen jedoch mögliche höhere Belastungswerte. Zu beachten ist die sich ergebende Änderung des Flächenbedarfs: für eine Flächenbelastung von 220 kg BSB₅/ha•d beträgt dieser für das Gesamtsystem in einer Beispielsrechnung 0,5 m²/E (siehe Abbildung 7), für 400 kg BSB₅/ha•d reduziert er sich auf 0,34 m²/E.

⁵¹ Durch den Einbau von Dämmen in Teiche wird ein Quasipfropfströmverhalten erreicht. Beispiele hierfür gibt es u.a. in den oben genannten Anlagen in Kolumbien und Indien sowie in Campo Murão, Brasilien.

⁵² Dies gilt nicht für die Behandlung von Rohabwasser in Teichen, da hier ein hoher BSB-Abbau im Vordergrund steht, für den eine Serie von Teichen unerlässlich ist.

⁵³ Der Flächenbedarf der Nachreinigungsteiche ohne Pathogeneliminierung der Anlage in Bucaramanga beträgt 0,33 m²/E (HRT = 1,5 - 2 Tage) für die derzeitigen Anschlußgröße (164.000 EG), für die Erweiterung auf den Designwert von 240.000 EG ergibt sich ein Flächenbedarf für die Nachreinigung von 0,22 m²/E. Weitere Berechnungen für optimaler Anlagen im Bericht basieren auf dem unteren Wert von 0,2 m²/E.

⁵⁴ Aufgrund der sehr breiten Streuung und der Abhängigkeit von nicht kurzfristig beeinflussbaren Witterungsfaktoren wird bei weiteren Berechnungen im Bericht für den Flächenbedarf der Trockenbeete ein mittlerer Wert von 0,04 m²/E herangezogen.

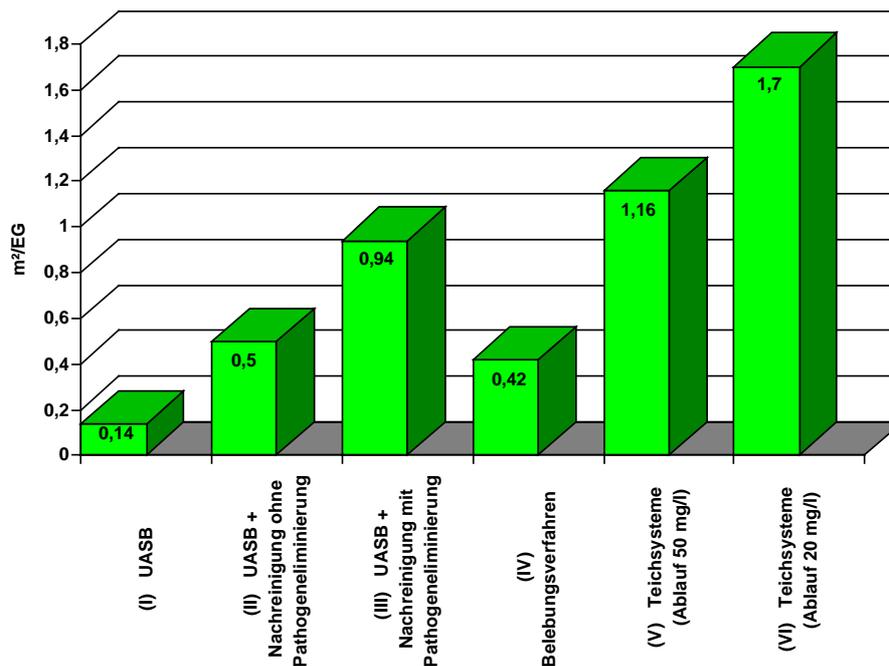


Abbildung 7: Flächenbedarf optimaler Abwasserreinigungsverfahren

Die Graphik verdeutlicht die starke Abhängigkeit des Flächenbedarfs des UASB von der Auslegung der Nachreinigungsverfahren, bei den Teichen von erwünschten bzw. geforderten Ablaufwerten. Hinsichtlich der Pathogenbelastung im Ablauf lassen sich nur schwer Aussagen treffen: Eine vollständige Eliminierung kann nachweislich lediglich bei der UASB-Variante plus Nachreinigungsteiche mit Pathogeneliminierung sowie bei den Teichsystemen mit höherer Reinigungsleistung (Ablauf von 20 mg/ℓ) und längeren Retentionszeiten erwartet werden, um WHO-Standards gesichert zu erfüllen. Die Pathogeneliminierung ist beim Belebungsverfahren besser als die der UASB-Varianten I und II. Der Flächenbedarf der Variante II liegt um knapp 15 % höher als der des Belebungsverfahrens, allerdings wurde hier zur Berechnung der Teichfläche für die Nachreinigung ein konservativer Wert für die Flächenbelastung angenommen. In zwei der am besten untersuchten Anlagen in EL liegt dieser deutlich höher und hat wesentlich kleiner Flächen zur Folge (siehe auch). Vergleiche zur Pathogeneliminierung müssen in diesem Zusammenhang besonders vorsichtig interpretiert werden, da diese durch eine besonders große Zahl von Rahmenfaktoren beeinflusst wird und diesbezügliche Untersuchungen nur eingeschränkt übertragen werden sollten.

Aufgrund der Bedeutung des Flächenverbrauchs für die Technologiewahl werden die Berechnungsgrundlagen für die Abbildung 7 im folgenden aufgeführt:

Grunddaten: **Anschlußgröße:** 50.000 EG **BSB₅-Fracht:** 250 mg/ℓ **Abwassertemperatur:** 25 °C
 Substratfluß: 8.000 m³/d **BSB₅-Menge:** 2.000 kg/d

A. Reinigungszielwert 50 mg/ℓ BSB₅; keine WHO-Standards für Pathogeneliminierung

<i>UASB ohne Nachbehandlung</i>		<i>Teichsystem⁵⁵</i>	
UASB-Abbauleistung	80% (Ablauf 50 mg/ℓ BSB ₅)	Anaerobteich	BSB ₅ -Abbau 60%
Reaktorfläche	0,3 ha (Tiefe 4 m, HRT: 6 h)	Flächenbelastung ⁵⁶	4.000 kg BSB ₅ /ha•d
Schlamm-trockenbeete	0,2 ha	Flächenverbrauch	0,5 ha
Umrandung der Anlage ⁵⁷	0,2 ha	Aerobteich	
		Flächenbelastung ⁵⁸	170 kg BSB ₅ /ha•d
		Flächenverbrauch	4,7 ha
Gesamtfläche	0,7 ha (0,14 m²/E)	Gesamtfläche	5,2 ha (1,16 m²/E)

B. Reinigungszielwert 20 mg/ℓ BSB₅; keine WHO-Standards für Pathogeneliminierung

<i>UASB + Nachreinigungsteich</i>		<i>Belebtschlammverfahren</i>	
UASB-Abbauleistung	80% (Ablauf 50 mg/ℓ BSB ₅)	Fläche Belebung	1 ha
BSB ₅	0,3 ha (Tiefe 4 m, HRT: 6 h)	(Vorfluter, final clarifier	
Reaktorfläche	0,2 ha	Belüftungstank, Schlamm-	
Schlamm-trockenbeete	0,2 ha	meindicker, Faulturm)	
Umrandung der Anlage			
Fläche UASB	0,7 ha	Schlamm-trockenbeete	0,9 ha
Nachreinigungsteich		Umrandung	0,2 ha
Flächenbelastung	220 kg BSB ₅ /ha•d		
Flächenverbrauch	1,8 ha		
Gesamtfläche	2,5 ha (0,5 m²/E)	Gesamtfläche	2,1 ha (0,42 m²/E)

C. Reinigungszielwert 20 mg/ℓ BSB₅; WHO-Standards für Pathogeneliminierung

<i>UASB + Nachreinigungsteich</i>		<i>Teichsystem</i>	
UASB-Abbauleistung	80% (Ablauf 50 mg/ℓ BSB ₅)	Anaerobteich	BSB ₅ -Abbau 60%
BSB ₅		Flächenbelastung	4.000 kg BSB ₅ /ha•Tag
Reaktorfläche	0,3 ha (Tiefe 4 m, HRT: 6 h)	Flächenverbrauch	0,5 ha
Schlamm-trockenbeete	0,2 ha	Aerobteich	
Umrandung der Anlage	0,2 ha	Flächenbelastung ⁵⁸	100 kg BSB ₅ /ha•d
Fläche UASB	0,7 ha	Flächenverbrauch	8 ha
Nachreinigungsteich			
Flächenbelastung	100 kg BSB ₅ /ha•d		
Flächenverbrauch ⁵⁹	4 ha (0,8 m ² /E)		
Gesamtfläche	4,7 ha (0,94 m²/E)	Gesamtfläche	8,5 ha (1,7 m²/E)

⁵⁵ Je nach Bauart, Verfahrensführung und Pathogenbelastung ist eine Pathogeneliminierung entsprechend den WHO-Standards möglich.

⁵⁶ Nach D. MARA (1996) erreichen Anaerobteiche einen BSB-Abbaugrad von ca. 60%, wenn sie nicht unterbelastet sind; als Mindest-Flächenbelastung werden 3.000 kg BSB₅/ha•d genannt.

⁵⁷ Wurde der Einfachheit halber bei allen Verfahren als gleich angenommen, obwohl kleinere Flächen kleinere Umrandungen benötigen. Für Teiche wurden keine zusätzlichen Flächen veranschlagt.

⁵⁸ Für die Flächenbelastung von Aerobteichen geben METCALF & EDDY (1991) einen Bereich zwischen 70 und 180 kg BSB₅/ha•d an. Unter tropischen Bedingungen (Temperatur, Sonneneinstrahlung), von denen in dieser Betrachtung ausgegangen wird, kann mit einer erhöhten Abbauproduktivität gerechnet werden, so daß die Wahl eines Wertes im oberen Belastungsbereich gerechtfertigt ist.

⁵⁹ VAN HAANDEL (1997) gibt für Pedregal, Brasilien, ein Minimum von 0,5 m²/E für Nachreinigungsteiche an. Dies unter der Voraussetzung, daß die Pathogeneliminierung im Vordergrund steht (da ein Großteil der BSB₅-Belastung bereits durch die anaerobe Behandlung abgebaut ist) und somit Pfropfströmung realisiert werden kann, die kurze Retentionszeiten von nur drei Tagen bei noch immer ausreichender Pathogeneliminierung zuläßt.

Eine Kombination von UASB und Tropfkörper kann den Platzbedarf weiter senken. Beispiele aus der Praxis fehlen jedoch, die erste Anlage dieser Art wird derzeit (Baubeginn 1997) in *Accra/Ghana* gebaut.

Wird ein UASB-Reaktor mit einem Belebtschlammverfahren kombiniert, erhöht sich der Flächenbedarf der Trockenbeete gegenüber der Kombination UASB + Nachreinigungsteich, ist jedoch kleiner als der von alleinigen Belebtschlammverfahren. Die Trocknung von Schlamm aus Teichverfahren in Trocknungsbeeten wird wegen des unregelmäßigen Schlammanfalls kaum praktiziert.

In der folgenden Tabelle werden Praxisbeispiele für Nachreinigungsverfahren aufgeführt, um die realen Unterschiede an verschiedenen Standorten zu verdeutlichen.

Tabelle 16: Beispiele für angewandte Nachbehandlungsverfahren; Quelle: Monitoringberichte d. Sektorvorhabens

Anlage	Typ	Nachbehandlungsverfahren/-alternativen
Ben Sergao, Marokko	Absetzbecken mit Gassammlung	Sandfilter (Vollmaßstab); Biodisk; Tropfkörper (beides Versuchsanlagen)
Pedregal, Brasilien	UASB	3 bzw. 4 Teiche in Serie; (aerobes) Bardenpho-Verfahren: anoxische + aerobe Reaktoren, Schlammabscheider
Río Frío, Kolumbien	UASB	2 x 3 Lagunen in Serie
UNITRAR, Peru	UASB	2 Lagunen, Teiche A, B, C

Aufgrund der Komplexität und der Vielfalt alternativer Anlagenkombinationen bei kommunalen Abwasserreinigungsanlagen stellt sich die optimale Dimensionierung als ein sehr komplizierter Prozeß dar, der von einer Reihe von Parametern abhängt, die die Behandlungsdauer determinieren und somit die Größe und den Platzbedarf der Anlage. Alle Angaben variieren daher in der Realität in einer weiten Streubreite. Wichtige Einflußfaktoren sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Tabelle 17: Einflußparameter für die Behandlungsdauer und resultierende Dimensionierung von Anaerobanlagen

Parameter	Behandlungsdauer steigt mit
Belastung des Abwassers	Zunehmender Belastung
Temperatur	Abnehmender Temperatur
Zielwerte der Reinigung (CSB, BSB, Pathogene)	Strikteren Zielwerten
Verfahren	Spezifischer Abbaugeschwindigkeit

Viel entscheidender für den Flächenbedarf ist jedoch häufig die Sicherheitsmarge gegenüber Abwasserschwankungen, die der Anlagendimensionierung zugrunde liegt.⁶⁰

⁶⁰ Diese kann bei optimiertem Schlammrückhalt (Drei-Phasen-Trennung) leichter verringert werden.

2.2.6 Nachbarschaftsprobleme

Nicht nur die verfügbare Fläche, auch die topographische Situation und die Nachbarschaftsverhältnisse spielen eine Rolle bei der Verfahrenswahl für kommunale Abwasserreinigungsanlagen. Abhängig vom Sulfatgehalt des Abwassers produzieren Anaerobanlagen während des Gärprozesses außer Methan auch geringe Mengen Schwefelwasserstoff (H_2S) sowie u. U. weitere geruchsintensive Stoffe (siehe auch Kapitel 2.2.100). Diese führen, falls sie in die Atmosphäre gelangen, zu Geruchsbelästigungen, auch noch in einiger Entfernung zur Anlage. Bei einer gut konzipierten Anlage werden jedoch nahezu sämtliche Emissionen aus dem Gärprozeß aufgefangen und nach einer Gasreinigung verbrannt. Das Problem hat erhebliche Bedeutung bekommen bspw. bei der *Kommunalabwasseranlage (UASB) Vivero Municipal in Cali/Kolumbien*.⁶¹

Ein in der Praxis bisher nicht befriedigend gelöstes Problem bereitet die Löslichkeit von Gasen im Zulauf und Ablauf von Anaerobreaktoren, die im weiteren Prozeßverlauf an Wirbelstellen oder bei der Nachbehandlung austreten können. Darauf sollte bei der Planung einer Anaerobanlage Rücksicht genommen werden, und, falls Unsicherheiten über Geruchsemissionen bestehen, vorsorglich ein größerer Abstand zu Siedlungen gewählt werden.

Andererseits kommt es im Zusammenhang mit Anaerobanlagen nicht immer zu Problemen mit der Nachbarschaft, sondern auch zu Anstößen aus der Bevölkerung: Die *UASB-Anlage in Tiburcio Toro/Kolumbien* wurde bspw. erst nach Beschwerden der Anwohner gebaut. Üblicherweise werden Anaerobanlagen zur Verringerung der Geruchsbelästigung gebaut. Da bei kommunalen Abwasserreinigungsanlagen zu wenig auf die Gasnutzung geachtet wurde, ist gerade dort das Geruchsproblem zu lange vernachlässigt worden.

2.2.7 Hygienewirkungen

Unter dem Aspekt der Pathogeneliminierung erreichen weder anaerobe noch die meisten aeroben Abwasserreinigungsverfahren unbedenkliche Ablaufwerte (nach WHO Norm). Anaerobe Hochleistungsreaktoren erzielen relativ gute Werte bei der Eliminierung von Helmintheneiern, die mit dem Schlamm entfernt werden, auch wenn ihre Leistung um eine Zehnerpotenz geringer ist als die von Teichsystemen und aeroben Behandlungen. Durch eine aerobe Nachbehandlung von anaerob vorgeklärtem Abwasser in Teichen können die von konventionellen aeroben Anlagen erzielten Ablaufwerte unterschritten werden. Zur weitgehenden Eliminierung sind demnach entweder platzaufwendige biologische Verfahren (Teiche, Pflanzenkläranlagen und Bodeninfiltration) oder physikalisch-chemische Verfahren (Chlorzusatz, UV-, Ozonbehandlung) notwendig. Prinzipiell ist auch die Langsamsandfiltration geeignet, wie sie in *Ben Sergao/Marokko* erfolgreich angewendet wird (DRIOUACHE, 1997)⁶².

Bemerkenswert ist die Leistung von Teichsystemen, die allerdings eine Verweilzeit von 25 Tagen und eine entsprechend große Fläche benötigen. Jedoch zeigen neuere Untersuchungen an Teichanlagen, daß die Eliminationsleistung (belüfteter) Teichanlagen speziell bei pathogenen Protozoen (wie *Giardia lamblia*, die als Verursacher protozoenbedingter Epidemien bekannt sind) unzureichend sind (TAGLIARENI UND ECKER 1997) - zumindest unter mitteleuropäischen Bedingungen.

⁶¹ Siehe Bericht des Sektorvorhabens „Planta de Tratamiento de Aguas Residuales UASB Vivero Municipal, Cali, Colombia“, 1996.

⁶² Siehe Bericht des Sektorvorhabens "Darstellung der Kläranlage Ben Sergao", 1997.

2.2.8 Eliminierung von Nährstoffen

Für die Einleitung in eutrophierungsgefährdete Gewässer sind N- und P-Elimination obligatorisch, da sonst das biologische Gleichgewicht der Gewässer gestört werden kann. Anaerobe Behandlungsstufen entfernen Nährstoffe nur in sehr geringen Mengen. Falls eine Nährstoffeliminierung gewünscht oder erforderlich ist, ist eine Nachreinigung notwendig. Das Belebtschlammverfahren eignet sich in der Nachreinigung besonders zur Nitrifizierung/Denitrifizierung und zur Phosphoreliminierung. (Hintereinandergeschaltete) Nachreinigungsteiche können bei geringer Teichtiefe eine P- und N-Eliminierung bis über 75% erreichen (VAN HAANDEL UND LETTINGA, 1989). Wird zusätzlicher Kohlenstoff zur Nitrifikation/Denitrifikation und P-Eliminierung benötigt, kann ein Abwasserteilstrom als by-pass an der Anaerobvorrichtung vorbeigeleitet werden. Durch den entstehenden hohen pH-Wert und die Sauerstoffproduktion der Algen wird Ammonium ausgestrikt, Phosphat wird ebenfalls durch den hohen pH-Wert ausgefällt. Es muß bedacht werden, daß anaerob gereinigte Abwässer ein ungünstiges C:N-Verhältnis aufweisen und daß eine biologische Stickstoffentfernung über Nitrifikation und Denitrifikation nur äußerst eingeschränkt möglich ist.

Allerdings sollte auch die Tatsache nicht vernachlässigt werden, daß bei der Nitrifikation/Denitrifikation das wertvolle Produkt Ammonium mit Hilfe zugeführter Energie in „wertloses“ Stickstoffgas umgewandelt wird, das in die Atmosphäre entweicht. Die Rückführung in Stickstoffdünger („Kunstdünger“) benötigt zusätzliche Energie. Grundsätzlich wäre daher die direkte Nutzung des gereinigten Abwassers zur Bewässerung und Düngung ein ökologisch besserer und einfacherer Weg, soweit die Pathogenbelastung das zuläßt.

2.2.9 Nutzung des gereinigten Abwassers

Für den Fall, daß gereinigtes Abwasser zur Bewässerung genutzt werden soll, ist der Abbau von Nährstoffen unerwünscht. Dies sollte bei der Planung der Kläranlage berücksichtigt werden. Vor allem die Gestaltung der Nachreinigung muß darauf ausgelegt sein. Die prinzipiell geringe Nährstoffeliminierung anaerober Verfahren kommt einer solchen Verwendung entgegen. Aufgrund der pathogenbedingten Krankheitsgefahren ist eine Verwendung jedoch nur nach einer genauen Prüfung des Abwassers und der Art des Einsatzes zu empfehlen.

Pathogene und besonders Parasiteneier sollten entsprechend der geplanten Verwendung entfernt werden. Der Grenzwert der WHO für eine uneingeschränkte Ausbringung von gereinigtem Abwasser auf landwirtschaftliche Flächen (für Kulturen, die dem menschlichen Verzehr dienen) beträgt 10^3 Coliforme Keime/100 ml Abwasser. Dies kann i.d.R. nur durch eine Nachbehandlung in Teichen, Pflanzenkläranlagen oder Sandfiltern (hoher Flächenbedarf) oder durch eine physikalisch-chemische Nachbehandlung erreicht werden.

Geringere hygienische Anforderungen bestehen für die Ausbringung gereinigten Abwassers im Forstbereich oder auf nicht als Nahrungsmittel dienende Kulturen. In diesem Fall kann eine Nachreinigung u.U. entfallen. Öffentliche Gartenanlagen sind davon ausgenommen, da hier die Gefahr einer Infizierung spielender Kinder durch ihren intensiven Bodenkontakt gegeben ist. Nur in Einzelfällen wird gereinigtes Abwasser zu anderen Zwecken verwandt, z. B. zur Straßenreinigung oder als Spülwasser. Generelle Aussagen dazu sind auf der Basis der im Rahmen des Projekts erhobenen Informationen nicht möglich.

Von Bedeutung für die Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist außerdem der Salz- und Schwermetallgehalt im Hinblick auf deren Anreicherung in den Böden. Die Technologiewahl hat hierauf jedoch keinen nennenswerten Einfluß.

Vorgaben für die Beschaffenheit der zur Bewässerung eingesetzten gereinigten Abwässer sind in einigen Ländern in Arbeit. In Indien liegen dazu bereits umfangreiche wissenschaftliche Studien vor.

Weltweit existieren sehr unterschiedliche Regelungen für die Einleitung von gereinigten Abwässern aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in Gewässer, aber es ist ein Trend zur Vereinheitlichung zu er-

kennen. Im Rahmen der Europäischen Union wurde 1991 eine Richtlinie erlassen, deren Festsetzungen als genereller Maßstab für den Gewässerschutz gelten. In EL sind für die Einleitung in Oberflächengewässer relativ milde Bestimmungen bzgl. Pathogen- und Nährstoffgehalten in Kraft. Das entscheidende Ablaufkriterium ist die organische Belastung (BSB₅). Auch in der BRD sind die Hygienebestimmungen für die Einleitung in einen Vorfluter relativ anspruchslos. Es werden i.d.R. keine gesonderten Anstrengungen unternommen, um die Ablaufwerte nach der aeroben Belebung zu verbessern. Bezüglich der Nährstoffgehalte hingegen sind die Anforderungen in IL bereits sehr hoch.

Tabelle 18: Mindestanforderungen an die Ablaufkonzentrationen bzw. Abbauleistungen in der kommunalen Abwasserbehandlung innerhalb der EU; (nach Port und Teuber, 1991)

Parameter	Konzentration	Prozentuale Verringerung
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	25 mg/ℓ (30)	70 - 90 %
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	125 mg/ℓ (250)	75 %
Suspendierte Schwebstoffe (TSS)	35 mg/ℓ (50)	90%
Phosphor gesamt (Jahresmittel)		
Anlagen 1 000 - 100 000 EG	2 mg/ℓ (5)	80 %
Anlagen > 100 000 EG	1 mg/ℓ (5)	80 %
Stickstoff gesamt* (Σ Kjeldahl-Stickstoff + Nitrit + Nitrat)		
Anlagen 1 000 - 100 000 EG	15 mg/ℓ (150)	70 - 80 %
Anlagen > 100 000 EG	10 mg/ℓ (150)	70 - 80 %

Zum Vergleich in Klammern: „Indian National Discharge Standards“, Quelle: DEWATS, Sasse, 1998. Weitergehende Informationen zu Mindestanforderungen in verschiedenen Ländern siehe in den einzelnen Länderberichten des Sektorvorhabens.

2.2.10 Wartung und Betrieb

Bei Erstellung der Länderberichte und der Anlagendokumentationen konnten nur wenige detaillierte und systematisierte Informationen zur Praxis des Anlagenbetriebs unter Dauerbetriebsbedingungen gefunden werden. Lediglich für Anlagen, die im Rahmen wissenschaftlicher Begleitprogramme externe Betreuung erhielten oder aktuell erhalten, liegen genauere Angaben zu Betriebsdaten, Wartungsaktivitäten, Reparatur- und Umbauarbeiten vor. Immerhin aber läßt sich für eine Reihe von Anlagen

- aus den dokumentierten Stillstandszeiten und dem mitunter näher erläuterten betriebsbedingten Umrüstbedarf,
- aus den (lückenhaften) Betriebsdaten,
- aus vereinzelt zu findenden Anmerkungen über Fehlbedienungen und mangelndes Verständnis des Betriebspersonals für das komplexe Zusammenwirken der Systemkomponenten einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage mit anaerober Reinigungsstufe

rückschließen, daß sie nur selten dauerhaft und mit optimalen Prozeßführungsbedingungen arbeiten.

Für die Gewährleistung eines nachhaltigen Betriebs von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen scheint es deshalb generell unabdingbar, bei Planung und Bau der Anlagen Wartungspläne, Kontroll- und Steuerungsstrategien, Vorgaben für die dauerhafte Betriebsdokumentation sowie Personalaus- und -fortbildungsprogramme zu entwickeln. Die Mindestanforderungen für eine systematisierte Kontrolle und Dokumentation werden im folgenden skizziert. Für sehr kleine dezentrale und für häusliche Anlagen sind solche Anforderungen natürlich nur eingeschränkt umzusetzen.

2.2.10.1 Anlagendokumentation und Betriebstagebuch

Für die jeweilige Anlage ist eine Dokumentation zu erstellen, die mindestens enthalten sollte:

- einen Übersichtsplan über den Standort und sein Umfeld,
- Lagepläne, die die räumliche und technische Zuordnung der einzelnen Anlagenteile zeigen,
- eine Darstellung der höhenmäßigen Anordnung der Anlage, der Zulaufkanäle und des Vorfluters sowie anderer betriebsrelevanter Einrichtungen,
- Genehmigungsunterlagen (einschließlich Planunterlagen der Bauwerke).

Der technische Zustand der Anlage und betriebsbedingte Veränderungen sind regelmäßig bzw. je nach Anlaß zu dokumentieren. Die betrieblichen Abläufe, die erhobenen Meßdaten und sonstige betriebsrelevante Beobachtungen sind in aggregierter und standardisierter Form in einem Betriebstagebuch festzuhalten.

2.2.10.2 Wartungspläne und Prüfprotokolle

Anaerobe Abwasserreinigungsanlagen erfordern nur einen geringen Wartungsaufwand. UASB-Reaktoren brauchen i.d.R. eine tägliche Kontrolle der Vorreinigung und der Verteilervorrichtungen, die für den gleichmäßigen Einlauf des Abwassers am Reaktorgrund verantwortlich sind. Die Schlammmentnahme erfolgt beim UASB-Reaktor in 1 bis 2-monatigen Abständen. Es sind vor allem die dem anaeroben Reinigungsprozeß vor- und nachgeschalteten Anlagenkomponenten, die regelmäßiger Nachschau und Wartung bedürfen, d. h.

- das Einlaufbauwerk (ggf. mit Pumpen, Wasserhebeanlage, etc.),
- Rechenanlage und Sandfang,
- Stauwerke und Schieber,
- Auslauf,
- Schlammabzugseinrichtung, Schlammbehandlung und -lagerung,
- Meß- und Überwachungseinrichtungen,
- Betriebsgebäude und Einfriedung,
- zugehörige Grünanlagen.

Der zuverlässige Betrieb einer Anlage erfordert die Pflege aller Komponenten. Für jedes Bauteil sind Häufigkeit und Umfang der Funktionsprüfung festzulegen und ihre Durchführung in entsprechenden Wartungs- und Prüfprotokollen zu erfassen. Festgestellte Mängel und die getroffenen Abhilfemaßnahmen sind zu dokumentieren.

Der Wartungsaufwand für die Vorbehandlung ist bei Aerobverfahren größer, da diese zumindest ein Absetzverfahren einschließen. Der Wartungsaufwand für die Vorbehandlung von Teichsystemen ist mit dem von Anaerobverfahren vergleichbar.

2.2.10.3 Kontrollmessungen und Maßnahmen zur Prozeßoptimierung

Bisher liegen nur wenige langfristig und systematisch erhobene Betriebsdaten von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Reinigungsstufe aus tropischen oder subtropischen EL vor. Folgende Tabelle zeigt das Analyseverhalten in der Praxis bei verschiedenen - genauer untersuchten - Anlagen:

Tabelle 19: Probenahme im Vergleich verschiedener Kommunalabwasseranlagen; Quelle: Monitoringberichte des Sektorvorhabens, 1997

Name und Ort der Anlage	Stichprobe	Analytik
Ben Sergao/Marokko	monatlich	k.A.
Jesus Neto/Brasilien	wöchentlich	Standard methods 1992
Pedregal - Brasilien	täglich	Standard methods 1989
Rio Frio/Bucaramanga - Kolumbien	monatlich	k.A.
Tiburcio Toro - Kolumbien	täglich*	Standard methods
UNITRAR/Lima - Peru	Periodisch**	(Laboreigene) Standard methods 1992
Vivero Municipal/Cali - Kolumbien	wöchentlich***	k.A.

* Mischprobe aus Schlacht- und Hausabwasser

** a) Stichprobe alle 30 min. über Periode von 1-2 Tagen

b) Mischprobe aus stündlichen Stichproben über 24 h für ca. 5 Wochen

*** Mischprobe aus halbstündigen Stichproben zwischen 6-14 Uhr

Es zeigt sich, daß kein kontinuierlicher Analyse-Standard eingehalten wird. Dadurch ist die Vergleichbarkeit nicht gewährleistet. Entsprechend schmal ist die empirisch gesicherte Basis für die Auslegung von Anlagen und für die Optimierung ihres Betriebs. Ein vertieftes Verständnis von Wirkungsweise und Dynamik der im Reaktor laufenden Abbauprozesse ist aber eine wesentliche Voraussetzung für die stabile und optimierte Prozeßführung, für sachgerechtes Handeln des Betriebspersonals sowie für die Einhaltung vorgegebener wasserrechtlicher Ablaufwerte. Es ist daher anzuraten, grundsätzlich in allen kommunalen Abwasserreinigungsanlagen Funktion und Zuverlässigkeit ihres Betriebs durch laufende Messungen zu kontrollieren. In Tabelle 20 sind Parameter zusammengestellt, die regelmäßig erhoben und im Hinblick auf die Optimierung des Anlagenbetriebs sowie unter Gewässerschutzgesichtspunkten (Schutz der Lebensgemeinschaften im Vorfluter) ausgewertet werden sollten:

Tabelle 20: Gesichtspunkte und Parameter für die Betriebskontrolle kommunaler Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Reinigungsstufe

Parameter	Häufigkeit der Untersuchung *	Meßmethode(n)	Probenahme-Ort(e)	Anmerkungen
pH	täglich	Schnelltest, elektrochemische Sonde	Zulauf, Ablauf	
Leitfähigkeit	täglich	elektrochemische Sonde	Zulauf, Ablauf	
Redoxpotential	täglich	elektrochemische Sonde	Zulauf, Ablauf	
CSB	täglich	Laboruntersuchung	Zulauf, Ablauf	Tagesgang stichprobenartig verfolgen
BSB ₅	wöchentlich	Laboruntersuchung	Zulauf, Ablauf	Tagesgang stichprobenartig verfolgen
Produktion an Biogas	kontinuierlich	Gaszähler		
CH ₄ -Gehalt im Biogas	monatlich	Laboruntersuchung		
Sauerstoffgehalt	täglich	elektrochemische Sonde	Ablauf, Vorfluter	Tagesgang stichprobenartig verfolgen
Absetzbare Stoffe	täglich	Imhoff-Trichter	Zulauf, Ablauf	Tagesgang stichprobenartig verfolgen
Suspensa/nicht absetzbare Stoffe	täglich	Laboruntersuchung	Ablauf	
Stickstoff NH ₄ - N NO ₃ - N sonstige Parameter nach Bedarf	täglich täglich	Schnelltest, elektrochemische Sonde	Zulauf, Ablauf	
Phosphor	wöchentlich	Laboruntersuchung	Zulauf, Ablauf	

Parameter	Häufigkeit der Untersuchung *	Meßmethode(n)	Probenahme-Ort(e)	Anmerkungen
sonstige Parameter, für die Einleitungsgrenzwerte definiert sind	nach Bedarf und rechtlichen Vorgaben			
Abklärung des Gehalts an Stoffen mit toxischem Potential für Prozeß und aquatische Ökosysteme/ 'Priority Pollutants'	nach Bedarf und wasserrechtlichen Vorgaben			Risiken für den Abbauprozess und den Vorfluter sind in Meßkampagnen abzuklären
Lufttemperatur und Wetter	täglich	schriftliche Aufzeichnungen der örtlichen Wetterdaten		

* Generell gilt, daß bei Auftreten von betrieblichen Problemen eingehendere und u. U. häufigere Untersuchungen erforderlich werden, um Ursachen und Zusammenhänge feststellen zu können.

2.2.10.4 Anforderungen an das Personal und seine Aus- und Fortbildung

In allen Partnerländern, die in das Vorhaben einbezogen waren, konnte auf der wissenschaftlich-technischen Ebene und in leitenden Funktionen der Verwaltung mit Fachleuten zusammengearbeitet werden, deren Qualifikation internationalem Niveau entspricht.

In kommunalen Abwasserreinigungsanlagen wird hingegen nur selten qualifiziertes Personal als Techniker oder Handwerker eingesetzt. Aus den Monitoringberichten geht hervor, daß nur in der *UASB-Anlage Rio Frio/Kolumbien* - neben 4-6 Hilfskräften - ein Ingenieur für den Betrieb verantwortlich ist. Der Personalbedarf der Anlagen *Ben Sergao/Marokko*, *Jesus Neto/Brasilien* und *UNITRAR/Peru* wird jeweils von einem Hauptverantwortlichen und etwa 4 Hilfsarbeitern gedeckt.

Zumeist handelt es sich aber statt dessen um "abgeordnete", wenig qualifizierte Bedienstete der örtlichen Verwaltung, die - im besten Falle - ein Eigeninteresse an der ihnen übertragenen Tätigkeit entwickeln, zumeist aber über minimale Sachkenntnisse und nur geringe selbständige Handlungsmöglichkeiten verfügen. Solange kommunale Abwasserreinigungsanlagen nur isoliert errichtet werden, ist wohl kaum mit der Entwicklung einer entsprechenden Berufsausbildung zu rechnen.

In einigen Ländern Lateinamerikas, Nordafrikas und Asiens gehen jedoch zunehmend nicht nur in Großstädten, sondern auch in mittleren und kleineren Städten Abwasserreinigungsanlagen in Betrieb. Dort stellt sich die Frage, wie technisches Bedienungspersonal geschult und auf einheitliche Qualitätsmaßstäbe in der Betriebsführung verpflichtet werden kann. Dabei ist an ein Qualifikationsniveau zu denken, das auf handwerklichen Fähigkeiten (ggf. auch im informellen Sektor erworbenen) aufbaut und sowohl ein Verständnis von den Abwasserreinigungsprozessen, den damit verfolgten Umweltschutzziele und den betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen vermittelt. Anforderungsprofile und Aus- bzw. Fortbildungskonzepte müssen sich an den speziellen Rahmenbedingungen des jeweiligen Landes oder der Region orientieren.

2.2.10.5 Gasreinigung und -nutzung

Der Wartungs- und Bedienungsaufwand für die Biogasreinigung und -nutzung hängt im wesentlichen von der Art der Nutzung sowie von der Qualität des Gases ab. Je technisch aufwendiger die Gasnutzung ist, desto höher ist der Aufwand für den Betrieb. Eine Gasreinigung ist i.d.R. erforderlich, um erhöhte Verschmutzungen, Ablagerungen und Verschleiß (z.B. Korrosion) an den Gasnutzungsaggregaten zu vermeiden. Dies trifft v.a. für die motorische Nutzung des Biogases zur Stromerzeugung zu. Bereits geringe Mengen an Schwefel führen bei gewöhnlichen Motoren rasch zu gravierenden Schäden. Daher sollte der Schwefelwasserstoffgehalt (H₂S) des Biogases im Verstromungsaggregat 100 ppm nicht überschreiten. Auch andere Bestandteile des Biogases wie Aerosole oder Ammoniak können die Motoren schädigen.

Bei guter Gasreinigung entspricht der Wartungs- und Bedienungsaufwand im wesentlichen dem von Gas- und Dieselmotoren, wobei beim Einsatz von Biogas grundsätzlich mit einem leicht erhöhten Verschleiß zu rechnen ist.

Bei einfacher Nutzung des Biogases für Koch- und Heizzwecke ist der Aufwand für die Wartung gering. Kocher und Brenner sollten gelegentlich auf ihre ordnungsgemäße Funktion sowie auf Verschleißerscheinungen und Ablagerungen überprüft werden.

Wenn das Biogas nicht energetisch genutzt wird, ist aus Umweltgründen der Betrieb einer automatisch zündenden Abfackelvorrichtung erforderlich, welche täglich auf ihre ordnungsgemäße Funktion kontrolliert werden muß.

Generell sollte in allen Anaerobanlagen eine regelmäßige Messung und Dokumentation der erzeugten Gasmenge erfolgen, da dies wichtige Hinweise auf Prozeßleistungsfähigkeit und -stabilität gibt. Darüber hinaus kann eine regelmäßige Bestimmung des Methan- bzw. CO₂-Gehaltes sinnvoll sein.

Der Aufwand ist mit dem der Nutzung von in Faultürmen zur Vergärung von Aerobschlammern entstehenden Gases vergleichbar. Bei Teichanlagen entfällt dieser.

2.2.10.6 Nachreinigung

Abhängig vom gewählten Nachbehandlungsverfahren variiert der Wartungs- und Betriebsaufwand, sowie das erforderliche Maß an Know-how. Fakultativteiche benötigen auch als Nachreinigungsverfahren, wie alle Teichsysteme, nur einen sehr geringen kontinuierlichen Wartungs- und Betriebsaufwand. Die Schlammabnahme erfolgt in mehrjährigen Abständen. Für Tropfkörper ist bereits ein höherer Wartungs- und Betriebsaufwand erforderlich. Bedingt durch ihren hohen Technisierungsgrad besteht bei Belebtschlammverfahren zur Nachbehandlung ein deutlich höherer Wartungs- und Betriebsaufwand, besonders wenn sie mit einer biologischen Nährstoffeliminierung gekoppelt sind. Weitere Nachbehandlungen, wie physikalisch-chemische Verfahren, können zum Einsatz kommen, unterscheiden sich dabei jedoch nicht von der Anwendung bei anderen Verfahren.

2.2.10.7 Schlammbehandlung

Da Anaerobschlammere bereits gut stabilisiert sind und einen hohen TS-Gehalt aufweisen, entfallen einige Verfahrensschritte der Schlammbehandlung, wie sie aus aeroben Kläranlagen bekannt sind. In der Regel reicht eine Entwässerung in Schlamm-trockenbeeten und bei Bedarf eine Nachkompostierung zur Hygienisierung aus. Der betriebliche Aufwand für die Schlamm-trocknung ist gering, der einer Nachkompostierung auch. Es entfallen vor allem technologieaufwendige Verfahrensschritte der Schlamm-trocknung (Eindicker, Pressen, etc.) und eine separate Schlamm-fermentation.

Grundsätzlich ist der Schlamm regelmäßig im Hinblick auf die Parameter zu untersuchen, die für seine Entsorgung bzw. Verwertung eine kritische Rolle spielen könnten (z. B. Nährstoffgehalt, Schadstoffgehalt).

2.2.11 Kosten

Verwendung von Daten und Grenzen des Technologievergleichs

Nachfolgende Kostenabschätzungen basieren auf der Auswertung von Studien, von lokalen Experten erstellten Länderberichten und der Auswertung von Datenblättern der Partner aus den untersuchten Ländern des Sektorprojektes. Berücksichtigte Kosteninformationen und Interpretationen gründen sich auch auf Gespräche mit den Partnern und anderen Fachleuten, Plausibilitätsüberlegungen sowie Erfahrungen und Ein-

schätzungen der Projektmitarbeiter. Darüber hinaus notwendige detaillierte eigene Primärdatensammlungen und -analysen zu verschiedenen Beispielsanlagen und unterschiedlichen Rahmenbedingungen konnten nicht durchgeführt werden.

Aufgrund der "weichen" Datenlage⁶³, wobei Datensätze z.T. unterschiedliche Kostenkomponenten zusammenfassen bzw. diese nicht einzeln benennen und aufschlüsseln und nur bedingt die jeweiligen Rahmenbedingungen und Annahmen erfassen, konnten Informationen nicht immer bereinigt und vergleichbar gemacht werden. Die unterschiedlichen Erfahrungen in den jeweiligen Ländern und stellenweise interessengeleitete Kostenangaben von Herstellern, aber auch unrealistische Einschätzungen von lokalen Beratern und politisch Engagierten erschweren darüber hinaus eine detaillierte ökonomische Technologiediskussion und einzelwirtschaftliche Analyse.

Die Kostenannahmen für Vergleichsverfahren gründen sich vor allem auf eine vergleichende Studie verschiedener Modellsysteme, die die Firma DHV auf der Grundlage eigener Praxiserfahrungen in unterschiedlichen Ländern im Auftrag der Weltbank durchgeführt hat.

Die abgeleiteten Verallgemeinerungen sind daher Orientierungsgrößen, die in Folgeprojekten durch vertiefende Wirtschaftlichkeitsanalysen unter Berücksichtigung standortspezifischer Charakteristika und einer Bewertung im regionalen Kontext an einzelnen Anlagen überprüft werden müssen.

Ergebnisse

Trotz einer breiten aber nicht immer hinreichend abgesicherten Datenbasis, lassen sich die folgenden vorläufigen Ergebnisse bereits mit relativ hoher Sicherheit zusammenfassen:

Die Gesamtkosten und spezifischen Behandlungskosten von Verfahren der kommunalen anaeroben Abwasserreinigung plus Nachreinigung liegen niedriger als die von Belebtschlammverfahren (mit Schlammfäulung und Gasnutzung). Das Kostenverhältnis zu Teichsystemen ist maßgeblich abhängig von den Flächenkosten und der Landflächenverfügbarkeit. Anaerobe Verfahren können erst ab Flächenkosten von über 12 US\$/m² gegenüber Teichsystemen konkurrenzfähig werden, darunter sind Teichsysteme die kostengünstigsten Verfahren.

Gegenüber Belebtschlammverfahren weisen UASB-gestützte Verfahren eine weniger störanfällige und geräteintensive Technologie auf, was zu geringeren Investitions- und Betriebskosten führt und die Anfälligkeit der Anlage reduziert. Sofern eine wirtschaftlich vertretbare Nutzung des entstehenden Biogases möglich ist, erhöht sich die Wirtschaftlichkeit UASB-gestützter Verfahren gegenüber Belebtschlammverfahren weiter.

Die möglichen Kostenvorteile der UASB-Technologie lassen sich nur realisieren, wenn Betriebspersonal und Management hinreichend qualifiziert und vertraglich gebunden sind, um den langfristigen Normalbetrieb sicherzustellen. Dies kann zumeist nur bei Anlagen ab einer Größe von mindestens 10.000 EG gewährleistet werden. Auch wenn mit Hilfe der Datenlage keine detaillierte Kostendegression belegt werden konnte, wird davon ausgegangen, daß unterhalb dieser Grenze auch die spezifischen Investitions- und Betriebskosten von anaeroben Verfahren bei gegenwärtiger Anlagentechnik nur bei deutlich höheren Landpreisen mit denen von Teichsystemen konkurrenzfähig sind.

⁶³ Auch bspw. aus der deutschen TZ und FZ-Projekten zur Verfügung gestellte Dokumente beinhalten bisher kaum empirische, detaillierte und belastbare Kosteninformationen verschiedener Anlagensysteme

Kostenkomponenten und Einflußfaktoren

Investitionskosten

In den Bereich der Investitionskosten fallen die eigentlichen *Baukosten* der Anlage, die *Ausrüstungskosten* und die *Landerwerbskosten*.

Baukosten

Die *Baukosten* umfassen die gesamte Planungs- und Überwachungsphase, die Landakquirierung, Erdarbeiten inklusive der damit verbundenen Lohnkosten, die Belastungen durch Zölle, Steuern und Gebühren, das Risiko des Baubeginns, die eigentliche Bauleistung und die Anlagenkomponenten und -struktur.

Die Planung und Bauüberwachung von Anlagen stellt sich je nach Erfahrungshorizont in den Ländern unterschiedlich dar. In Brasilien, Mexiko, Indien und China existieren fundiert arbeitende Consultingbüros und Baufirmen. In anderen Ländern erhöht sich diese Kostenkomponente aufgrund des internationalen Beratungsbedarfs. Im Vergleich zu Belebtschlammverfahren steht bei Anaerobverfahren weniger lokale Erfahrung zur Verfügung. Der geringere Geräteaufwand der UASB-gestützten Verfahren kehrt jedoch diesen Kostennachteil um. Die Planungsaufwendungen gegenüber Teichsystemen sind höher.

Mit zunehmender Anlagendichte ist bei Anaerobanlagen eine erhöhte Standardisierung und eine Vorfertigung von Komponenten (Dreiphasentrennung, Verteilung) möglich, so daß hier erhebliche Kostensenkungspotentiale schlummern.

Voraussetzung hierfür ist jedoch, bislang durchgeführte Planungen und Überwachungen internationaler Büros von lokalen Büros umsetzen zu lassen. Dazu bedarf es wiederum einer deutlichen Ausweitung von Ausbildungsanstrengungen vor Ort.

Konstruktion und Bau der Anlagen können grundsätzlich in allen Ländern durchgeführt werden. Die Verfügbarkeit von üblicherweise lokal erhältlichen Baumaterial ist jedoch stellenweise nicht gewährleistet (Regionen in Nepal, Laos, Bolivien) und kann dann zu erheblichen Verzögerungen beim Bau führen. Hauptprobleme bei der Umsetzung sind erhebliche Qualitätsmängel der Baumaterialien und eine mangelnde Kontinuität bei der Bauüberwachung. Bei größeren Vorhaben entstehen oft langjährige Verzögerungen durch langsame Genehmigungsverfahren.

Ausrüstungskosten

Die Ausrüstung der Anlagen mit mechanischen und elektrischen Komponenten ist mitunter von der Topographie des Standortes abhängig. Während Teichsysteme neben einer Umrandung und Beleuchtungsinfrastuktur allenfalls Pumpen benötigen, benötigen UASB-gestützte Systeme darüber hinaus Verbindungsteile zum Reaktor, Ausrüstung für die Rechen- und Siebvorrichtung sowie Gerät für die Steuerung der Anlage.

Belebtschlammverfahren haben den größten Ausrüstungsbedarf: dieser umfaßt zumeist die erforderlichen Ausrüstungsteile für Siebe, Rechen, Sandfang, sowie für Absetzbecken, Belüftungstank, Belüfter, Faulturm, Schlammendicker und Pumpen. Mit dem Technisierungsgrad der Anlage steigt der Importbedarf von Anlagenteilen, so daß sich der Devisenanteil an den Gesamtinvestitionskosten erhöht. Daneben steigt der Abhängigkeitsgrad von Lieferanten und überregionalen Ersatzteilherstellern. Wenn die benötigten Komponenten nicht im Land hergestellt werden können, kann die Kontinuität des Anlagenbetriebs dadurch erheblich gefährdet werden. Die Mengen an erforderlichen Ausrüstungen sind stark unterschiedlich und steigen besonders bei erhöhtem Automatisierungsgrad und Technikniveau häufig deutlich über die angenommenen Werte. Kommunale Anaerobanlagen sind von Anfang an für Entwicklungsländer konzipiert und weisen auch deswegen zumeist eine geringere Geräteausstattung auf.

Die Verstromung des produzierten Methangases stellt eine attraktive Möglichkeit dar, zusätzliche Erlöse zu erzielen und den Fremdbezug von Strom zu senken. Eine wirtschaftliche tragbare Verstromung kann aber nur erreicht werden, wenn der Strom zu akzeptablen Bedingungen (spezifische Erlöse mindestens 10 Pf/kWh) in das öffentliche Netz eingespeist oder an lokale Verbraucher verkauft werden kann.

In den untersuchten Ländern besteht kaum Erfahrung mit der Verstromung von Anlagen kommunaler Abwasserbehandlung, unabhängig davon, ob anaerobe oder aerobe Systeme. Auch bei den durch internationale Finanzierung geplanten Abwasserprojekten wird der Energieaspekt häufig noch „vergessen“, ohne daß diesbezüglich Detailüberlegungen zur Wirtschaftlichkeit angestellt wären. In China wird die direkte Gasnutzung als thermische Energie häufiger eingesetzt. Derzeit wird im Rahmen der FZ durch die KfW eine kommunale

Belebtschlammanlage mit Schlammfäulung finanziert, die mit zusätzlichen Investitionskosten von ca. 8% an den Gesamtinvestitionskosten eine Gasverstromung zugunsten einer Eigenbedarfsdeckung von 60% vorsieht.

Landerwerbskosten

Die *Landerwerbskosten* sind abhängig von Landverfügbarkeit und Landbedarf der Behandlungsverfahren, die daher zwei wichtige Größen für die Entscheidungsfindung darstellen.

Je nach Abwassertemperatur, Verunreinigungsgrad und anderen Faktoren ist der Flächenbedarf zu beurteilen. In städtischen Gebieten Brasiliens, Mexikos, Boliviens, Kolumbiens, Chinas, Indiens und Nepals sind Immobilienpreissteigerungen in den letzten fünf Jahren von über 300% keine Seltenheit. Im großstädtischen São Paulo sind Bodenpreise von rund 30 US\$/m² für subventionierte, öffentliche Flächen üblich. Teichsysteme stellen unter dieser Voraussetzung keine geeignete Alternative dar.

Betriebskosten

Die Betriebskosten umfassen die *Wartungs- und Instandhaltungskosten, die betrieblichen sonstigen Personalkosten, die Stromkosten* und die *Schlammentsorgungskosten*.

Aufgrund der schwierigen Prognostizierbarkeit der Einflußfaktoren für die einzelnen Betriebskostenkomponenten (Preissteigerungen beim Personal, bei Brennstoffen, Ersatzteilen, Verfügbarkeit von qualifiziertem Wartungspersonal, etc.) sind Abwasserbehandlungsverfahren mit einem geringeren Betriebskostenanteil wirtschaftlich weniger anfällig für plötzliche Veränderungen.

Der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand bei Anaerobanlagen ist im Vergleich zu Belebtschlammverfahren niedrig. Dennoch ist eine kontinuierliche technische Überwachung nötig, so daß vielmehr die Gewährleistung der Wartungsarbeiten durch qualifiziertes und kontinuierlich verfügbares Personal der Schlüssel zum Erfolg ist. Teichsysteme sind hinsichtlich des Ausbildungsstandes von Personal am wenigsten anspruchsvoll. Sie weisen den Vorteil auf, in jedem der untersuchten Länder einsetzbar zu sein. Der Aufbau von qualifiziertem Personal und ihre Bindung an die Anlagen stellt für den Ausbau von Belebtschlammverfahren wie auch für Anaerobanlagen eine große Herausforderung dar. Die hohe Fluktuationsrate und der Absentismus von Angestellten stellen in den untersuchten Ländern eine große Hürde dar, einen kontinuierlich arbeitenden, homogenen Personalstand aufzubauen.

Der Anteil der Stromkosten an den Betriebskosten ist bei Belebtschlammverfahren am höchsten. Teichsysteme und UASB-gestützte Verfahren haben einen weitaus geringeren Strombedarf. Stromausfälle sind in einer Vielzahl der untersuchten Länder an der Tagesordnung (Nepal, Laos, Thailand, Bolivien, Ecuador) und würden den Anlagenbetrieb von Belebtschlammverfahren sofort beeinträchtigen (fehlende Belüftungsenergie beeinträchtigt aerobe Prozesse) bzw. die Betriebskosten durch den notwendigen Einsatz von Verstromungs- bzw. Notstromaggregaten beeinflussen. Sofern diese vorhanden sind, kann der Betrieb zeitlich begrenzt aufrechterhalten werden, so lange keine Spitzenlasten zu bewältigen sind und Strombedarf und –produktion zeitlich zusammenfallen. UASB-gestützte Verfahren sind weniger anfällig als aerobe Verfahren, da der Strombedarf sehr viel geringer ist und der anaerobe Abbau zunächst ohne Energiezufuhr weiterlaufen kann, allerdings wird bei länger währenden Stromausfällen und fehlender Verstromung auch hier, je nach Gestaltung der Anlage, der Prozeß früher oder später beeinträchtigt. Teichsysteme weisen diesbezüglich die größte Robustheit auf, da ihr Betrieb noch weniger von einer Stromversorgung abhängig ist.

Auch die Möglichkeiten, Belebtschlammanlagen zur Betriebskostensparnis einfach „abzuschalten“ und das Abwasser ungereinigt in den Vorfluter zu leiten, stellt in der Praxis ein großes Problem dar.

Die Schlammentsorgungskosten sind standortbezogen zu bestimmen, können jedoch ausschlaggebend für eine Investitionsentscheidung sein. Grundsätzlich kann Schlamm in den untersuchten Ländern jedoch auch als Bodenverbesserer (Forstwirtschaft, Landwirtschaft) in Abhängigkeit vom Hygienisierungsgrad, der Schadstoffbelastung und der Verwendung eingesetzt werden. Eine wichtige Restriktion neben den Gesund-

heitsrisiken bildet die Transportaufwendungen zum Verbrauchsstandort. In Bucaramanga (Kolumbien) bspw. wird der Schlamm kostenlos einem forstwirtschaftlichen Projekt zur Verfügung gestellt. Im Iran und in Ägypten stellt Schlamm sogar einen Erlösposten dar, da er für Bodenverbesserungsmaßnahmen eingesetzt wird.

2.2.12 Ergebnisse des Anlagenvergleichs

In einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung⁶⁴ wurden modellhaft drei Abwasserbehandlungsverfahren verglichen: Belebtschlammverfahren, Teichsysteme und das Verfahren UASB mit und ohne Nachreinigung für eine Größe von 50.000 EG und für Reinigungszielwerte von 20 bzw. 50 mg/ℓ BSB₅.

Die nachstehenden Ergebnisse sind Richtwerte und als Orientierungshilfe für Entscheidungsträger gedacht. Im wesentlichen sollte anhand der Kostenvergleichsrechnung überprüft werden, inwieweit Annahmen zu Landpreisen (Landerwerbskosten) und zur Nutzung bzw. Einspeisung des produzierten Methans die Entscheidung zugunsten eines Verfahrens beeinflusst.

Inputgrößen zur Beurteilung der relativen Vorteilhaftigkeit sind von der kostenrechnerischen Seite

- die Investitionskosten und
- die Betriebskosten.

Unter Annahme eines relativ hohen Landpreises (25 US\$/m²), konstanter Stromkosten (0,1 US\$/kWh) während einer zwanzigjährigen Nutzungsdauer, eines Kalkulationszinsfußes von 8%, konstanter Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie konstanter Personalkosten ergaben sich die folgenden Ergebnisse:

Verfahren der Belegung mit Schlammfäulung waren bei einem Reinigungszielwert von 50 mg BSB/ℓ mehr als doppelt so teuer wie das Verfahren UASB bzw. fast doppelt so teuer wie UASB mit Nachreinigungsteich bei einem Reinigungszielwert von 20 mg BSB/ℓ. Diese Verhältnisse sind bei einer Berücksichtigung von Energienutzung und Einspeiserlösen noch deutlicher (siehe Tabelle 21 und Tabelle 22). Dies gilt für konservative Annahmen bezüglich des Flächenbedarfs der Nachreinigungsteiche⁶⁵, bei Berücksichtigung vorhandener Praxiswerte verändert sich das Verhältnis weiter zugunsten von UASB-Systemen.

Die hohen Ausrüstungskosten des Belebtschlammverfahrens (rund das 10fache der Ausrüstungskosten von UASB-Systemen) ergeben sich v.a. aus den Kosten für die Belüfter und die Geräteausstattung für Vor- und Nachklärbecken sowie für Schlammfäulung und -eindicker (über 80 % der gesamten Ausrüstungskosten), die bei UASB-Systemen nicht anfallen. Für diese werden nur Rechen, Pumpen und sonstige elektrische Ausrüstung (Beleuchtung u.ä.) veranschlagt. Eine detaillierte Aufstellung der Kostenkomponenten findet sich im Statusbericht (Band 1).

Bei niedrigen Reinigungszielwerten (50 mg BSB₅/ℓ) ist das Teichsystem pro m³ gereinigtem Abwasser rund 18% teurer als das UASB-Verfahren. Hohe Reinigungszielwerte (20 mg BSB₅/ℓ) verstärken den Vorteil des Verfahrens UASB und Nachreinigungsteich gegenüber Teichsystemen etwas, Teichsysteme sind dann pro m³ gereinigtem Abwasser um rund 20% teurer.

Als wesentliches Kriterium für die Verfahrenswahl zwischen Teichsystemen und UASB-gestützten Verfahren stellt die Untersuchung die Höhe der Landpreise heraus. Gleich ob mit einem Reinigungszielwert von 20 oder 50 mg BSB₅/ℓ erweisen sich Teichsysteme bei Unterschreitung des Landpreises von ca. 14 US\$/m² als die wirtschaftlichsten Verfahren. Werden zudem mögliche Energieerträge mitberücksichtigt, die beim Einsatz von UASB-Verfahren erzielbar sind, reduzieren sich die an den Landpreisen festgemachten Schwellenwerte für den wirtschaftlichen Einsatz von Teichsystemen. Der Schwellenwert für den Landpreis beträgt

⁶⁴ Siehe Statusbericht, Bd. 1, 1998

⁶⁵ Zu den Flächenbedarfen siehe Kapitel 0.

dann für den Reinigungszielwert 20 mg BSB₅/ℓ rund 12 US\$/m², für 50 mg BSB₅/ℓ etwa 14 US\$/m². Negative Klimawirkungen blieben in dieser Berechnung unberücksichtigt.

Sensitivitätsanalysen wurden für Änderungen des Kalkulationsfußes, der Landerwerbs- und Schlamm Entsorgungskosten sowie der Einspeiseerlöse durchgeführt und weisen bei allen vier Parametern auf eine starke Abhängigkeit der Behandlungskosten von diesen Faktoren hin. Die Relation der Behandlungsalternativen verschiebt sich am deutlichsten bei fallenden und steigenden Landpreisen.

Tabelle 21: Dynamischer Kostenvergleich von drei Abwasserreinigungsmethoden ohne Verstromung

Basisszenario (Kosten in 1.000 US\$) *	Teichsystem		UASB und Fak.teiche		UASB		Belebung mit Schlammfäulung	
	Z 1	Z 2	Z 1	Z 2	Z 1	Z 2	Z 1	Z 2
Investitionskosten								
<i>Konstruktionskosten</i>	369	276	950	766	1.026	951		
<i>Ausrüstungskosten</i>	25	21	48	45	585	506		
<i>Landerwerbskosten</i>	2.125	1.300	625	175	525	500		
Gesamt	2.519	1.597	1.623	986	2.136	1.957		
Investkosten (US\$/E)	50	32	32	20	43	39		
Annuität der Kapitalkosten	211,8	135,6	154,1	98,8	233,8	212,4		
Annuität der Betriebskosten	74,8	67,6	82,3	74,1	220,0	203,8		
Jährliche Gesamtkosten	286,6	203,1	236,3	172,8	453,8	416,2		
<i>Kosten in US\$/m³</i>	<i>0,098</i>	<i>0,070</i>	<i>0,081</i>	<i>0,059</i>	<i>0,155</i>	<i>0,143</i>		

* Datengrundlage: DHV Consultants (1993); eigene Berechnungen; siehe Statusbericht, Band 1 (1998)

Tabelle 22: Dynamischer Kostenvergleich von drei Abwasserreinigungsmethoden mit Verstromung und unter Berücksichtigung der Erlöse für Stromerzeugung (in 1.000 US\$)

Basisszenario (Kosten in 1.000 US\$) *	Teichsystem		UASB und Fak.teiche		UASB		Belebung mit Schlammfäulung	
	Z 1	Z 2	Z 1	Z 2	Z 1	Z 2	Z 1	Z 2
Annuität der Kapitalkosten	211,8	135,6	154,1	98,8	233,8	212,4		
Annuität der Betriebskosten	74,8	67,6	82,3	74,1	220,0	203,8		
Erlöse (negative Kosten) bei Stromerzeugung	0	0	-11	-11	-27	-23		
Jährliche Gesamtkosten	286,6	203,1	224,9	161,5	427,0	393,2		
<i>Kosten in US\$/m³</i>	<i>0,098</i>	<i>0,070</i>	<i>0,077</i>	<i>0,055</i>	<i>0,146</i>	<i>0,135</i>		

* Datengrundlage: DHV Consultants (1993); eigene Berechnungen siehe Statusbericht, Band 1 (1998)

Die errechneten Modellwerte werden im folgenden zusätzlich durch empirische Kostenangaben für Investitions- und Betriebskosten kommunaler Anaerobanlagen bei jeweils unterschiedlichen Einzelbedingungen und Rechnungsmethoden zur Illustration ergänzt.

Tabelle 23: Investitions- und Betriebskosten verschiedener UASB-Anlagen zur Kommunalabwasserreinigung; Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

Ort	Nation	Investitionskosten		Betriebskosten		Reaktorvolumen [m ³]	Anschlußgröße 1000 EG	Baujahr	Zustand ^{*)}
		US\$/m ³ Reaktor	US\$/E	US\$/m ³ Reaktor	US\$/E•a				
Quito (La Chorrera)	Equador	568	15	-	-	26,4	1,0	-	außer Betr.
Iztapalapa, México D.F.	Mexiko	1000	-	-	-	50	-	1989	Betrieb
Sumaré City - SP - Jd. Santa Maria	Brasilien	161	8	-	-	67,5	1,4	1992	Betrieb
Sao Paulo (CETESB)	Brasilien	300	10	-	-	120	3,6	1986	Betrieb
Campina Grande - PB - Pedregal	Brasilien	375	12	-	-	160	5	1991	außer Betr.
Edo. de Mexico	Mexiko	400	33	12,87	1,07	200	2,4	1997	Betrieb
Santo Domingo de los Colorados (Puerto Limon)	Equador	232	-	-	-	259	-	1991	Rep.
Santo Domingo de los Colorados (Las Delicias)	Equador	174	-	-	-	259	-	1993	Rep.
Chone (Nuovo Israel)	Equador	212	55	-	-	259	1,0	1993	Betrieb
Lima (Planta Piloto UNITRAR)	Peru	1333	44	3,83	0,13	300	9	1996	Betrieb
Sinahota - Chapare	Bolivien	199	65	-	-	628	1,9	1991	Betrieb
Cali (Las Delicias)	Kolumbien	700	18	2,00	0,05	1000	40	1990	Betrieb
Tlaxcala, Tlax.	Mexiko	142	-	1,45	-	2200	-	1990	Betrieb
Curitiba - PR (Lorinda Norte)	Brasilien	1042	7	-	-	2592	400	1996	Betrieb
Babahoyo	Equador	472	26	1,96	0,11	6000	110	1997	Bau
Bucaramanga (Rio Frio)	Kolumbien	253	10	0,85	0,04	9900	240	1989	Betrieb

*) Zustand der Reaktoren: Rep. = Reparatur, in Wiederherstellung

Wie bereits ausgeführt, müssen alle Angaben inklusive der obigen empirischen Werte in Anbetracht der Erhebungsumstände vorsichtig interpretiert und als Orientierungsgrößen verstanden werden.

2.3 Industrieabwässer

Anaerobe Abwasserreinigungsanlagen sind im industriellen Sektor weit verbreitet. Von den Anlagen, zu denen im Rahmen dieses Vorhabens Daten gesammelt werden konnten, sind ca. 90% der industriellen Abwasserreinigung zuzuordnen. Wichtigste Industriezweige sind dabei die Agro- und lebensmittelverarbeitende Industrie, Getränkeindustrie, Zuckerfabriken und Destillieren (in Indien 57% der industriellen Anlagen), sowie Zellstoff- und Papierindustrien. Die Anteile verschiedener Branchen an der anaeroben Industrieabwasserreinigung zeigt Abbildung 8 beispielhaft für Brasilien und Mexiko. Inzwischen zeichnen sich entsprechende Entwicklungen in der Pharma- und Chemieindustrie ab, so daß sich immer mehr Einsatzbereiche für die Anaerobtechnologie öffnen; aus Chile wird sogar über die anaerobe Behandlung stark salzhaltiger Abwässer aus der Fischindustrie berichtet (ASPÉ ET AL. 1997). Auch großindustrielle Viehhaltungsbetriebe greifen in Kombination mit etablierten Anaerobverfahren zur Güllebehandlung vermehrt auf Hochleistungsverfahren (UASB) zur Abwasserbehandlung zurück (Beispiel: Thailand).

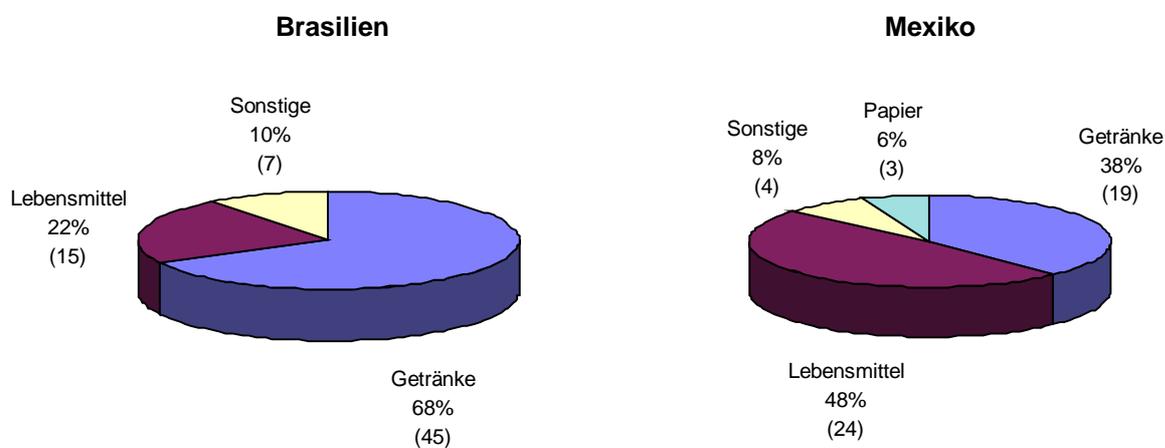


Abbildung 8: Anteile verschiedener Branchen an industriellen Anaerobanlagen zur Abwasserreinigung in Brasilien und Mexiko; Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

2.3.1 Beschaffenheit industrieller Abwässer

Bei den industriellen Abwässern handelt es sich um ein äußerst heterogenes Spektrum von Abwässern, das nur mit großen Einschränkungen verallgemeinernde Aussagen zuläßt.

Industrielle Abwässer können sehr unterschiedliche Temperaturen aufweisen (von 10°C bis nahezu 100°C). Obwohl bei der anaeroben Behandlung durch die meist hohe Schmutzfracht mehr Methangas entsteht als bei kommunalen Abwässern, ist eine Substratbeheizung, wie sie bei organischen Abfällen und Schlämmen vorgenommen wird, aufgrund der Ausgangstemperatur auch bei diesen Abwässern eher die Ausnahme.

Die Einsatzgrenze für die Anaerobtechnologie liegt bezüglich der Temperatur industrieller Abwässer leicht unter der kommunaler Abwässer, da viele Stoffe bereits in gelöster Form vorliegen und daher ein geringerer Hydrolysegrad erforderlich ist.

Industrielle Abwässer müssen i.d.R. keine langen Kanalsysteme durchfließen, eine Behandlung ist deswegen relativ unabhängig von der Außentemperatur. Obwohl die Temperatur vieler industrieller Abwässer relativ konstant ist, kann bei Behandlung von Abwässern unterschiedlicher Herkunft (Prozeßstufen) ein Mischbehälter starke Schwankungen im Reaktorzulauf verhindern.

Starke und vor allem abrupte Temperaturschwankungen müssen weitgehend ausgeschlossen werden, da sie die Prozeßstabilität und damit die Reinigungsleistung ernsthaft gefährden. Anaerobe Hochleistungsverfahren sind in dieser Hinsicht empfindlicher als aerobe und Teichverfahren.

Jedes organisch belastete Abwasser ist grundsätzlich für die anaerobe Reinigung geeignet. Als Faustregel gilt, daß mit zunehmender organischer Verschmutzung der Einsatz der Anaerobtechnologie zunehmend interessanter wird. Bei industriellen Abwässern treten CSB-Werte bis 80.000 mg/ℓ und darüber auf. Die UASB-Anlage in Venlo/Niederlande behandelt Abwasser aus der Getränkeherstellung mit dieser Belastung. Solche Werte bereiten anaeroben Verfahren, im Gegensatz zu aeroben, keine Schwierigkeiten.

Der Schwebstoffgehalt hat auf die Einsetzbarkeit der Anaerobtechnologie generell wenig Einfluß. Allerdings beeinflußt er die Auswahl des konkreten Verfahrens maßgeblich, da jedes Verfahren eine spezifische Empfindlichkeit gegenüber Schwebstoffen aufweist.

Tabelle 24: Empfindlichkeit der wichtigsten anaeroben Verfahren gegenüber Schwebstoffen

Reaktortyp	Prinzip der Schlammrückhaltung	Normale Raumbelastung (kg CSB/m ³ •d)	Empfindlichkeit gegenüber Schwebstoffen
Anaerobes Kontaktverfahren	Externe Absetzung und Schlammrückführung	< 5	wenig empfindlich
Anaerobfilter	Bildung von Biofilmen auf Trägermaterial	< 10	empfindlich: Verstopfungen, Kurzströmungen
UASB mit flockigem Schlamm	Absetzen von Schlamm im Reaktor	< 10	empfindlich: Akkumulierung von Schwebstoffen im Schlammbett, Schlammflotation
UASB mit Kornschlamm	Bildung von gut absetzbaren Schlammkörnern im Reaktor	< 20	weniger empfindlich: Akkumulierung von Schwebstoffen im Schlammbett, Schlammflotation
FB/IC/EGSB*	Bildung von Biofilmen auf beweglichen Trägern oder Pelletisierung	< 40	wenig empfindlich: Schwebstoffe verlassen i.d.R. die Anlage mit dem Ablauf

* FB = Festbettreaktor; IC = Internal Circulation Reaktoren; EGSB = Expanded Granular Sludge Bed Reaktoren

Es wird deutlich, daß besonders Anaerobfilter und UASB-Reaktoren relativ stark auf hohe Schwebstoffbelastungen reagieren. Niedrig belastete Verfahren, wie horizontal und auch vertikal durchströmte Anaerobteiche, sind wenig empfindlich gegenüber Schwebstoffen. Durch eine entsprechende Vorbehandlung (Siebe, Absetzverfahren, Flotationsverfahren, Fettabscheider, usw.) kann prinzipiell jedes Reinigungsverfahren unabhängig vom Schwebstoffgehalt zum Einsatz kommen.

Anders als kommunale Abwässer können industrielle Abwässer arm an erforderlichen Nährstoffen sein und ein unausgewogenes Nährstoffverhältnis aufweisen, insbesondere wenn Schmutzfrachten nicht biogenen Ursprungs sind. Im Einzelfall wird daher die Nährstoffzusammensetzung geprüft. Erforderliche Makro-Nährstoffe sind Stickstoff, Phosphor und Schwefel, erforderliche Mikro-Nährstoffe Eisen, Molybdän, Kobalt, und Nickel. Bei Fehlen notwendiger Nährstoffe werden diese vor der Behandlung zudosiert. Durch das geringe Bakterienwachstum weisen anaerobe Prozesse im Vergleich zu aeroben einen geringeren Nährstoffbedarf auf, so daß auch Abwässer mit geringer Nährstoffkonzentration relativ unproblematisch anaerob behandelt werden können. Im Einzelfall muß geprüft werden, ob Inhaltsstoffe enthalten sind, die die anaerobe Reinigung hemmen können bzw. nur aerob abbaubar sind.

2.3.2 Energieaspekte

Energiebedarf

Der Energiebedarf von industriellen anaeroben Abwasserreinigungsanlagen hängt von lokalen Bedingungen, wie der Substratzusammensetzung, der einzuhaltenden Abwassergüte, dem Stand der verwendeten technischen Komponenten und der Topographie ab. Die spezifischen Werte variieren erheblich und eine Angabe von Durchschnittswerten ist wenig sinnvoll. Der Energiebedarf im industriellen Bereich ist meist höher als bei kommunalen Anlagen.

Industriebetriebe verfügen meist über weniger Flächen als Kommunen. Dadurch werden häufiger Pumpen mit einem höheren Energiebedarf installiert. Der Reaktortyp spielt unter Energieaspekten eine wichtige Rolle, oft werden im Industriesektor auch energieintensive Verfahren mit Abwasserzirkulierung (Wirbelbettreaktoren, EGSB, IC) oder Schlammzirkulierung (Kontaktverfahren) eingesetzt.

Energieerzeugung

Abgesehen von der Temperatur hängt die Methan- und damit die Energieproduktion wesentlich von der organischen Belastung, dem spezifischen Energiegehalt der Organik und weiteren Eigenschaften des Abwassers, wie Alkalität und Sulfatgehalt, ab. In Abbildung 9 sind für eine Reihe von Fällen typische Gasertragsdaten dargestellt. Bezogen auf die behandelte Schmutzfracht ist die spezifische Gasproduktion (gemessen in $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg CSB}$) z.B. bei Molkereiabwässern höher als bei Abwässern aus der Papierproduktion. Je geringer die mitgeführte Schmutzfracht eines Abwassers ist, um so höher ist der relative Anteil an produziertem Methan, das gelöst den Reaktor verläßt und nicht erfaßt werden kann. Dies beruht darauf, daß bei gegebener Temperatur eine konstante Menge Methan im Abwasser gelöst wird. So ist der verhältnismäßig niedrige Methanwert für kommunale Abwässer in Abbildung 9 zu erklären.

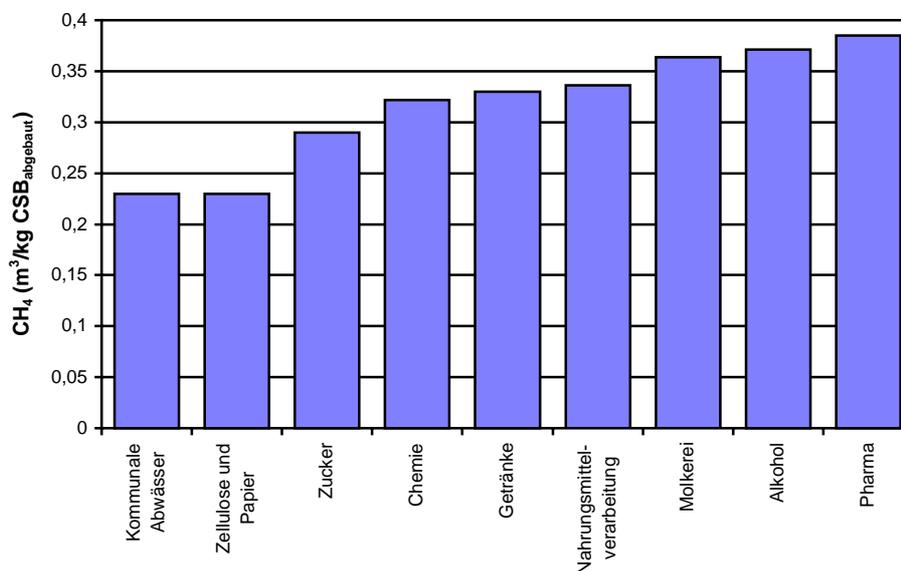


Abbildung 9: Methanausbeute diverser Abwässer ($\text{m}^3/\text{kg CSB}_{\text{abgebaut}}$); Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 1, 1998⁶⁶

⁶⁶ Alle Werte außer „kommunale Abwässer“ mit einem Methangehalt von 70% aus der Biogasproduktion errechnet.

Energiebilanz

Durch die höhere organische Fracht von industriellem im Vergleich zu kommunalem Abwasser ergibt sich eine deutlich höhere Biogasausbeute durch anaeroben Abbau. Obwohl der Prozeßenergiebedarf zur Reinigung industrieller Abwässer i.d.R. deutlich höher ist als bei kommunalen Anlagen (Technisierungsgrad), kann aufgrund der höheren Biogasausbeute oft ein Energieüberschuß erzielt werden. Allgemein kann gesagt werden, daß die energetischen Vorteile der anaeroben Abwasserreinigung um so deutlicher werden, je höher die organische Belastung der Abwässer ist.

Eine pauschale Energiebilanz kann jedoch aufgrund der sehr unterschiedlichen Eigenschaften industrieller Abwässer nicht gegeben werden. In Tabelle 25 werden die Verfahrensunterschiede anhand eines Beispiels verdeutlicht.

Tabelle 25: Beispielsrechnung einer Energiebilanz für die Abwasserreinigung einer Zuckerindustrie; Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 1, 1998

	UASB + Nachreinigungsteich		Fakultativteiche	Belebtschlammverfahren	
	mit Gasnutzung	Abfackelung		ohne Faulung	mit Faulung
m ³ Biogas/Saison (70% CH ₄)	640.000				320.000
Stromerzeugung aus Biogas kWh/Saison	+1.250.000				+512.000
Strombedarf kWh/kg CSB _{abgebaut}	0,08	0,08	0,08	0,4	0,4
in kWh _{el} /Saison	-115.000	-115.000	-115.000	-576.000	-576.000
Bilanz	+1.135.000	-115.000	-115.000	-576.000	-64.000

2.3.3 Klimarelevanz

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 beschrieben, können der Einsatz der Anaerobtechnologie bzw. der Belebung mit Schlammfäulung einen Beitrag zur Substitution von fossilen Energieträgern leisten, wenn das entstehende Methangas aufgefangen und energetisch genutzt wird. Bezogen auf die behandelte Abwassermenge sind positive und negative Klimawirkungen bei industriellen Abwässern aufgrund der höheren Schmutzfracht höher, weshalb das Gas, falls es nicht genutzt wird, noch dringender abgefackelt werden muß. Die Schlußfolgerungen die aus der kommunalen Abwasserreinigung gezogen wurden, gelten auch im industriellen Bereich.

Beim Betrieb von industriellen Anaerobanlagen ist das einfache Ablassen des erzeugten Gases in die Atmosphäre aus Klimagesichtspunkten nicht zu verantworten. Dies wird jedoch wegen der besseren Nutzungseigenschaften und der schärferen Kontrollen, denen die jeweiligen Industrien unterworfen sind, ohnehin selten praktiziert. Auch sind diese Industrien meist besser organisiert als kommunale Träger.

Das größere Problem stellt bei den Industrieabwässern die große Zahl von Industrien ohne jegliche Abwasserbehandlung dar, wobei ein Großteil der Organik anaerob abgebaut wird und das Methan unkontrolliert in die Atmosphäre entweicht.

2.3.4 Schlammanfall und -nutzung

Hinsichtlich der Schlammproblematik bei industriellen Abwässern werden die Unterschiede zwischen anaeroben und aeroben Verfahren bei der Schlammmenge und -qualität besonders deutlich. Diese beeinflussen in der Industrie Aufwand und Kosten des Verfahrens.

Grundsätzlich ist zwischen dem in der anaeroben Stufe und dem in der aeroben Nachbehandlung anfallenden Schlamm zu differenzieren:

Anaerobstufe

Die Schlammproduktion bei der anaeroben Reinigung von industriellen Abwässern ist gering. Die Schlammproduktion variiert zwischen ca. 0,01 - 0,15 Schlamm-CSB/CSB_{abgebaut}, Als Faustzahl werden sowohl 5% (UNIVERSITÄT WAGENINGEN, 1997) bis maximal 15 % (ATV FACHAUSSCHUSS 7. 5, 1994) der abgebauten CSB-Fracht angenommen.

Nachbehandlung

Der bei aerober Nachbehandlung entstehende Schlamm (Teiche ausgenommen) kann bei Anaeroben Kontaktschlammverfahren, evtl. auch bei UASB-Reaktoren teilweise wieder in die Anaerobstufe eingespeist werden, so daß weniger Aerobschlamm entsteht. Bei anderen Anaerobverfahren ist dies jedoch nur bedingt möglich. Der entstehende Schlamm muß gesondert behandelt und entsorgt werden.

Eigenschaften des Anaerobschlammes

Lange Schlammverweilzeit und Kornbildung (auch Pelletisierung genannt), die auf relativ hohe Strömungsgeschwindigkeiten zurückzuführen ist, gibt Anaerobschlamm aus der industriellen Abwasserreinigung besonders gute Entwässerungs- und Stabilitätseigenschaften. Anaerober Kornschlamm ist - soweit erforderlich - mit deutlich weniger Aufwand entwässerbar als Schlamm aus einem Belebtschlammverfahren. Dies wirkt sich auf die Dimensionierung von Schlammendickern und Trockenbeeten aus. Anaerobschlamm kann durch seine Eigenschaften ohne zusätzlichen Maßnahmen einen TS-Gehalt von bis zu 10% erreichen und so eine weitere Behandlung, auch eine Trocknung, überflüssig machen.

Qualitativ hochwertiger Kornschlamm wird z.T. zu hohen Preisen vermarktet und kann die Nutzenseite von Anaerobanlagen verbessern. Kornschlamm ist zum Anfahren neuer, vergifteter oder versauerter Anlagen begehrt.

2.3.5 Flächenbedarf und Standortfragen

In Industriegebieten ist Fläche zumeist knapp und teuer, der spezifische Flächenbedarf eines Verfahrens bedeutsam. Für viele Industrien, die traditionell in urbanen Gebieten angesiedelt sind (z.B. Brauereien), stellt der geringe Platzbedarf von anaeroben Verfahren ein wichtiges Auswahlkriterium dar.

Der für kommunale Abwässer pro Einwohner notwendige Platzbedarf reduziert sich bei industriellen Abwässern durch die vom Reaktortyp abhängige, 4 bis 10-fach höhere Raumbelastung von anaeroben Hochleistungsreaktoren um den Faktor 0,25 - 0,1. Wegen der besseren Absetzbarkeit des Schlammes können z.T. auch höhere Reaktoren gebaut werden. Während bei UASB- und Kontaktschlammreaktoren Höhen bis zu 6 m gewöhnlich sind, können Anaerobfilter, EGSB- und IC-Reaktoren⁶⁷ bis über 10 m hoch dimensioniert werden und so den Platzbedarf sogar auf unter 0,4 m²/kg BSB₅_{abgebaut} und Tag senken. Zwar reduzieren sich die Landerwerbskosten bei zunehmender Reaktorhöhe, Bau- und Energiekosten steigen jedoch.

Bei einer Minimierung der Fläche für die anaerobe Reinigung gilt es auch, die Nachbehandlung platzsparend auszulegen.

Da industrielle Abwässer meist nicht pathogenbelastet sind, fällt dieser Grund für einen Einsatz von platzaufwendigen Teichsystemen weg. Wo Flächen knapp sind, werden in der Praxis eher platzsparende belüftete Systeme zur Nachbehandlung von anaerob vorgereinigten Abwässern wie Circox- und aerobe Fließbettreaktoren eingesetzt, die einen dem anaeroben IC-Reaktor vergleichbaren Platzbedarf haben.⁶⁸

⁶⁷ Erfafte Anwendungen für IC-Reaktoren finden sich vor allem bei Brauereien in IL. Von ersten Anwendungen in EL wird aus China (2 Anlagen), Brasilien (1) und Venezuela (1) berichtet - diese sind seit 1995 bzw. 1996 in Betrieb und sämtlich aus dem Brauereisektor.

⁶⁸ Technische Beschreibungen verschiedener Systeme siehe Statusbericht des Sektorvorhabens, Bd. 2, 1998.

2.3.6 Nachbarschaftsprobleme

Standortspezifische Probleme durch Geruchsemissionen von Anaerobanlagen entstehen zumindest bei größeren industriellen Anlagen in EL eher selten, da die Anlagenkonzeption Methanemissionen zumeist verhindert.

2.3.7 Nährstoffeliminierung

Der Nährstoffgehalt von gereinigten industriellen Abwässern ist sehr unterschiedlich und abhängig vom Ausgangssubstrat. Wie in Kapitel 2.2.8 erwähnt, werden in aeroben Verfahren keine nennenswerten Nährstoffmengen eliminiert. Nachbehandlungsverfahren können jedoch in der Industrie vergleichsweise wirtschaftlicher entsprechend der erforderlichen Nährstoffeliminierung gestaltet und gesteuert werden, auch weil die Produktionsprozesse selbst auf die gewünschte Restbelastung und zulässigen Emissionswerte abgestimmt werden können.

2.3.8 Wartung und Betrieb

Der Aufwand für Wartung und Betrieb von Anaerobanlagen zur Reinigung industrieller Abwässer variiert in Abhängigkeit von der eingesetzten Technologie und den völlig unterschiedlichen Technologieniveaus in einem weiten Spektrum. Bei hochtechnisierten Anlagen kann der Betriebs- und Wartungsaufwand den von Belebtschlammanlagen übersteigen. Die Anlagenwartung ist bei industriellem Abwasser oft weniger problematisch, da häufiger geschultes Personal vorhanden ist und behördliche Kontrollen zumeist eher greifen als bei Kommunalanlagen, wo Behörden sich oft selbst kontrollieren müssen. (Siehe auch Kapitel 2.2.10)

2.3.9 Kosten

Eine branchengrößen- und länderspezifische Analyse war auf der Grundlage der vorliegenden Gesamtkostendaten (Investitionskosten) und der begrenzten Anzahl an Werten nicht möglich bzw. machte keinen Sinn. Im Gegensatz zu kommunalen Abwässern zeichnen sich verschiedene industrielle Abwässer insbesondere durch eine größere Heterogenität der Abwässer und der Verunreinigungsgrade aus. Rahmenbedingungen in den jeweiligen Branchen, den Ländern, den Industrien unterscheiden sich so grundlegend bezüglich des Technisierungsgrades, der Problemstellung und der Zielsetzung, daß allgemeine Aussagen noch vorsichtiger interpretiert werden müssen. Oft werden branchenspezifisch unterschiedliche Anforderungen an Behandlungsanlagen gestellt, um ein bestimmtes Reinigungsziel zu erreichen. Hier hängt der Technisierungsgrad der Anlage und ihre Dimensionierung u.a. auch von der Zusammensetzung des Abwassers, der Qualität (organisch abbaubarer Anteil) und der Quantität der jeweiligen Schmutzfrachten der industriellen Einleiter ab. Dies hat zur Folge, daß in der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich der spezifischen Behandlungskosten und ihrer Zusammensetzung vorwiegend Streuungen dargestellt bzw. allgemeine Aussagen getroffen werden können. Getroffene Kostenannahmen entsprechen einer begrenzten Zahl von Werten der Anlagendatenbank und beruhen auf zusätzlich abgefragten Investitionswerten von unterschiedlichen Anaerobverfahren für die Abwasserreinigung verschiedener Industriebranchen in EL. Den Werten liegen jedoch jeweils unterschiedliche Annahmen und Abgrenzungen zugrunde. Auch aus der Praxis der deutschen TZ und FZ liegen kaum dokumentierte Erfahrungswerte vor.

Investitionskosten

In der vorliegenden Abbildung werden Investitionskosten anaerober Behandlungsanlagen, bezogen auf tägliche Durchsatzleistungen, dargestellt. Die so ermittelten Werte beziehen die zu Beginn des Anlagebetriebes anfallenden Investitionsausgaben auf die Tagesdurchsatzleistung der Anlage. Die Angaben dieser vereinfachten Berechnung der spezifischen Investitionskosten können nur eine ungefähre Einschätzung über die spezifischen Kosten wiedergeben, da in dieser Betrachtung von der Zeitdimension, der zugrundegelegten Realverzinsung des Kapitals und bspw. unterschiedlichen Devisenkursen abstrahiert wird.

Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, variieren die Investitionskosten der industriellen Abwasserreinigung sehr stark. Dies liegt zum einen an den verschiedenen Industriezweigen, welche völlig unterschiedliche Abwässer hervorbringen, die wiederum verschiedene Behandlungstechniken erfordern und unterschiedliche Kosten verursachen. Wichtigster Grund für die Kostendifferenzen neben der Abwasserart ist die unterschiedliche Anlagenauslegung und ihr Technisierungsgrad. Eine Anaerobanlage kann aus einem einfachen schwerkraftbeschickten UASB-Reaktor bestehen (wie in Kolumbien zur Kaffeeabwasserreinigung eingesetzt), oder aus einem mit Pumpen bestückten, automatisierten Verfahren mit Vor- und Nachbehandlung, wie bei größeren Brauereien inzwischen üblich. Abbildung 10 macht das Spektrum der Möglichkeiten gerade bei kleineren Anlagen deutlich.

Das Spektrum der spezifischen Investitionskosten reicht von unter 10.000 bis 300.000 US\$/t CSB/Tag Anlagenkapazität.

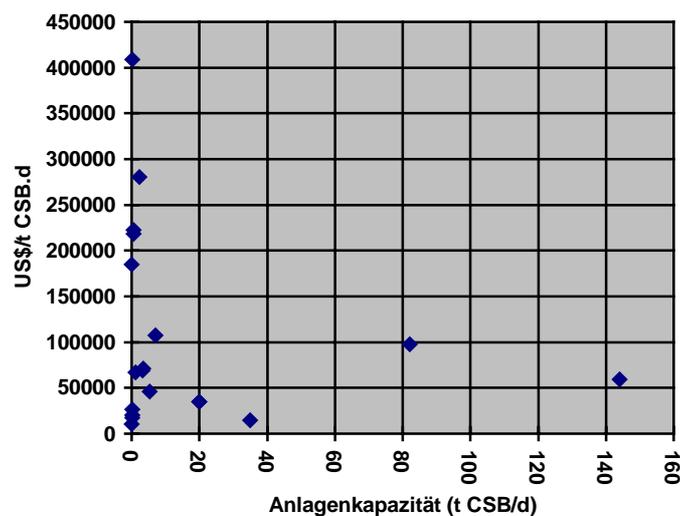


Abbildung 10: Streuung spezifischer Investitionskosten (US\$/t CSB und Tag) der industriellen Abwasserreinigung in EL; Quelle: Anlagendatenbank; ohne Landerwerbskosten, verschiedene Industriezweige, verschiedene Anaerobverfahren

Betriebs- und Wartungskosten

In Abbildung 11 ist die Verteilung der Betriebskosten der anaeroben Reinigungsprozesse in US \$ für Anlagen mit einer bestimmten Tagesdurchsatzleistung in t/CSB•Tag dargestellt. Ebenso wie für die spezifischen Investitionskosten gilt der mangels der Berücksichtigung dynamischer Komponenten (Nutzungsdauer und Kalkulationszinsfuß) eingeschränkte Aussagegehalt der festgestellten Kosten.

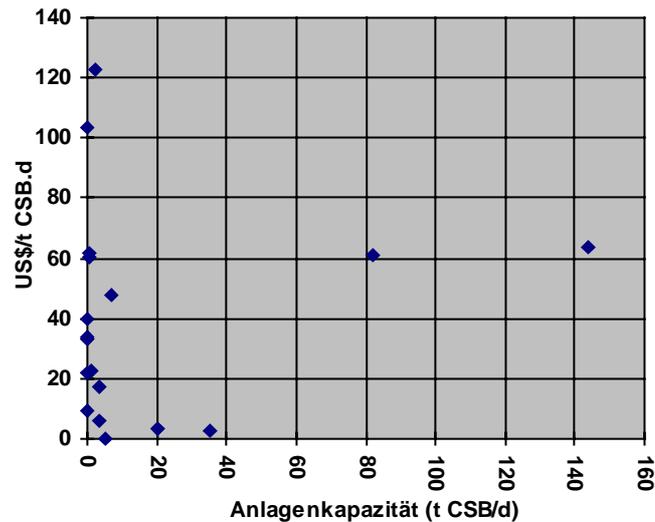


Abbildung 11: Streuung spezifische *Betriebskosten* (US\$/t CSB und Tag) der industriellen Abwasserreinigung in EL; Quelle: Anlagendatenbank; verschiedene Industriezweige, verschiedene Anaerobverfahren

Auch für die spezifischen Betriebskosten gelten die zu den Investitionskosten getroffenen Aussagen über die enorme Bandbreite an Realisierungsmöglichkeiten. Die Daten sind noch divergierender und erlauben keine Trendbestimmung. Von Bedeutung ist hierbei auch das Kostenniveau des entsprechenden Landes. Der niedrigste Wert (0,5 US\$/t CSB) stammt von einer kleinen Nahrungsmittelindustrie in China, der höchste (122 US\$/t CSB) von einer in Brasilien. Dies obwohl bei der chinesischen Anlage das Gas genutzt wird, während bei der brasilianischen es ohne Abfackelung in die Atmosphäre entlassen wird.

Kostenvorteile anaerober Verfahren werden am deutlichsten bei hochbelasteten homogenen Abwässern aus größeren Nahrungsmittelindustrien wie Brauereien, Destillieren und bspw. der Fruchtsaftherstellung erkennbar. Dabei spielt auch das in diesen Industrien vorhandene Know-how eine wesentliche Rolle, um ein adäquates Anlagenmanagement zu gewährleisten. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Alkoholherstellung, wo ohnehin Vergärungsprozesse, wie auch Formen des Energiemanagements bereits Teil des betrieblichen Routinebetriebsablaufs sind. Die vorliegenden Betriebskostendaten lassen jedoch keinen grundsätzlichen Rückschluss über die Entwicklung der Betriebskosten bei unterschiedlicher Anlagengröße zu. Es empfehlen sich weiterführende detaillierte länder-, branchen- und größenbezogene Analyse der einzelnen Einflußparameter.

2.4 Organische Abfälle

2.4.1 Besonderheiten der Anaerobtechnologie

Unter dem Gesichtspunkt der Energieerzeugung sind anaerobe Verfahren eine Alternative zu Verbrennungsverfahren und geordneten Deponien mit Gasnutzung. Am nächsten verwandt mit der Kompostierung, ist die Vergärung von aufbereiteten Haushalts- und Industrieabfällen ein relativ junges Verfahren. Sie wird als Kombinationsverfahren zumeist durch eine aerobe Komposterzeugung ergänzt.

Im Gegensatz zur Kompostierung eignet sich die Anaerobtechnologie auch zur Behandlung von Substraten, die einen hohen Feuchtegehalt aufweisen und deshalb zur Kompostierung schlecht geeignet sind. Überwiegend trockene, strukturreiche (holzige) Substrate, die gut kompostiert werden können, sind für die Vergä-

rung weniger geeignet. Auf diese Weise können sich beide biologischen Behandlungsverfahren ergänzen und Kosten gesenkt werden.

Das Endsubstrat der Vergärung ist zunächst ein Schlamm, der abhängig von Schadstoffgehalten direkt bspw. in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt wird. Bei städtischen Abfällen wird er jedoch üblicherweise entwässert und nachkompostiert, so daß ein vermarktungsfähiger Kompost als Endprodukt entsteht.

Eine in jüngster Zeit besonders in Europa häufig angewendete Variante ist die Co-Fermentation von häuslichen Abfällen, kommunalen oder industriellen Schlämmen und tierischen Exkrementen. Verfahren zur anaeroben Behandlung von organischen Abfällen sind bis dato in EL praktisch nicht im Einsatz. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich daher weitestgehend auf den aktuellen Einsatz in Europa. Nahezu dasselbe gilt für Deponien mit Gasnutzung. In EL sind gleichermaßen erst einige großtechnische Kompostierungsanlagen im Einsatz.

2.4.2 Substratanforderungen

Grundsätzlich können nahezu alle organischen Abfälle die bestimmte stoffliche Eigenschaften aufweisen anaerob abgebaut werden. Als Faustregel gilt, daß Substrate mit geringer Struktur (Lignin- bzw. Holzanteil), hohem oTS und mittlerem bis hohem Wassergehalt am besten für die Vergärung geeignet sind. Mit zunehmender Struktur sinkt in der Regel der oTS- und der Wassergehalt und der Zerkleinerungsaufwand steigt. Trockene Substrate können durch Wasserzusatz für die Vergärung nutzbar gemacht werden. Das C/N-Verhältnis sollte nicht kleiner als 10, aber der Proteinanteil kleiner als 50% sein, da sonst Ammonium- und Schwefelwasserstofftoxizität auftreten können. Der Anteil an ligninhaltigen Stoffen soll nicht zu hoch, der wasserlösliche Organikanteil aber möglichst hoch sein. Monosubstrate können gelegentlich aufgrund fehlender essentieller Makro- und Mikro-Nährstoffe nicht als alleiniges Substrat dienen. Tabelle 26 gibt einen Überblick über die aktuell am häufigsten in Vergärungsanlagen behandelten Substrate.

Tabelle 26: Beispiele für in Abfallvergärungsanlagen bevorzugt behandelte Substrate; Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 3, 1998

• Speise- und Fleischreste aus der Essenszubereitung	• Speiseabfälle aus Einrichtungen zur Gemeinschaftsverpflegung
• Gemüseabfälle	• Feldfruchtabfälle
• Feste organische Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung	• Abfälle der Fischverarbeitung
• Molkereiprodukte	• Schlachthofabfälle
• biogene Haushaltsabfälle (Biotonne)	• Rasenschnitt, z.B. Gras von Stillungsflächen,
• gemischte Grünpflanzenreste, z.B. aus Grünanlagen und Friedhöfen, Straßenbegleitgrün	• organische Abfälle aus der Landwirtschaft wie Pflanzenreste, Stroheinstreu, verdorbene Silagen
• Gülle und Festmist	• Schlempe und Treber
• Tee- und Kaffeeabfälle	• Reststoffe aus der Stärkeverarbeitung
• organisch verunreinigtes Papier und Pappe	• Reststoffe aus der chemischen Industrie

Abbildung 12 stellt die Eignung verschiedener organischer Abfälle für die Vergärung oder Kompostierung dar: die Eignung der Substrate für die Vergärung nimmt mit sinkendem Feuchte- und steigendem Ligningehalt ab.

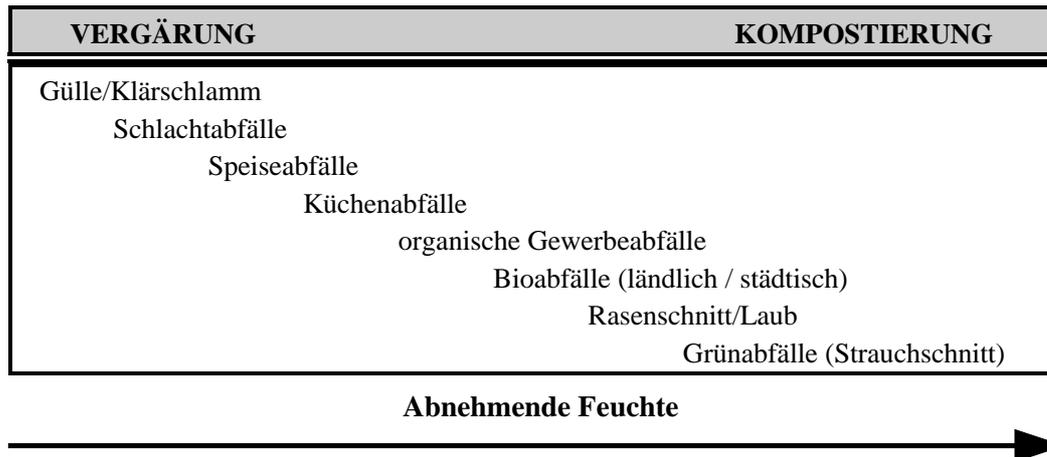


Abbildung 12: Eignung organischer Abfälle für die Vergärung oder die Kompostierung

Nichtorganistische Stoffe, z.B. Metall, Glas, Steine, Keramik, sowie organische Materialien wie Kunststoffe sind nicht für die Vergärung geeignet. Sie gelten als Störstoffe und müssen vor der anaeroben Behandlung abgetrennt werden. Außerdem können die Vergärung hemmende Stoffe in dem Substrat selbst enthalten sein.

Aufgrund des im Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Aggregat erzeugten Wärmeüberschusses ist die Ausgangstemperatur von Substrat und Umgebung kein Kriterium für den Technologieeinsatz. Zu behandelnde Substrate werden mit Hilfe des erzeugten Biogas auf optimale Temperaturen erhitzt.

Ein wichtiger Parameter kann der pH-Wert sein, da die Biologie für einen effizienten Abbauprozess nur einen engen Spielraum von ca. 1 pH-Einheit um den Neutralpunkt zulässt. In der Praxis kann vor allem eine Übersäuerung durch Überfütterung Probleme bereiten.

2.4.3 Energieaspekte

Aufgrund der hohen Organikkonzentration entsteht ein deutlicher Energieüberschuß. Die notwendige Prozeßenergie kann anders als bei Kompostierungsverfahren sowohl für den Wärme- als auch für den Strombedarf vollständig durch die Gaserzeugung gedeckt werden.

Energiebedarf

Anaerobe Abfallbehandlungsanlagen werden entweder im mesophilen Temperaturbereich von ca. 35°C oder aus Hygienisierungsgründen auch thermophil bei Temperaturen um 55°C betrieben⁶⁹. Der Wärmebedarf für die Aufheizung ist u.a. abhängig von der Ausgangstemperatur des Substrats und der Wärmedämmung der Fermenter.

Anlagen zur anaeroben Abfallbehandlung benötigen Strom zum Mischen, Zerkleinern, Rühren und Pumpen des Substrats (ggf. auch zur anschließenden Entwässerung). Der Strombedarf ist von den verwendeten Aggregaten, dem Technisierungs- und Automatisierungsgrad und vom Substrat abhängig. Je verunreinigter das Substrat, desto größer der technische Aufwand zur Abtrennung der Störstoffe. Je nach Verfahrensart ist dies mit einem mehr oder weniger hohen Energiebedarf verbunden.

⁶⁹ Bezüglich Behandlungsverfahren und ihrer Prozeßsteuerung siehe Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 3, 1998

Energieerzeugung

In Tabelle 27 sind die üblichsten organischen Abfälle und deren Gaserträge und Energie aufgeführt. Die Richtwerte gelten unter den Voraussetzungen einer kontinuierlichen Vergärung bei einer Temperatur von 34° bis 37°C (mesophil) und einer wirtschaftlichen Gärdauer von jeweils ca. 3 Wochen.

Tabelle 27: Richtwerte der täglichen Gasausbeute verschiedener Gärmaterialien (CH₄-Gehalt=65%); Quelle: Berechnet nach „Kofermentation“, E. Kuhn, KTBL, 1996. Siehe auch Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 3, 1998.

Substrat	Gasertrag (m ³) bei 21 Tage Gärzeit (35 ⁰ C)		Bruttoenergie kWh/t frisch
	m ³ CH ₄ /kg oTS	pro t frisch	
Org. Haushaltsabfall	0,2-0,6	30-189	300-1890
Gras (Mähgut)	0,5	172	1720
Gemüseabfälle	0,4	30-61	300-610
Separator-Fett	0,6-0,7	138-161	1380-1610
Fettabscheiderrückstände	0,7	235-470	2350-4700
Panseninhalt	0,2-0,4	18-67	180-670
Kartoffelkraut	0,5-0,6	99-119	990-1190
Kartoffelschlempe	0,25	27-34	270-340
Rindermist (frisch)	0,2-0,3	29-64	290-640
Schweinegülle	0,2-0,3	8-18	80-180
Legehennenmist	0,2-0,4	23-46	230-460

Energiebilanz

Da Energieverbrauch und Energieerzeugung der auf dem Markt vertretenen anaeroben Abfallbehandlungsanlagen stark variieren, können in Bezug auf die Energiebilanz nur grobe Richtwerte angegeben werden. Mit anaeroben Abfallbehandlungsanlagen kann ein Energieüberschuß von 300 bis 900 kWh pro Tonne behandeltem Abfall erreicht werden, während der Energiebedarf von Kompostierungsanlagen je nach Mechanisierungsaufwand zwischen 10 und 100 kWh pro Tonne liegt.

Beispielhaft werden in der folgenden Tabelle 28 mögliche Energiebilanzen für drei Verfahrensarten dargestellt.

Tabelle 28: Energiebilanz verschiedener Abfallbehandlungsverfahren für organischen Abfall; Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 3, 1998

Parameter	Vergärung + Nachrotte	Kompostanlage	Deponie mit Gasnutzung
Biogas m ³ /t oTS erfaßt	340	-	200
Stromerzeugung kWh _e /t oTS*	+545	-	+250
Stromverbrauch kWh _e /t oTS	-170	-90	-100
Strombilanz kWh_e/t oTS	+375	-90	+150
Kraftstoffverbrauch kWh/t oTS**	-240	-140	-35
Wärmeerzeugung kWh/t oTS	+1215	-	+550
Wärmeverbrauch kWh/t oTS	-265	-	0
Wärmeüberschuß kWh/t oTS	+950	-	+550
Primärenergiebilanz * ohne Wärmenutzung kWh/t oTS	+850	-440	+410
Primärenergiebilanz * mit Wärmenutzung kWh/t oTS	+2.210	-	+1200

* angenommene Primärenergienutzungsgrade: Stromerzeugung: 33%, Kraftstoffbereitstellung: 85%, Wärmebereitstellung: 70%; ** Hergeleitet aus 1 m³ Biogas mit 65 % CH₄ entspricht bei Stromnutzung 1,6 kWh; ***1ℓ Diesel entspricht 10 kWh

2.4.4 Klimarelevanz

Der Einsatz der Anaerobtechnologie im Abfallsektor stellt durch die Erzeugung und Nutzung einer erneuerbaren Energiequelle einen aktiven Klimaschutzbeitrag dar. Die Klimawirkung pro behandeltem Volumen ist bei der Abfallbehandlung aufgrund der höheren Energieausbeute deutlich größer als bei der Abwasserreinigung.

Tabelle 29: Mögliche Vergleichswerte der Klimawirkung verschiedener Abfallbehandlungsverfahren (t CO₂-Äquivalent/Jahr)⁷⁰

Parameter	Vergärung + Nachrotte	Kompostanlage	Deponie (inkl. Gasnutzung)
t CO ₂ pro t organischer Trockensubstanz (oTS)	- 0,4* - 0,16**	+ 0,09	+ 1,4***

* Mit Wärmenutzung; ** Ohne Wärmenutzung; *** Hoher Wert kommt aufgrund der trotz Deponieentgasung auftretenden Methanverluste zustande

Gemäß dieser Tabelle kann der Einsatz der Anaerobtechnologie in der Abfallwirtschaft den CO₂-Ausstoß um bis zu 0,4 Tonnen pro Tonne behandelter oTS reduzieren, während der Betrieb von Kompostierungsanlagen sowie von Deponien ohne Gasnutzung zusätzliche CO₂-Emissionen verursacht. Obwohl bei Deponien mit Gasnutzung 25-50% des entstehenden Methans erfaßt und energetisch verwertet werden können, gelangt ein Teil des restlichen Methans in die Atmosphäre und verschlechtert so die Klimabilanz der Deponie. (Berechnungsgrundlagen siehe Kapitel 2.2.3)

Reine Vergärungsanlagen oder kombinierte Vergärungs-/Kompostierungsanlagen sind deshalb aus Klimagesichtspunkten sowohl den reinen Kompostierungsanlagen als auch Deponien mit Deponiegasnutzung vorzuziehen. Bei bestehenden Kompostanlagen kann die Nachrüstung mit einer anaeroben Stufe sinnvoll sein.

2.4.5 Nährstoffeliminierung

Im Gegensatz zur Abwasserreinigung (Ausnahme: Verwendung zur Bewässerung) sollen bei der Behandlung von Abfällen Nährstoffe erhalten bleiben, um den Düngewert des Endsubstrates zu steigern. Nährstoffeliminierung spielt nur in sofern eine Rolle für die Verfahrensauswahl, als die in unterschiedlichen Mengen anfallenden Preßwässer ggf. abwassertechnisch entsorgt werden müssen.

2.4.6 Einsatz und Vermarktung organischer Reststoffe

Bei einer getrennten Erfassung und Verwertung der organischen Abfälle wird mit folgenden Produktmengen gerechnet:

Tabelle 30: Vergleich der erzeugten Kompostmengen von kombinierten anaerob/aeroben Verfahren und reiner Kompostierung (in % von Frischabfall, 35% TS, Kompost mit 70% TS)

Ausgangssubstrat [t]	Störstoffe [%]	Output	
		Kombiniert anaerob/aerob [t]	nur Kompostierung [t]
100	5	30	40

⁷⁰ Wie bei anderen Werten zur Klimawirkung auch, handelt es sich um errechnete Näherungswerte, die einer empirischen Überprüfung bedürfen.

Wenn der Kompostmarkt gesättigt ist, ist die geringere Komposterzeugung von kombinierten anaerob/aeroben Verfahren von Vorteil. In vielen EL wird hingegen von einem steigenden Bedarf an landbaulich verwertbaren Komposten ausgegangen, allerdings müssen zur Erschließung dieses Marktes i.d.R. Marketingmaßnahmen ergriffen und Vermarktungskanäle gefördert werden. Für die Akzeptanz des Endproduktes sind u.a. die Kompostqualität, die Verfügbarkeit einer geeigneten Ausbringungstechnik sowie eine standortgerechte Logistik zur Verteilung des Düngematerials entscheidend.

2.4.7 Überschußwasser

Bei der Vergärung von organischen Abfällen entsteht je nach Feuchtegehalt ein hoch mit Nährstoffen befrachtetes Abwasser, das nachbehandelt werden muß, wenn es nicht auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden kann. Als Faustzahl für die Mengenermittlung dieses Überschußwassers können 250 ℓ/t Frischabfall zugrundegelegt werden. Dies entspricht der 5-fachen Menge Wasser, die bei reinen Kompostsystemen entsteht. Überschußwasser bildet sich ab einem Feuchtegehalt des Ausgangssubstrates von ca. 40%. Je nach Klimabedingungen kann ein Teil dieses Wassers wieder zur Befeuchtung der zur Nachrotte dienenden Kompostmieten verwendet werden. Bei der Kompostierung verdunstet der größte Teil des Überschußwassers wegen der intensiven Selbsterhitzung der Kompostmieten. Vergärungsanlagen für kommunale organische Abfälle müssen mit einer eigenen Kläranlage ausgestattet oder an ein externes Klärwerk, z.B. von einer Deponie, angeschlossen werden.

2.4.8 Flächenbedarf und Standortfragen

Der spezifische Flächenbedarf anaerober Abfallbehandlungsanlagen richtet sich nach der Anlagengröße, dem zu behandelnden Substrat, nach dem Verfahrenstyp und danach, ob eine Nachrotte erforderlich ist.

Tabelle 31: Platzbedarf für aerobe, anaerobe und kombiniert anaerob/aerobe Abfallbehandlungsanlagen

Quelle: Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 3, 1998

Anlagendurchsatz t/a (Jahrestonnen)	Einstufige Anaerobverfahren	Zweistufige Anaerobverfahren	Einstufige Anaerobverfahren inkl. Nachrotte $m^2/Jahrestonne$	Zweistufige Anaerobverfahren inkl. Nachrotte	Kompostierung
5.000-6.000	0,36-0,50	0,58-1,18	0,73-0,88	0,96-1,56	0,60-1,90
10.000-20.000	0,18-0,31	0,47-0,63	0,42-0,55	0,71-0,87	0,4-1,2 (0,7)
20.000-25.000	0,13-0,20	0,28-0,40	0,33-0,41	0,49-0,61	0,4-1,0 (0,6)

Anaerobe bzw. kombinierte Verfahren weisen keine eindeutigen Vorteile hinsichtlich des Platzbedarfs gegenüber reinen Kompostierungsverfahren auf, auch wenn der Platzbedarf bei letzteren variabel ist und durchschnittlich gegenüber kombinierten anaerob/aeroben Verfahren bis zu 50% höher sein kann.

Um Geruchsemissionen zu beschränken, wird vor allem in IL durch Einhausung der Anlagen sowie Fassung und Behandlung der geruchsbelasteten Abluftströme bei der Abfallkompostierung erheblicher energetischer und baulicher Aufwand betrieben. Mit der anaeroben Vergärung der organischen Abfälle in geschlossenen Behältern kann eine Verringerung von Geruchsemissionen erreicht werden. Eine anschließende Rotte des ausgefaulten Materials kann danach auch in freiliegenden Mieten erfolgen. Dadurch könne kombiniert anaerob/aerobe Abfallbehandlungsanlagen näher an Siedlungen plaziert werden.

2.4.9 Ökonomische Einsatzgrenzen

Problematisch bei der Diskussion über einen wirtschaftlichen Einsatz biologischer und insbesondere anaerober Behandlungsverfahren in EL ist die Tatsache, daß bis heute in EL kaum großtechnische Anlagen errichtet wurden. Auch über die Technik von Kompostierungsanlagen, die bereits seit längerem mit begrenztem Erfolg in einzelne EL übertragen wurde (bspw. Nigeria, Ghana, Marokko), liegen kaum übertragbare Kostendaten vor. Eine Diskussion über Kosten und Nutzen der Abfallvergärung in EL beinhaltet daher einen großen Teil Spekulation. Gesichert ist, daß ein direkter Transfer der "ersten Generation" der in Europa entwickelten Abfallvergärungsanlagen mit Hilfe gegenwärtig gezahlter Entsorgungsentgelte kaum privatwirtschaftlich zu finanzieren ist. Neben diesem Kostenargument sind für eine Realisierung von anaeroben Abfallbehandlungsanlagen in EL aber auch eine Vielzahl anderer Elemente zu prüfen wie bspw. notwendige und vorhandene Organisations- und Ausbildungsstrukturen. Tatsächlich verlangt ein Transfer dieser Technologie eine Reihe von technologischen und organisatorischen Anpassungen mit einer Vielzahl kostenbezogener Implikationen. Auch ein direkter Transfer der kostengünstigeren "zweiten Generation" der Ende der 90iger Jahre gebauten Anlagen dürfte daher ohne weitergehende Anpassungen kaum reibungslos verlaufen. Beachtlich ist dennoch das Interesse, das verschiedene EL dieser Technologieentwicklung entgegenbringen. Kostensenkungen können vor allem aus einer Mischung mit der landwirtschaftlichen Gär- und Aufbereitungstechnologie erwartet werden.

Die Wirtschaftlichkeit ist stark von dem Entsorgungsentgelt, in geringerem Maße aber auch von den Energie- und Kompostpreisen abhängig. Eine in Kolumbien durchgeführte Weltbankstudie (SALAS ET AL., 1996), die Kompostierung und Vergärung (Dranco-Verfahren) von organischen Hausabfällen vergleicht, kam zu dem Ergebnis, daß beide Verfahren ab einer Anlagengröße von 30t/d (ca. 60.000 E) und einem Verkaufspreis für den Kompost von 21 US\$/t rentabel werden, wenn der Einkaufspreis des organischen Abfalls nicht höher als 1,8 US\$/t liegt. Diese Rechnung ist mit der europäischen Situation nicht vergleichbar, wo der Anlagenbetreiber Entsorgungseinnahmen erzielt und den Abfall nicht kaufen würde. In den untersuchten EL sind Entsorgungsgebühren, sowohl für Abfall als auch Abwasser noch die Ausnahme. Weiterhin ergab die Untersuchung, daß sich die Vergärung bei einer Anlagengröße von 50t/d (ca. 100.000 E) ab einem Gasverkaufspreis von 0,027 US\$/m³ (0,0135 US\$/kWh_{el}) rentabler gestaltet als die Kompostierung. Der Verkaufspreis liegt in diesem Fall bei ca. 10% des in Deutschland typischerweise zu erzielenden Betrags.

Im Statusbericht Band I werden daher für europäische Anlagen Investitions- und Betriebskosten präsentiert und modellhaft die Auswirkungen von Änderungen verschiedener Parameter untersucht. Da die Technologie der anaeroben Abfallvergärung auch in Europa noch sehr jung ist und verschiedenste Facetten aufweist, kann gegenwärtig selbst über diese Kostenstrukturen nur bedingt ein widerspruchsfreies Bild hergestellt werden. Durchschnittliche Anlagen- und Entsorgungspreise ändern sich (zumeist nach unten) im Halbjahresrhythmus um 2-stellige Prozentbeträge. Die Behandlungskosten verschiedener Anlagen sind kaum vergleichbar, u.a. wegen unterschiedlicher technischer Niveaus, unterschiedlichen behördlichen Auflagen und Kostenabgrenzungen; auch wegen Preisverzerrungen durch die Vielzahl der von öffentlichen Trägern (v.a. Kommunen) errichteten und betriebenen Anlagen und wegen der Bereitschaft von Herstellerfirmen aus Marktzugangsgründen Demonstrationsanlagen unter Preis zu errichten. Dazu kommen ungezählte offene und versteckte Subventionen und Preisauflagen.

Auch die tatsächlich auf dem europäischen Markt verlangten Entsorgungsentgelte sind nur eingeschränkt als Grundlage für realistische Behandlungskostenabschätzungen zu werten. Entsorgungsentgelte schwanken bspw. zwischen DM 30 und DM 250⁷¹ an benachbarten Standorten, je nach Material und Vertragssituation, wobei der untere Wert durchaus in einer Vielzahl von EL attraktiv wäre. Die günstigeren Preise können dabei vor allem private Entsorger mit Landbindung und bereits bestehende Kompostwerke anbieten. Mehr als bei der Abwasserreinigung wird auch der Betrieb von Abfallbehandlungsanlagen zunehmend als Betreiber-

⁷¹ Herr H. W. Leonhardt, Arbeitskreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS) e.V.

modell konzipiert. Sobald Anlagen errichtet sind, spielen Auslastungsüberlegungen, die häufig eher die Betriebskosten ohne Kapitalverzinsung und Abschreibung widerspiegeln bei der Kostenkalkulation eine dominierende Rolle.

Obwohl dem Projektteam einzelne Informationen von der Mehrzahl der Anlagenhersteller und von mehreren Betreibern vorliegen und auch eine gute Marktübersicht vorhanden ist, läßt sich für Deutschland oder ein anderes europäisches Land kaum ein einheitliches Bild zeichnen. Die Investitionskosten bei Anlagen der "zweiten Anlagengeneration" schwanken zwischen weniger als DM 250/t•a und weit über DM 1500/t•a⁷². Eine Degression der Behandlungskosten mit zunehmender Durchsatzleistung ist bei einzelnen Herstellern und Anlagen erkennbar, läßt sich aufgrund von Technologiesprüngen und unterschiedlichen Einzelbedingungen jedoch nicht für den gesamten Markt behaupten.

Unter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen werden in Europa heute private Neuinvestitionen auf der Grundlage von gesicherten Entsorgungseinnahmen in der Größenordnung von <DM 120 getätigt. Entsorgungseinnahmen sind unter den gegenwärtigen Bedingungen mit Abstand die wichtigste "Einnahmenposition", gefolgt von den Stromeinnahmen und nur gelegentlich zu realisierenden Komposterlösen.

Die Größenordnung dieser Praxiswerte macht deutlich, daß verschiedentlich von einzelnen EL-Regierungen vorgeschlagene Betreibermodelle, die Investitionen ausschließlich auf der Grundlage von Komposterlösen und Energieerträgen amortisieren wollen, mit existierenden Anlagentechnologien und Preisrelationen kaum realisierbar sein dürften. Eine Ausnahme würde eine Situation mit exorbitanten Bodenpreisen für Deponiestandorte darstellen. Die angesprochenen Werte liegen jedoch deutlich oberhalb der Kosten, die für die Entsorgung der Abfälle in der Mehrzahl der zur Zeit betriebenen Deponien entrichtet werden. Sie liegen allerdings deutlich unterhalb der Kosten für Verbrennungsanlagen, die dennoch in EL zunehmend nachgefragt werden, wenn auch als umweltbelastende Modifikationen ohne hinreichenden Emissionsschutz. Wenn keine Kosten für die Folgeschäden der ungeordneten Deponien zum Tragen kommen, bzw. keine geordneten Deponien errichtet werden müssen, ist die Technologie in dieser Form nur an ausgewählten Standorten konkurrenzfähig, solange nicht mögliche gesellschaftliche Nutzen bspw. für Eigenenergieerzeugung und klimatische Effekte, für Bodenverbesserung, Geruchsminderung oder Gewässerschutz angerechnet werden können. Es ist jedoch anzunehmen, daß in EL erheblich weitergehende Reduktionspotentiale für Investitions- und Betriebskosten nach einer entsprechenden Einführungs- und Anpassungsphase möglich sind.

Modellrechnung

In folgenden werden die spezifischen Behandlungskosten von 15 anonymisierten Anlagenvarianten mehrerer führender Anbieter der kombinierten Vergärung und Kompostierung von - zumeist getrennt gesammelten - biologischen Haushaltsabfällen ermittelt.⁷³ Die Basisdaten gehen auf Angebote von Herstellern auf dem deutschen Markt zurück. Ferner flossen Erfahrungswerte des Auftragnehmers ein und wurden mit Angaben des Fachausschusses des Arbeitskreises zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS) e.V. und Angaben aus der Fachpresse verglichen.⁷⁴ Die überwiegende Zahl der Anlagen liegt im Bereich von Jahresdurchsätzen zwischen 15.000 t/a und 30.000 t/a.

⁷² ANS e.V., Fachausschuß Abfallvergärung.

⁷³ Eine ausführliche Darstellung der Rechnung und zugrundeliegender Annahmen findet sich im Statusbericht des Sektorvorhabens, Bd. 3.

⁷⁴ Diekmann, R.; Krull, R.: Behandlung von Bioabfall in Vergärungsanlagen - eine Marktübersicht. In: EntsorgungsPraxis 5 (1995), S.22-25.

Gessler, G.; Keller, K.: Vergleich verschiedener Verfahren zur Vergärung von Bioabfall. In: AbfallwirtschaftsJournal 7 (1995), Nr.6. S.377-382.

Grohgan, D; Krieg, A.: Gekoppeltes Produkt. In: ENTSORGA-Magazin 4 (1997), S.60-64.

Pahl, U.; Rummer, V.: Biologische Abfallbehandlung - Rahmenbedingungen und Marktübersicht -. In: AbfallwirtschaftsJournal 7 (1995), Nr.9. S.536-544.

Die Behandlungskosten setzen sich aus den spezifischen Kapitalkosten (kalkulatorische Abschreibungen sowie Zinsen) und den laufenden spezifischen Betriebskosten (Löhne, Wartung, Betriebsstoffe, Sonstiges) zusammen. In den Kapitalkosten sind die Kosten für den Anlagenentwurf, die Planung und die Kosten für den eigentlichen Anlagenbau enthalten. Landerwerbskosten wurden nicht in die Kostenrechnung aufgenommen. Die Berechnung der spezifischen Behandlungskosten erfolgt der Einfachheit halber ohne Berücksichtigung von zukünftigen Preissteigerungen.

Bei der Berechnung wurde ein Kalkulationszinsfuß von 5% p.a. zugrunde gelegt. Dieser Wert wurde gewählt, weil die Anlagen alle aus dem mitteleuropäischen Kontext stammen, wo diese Verzinsung aufgrund der Kapitalmarktbedingungen im kommunalen Bereich eine durchschnittliche Rechengrundlage darstellt. Für Entwicklungsländer müßten höhere Zinskosten angesetzt werden. Die technische Nutzungsdauer der Anlagen wurde pauschal mit 15 Jahren veranschlagt, was eine brauchbare Mittelung aus den verschiedenen baulichen und technischen Anlagenteilen darstellt. Da eine Bezifferung der Erlöse bzw. Kosten für Kompost und Abwasser schwierig ist, wurde für beide Stoffe ein Preis von Null angesetzt, d.h. es werden hierfür weder Erlöse noch Kosten verursacht.

Das resultierende Spektrum möglicher spezifischer Behandlungskosten gibt die folgende Abbildung wider. Zu beachten ist, daß es sich dabei um Kostenangaben aus dem Zeitraum 1992 bis 1995 handelt. In der Zwischenzeit haben sich die Behandlungskosten auf dem Markt erheblich nach unten entwickelt. Etwaige Kostenabschläge, die die heutige Situation abbilden, wurden jedoch nicht berücksichtigt.

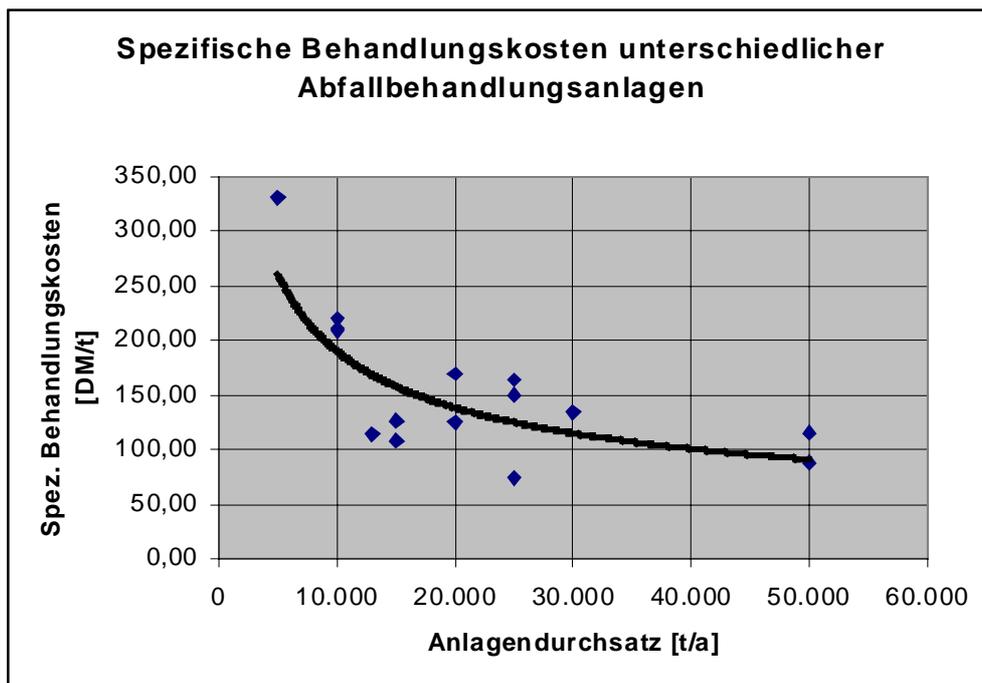


Abbildung 13: Spezifische Behandlungskosten der Abfallvergärung (basierend auf Investitions- und Betriebskosten für Märkte in Industrieländern sowie folgenden Basiswerten: Kalkulationszinssatz 5%, Komposterlös 0 DM/t, Einspeisevergütung 0,147 DM/kWh).

Die Grafik zeigt die als Annuität berechneten spezifischen Behandlungskosten. Im Falle einer öffentlichen Entsorgung bilden diese die Grundlage für die Kalkulation der Entsorgungsgebühren, wobei jedoch die Kosten der Abfallerfassung und Sammlung sowie übergeordnete Verwaltungskosten noch nicht berücksichtigt sind. Für das Kapazitätenspektrum von 15.000 t bis 30.000 t betragen die dann zu bezahlenden Behand-

lungsentgelte zwischen 200 DM/t und 150 DM/t. Im Falle einer privatwirtschaftlichen Entsorgung würde sich der Preis noch um die Unternehmerrgewinne erhöhen.

Aus der Grafik ist ferner zu entnehmen, daß die spezifischen Behandlungskosten auch bei vergleichbarem Anlagendurchsatz stark schwanken. Die eingezeichnete Regressionskurve verdeutlicht, daß mit steigendem Anlagendurchsatz im Mittel mit sinkenden Behandlungskosten zu rechnen ist.

Wie bereits erwähnt, haben sich die Anlagenkosten zum Ende der neunziger Jahre stark nach unten bewegt, so daß inzwischen mit deutlich geringeren Behandlungskosten gerechnet werden kann. Teilweise wird von einer Reduktion der Kosten um bis zu einem Drittel berichtet.

In einem zweiten Schritt der Untersuchung wurde eine anaerobe Abfallbehandlungsanlage (26.000 t/a) eines deutschen Herstellers, für die genauere technische und ökonomische Zahlen vorliegen, eingehender berechnet und diskutiert⁷⁵. Die zugrundegelegten Angaben entsprechen dem heutigen Informationsstand und gelten für den deutschen Markt, wie er sich Ende der 90iger Jahre präsentiert. Wie in der obigen Berechnung werden für die Endprodukte Kompost und Abwasser keine Kosten oder Erlöse angesetzt. Die Entsorgung der Störstoffe (5% der Abfallmenge bzw. 1.300 t/a) wird mit 250,- DM/t, der Einspeiseerlös mit 14,7 Pf/kWh angesetzt. Für alle Kosten und Erlöse wird eine Preissteigerungsrate von 2% p.a. gewählt. Unter diesen Bedingungen ergeben sich Abfallbehandlungskosten von 107 DM/Tonne. Dieser Wert liegt deutlich unter den Angaben aus Abbildung 13, allerdings spiegelt er die derzeitige Marktsituation wider.

Da eine unmittelbare Übertragbarkeit der ökonomischen Daten dieser Anlage auf EL nicht ohne weiteres möglich ist, Kostenverschiebungen bei einem Technologieexport aber unvermeidlich sind, sollen im folgenden die Auswirkungen von Änderungen einzelner Kostenparameter unter ceteris paribus-Bedingungen dargestellt werden.

Zunächst wurden die Auswirkungen sich verändernder Investitions- und Betriebskosten auf die Behandlungskosten untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 14 graphisch dargestellt. Vergleicht man die Kostangaben aus der obigen Abbildung 13 (Werte gemäß der Regressionskurve), dann werden bei der Sensitivitätsanalyse etwa dann gleich hohe Behandlungskosten erreicht, wenn die Gesamtkosten um 30 bis 40% erhöht werden. Auf der anderen Seite kann damit gerechnet werden, daß in EL beim Bau und Betrieb deutlich geringere Kosten möglich sind. Eine Reduktion der Gesamtkosten um ein Drittel führt in diesem Falle zu Behandlungskosten von ca. 70 DM/t.

⁷⁵ Statusbericht des Sektorvorhabens Bd. 1

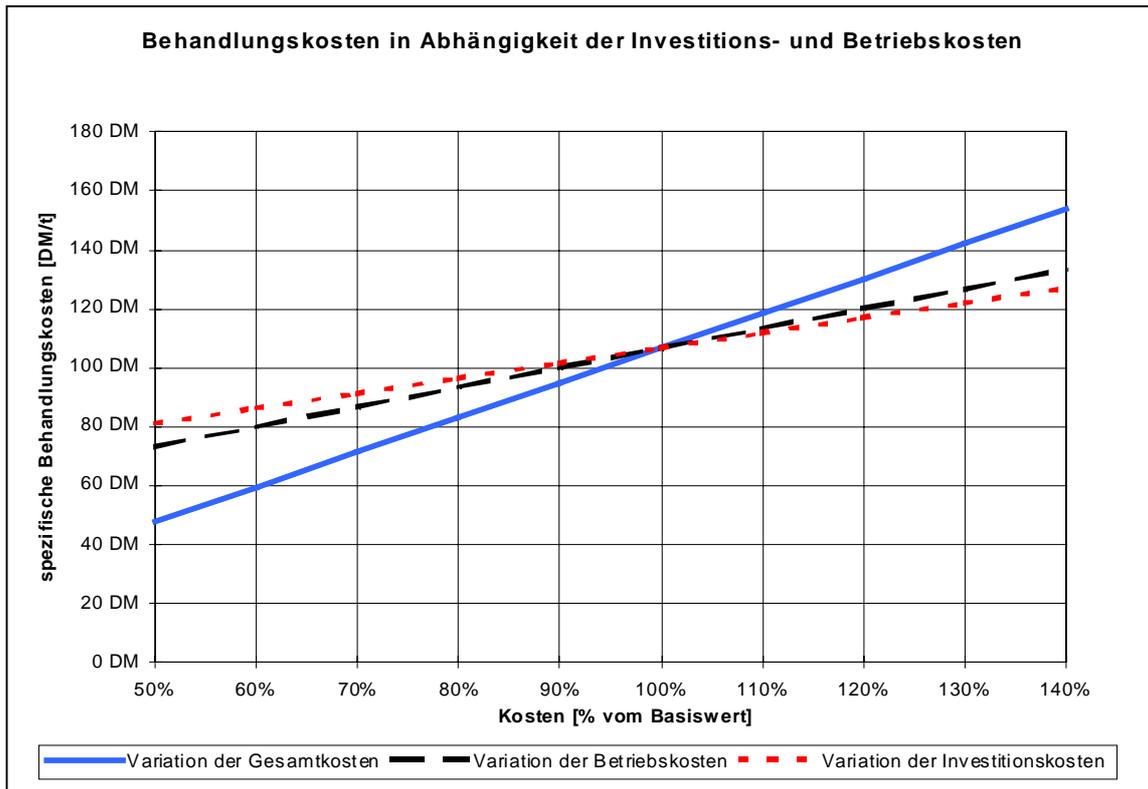


Abbildung 14: Spezifische Behandlungskosten der Abfallvergärung (Basisszenario I)

Ähnliche Auswirkungen wie eine Veränderung der Kosten hat eine Änderung des Kalkulationszinsfußes. Besonders in EL können hohe Zinserwartungen zu einer drastischen Erhöhung der Behandlungskosten führen. So erhöhen sich die Behandlungskosten beispielsweise bei einem Zinsfuß von 10 % auf 124 DM/t gegenüber dem Basiswert von 107 DM/t (bei 5%), bei einem Zinsfuß von 20 % ergibt sich sogar ein Wert von 165 DM/t.

Die Auswirkungen von sich verändernden Komposterlösen bzw. Kompostentsorgungskosten sind weniger drastisch. Die Behandlungskosten verändern sich pro DM Kompostpreis um lediglich 20 Pf. Bei einigen in Deutschland im Betrieb befindlichen Anlagen werden derzeit Komposterlöse von 30 bis 50 DM/t erzielt. In diesem Fall würden sich die Behandlungskosten auf 100 DM/t bzw. 96 DM/t reduzieren. Ähnliche Auswirkungen auf die Behandlungskosten, jedoch mit gegensätzlichem Vorzeichen, hätte eine Situation, in der der Kompost gegen Kosten bzw. Gebühren entsorgt werden muß.

Die Sensitivität für die Variation des Stromeinspreises wurde unter der Annahme berechnet, daß sämtlicher Überschußstrom eingespeist wird, auch wenn damit ein unwirtschaftlicher Betrieb des KWK-Aggregats verbunden wäre. In Deutschland herrschen aufgrund des Stromeinspreises relativ gute Bedingungen für eine Biogasverstromung. In EL werden jedoch häufig nur, wenn überhaupt, Einspreise von 10 Pf oder weniger bezahlt. Im vorliegenden Fall verringern sich die Behandlungskosten pro Pfennig Einspreismehrerlös um 1,69 DM/t.

Zusätzliche Einnahmen sind bei einer Nutzung überschüssiger Wärme möglich. Unter der Voraussetzung, daß die Hälfte der produzierten Wärme für externe Verbraucher zur Verfügung steht (die andere Hälfte wird als Prozeßwärme zur Substraterwärmung und Fermenterbeheizung benötigt) und hierfür die anderweitig

vermiedenen Wärmekosten vergütet werden (Preisbasis für Heizöl: 40 Pf/l, Kesselwirkungsgrad 80%), kann eine Reduzierung der Behandlungskosten um maximal 10 DM/t auf bis zu 97 DM/t⁷⁶ erreicht werden.

Ein weiterer in der Basisrechnung nicht berücksichtigter Kostenfaktor kann in der Entsorgung des Prozeßwassers bestehen. Falls für die Entsorgung von Abwasser Kosten entstehen, betragen die spezifischen Mehrkosten für die Behandlung 0,62 DM/ pro DM Abwasserentsorgungsgebühr.

Fallen zusätzliche Transportkosten an, dann betragen die Mehrkosten für die Abfallbehandlung 1,09 DM pro spezifischem Transportkostenanteil (DM/m³).

Die Ergebnisse einer beispielhaften dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine Abfallvergärungsanlage sowie eine Übersicht über die wesentlichen Verfahrensschritte und Komponenten werden im Folgenden gegeben. Detailliertere Kostenaufstellungen hierzu finden sich im Statusbericht Band 1.

⁷⁶ bei Nutzung von 50% der erzeugten Wärme, d.h. der kompletten Überschußwärme (Prozeßwärmeanteil 50%)

Projekt: Anaerobe Abfallbehandlungsanlage	Abfallmenge	26000 t/a
Übersicht Wirtschaftlichkeitsberechnung		
<u>Rahmendaten für Wirtschaftlichkeitsberechnung</u>		
Barwertierungszinssatz		5%
Zinsen für Kapital		5%
Fördersatz		0%
<u>Kosten und Erlöse</u>		
1. Kapitalgebundene Kosten		1.330.400 DM
jährliche Kapitalkosten		1.330.400 DM
2. Verbrauchsgebundene Kosten		129.600 DM
Brennstoffkosten		0 DM
Stromkosten		75.300 DM
sonstige Verbrauchskosten		54.300 DM
3. Betriebsgebundene Kosten		1.389.700 DM
Löhne und Gehälter		684.400 DM
Wartung und Instandhaltung		689.000 DM
Wartung Fuhrpark		0 DM
Sonstiges		16.300 DM
4. Sonstige Kosten		216.900 DM
Versicherungen		151.700 DM
Sonstiges		65.200 DM
5. Erlöse, Entsorgungskosten		-293.100 DM
Stromerlös Einspeisung		-646.100 DM
Störstoffentsorgung		353.000 DM
<u>Ergebnis:</u>		
Netto-Investition		13.964.000 DM
jährl. Gesamtkosten mit Förderzuschuß		3.066.600 DM
jährl. Kosten abzgl. Erlöse (incl. Kapitalkosten)		2.773.500 DM
spezifische Behandlungskosten pro Tonne Bioabfall		107 DM

Kurzbeschreibung einer Anaeroben BioAbfallbehandlungsanlage

Eine anaerobe Bioabfallbehandlungsanlage besteht aus folgenden Verfahrensschritten

- | | |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1. Anlieferung | 4. Fermentation und Lagerung |
| 2. Trockenaufbereitung | 5. Kompostierung |
| 3. Naßaufbereitung, Hygienisierung | 6. Energieverwertung |

1. Anlieferung Biotonnenabfälle

Das Müllfahrzeug wird vor und nach dem Abladen der Bioabfälle mit Hilfe einer Fahrzeugwaage gewogen. Aus der Differenz der ermittelten Gewichte ergibt sich die angelieferte Menge an Bioabfällen. Die Bioabfälle werden in einem abgetrennten Bereich abgekippt, von wo aus sie automatisch oder mit Hilfe eines Radladers auf den Annahmedosierer gegeben werden.

2. Trockenaufbereitung

Der Annahmedosierer fördert den Bioabfall durch Reißwalzen über Förderbänder und Magnetabscheider in ein Trommelsieb. Die Feinfraktion wird direkt in einen Anmischbehälter (3) gegeben. Virbrorinne und Trommelmagnet separieren eisenhaltige Stoffe aus der Grobfraktion. Auf Sortierbändern werden per Hand Fremdstoffe aus der Grobfraktion sortiert. Bandgeschwindigkeit und Belüftung in der Sortierkabine sind steuerbar. Die Abluft wird durch einen Biofilter gereinigt. Nach einem weiteren Magnetabscheider wird die Grobfraktion geschreddert und nochmals in das Trommelsieb gegeben oder direkt der Kompostierung (5) zugeführt.

3. Naßaufbereitung, Hygienisierung

Ein Anmisch-/Sedimentationsbehälter nimmt die vorsortierten Abfälle auf. Der Bioabfall wird mit Prozeßwasser verdünnt, die sedimentierten Stoffe werden mit Hilfe einer Schnecke ausgetragen. Das angemischte Substrat wird nochmals zerkleinert, bevor es in die Hygienisierungsbehälter gegeben wird. Die Hygienisierungsbehälter werden mit Abwärme aus den BHKWs (6) und mit Wasserdampf aus einem Dampferzeuger beheizt.

4. Fermentation und Lagerung

Der hygienisierte Bioabfall wird bei zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus vergoren, im ersten Fermenter mesophil bei 35°C, im zweiten thermophil bei 55°C. Nach einer hinreichenden Verweilzeit wird das Substrat in den Nachgärbehälter geleitet. Der Faulschlamm wird mit Hilfe eines Separators entwässert und in einem Trockenschlamm lager gegeben. Das Überschußwasser muß vor der Einleitung in eine kommunale Kläranlage vorgereinigt werden.

5. Kompostierung

Der Trockenschlamm wird zusammen mit der geschredderten Grobfraktion einer aeroben Nachrotte unterzogen.

6. Energieverwertung

Das gereinigte Gas wird im Blockheizkraftwerk zur Umwandlung in Strom und Wärme verbrannt, für die Hygienisierung benötigter Dampf wird durch einen Dampferzeuger bereitgestellt. Die thermische Energie wird für die Gär- und Hygienisierungsbehälter sowie zum Aufheizen des Substrates, die elektrische Energie für die Stromversorgung der Abfallbehandlungsanlage und die Einspeisung in das öffentliche Stromnetz verwendet.

Die Ergebnisse lassen sich *unter den gegebenen Bedingungen* wie folgt zusammenfassen:

Die Behandlungskosten von anaeroben Abfallbehandlungsanlagen schwanken je nach Hersteller, Standort und eingesetzter Technologie erheblich. Im Bereich von Jahresdurchsätzen zwischen 15.000 t/a und 30.000 t/a betragen die spezifischen Behandlungskosten der untersuchten Anlagen im Mittel zwischen 200 und 150 DM/t. Mit neueren Anlagen können Behandlungspreise um 100 DM/t realisiert werden.

Spezifische Behandlungskosten sind in EL bei gleicher Technologie vermutlich deutlich niedriger als in IL. Einsparungsmöglichkeiten gegenüber Industrieländern liegen besonders innerhalb der Baukosten und der Personalkosten.

Trotz der zu erwartenden Kosteneinsparungen bei der Abfallbehandlung durch private Betreiber, ist ein kostendeckender Betrieb nur durch Bezug eines Behandlungsentgeltes zu bewerkstelligen. Inwieweit die bestehende Lücke zwischen erforderlichem Behandlungsentgelt und den gegenwärtigen Gebühren (<5 - <50 US\$) durch Entwicklungs- und Anpassungsleistung einzelner Technologielieferanten oder durch Veränderung der abfallbezogenen Preise in EL geschlossen werden kann, dürften die nächsten Jahre zeigen. Auch die Kapazitäten der Anlagenhersteller in EL geeignete Systeme zu entwickeln darf dabei nicht unterschätzt werden.

Weitere Details entnehmen Sie bitte dem Statusbericht, Band 3.

3 Aktuelle Anwendung der Anaerobtechnologie

3.1 Ausgangsbedingungen in Entwicklungsländern

In den im Rahmen des Projektes untersuchten Ländern (16) bestehen gravierende Umwelt- und Hygieneprobleme, die auf mangelnde Abwasser- und Abfallentsorgungspraktiken zurückzuführen sind. Die Folgen sind ein zunehmender Aufwand für Trinkwasseraufbereitung, hohe Sterblichkeitsraten, schlechter gesundheitlicher Zustand der Bevölkerung, besonders in ländlichen Gebieten und Stadtrandzonen, sowie hohe Kosten des Gesundheitswesens. Zum Beispiel herrscht in Bolivien eine Kindersterblichkeitsrate von 9,3%, in Brasilien sind 65% aller Krankenhauseinlieferungen auf mangelnde hygienische Lebensbedingungen zurückzuführen.

Kommunale Abwässer stellen eine große Gefahrenquelle für Umwelt und Hygiene dar, vor allem kontaminieren sie Oberflächengewässer, die oft gleichzeitig als Trinkwasserquellen dienen. In den in das Vorhaben involvierten Ländern ist ein Großteil der Bevölkerung nicht an ein öffentliches Abwasserkanalsystem angeschlossen. Mexiko und Südostbrasilien weisen mit ca. 70% die höchsten Anschlußraten auf. Im krassen Gegensatz hierzu stehen Nordbrasilien mit einer Anschlußrate von nur ca. 2%, und Bolivien mit 26,5%. Die Anschlußrate variiert regional, aber auch zwischen urbanen und ländlichen Gebieten sehr stark.

Die vorhandenen Kanalsysteme sind nicht selten in einem schlechten Zustand, so daß sowohl Abwasser austritt, als auch Grund- oder Oberflächenwasser eindringt. Die Abwasserreinigung wird erschwert bei gemeinsamer Erfassung von häuslichen Abwässern und Niederschlagswasser. In den meisten Ländern ist dies nach wie vor die Regel, häufig werden diese zudem für die Abwasserentsorgung zweckentfremdet. Die Folge ist, daß die zu behandelnden Abwassermengen in Abhängigkeit von der Tageszeit oder der Saison stark schwanken und sehr konzentriert oder stark verdünnt anfallen. Dadurch steigen notwendigerweise die Investitionskosten für Behandlungssysteme oder – falls die entsprechenden Anpassungen nicht vorgenommen werden können, reduziert sich die Reinigungsleistung. Dies führt zudem dazu, daß ein Großteil der Anlagen überdimensioniert wird. Die Erfassung in einem Kanalsystem bedeutet noch nicht, daß die kommunalen Abwässer auch geklärt werden. I.d.R. werden sie ungereinigt in Oberflächengewässer eingeleitet. Nach den vorliegenden Daten werden in EL durchschnittlich nur etwa 10% des anfallenden kommunalen Abwassers in Abwasserbehandlungsanlagen aufbereitet. In Brasilien verfügen weniger als 10% der Siedlungen über eine funktionierende Kläranlage. Auch in Mexiko, das statistisch eine hohe Anschlußrate an Kanalsysteme aufweist, werden nur 5% des Abwassers sachgerecht behandelt. Die wenigen in Mexiko vorhandenen Anlagen sind häufig überlastet oder gänzlich außer Betrieb. Aber selbst in Ländern, wo bereits in größerem Maßstab kommunale Kläranlagen (v.a. Belebtschlammanlagen) errichtet wurden (Beispiel: Jamaika), sind bis zu 80% der Anlagen aufgrund von Managementproblemen, hohen Betriebs- und Energiekosten, hohem Devisenbedarf und infolge häufiger Stromausfälle außer Betrieb.

Seit 1984 steigt jedoch die Zahl der fertiggestellten Anaerobanlagen in EL ausgehend von einem niedrigen Niveau konstant. Pro Jahr gingen regelmäßig etwa 10 Anlagen in Betrieb. Während der letzten 5 Jahre wurden vor allem in Mexiko, Indien und Brasilien Großanlagen gebaut, so daß eine Steigerungsrate im jährlich gebauten Reaktorvolumen um ca. 15% zu verzeichnen ist.⁷⁷

Die Situation in der industriellen Abwasserbehandlung ist – was Anschlußquoten betrifft – ähnlich problematisch. Industrielle Abwässer werden i.d.R. ungereinigt in Oberflächengewässer oder die bestehende Kanalisation für kommunale Abwässer eingeleitet. Dies erschwert die Reinigung der kommunalen Abwässer, insbesondere wenn die industriellen Abwässer Problemstoffe beinhalten (z.B. Gerbereien in Indien). Zunehmend gelingt es jedoch, größere, finanzstarke und vor allem exportorientierte Industrien, die internatio-

⁷⁷ Auswertung der Anlagendatenbank und verschiedener Einzelquellen.

nale Umweltzertifizierungen (bspw. ISO 14000) nachweisen müssen, durch nationale Gesetze und Kontrollen zur Reinigung ihrer Abwässer zu verpflichten.

Kommunaler Abfall besteht in EL i.d.R. zu einem hohen Prozentsatz aus Organik: in städtischen Gebieten Lateinamerikas beträgt er zumeist um 50 %, in ländlichen Siedlungen erreicht er je nach Einkommensniveau oft 75%. In den asiatischen Flächenstaaten liegen die Anteile noch höher. Dies ist zum einen auf den geringen Verbrauch von Luxusartikeln zurückzuführen, bedingt durch die geringe Kaufkraft der Bürger, zum anderen auf die Abtrennung verwertbarer Abfälle durch den informellen Sektor.

Der informelle Sektor repräsentiert die wichtigste Recyclingschiene in EL: in Kolumbien leben über 250.000 Menschen von den Wertstoffen, die sie täglich aus dem Abfall sortieren. Der Erfassungsgrad für kommunale Abfälle ist i.d.R. dabei sehr gering. In Kolumbien werden nahezu 70% des Abfalls nicht erfaßt, d.h. unkontrolliert auf wilden Deponien oder in Oberflächengewässern abgelagert.⁷⁸ Doch auch der regulär erfaßte Abfall wird in Deponien eingelagert, die häufig überlastet⁷⁹ sind und selten über eine Sickerwasser- oder Gaserfassung verfügen.

Im Abfallsektor konzentrieren sich die Anstrengungen daher auf eine Ausweitung des Erfassungsgrades, sowie den Neubau oder die Verbesserung von Deponien sowie zunehmend auf die Behandlung von Sonderabfällen. Vereinzelt werden auch weitergehende Maßnahmen ergriffen, um die Deponien von wiederverwertbaren Substanzen zu entlasten. Im einzelnen sind dies kleinräumige Recyclingvorhaben zur Wiederverwertung insbesondere von Papier, Glas, Metall, Plastik, Knochen und organischem Abfall (bspw. in Indien, Bolivien, Thailand).

3.2 Einsatzgebiete der Anaerobtechnologie

3.2.1 Überblick

Abbildung 15 zeigt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, eine Verteilung der im Rahmen des Vorhabens recherchierten gegenwärtigen Anwendungen anaerober Verfahren im Abwasser- und Abfallbereich. Der Einsatz der Anaerobtechnologie zur Behandlung verschiedener industrieller Abwässer ist danach am weitesten verbreitet. Für Kommunalabwässer und Abfälle ist der Einsatz dieser Technologie noch relativ jung und dementsprechend seltener.

⁷⁸ Siehe Länderbericht Kolumbien des Sektorvorhabens, 1996

⁷⁹ Der kürzliche Abbruch einer Deponie in Bogotá/Kolumbien - ein Fluß wurde dadurch aufgestaut - ist nur ein Indikator und „die Spitze des Eisberges“. (mündliche Mitteilung: Angelika Stöcklein, DNP, Kolumbien, 1998)

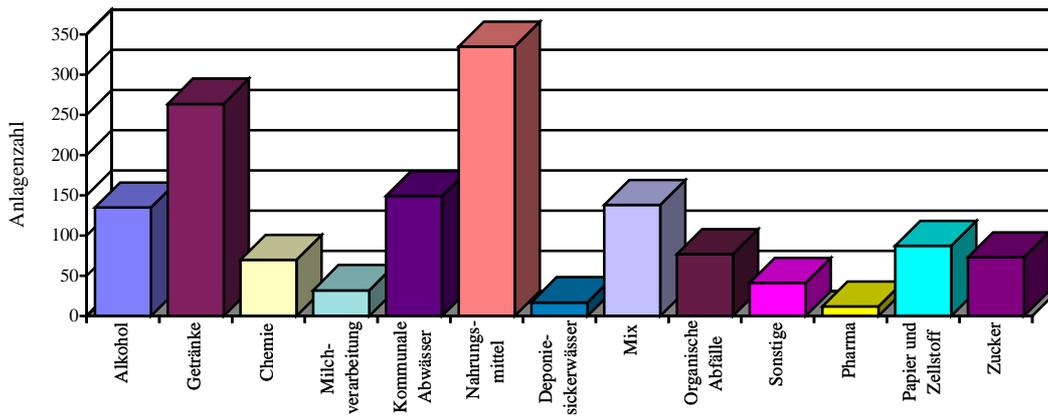


Abbildung 15: Identifizierte Anaerobanlagen für verschiedene Substrate weltweit; Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens und verschiedener Einzelquellen

Werden die drei vorrangig untersuchten Sektoren des Einsatzes der Anaerobtechnologie betrachtet, so stößt man auf wichtige Unterschiede hinsichtlich des Reifegrads und der Anwendungshäufigkeit (vgl. SWITZENBAUM 1995). Unterschiede und Gemeinsamkeiten werden in Tabelle 32 dargestellt. Kommunale Anwendungen wurden hierbei in zentrale und dezentrale, industrielle in kleine und große Anwendungen untergliedert.

Tabelle 32: Anwendungsvergleich der Anaerobtechnologie in den drei Sektoren kommunale Abwässer, industrielle Abwässer und organische Abfälle⁸⁰

	Kommunale Abwässer		Industrielle Abwässer		Organische Abfälle
	dezentral	zentral	kleine Industrien	große Industrien	kommunale und industrielle
Anwendung in IL	Weit verbreitet V.a. Septic Tanks	Keine Anwendung Wegen niedriger Temperaturen nur Schlammfäulung	Wenig verbreitet Da häufig Anbindung an Kanalisation	Weit verbreitet	Wenig verbreitet Einsatzhäufigkeit steigt
Reifegrad in IL	Hoher Reifegrad Wenig technisierter Lösungen	Nicht vorhanden	Hoher Reifegrad Relativ technisierter und high-tech Lösungen	Hoher Reifegrad Relativ technisierter und high-tech Lösungen	Geringer Reifegrad
Anwendung in EL	Weit verbreitet V.a. Septic Tanks, Imhoff Tanks, Anaerobfilter und zunehmend UASB	Wenig verbreitet Aber sehr starke Zunahme, i.d.R. UASB	Wenig verbreitet Wenige Standardlösungen vorhanden	Weit verbreitet Besonders in Asien	Wenig verbreitet Erste Anwendungen gehen in Betrieb, bzw. befinden sich in Bau
Reifegrad in EL	Hoher Reifegrad Wenig technisierte Lösungen	Geringer Reifegrad Wenig technisierte Lösungen	Geringer Reifegrad Wenig technisierter Lösungen	Hoher Reifegrad Relativ technisierter und high-tech Lösungen	Geringer Reifegrad Wenig technisierter Lösungen

⁸⁰ Die dezentralen v.a. kommunalen Anwendungen unter 1.500 EG sind nicht Gegenstand des Projektes und werden hier nur aus Gründen der Vollständigkeit aufgeführt.

3.2.2 Kommunale Abwässer

Anaerobe Verfahren zur Reinigung kommunaler Abwässer sind trotz der noch relativ geringen Anlagenanzahl im allgemeinen gut an lokale Bedingungen angepaßt, dies z.T. weil sie in EL entwickelt und überwiegend eingesetzt werden. Es ist davon auszugehen, daß diese Technologie in Kürze auch in warmen und gemäßigten Regionen, z.B. im Rahmen von EU-Programmen im mediterranen Raum, Anwendung finden wird.

Besonders in den ländlichen und peri-urbanen Gegenden nahezu aller untersuchten Länder sind anaerobe Kleinanlagen, d.h. dezentrale Systeme ohne Kanalanschluß, bereits seit langem wichtige Entsorgungs- und Behandlungsformen, insbesondere Dreikammergruben (Septic Tanks) und Imhoff Tanks⁸¹. Eine interessante Entwicklung sind die derzeit in China verbreiteten modifizierten Septic Tanks, die für den Anschluß mehrerer Haushalte geeignet sind und über eine Gasfassung sowie zunehmend auch über eine Gasnutzung verfügen.⁸² Bereits 36.000 Anlagen dieses Typs sollen installiert sein⁸³. In Kolumbien wurden von einem Hersteller mehr als tausend kleine kombinierte Abwasserreinigungssysteme, die einen Anaerobfilter enthalten, gebaut. Ein Vorteil besteht im modularen Aufbau, der eine unkomplizierte Kapazitätsanpassung erlaubt. Das entstehende Gas wird nicht genutzt. Im Rahmen dieses Projektes wurden diese Kleinanlagen nicht berücksichtigt.

Bei den Mittel- und Großanlagen dominieren die Schlammbettreaktoren, von ihnen ist der UASB-Reaktor mit einer Anwendungshäufigkeit von 75% mit Abstand der weltweit am häufigsten gebaute Typ. Weitere (modifizierte) Schlammbettreaktoren sind der weltweit verwendete EGSB-Reaktor, der RALF-Reaktor in Brasilien, der HUSB-Reaktor in China, sowie in Kolumbien das RAP-Verfahren. Die folgende Tabelle 33 gibt einen Überblick über Betriebs-, Bemessungs- und Leistungsdaten des dominierenden UASB-Systems mit nachgeschalteten Teichen.

Tabelle 33: Übersicht üblicher Betriebs-, Bemessungs- und Leistungsdaten von UASB mit Nachreinigungsteichen; Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens; VAN HAANDEL UND LETTINGA, 1994.

Parameter	Einheiten	UASB ^{A, B}	Nachreinigungsteich ^A
Reinigungsleistung CSB	% CSB-Reduktion	60-80(65)	20-35
Reinigungsleistung TSS	% TS-Reduktion	60-80(70)	20-40
Reinigungsleistung Pathogene	% Reduktion	80-99	90-99,99
Reinigungsleistung Nährstoffe	% N- % P-Reduktion	vernachlässigbar	10-95
HRT	h	4-20 (10)	24-96
Aufströmgeschwindigkeit	m/h	0,2-1 (0,5)	-
Raumbelastung	kg CSB/m ³ •d	0,4-3,6 (1,8)	<0,04
spezifischer Energieverbrauch	kWh/m ³ _{Abwasser} [kWh/E•a]	0,07-0,2 [2,6-7,3]	0,1 3,7
Schlammbelastung	g CSB/g oTS•d	0,05-0,5	-
Gasertrag	Nm ³ /m ³ _{Reaktor} •d	0,02-0,3	-
Überschußschlammmenge	kg TS/E•a [g TS/g CSB _{abgebaut}]	2,5-5 [0,1-0,2]	- -

A: Hier werden die Größenordnungen der Parameter angegeben, die unter Praxisbedingungen ermittelt wurden, nach Van Haandel und Lettinga, 1994

B: Die Werte in den runden Klammern () geben das arithmetische Mittel von 48 (tw. 64) UASB-Reaktoren aus der Anlagendatenbank zur Abwasserbehandlung mit einem Reaktorvolumen > 100m³ an

⁸¹ Obwohl außerhalb der Untersuchungen des Sektorvorhabens werden hier dezentral eingesetzte Septic Tanks und Imhoff Tanks der Vollständigkeit halber erwähnt. Es handelt sich bei diesen Verfahren im Prinzip um Absetzbecken mit begrenzter Reinigungsleistung ohne Gasfassung.

⁸² Siehe Länderbericht China des Sektorvorhabens, 1997.

⁸³ Siehe auch Anmerkung zu Fibrin-Anlagen im Teil A.

Es fällt auf, daß größere Anlagen erst innerhalb der letzten 10 Jahre - also seit Ende der 80er Jahre - gebaut wurden, bzw. sich noch im Bau befinden. Daß sich diese Entwicklung fortsetzen wird, zeigt die Tatsache, daß sich derzeit - mit über 20 Anaerobreaktoren zur Kommunalabwasserreinigung mit Ausbaugrößen über 100.000 Einwohnern - ein nahezu ebenso großes anaerobes Reaktorvolumen im Bau wie in Betrieb befindet.

Große Anlagen mit Durchsätzen von 30.000 - 70.000 m³/d, für etwa 150.000 - 400.000 EG, haben ihren Schwerpunkt zur Zeit in Brasilien und Indien, wo man von einem regelrechten Boom der UASB-Technologie sprechen kann. Reaktorvolumina liegen hier zwischen 3.000 m³ und 9.000m³. Anaerobe Verfahren eignen sich zunehmend auch für sehr große Anwendungen. Die größten, momentan in Bau befindlichen Anlagen (Fett in der Tabelle) haben Durchsätze um 100.000 m³/d und behandeln Abwasser von über 400.000 EG. Anlagen in dieser Größenordnung werden bisher ausschließlich in Lateinamerika gebaut (Vera Cruz/Mexiko; Atuba Sul/Brasilien; Puerto la Cruz/Venezuela). I.d.R. setzen sich die Anlagen aus gleich großen, parallel geschalteten Reaktoren zusammen (modulare Bauweise), so das sie je nach Bedarf relativ einfach erweitert werden können. Die Reaktorgröße der einzelnen Module liegt dabei im Bereich 2.000 m³ - 16.000 m³. Eine Übersicht der großen Anlagen mit ihren hydraulischen Verweilzeiten gibt folgende Tabelle 34, die auch deutlich macht, daß eine Vollständigkeit der zugänglichen oder vorhandenen Daten noch nicht erreicht ist.

Tabelle 34: Große anaerobe Reaktoren zur kommunalen Abwasserreinigung; Quelle: Anlagendatenbank und verschiedener Anlagenberichte des Sektorvorhabens

Ort	Land	Typ ^A	Betrieb seit	Kapazität in 1.000 E	Reaktorgröße [m ³] ^C	η CSB ^D [%]	HRT [h]	Temp [°C]
Tulare ¹⁾	USA	Teich	1988	ca. 130	116.000	80	168	26
Kanpur ²⁾	Indien	UASB	1989	50-360 ^B	9.000	bis 75	6	20-30
Miyun I	China	HUSB	1990	ca.150 ^B	2•1.600	-	5,1	-
Kunmin	China	HUSB	1991	ca.200 ^B	4•860	-	4,1	-
Mirzapur ²⁾	Indien	UASB	1992	ca.200 ^B	4.800	bis 75	6	20-30
Londrina-N	Brasilien	UASB	1996	400	?	-	-	-
Faridabad II	Indien	UASB	1996	ca.170 ^B	5.625	-	8	-
Faridabad III	Indien	UASB	1996	ca.190 ^B	6.250	-	8	-
Guryaon	Indien	UASB	1996	ca.110 ^B	3.750	-	8	-
Sonipat	Indien	UASB	1996	ca.110 ^B	3.750	-	8	-
Yamunanagar II	Indien	UASB	1996	ca.100 ^B	3.125	-	8	-
Pariapat II	Indien	UASB	1996	ca.130 ^B	4.375	-	8	-
Medan	Indonesien	UASB	1996	ca.100 ^B	3.000	-	8	26
Rio Frio ³⁾	Kolumbien	UASB	1996	240	3•3.300	65	5-7	26
Puerta la Cruz	Venezuela	UASB	1997 in Bau	400	2•10.800	-	5	25
Hyderabad	Indien	UASB	1996 im Bau	ca.100 ^B	3.125	-	8	-
Jiaonan	China	HUSB	1996 im Bau	ca.200 ^B	4.800	-	5,8	-
Veracruz ⁴⁾	Mexiko	UASB	1996 im Bau	1100-3500 ^B	5•16.000	-	18	35
Obregon ⁵⁾	Mexiko	Teich	1996 im Bau	2•150	8•10.000	-	16	-
Atuba Sul	Brasilien	UASB	1997 im Bau	580	16•2.000	80	8	-
Babahayo	Equador	UASB	1997 im Bau	110	6.000	-	8	25

- A: UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket; HUSB : Hydrolisis Upflow Sludge Blanket, Teich = abgedeckter Anaerobteich
- B: berechnet aus CSB-Fracht und Abwassermenge, 100 l/E•d, bzw. 100 g CSB/E•d
- C: Anzahl der Reaktoren • Volumen der Einzelreaktoren
- D: CSB-Reinigungsleistung
- 1): häusliches und Abwasser aus Molkerei und Hühnerzucht, Anaerobteich mit Gaserfassung nach dem ADI-Verfahren
- 2): häusliches und Abwasser der Leder- und Textilindustrie (Verhältnis ca. 3:1)
- 3): Erste Ausbaustufe 1989 mit 160 000 E und 6600 m³
- 4): häusliches und industrielles Abwasser
- 5): aufwärts durchströmte Anaerobteiche ohne Dreiphasentrennung (Sunwater Systems Inc.) zwei baugleiche Anlagen Obregon-Nord und Obregon Süd mit jeweils der angegebenen Ausbaugröße

Große Unterschiede lassen sich bezüglich der Größe der eingesetzten Anlagen zwischen den Ländern erkennen. Während man in Brasilien das Gros der über 300 gebauten Anlagen dem kleineren Bereich (unter ca. 50 m³ Reaktorvolumen oder ca. 1.500 EG) zurechnen kann, werden in Ländern, in denen der Einsatz von anaeroben Klein- und Kleinstanlagen zur Fäkalienentsorgung bereits etabliert ist (Indien, China), eher große Anlagen für Abwässer von einigen hunderttausend Einwohnern errichtet (siehe Abbildung 16). Die Unterschiede gleichen sich jedoch zunehmend durch den Bau mehrerer Großanlagen in Lateinamerika aus.

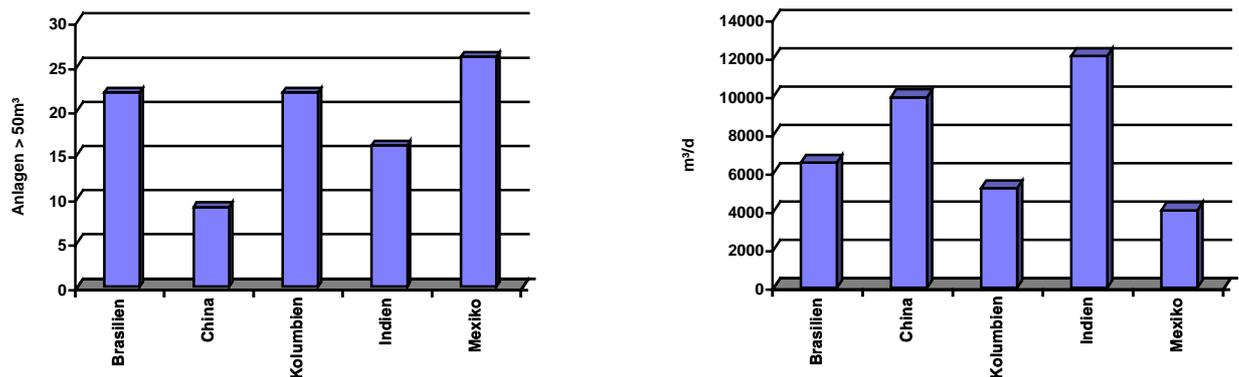


Abbildung 16: Links: Anzahl Anlagen mit einem Reaktorvolumen über 50 m³

Rechts: Durchschnittsdurchflußgröße (m³/d) kommunaler Anaerobanlagen in ausgewählten EL;

Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

Waren die Systeme der 80er Jahre oft noch mit Mängeln behaftet, weisen Anlagen jüngerer Datums eine befriedigende Qualität bezüglich Effizienz und Konstruktion auf. Verbesserungen bei der Anlagenkonzeption, den verwendeten Baumaterialien und der Ausbildung des Personals haben dazu beigetragen, daß weniger Geruchsemissionen auftreten und mit einer längeren Lebensdauer zu rechnen ist. Die Technologie hat einen Reifegrad erreicht, der eine breitere Anwendung möglich und sinnvoll erscheinen läßt.

Nur in einigen Ländern (Brasilien, Mexiko) erfolgt die Verbreitung von Anlagen zur Kommunalabwasserreinigung bisher über den Markt. Nationale und internationale Anbieter existieren nur vereinzelt, der internationale Markt war bei Beginn dieses Projektes noch kaum transparent. Die Implementierung anaerober Systeme wird noch häufig im Rahmen der internationalen Entwicklungszusammenarbeit (Waste to Energy Program und Ganga-Action-Plan, Indien) und der deutschen finanziellen Zusammenarbeit (Santa Cruz/Venezuela, Babahoyo/Ecuador) und erst seltener von nationalen Schlüsselinstitutionen (SANEPAR, Paraná/Brasilien) gezielt gefördert.

Grundsätzlich hat sich jedoch gezeigt, daß anaerobe Kombinationsverfahren geeignet sein können, eine flächendeckendere Abwasserreinigung zu erreichen, wenn durch eine gezielte Nutzung ökonomischen und ökologischen Vorteile spürbar werden. Durch die oft widersprüchlichen und wenig koordinierten Interessenstrukturen mangelt es jedoch häufig an eben dieser Zielstrebigkeit, systematische Leistungs- und Kostenvergleiche sind de facto noch nicht existent und offenbar nur bedingt gewünscht.

3.2.3 Industrielle Abwässer

Der Einsatz der Anaerobtechnologie in der industriellen Abwasserreinigung ist aufgrund der meist wärmeren Temperaturen des Abwassers im Vergleich zu kommunalen Abwässern sowohl in EL als auch in industrialisierten Ländern recht weit verbreitet. Nachfolgende Liste zeigt bedeutende Industrien und Industriezweige, in denen die Anaerobtechnologie zur Abwasserreinigung eingesetzt wird:

Tabelle 35: Die wichtigsten Einsatzgebiete der Anaerobtechnologie bei industriellen Abwässern; Quelle: Anlagendatenbank und verschiedene Berichte des Sektorvorhabens.

Getränkeindustrien	<ul style="list-style-type: none"> • Brauereien • Soft Drinks
Nahrungsmittelverarbeitende Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • Gemüseverarbeitung • Hefeproduktion • Kartoffelverarbeitung • Obstverarbeitung • Stärkeproduktion • Zuckerproduktion
Fleischverarbeitende Industrie	
Fischverarbeitende Industrie	
Genußmittel	
Alkohol	<ul style="list-style-type: none"> • Alkoholproduktion diversester Ausgangsprodukte
Chemie	
Deponiesickerwasser	
Landwirtschaftliche Abwässer	
Naturgummiproduktion und -verarbeitung	
Kunststoffproduktion	
Organische Chemie	
Papierindustrie	<ul style="list-style-type: none"> • Zelluloseproduktion • Papier, Pappe und Kartonherstellung
Petrochemie	
Pharmaindustrie	

Die anaerobe Behandlung von industriellen Abwässern ist in vielen EL seit Jahren bekannt und bewährt. Vorreiter waren zunächst internationale Firmen, die ihre Neuanlagen so ausstatteten, daß sie allen gesetzlichen Regelungen und weitergehenden örtlichen Auflagen entsprechen konnten. Solche Anlagen wurden meist von international agierenden Ingenieurfirmen schlüsselfertig geplant und errichtet. Zunehmend interessieren sich nationale Konstrukteure für das Fachgebiet. Die anaerobe Behandlung von industriellen Abwässern ist eine Alternative oder Ergänzung zu belüfteten Intensivverfahren und Techanlagen; in einigen Branchen, z. B. Brauereien, ist sie zur dominierenden Technologie geworden. In Abbildung 17 sind die Länder dargestellt, in denen relevante Industrieabwassermengen anaerob behandelt werden.

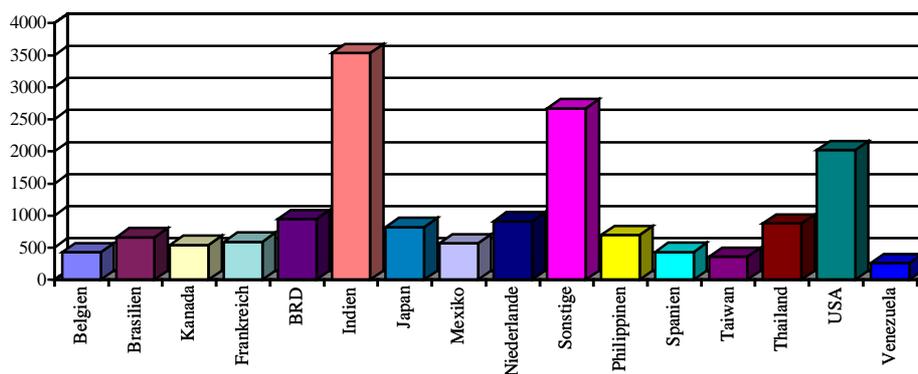


Abbildung 17: Anaerob behandelte Schmutzfracht aus Industrieabwässern (Tonnen CSB/Land•d); Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

Bemerkenswert ist der Umfang der Anwendung der Anaerobtechnologie in Indien. Die behandelte Schmutzfracht stammt zu 90% aus großen Destillieren.⁸⁴

Neben dem am häufigsten eingesetzten, jedoch nicht in dem Maße wie in der kommunalen Abwasserreinigung dominierenden UASB-Reaktor, werden zur Klärung industrieller Abwässer Kontaktschlammverfahren und auch bedeckte anaerobe Teiche genutzt. Nachfolgende Abbildung zeigt die am häufigsten eingesetzten Verfahren für 3 Beispielländer:

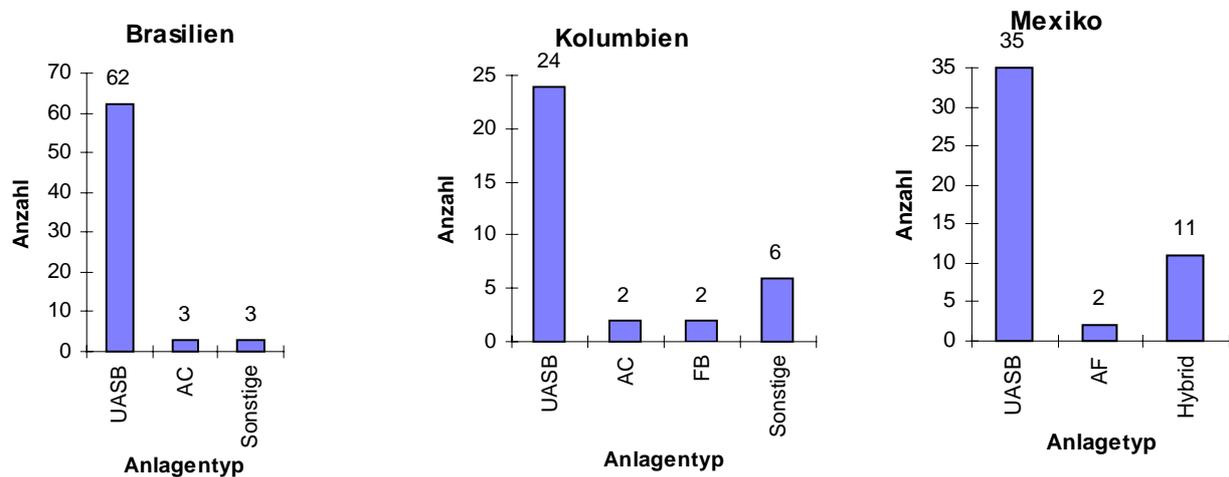


Abbildung 18: Darstellung der wichtigsten Reaktortypen in verschiedenen Ländern⁸⁵; Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

Große und mittlere, relativ finanzstarke Industrien können zur Reinigung ihrer Abwässer auf die Erfahrungen von international anbietenden Anlagenkonstrukteuren zurückgreifen. Kundenwerbung, Information von Entscheidungsträgern und Lobbyarbeit werden im eigenen Geschäftsinteresse überwiegend von den Anbietern selbst übernommen und finanziert.

Für kleinere, i.d.R. finanzschwächere Industrien, die erheblich zur Gewässerverschmutzung beitragen, mangelt es bisher an ausgereiften, wartungsarmen und kostengünstigen Lösungen. Prinzipiell können anaerobe Verfahren diese Anforderungen erfüllen, aber für die erforderliche Entwicklungs- und Anpassungsarbeit reichen die Marktkräfte alleine nicht aus - weder zur Entwicklung des Angebotes noch der Nachfrage. Die internationale Entwicklungszusammenarbeit hat das Problemfeld und den möglichen Lösungsansatz bisher zu wenig erkannt. Den sporadischen Anstrengungen einiger nationaler Regierungen und TZ-Organisationen zur Anpassung und Implementierung einfacher Anaerob- oder Hybridsysteme fehlte es in der Vergangenheit an langfristiger Strategie und Nachdruck. Die wenigen existierenden Beispiele finden sich verstreut in verschiedenen Ländern und sind nicht hinreichend dokumentiert und ausgewertet, wie bspw. die Anlagen zur Abwasserreinigung bei kleinen Gerbereien in Brasilien, bei Stärke- und kaffeeverarbeitenden Betrieben in Guatemala, Tansania und Kolumbien, und bei Schlachthöfen in der Elfenbeinküste, Belize, Ghana und Burundi. Viele agroindustrielle Kleinbetriebe können wegen ihrer geringen Investitionskraft ohne staatliche oder EZ-Unterstützung die Mittel für eine adäquate Abwasserreinigung nicht aufbringen. Der Gewässerschutz und der Erhalt dieser kleineren Industrien erfordern ein Maßnahmenpaket, das u.a. Technologieanpassung, Finanzierung, Gesetzgebung, Ausbildung und deren Abstimmung beinhalten muß.

⁸⁴ Ausführliche Informationen siehe Länderbericht Indien des Sektorvorhabens, 1997.

⁸⁵ AC - Anaerobic Contact; FB - Fixed Bed; AF - Anaerobic Filter

3.2.4 Abfall

Abfallprobleme werden in EL meist der Wasserver- und -entsorgung nachgeordnet. Aus diesem Grund sind Abfallbehandlungsverfahren erst wenig zum Einsatz gekommen. Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und Steigerung der Einkommen führen zu veränderten Kauf- und Verbrauchsgewohnheiten. Dadurch steigen die Abfallvolumina und die Abfallzusammensetzung ändert sich. In den letzten Jahren wurden nationale und internationale Anstrengungen zur Lösung der urbanen Hygiene- und Umweltprobleme im Abfallsektor verstärkt. Vorrangig werden Abfälle, soweit sie erfaßt und gesammelt werden, in allen (16) untersuchten Ländern auf ungeordnete "Müllkippen" verbracht und z.T. in Gewässern entsorgt. Doch zunehmend werden Modelle geordneter Deponien (nur in den seltensten Fällen mit Gaserfassung) und Verbrennungsverfahren in EL transferiert. Die biologische Behandlung von organischen Abfällen hat lange kaum eine Rolle gespielt, die Vergärung noch weniger als Kompostierungsverfahren. Gründe lagen vor allem in der mangelnden Information über diese Verfahren und im Fehlen ausgereifter Systeme. Zusätzlich trugen in einigen Ländern der geringe Marktwert von Kompost und die unzureichende Abfalltrennung zu einer Unterbewertung der Behandlung organischer Abfälle bei. Aufgrund des Zwangs zur möglichst schnellen Verbringung von Abfällen erfährt Kompost als Endprodukt organischer Abfallbehandlung besonders in Großstädten eine nur geringe Wertschätzung. Auch aus IL transferierte Abfallmanagement- und Erfassungskonzepte haben die Kompostierungs- und Vergärungsoption lange Zeit nicht hinreichend berücksichtigt. Schließlich kommen biologische, insbesondere anaerobe Abfallbehandlungsverfahren auch erst in wenigen IL (in Ländern mit einer ausgereiften Abfallpolitik, v.a. Dänemark, Deutschland, Holland) erst seit kurzem mit der notwendigen technologischen Reife zum Einsatz.

In jüngster Zeit finden anaerobe Verfahren zur Abfallbehandlung wachsendes Interesse in einigen Ländern Asiens (China, Indien, Thailand, Malaysia), Lateinamerikas (Kolumbien, Bolivien) und Afrikas (Marokko, Tansania). Als vorteilhaft werden die Verbindung von Platzersparnis, Energie- und Kompostgewinnung, Geruchsreduktion und mögliche Transportkostensparnisse gesehen. Wie beim Abwasser sind aerobe Abfallbehandlungsverfahren (Kompostierung) vergleichsweise energie- und platzaufwendiger, allerdings sind sie bisher prozeßtechnisch leichter zu beherrschen. Für aussagekräftige Kostenvergleiche sind die vorliegenden Einzelbeispiele und Daten noch nicht hinreichend repräsentativ und eindeutig, weisen aber auf vergleichbare Behandlungskosten anaerober und aerober Verfahren, (zumindest kurzfristig) höhere Kosten gegenüber der Deponierung und geringere Kosten im Vergleich zur Verbrennung hin. Die aktuell noch gültigen Vorteile der Deponierung sind angesichts des kaum absehbaren Nachsorgebedarfs jedoch in Frage zu stellen.

Anpassungen anaerober und kombiniert anaerob/aerober Verfahren an die spezifischen Situationen in EL bezüglich Prozeßsteuerung, Mechanisierungsgrad und Größe sind erforderlich. Dabei können Erfahrungen aus Deutschland, wo die größte Anzahl von Anlagen, Anlagentypen und -herstellern existiert, hilfreich sein. Inwieweit die in Deutschland wachsende Bedeutung der landwirtschaftlichen Co-Fermentation für die Abfallbehandlung auf EL übertragbar ist, läßt sich nur durch die Installation einer größeren Anzahl geeigneter Praxisanlagen im Rahmen von Pilotprojekten feststellen. Mitberücksichtigt werden müssen dabei Technologie und Organisation der Klärwerke wie auch der Industrie bei einer Co-Fermentation in Faultürmen und die lokale Struktur der Landwirtschaft, sowie der traditionelle Umgang mit tierischen Exkrementen bei landwirtschaftlichen Co-Fermentationsanlagen.

In Abbildung 19 sind die weltweit anaerob behandelten Abfallmengen inklusive Co-Fermentationssubstraten (oft Gülle oder Klärschlamm) dargestellt, allen voran Dänemark mit der höchsten Anzahl großer zentraler Co-Fermentationsanlagen. In Deutschland existiert die größte Anzahl an reinen Abfallbehandlungsanlagen. Vergleicht man die Abfallmengen ohne Gülle aus der Co-Fermentation, hat Deutschland noch vor Dänemark das größte Behandlungsvolumen⁸⁶. Die anaerob-aerobe Abfallbehandlung und die Co-Fermentation vorwie-

⁸⁶ Es sei angemerkt, daß die in 1997 vorliegenden Daten verwendet wurden, zwischenzeitlich hat sich die Zahl der Anlagen deutlich erhöht.

gend biogener Abfälle haben in Europa inzwischen ein Niveau technischer Reife und Wirtschaftlichkeit erreicht, das einen Transfer in ausgewählte EL im Rahmen adäquater EZ- und FZ-Maßnahmen als Ergänzung und Alternative zu den gegenwärtig angewandten Verbrennungs- und Deponietechniken dringend empfiehlt.

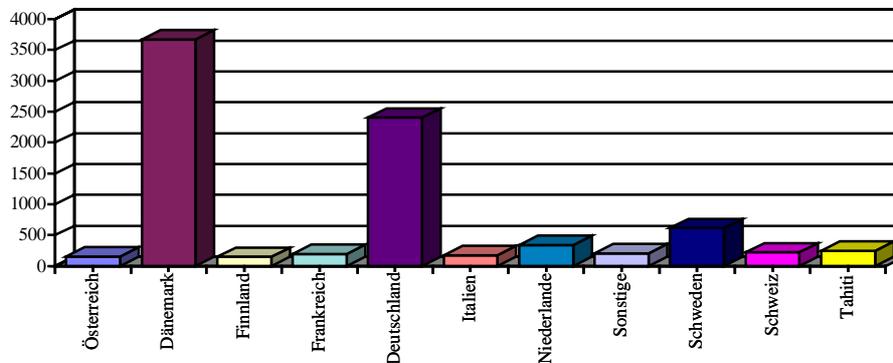


Abbildung 19: Anaerob behandelte Abfallmengen weltweit (inkl. Co-Fermentation mit Gülle) in m³/d;

Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

3.2.5 Schlammbehandlung

Die anaerobe Schlammbehandlung kommunaler Klärwerke stellt ein wichtiges Einsatzgebiet der Anaerobtechnologie in kommunalen Klärwerken für Städte mit über 20.000 Einwohnern in IL dar. Dabei werden in aeroben Abwasserreinigungsverfahren (i.d.R. Belebung) erzeugte Schlämme anschließend in Faultürmen anaerob stabilisiert.

In EL wird die Schlammfäulung in Verbindung mit aeroben Abwasserreinigungsverfahren bisher (Ausnahmen bestehen in einigen Stadtstaaten Südostasiens) kaum eingesetzt. Dies hat zur Folge, daß zwar die Investitionskosten geringer sind, die Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit des Anlagenbetriebs wegen der z.T. gigantischen anfallenden Schlammengen (Bsp.: Bangkok/Thailand) in Frage gestellt wird. Aufgrund der lange Zeit niedrigen Energie- und Schlammentsorgungskosten fielen auch die Betriebskosten ohne Schlammfäulung zunächst nicht wesentlich höher aus. Die unkontrollierte Schlammfäulung wird aber vor allem in den städtischen Ballungsgebieten Asiens und Lateinamerikas aufgrund steigender Mengen, sinkender Flächenangebote und knapper werdender Deponieräume immer schwieriger und problematischer. Die geringe Stabilisierung und der hohe Wassergehalt von Belebtschlammern verursachen ernste transport- und deponietechnische Probleme, wenn keine zusätzliche Nachbehandlung für den Schlamm vorgesehen ist, da Deponien in EL i.d.R. keine Sickerwassererfassung oder ausreichende Abdichtungen (s.o.) haben, und auch keine Gaserfassung erfolgt. Langfristige Umweltschäden in beträchtlichem Ausmaß sind deshalb zu erwarten.

3.2.6 Anwendungsschwerpunkte in verschiedenen Entwicklungsländern

In Tabelle 36 ist die Anwendung der Anaerobtechnologie zur Abwasser- und Abfallbehandlung in EL zusammengefaßt. Länder, in denen der Einsatz der Anaerobtechnologie am weitesten fortgeschritten ist, sind fett gedruckt.

Tabelle 36: Einsatz der Anaerobtechnologie nach Entwicklungsländern

Land	Kommunale Abwässer	Industrielle Abwässer	Organische Abfälle
Brasilien	+++	+++	0
Kolumbien	++	++	0
Mexiko	++	++	0
Bolivien	+	0	*
Ecuador	+	0	0
Jamaika	0	+	0
Indien	+++	+++	**
China	++	++	**
Thailand	0	++	**
Malaysia	0	+	*
Indonesien	+	+	0
Vietnam	0	0	0
Laos	0	0	0
Nepal	0	0	0
Kambodscha	0	0	0
Marokko	+	0	*

Abwässer: 0 = keine nennenswerte Anwendung gefunden; + = einzelne Anwendungen gefunden; ++ = Anwendung der Anaerobtechnologie ist kein Einzelfall; +++ = relativ häufige und relevante Anwendung der Anaerobtechnologie;

Abfall: 0 = keine nennenswerten Aktivitäten bekannt; * = wird ernsthaft diskutiert, bzw. in Planung; ** = bereits Anlagen in Bau

Dominierend sind bevölkerungsreiche Flächenstaaten mit einer industriellen Basis, insbesondere Indien und Brasilien gefolgt von China, Mexiko und Kolumbien.

3.3 Problemfelder beim Einsatz von Anaerobtechnologien in Entwicklungsländern

Die Erfahrungen mit dem Einsatz der Anaerobtechnologie zur Reinigung von Abwässern, Schlämmen und festen Abfällen sind ernüchternd und vielversprechend zugleich. Erwartungen wurden anfänglich aufgrund verbleibender Entwicklungsbedarfe und Defizite enttäuscht. Technische, ökonomische und managementbezogene Konzepte waren – und sind in vielen Fällen - nicht zu Ende gedacht, ökologische Zusammenhänge und unvorhergesehen widrige Rahmenbedingungen wurden unterschätzt. Die meisten Fehler beim Einsatz der Anaerobtechnologie entstehen bis heute durch "Scheuklappen" der einzelnen Fachdisziplinen und mangelndes technisches und organisatorisches Know-how.

Während die Anaerobtechnologie zur Behandlung von industriellen Abwässern und organischen Schlämmen jedweder Herkunft seit längerem bewährt ist, wurde in den letzten 5 Jahren auch in den Bereichen der kommunalen Abwasser- und Abfallbehandlung ein Grad an Reife und Verlässlichkeit erreicht, der die Nutzung von Kostenvorteilen in den unter Kapitel 2 benannten Einsatzgrenzen zulässt. Technologische Entwicklung und zunehmende Know-how-Verfügbarkeit haben zu Qualitätsverbesserung und Überwindung wesentlicher Anfangsschwierigkeiten geführt. Dies wird durch die wachsende Zahl neu gefertigter, in Bau oder in Planung befindlicher Anlagen bestätigt.

Die Mehrzahl der identifizierten Anlagen sind von international tätigen, mehrheitlich aus IL stammenden Unternehmen errichtet worden. In einigen Ländern, z. B. in Mexiko, Kolumbien und Brasilien, treten zunehmend auch nationale Unternehmen auf den Markt, oft jedoch noch mit Anlagen geringerer Qualität. In Tabelle 37 sind häufig aufgefundene Mängel, Ursachen und direkte Folgen dargestellt.

Tabelle 37: Spezifische Mängel anaerober Abwasserbehandlungsanlagen, deren Ursachen und Folgen; Quelle: Auswertung der Anlagendatenbank und verschiedener Berichte des Sektorvorhabens

Mängel	Ursache	Folgen
Design	unzureichende Ausbildung/ Erfahrung des Planers	<ul style="list-style-type: none"> • Überdimensionierung der Anlage • Feststoffaustrag aus dem Reaktor • Feststoffakkumulierung in der Nachbehandlung • Geruchs- und Methanemissionen der Nachbehandlung durch Feststoffeintrag • Geruchs- und Methanemissionen durch im Auslauf des Anaerobreaktors gelöste Gase • Geruchs- und Methanemissionen durch falsche Dimensionierung oder Konstruktion des Gas-Flüssig-Fest-Separators • Geringe Abbauleistung durch schlechte Einlaufverteilung, Über- oder Unterbelastung • Keine Schlammernahme vorgesehen • Verstopfung der Drei-Phasen-Trennung • Geruchs- und Methanemissionen durch nicht abgedeckten Reaktor
Konzeption	unzureichende Ausbildung/ Erfahrung des Planers	
Bau	Mangelnde Koordination/ Absprache mit Beteiligten Mangelhafte Bauüberwachung des Planers oder der ausführenden Behörde	<ul style="list-style-type: none"> • Geruchs- und Methanemissionen durch Nichtnutzung des Biogases, keine Energieerlöse • Mangelnde Verwendung von Schlamm und Wasser • Schlechte Wirtschaftlichkeit der Behandlung • Mangelnde Einbindung in gesellschaftliches Umfeld • Verwendung minderwertiger oder ungeeigneter Materialien • Verkrustung (Ca, Mg) • Verstopfte Leitungen • Unzureichende Ausführung der Drei-Phasen-Trennung • Inkompatibilität von Materialien
Inbetriebnahme	Unzureichendes Verständnis/ Erfahrung des Bauunternehmens Mangelhafte Überwachung des Planers, Unzureichende Ausbildung/ Erfahrung des Planers	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (H₂S) • Geruchs- und Methanemissionen durch Undichtigkeit des Reaktors • Kurze Lebenszeit durch schlechte Bauqualität • Anlage erzielt nicht die erwarteten Ergebnisse
Betrieb	Unzureichende Ausbildung/ Erfahrung des Betreibers Unzureichende Ausbildung/ Erfahrung des Betreibers	<ul style="list-style-type: none"> • Anfahrtszeit der Anlage dauert übermäßig lang • Schlechtes Anlagenmanagement
	Betreiber/Verantwortlicher (bei Kleinanlagen) ist nicht existent	<ul style="list-style-type: none"> • keine sachgerechte Schlammernahme (zu gering, zu hoch, zu unregelmäßig), Schwimmschlamm
	Mangelnde Überwachung/ Management/Erfahrung der Kontrollinstanzen	<ul style="list-style-type: none"> • Verstopfung der Einlaufverteilung (UASB) • Ungleichmäßige Einlaufverteilung (UASB) • Geringe Reinigungsleistung

Es wird deutlich, daß ein großer Teil der Defizite auf ungenügendes Planungs- und Betriebs-Know-how, sowie auf organisatorische Defizite bei der Implementierung und dem Betrieb der Anlage zurückzuführen ist.

3.4 Relevante Einflußfaktoren

3.4.1 Naturräumliche Parameter

In den untersuchten tropischen Ländern herrscht meist eine ausreichende Durchschnittstemperatur, um eine problemlose anaerobe Behandlung von kommunalen Abwässern zu realisieren (siehe Kapitel 2.2.2 Beschaffenheit kommunaler Abwässer). Eine Ausnahme stellen die andinen Hochlandgebiete oder das Himalaya-

Gebiet dar, in denen die erforderlichen Temperaturen unterschritten werden können. Dies hat dort allerdings auch beim Einsatz von Teichsystemen zu Problemen geführt.

Der Wasserüberfluß in einigen der Projektregionen, besonders in Südamerika, entschärft bisher durch hohe Verdünnung der Abwässer die eigentliche Umweltproblematik. Doch scheint dieser Verdünnungseffekt in einigen der Länder bereits ausgereizt, nicht zuletzt durch den Rückgang der Niederschläge durch fortschreitende Entwaldung und die daraus resultierende Versteppung.

Hohe Niederschläge verursachen bei fast allen kommunalen Anlagen Probleme, solange häusliche Abwässer und Regenwasser in einem Kanalsystem erfaßt werden. Dies ist in der Mehrzahl der Länder der Fall. Dadurch steigt die zu behandelnde Abwassermenge und variiert saisonal. Die Anlagen werden meist entsprechend größer ausgelegt. Eine zu starke Verdünnung stellt den wirtschaftlichen Betrieb der Anaerobanlagen in Frage. Der Einsatz aerober Verfahren wird dadurch interessanter.

Konzentriertere Abwässer aus trockenen Gebieten, z.B. in Marokko und Nordbrasilien, aber auch in Slumgebieten, erlauben, daß sowohl Kanalnetz als auch Behandlungsanlage kleiner dimensioniert werden und dadurch geringere Kosten anfallen. Geringe Niederschlagsmengen, Wasserknappheit oder geringer Wasserverbrauch erfordern darüber hinaus umfassend veränderte kommunale Behandlungskonzepte, so daß in einzelnen Fällen die zentrale Kanalisation und die Nutzung von Wasser als Transportmedium für Fäkalien in Frage gestellt und dezentrale Konzepte, z.B. community-on-site-treatment für Abwasser, ggf. kombiniert mit der Abfallentsorgung, diskutiert werden. Vorteile anaerober Verfahren gegenüber aeroben sind bei konzentrierten Substraten grundsätzlich ausgeprägter.

Eine bergige Topographie erschwert die Implementierung von oft preiswerteren Teichanlagen und begünstigt den Einsatz von platzsparenden Technologien, zu denen auch die anaeroben Verfahren zählen. Ähnliches gilt für felsigen Untergrund und hohe Grundwasserspiegel, wodurch die Implementierung von Teichsystemen erschwert oder gar ausgeschlossen wird.

3.4.2 Landverfügbarkeit, Urbanisierung

Vor allem in Lateinamerika ist in ländlichen Gebieten die durchschnittliche Landverfügbarkeit noch verhältnismäßig hoch und die Grundstückspreise sind niedrig. Begünstigt wird dadurch die Implementierung von Systemen, die einen höheren Landbedarf und einen geringeren Technisierungsgrad aufweisen. Dies gilt jedoch nicht für urbane Gebiete, denn infolge des starken Verstädterungsprozesses seit den 70er Jahren beträgt der Verstädterungsgrad in Lateinamerika bereits ca. 70%.

Im asiatischen Raum ist selbst im ländlichen Raum bereits eine Landverknappung zu beobachten (z.B. in bevölkerungsreichen Bundesstaaten Indiens). Je knapper das Land, desto eher wird die Anaerobtechnologie eingesetzt.

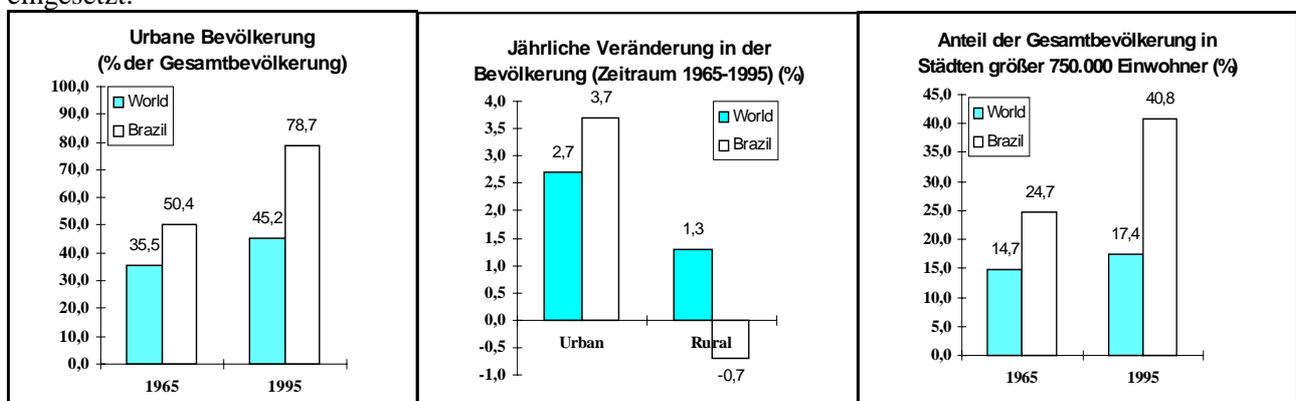


Abbildung 20: Urbanisierungstrend in Brasilien und der Welt; Quelle: Länderbericht Brasilien, 1996

Landflucht und Urbanisierungstrend führen dazu, daß in den wachsenden urbanen Zentren die Umweltprobleme steigen. Landknappheit und hohe Grundstückspreise erfordern flächensparende Behandlungssysteme. Dieser globale Trend wird besonders deutlich am Beispiel Brasiliens, wo bereits ein Verstärterungsgrad von annähernd 80% erreicht ist. 40% der Gesamtbevölkerung leben in Städten mit mehr als 750.000 Einwohnern (siehe Abbildung 20). Obwohl die durchschnittliche Urbanisierung in den untersuchten asiatischen Ländern nur bei ca. 30% liegt, steigt auch hier die Problematik urbaner Zentren in Bezug auf Umweltbelastung und Landknappheit.

Eine Analyse der im Rahmen des Vorhabens zusammengetragenen Informationen zeigt, daß der geringe Platzbedarf anaerober Systeme sich zunehmend als ein wesentliches Entscheidungskriterium für den Einsatz dieser Technologie herauskristallisiert. Das gilt insbesondere dann, wenn keine Nachbehandlung gefordert ist. In Einzelfällen, so in Kolumbien, werden allerdings für anaerobe Behandlungsanlagen wegen der befürchteten Geruchsbelästigung große Abstände zu besiedelten Flächen verlangt, was die Vorteile der platzsparenden Bauweise relativiert.

Sofern die örtlichen Verhältnisse (gesetzliche Vorgaben, Belastung des Vorfluters etc.) eine Nachbehandlung erfordern, lassen sich auch dafür platzsparende Lösungen finden (z. B. durch Einsatz von Tropfkörpern, durch räumliche Trennung der dezentralen anaeroben Vorbehandlung von einer zentralen aeroben Nachbehandlung), die den besonderen Gegebenheiten urbaner Zentren gerecht werden.

3.4.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Aufgrund der Kosten, die jede Form von Abwasser- und Abfallbehandlung verursacht, sind ein hohes Maß an Problemdruck und öffentlichem Bewußtsein Voraussetzung, um die für eine adäquate Behandlung erforderliche Gesetzgebung zu etablieren und durchzusetzen. Ohne einen geeigneten gesetzlichen Rahmen, der auch regelt, wer die Kosten für die Abwasser- und Abfallbehandlung zu tragen hat, kommen Behandlungstechnologien jedweder Art in größerem Maße nicht zum Einsatz. Die Erwartung, daß der Verkauf von Energie- und Kompost als vermarktbar Endprodukte der Behandlung von Abwasser und Abfall allein für die Finanzierung des Anlagenbetriebs ausreichen können, ist bei gegenwärtigen Energie- und Rohstoffpreisen unrealistisch.

Wasserrechtliche Regelungen bildeten in vielen IL und auch in einer Reihe von EL den Ausgangspunkt für die Entwicklung des Umweltrechts. Dabei konnten Regeln zum Schutz der Wasserressourcen häufig im Rückgriff auf die traditionelle Rechtsvorstellungen entwickelt werden, die dem Wasser fast überall einen hohen Stellenwert und einen durch gesellschaftliche Sanktionen garantierten Schutz eingeräumt haben. Inzwischen ist das Wasserrecht zumeist aufgegangen im Umweltrecht, das Schutzziele und die Anforderungen an Behandlungs- bzw. Entsorgungsanlagen für Abwasser und Abfälle definiert. Konkrete und realistische rechtliche Vorgaben für die organisatorische und technische Lösung der Abwasserprobleme bilden das zentrale Element bei der Einführung und Durchsetzung von Abwasserbehandlungsanlagen, wenn die für die Umsetzung verantwortliche Verwaltung auch in der Lage ist, die Rechtsgrundsätze durchzusetzen. Dafür gibt es eine Reihe von Beispielen. So hat sich bspw. in Mexiko die Zahl der (anaeroben) Abwasserbehandlungsanlagen nach Verabschiedung des neuen nationalen Wasserrechts mit entsprechenden Vorgaben innerhalb von zwei Jahren von 4 auf 19 erhöht.

Die Regelungen bevorzugen direkt keine spezielle Technologie, auch wenn sich implizit über die festgelegten Grenzwerte die Technologieauswahl steuern läßt.

Behandlungskosten steigen überproportional zum Reinigungsgrad. Die Anlehnung der Gesetzgebung in EL an in IL übliche Standards ist kein geeigneter Anreiz, sondern verursacht unnötig hohe Behandlungskosten und verhindert eine breitere Implementierung von Reinigungsanlagen, erzielt demnach eine nachteilige Wirkung auf Gesundheit und Umwelt. Die Implementierung relativ kostengünstiger anaerober Verfahren wird

dadurch behindert, speziell wenn keine Nachreinigung vorgesehen ist. Eine zu strikte Abwassergesetzgebung wirkt, wenn sie der Realität des Landes zu weit vorseilt, hinderlich auf die Implementierung neuer Reinigungsanlagen.

Für die Implementierung von Abwasserreinigungsverfahren wirkt bspw. eine sehr starre bzw. strikte Normensetzung hinsichtlich der Ablaufgrenzwerte (z. B. CSB < 50 mg/ℓ) erschwerend. Ohne Nachbehandlung können UASB-Verfahren CSB-Ablaufgrenzwerte < 50 mg/ℓ i.d.R. nicht erreichen.⁸⁷ Teichverfahren können bei weniger strengen Grenzwerten in der Fläche wesentlich kleiner ausfallen, der Energiebedarf zur Belüftung von Belebtschlammverfahren kann gesenkt werden.

Bei Entwicklung der Normen ist auf eine standortgerechte Optimierung der Anforderungen zu achten. Dabei geht es in den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern - zumindest unter den heute gegebenen Verhältnissen - vorrangig um die rasche und kostengünstige Behandlung möglichst großer Schmutzfrachten, weniger um eine Minimierung der Ablaufkonzentrationen einzelner Anlagen.

Ein Vorteil der Anaerobtechnologie ist, daß (im Falle einer Gasnutzung) zur Maximierung der Energieproduktion ein Eigeninteresse an einem maximalen Abbau der organischen Substanz entsteht. Über die Gasproduktion läßt sich der tatsächliche Abbau zudem relativ gut überwachen.

In den meisten analysierten Ländern existieren keine verbindlichen Regeln für den Verkauf von in Anaerobanlagen entstehender Überschußenergie, oder es bestehen hinsichtlich der Energieversorgung Monopole. Der Verzicht auf die Nutzung des Biogases führt zu einer schlechteren Wirtschaftlichkeit und Klimawirkung der Anlagen (siehe auch Kapitel 3.4.4 und 3.4.5). Gleichzeitig können geeignete Gesetze, Auflagen zur Nutzung und Verordnungen zur Stromeinspeisung zu einem deutlichen Wachstum des Marktes führen (bspw. in Indien).

Der gesetzlich-organisatorische Aufbau des Abwasser- und Abfallsektors der Länder variiert erheblich. Fast immer sind nationale und regionale Gesetzgebungen etabliert, in Einzelfällen (Jamaika, Ecuador) jedoch ohne ausreichende Durchführungsregeln. In Brasilien, Indien und anderen föderal strukturierten Ländern wurden von einzelnen Bundesländern schärfere Regelungen festgelegt und schließlich in der nationalen Gesetzgebung verankert. In anderen Staaten (Kolumbien, Jamaika, Thailand) sind mehrere Institutionen und Ministerien mit der Umsetzung der relevanten Gesetzgebung betraut, u.a. Gesundheits-, Umwelt-, Industrie- und Technologieministerien, Stadtentwicklungsministerien oder spezielle für die Wasserversorgung geschaffene Durchführungs- oder Aufsichtsbehörden. Als Beispiel für eine solche Wasserbehörde sei CNA, Mexiko, genannt, die auch spezifische Grenzwerte für einzelne Gewässer festlegen darf. Daraus resultierende Kompetenzstreitigkeiten und -überschneidungen mit Ministerien führen zu entsprechend widersprüchlichen Regelwerken und Kontrollverantwortungen. Dies wiederum erschwert die Koordination, Kontrolle und die Durchsetzung von Regelungen und Sanktionen.

Insbesondere die Überwachung der Einhaltung der Normen leidet unter erheblichen institutionellen und personellen Defiziten. Kontrollbehörden sind i.d.R. nicht ausreichend ausgestattet, ihre Kompetenzen nicht klar abgegrenzt, und oft stehen ihre Mitarbeiter im Verdacht, „käuflich“, zu sein. Aufgrund der prekären Situation einzelner Industriebetriebe und ganzer Branchen gestaltet sich die Umsetzung der Gesetze bei der Neuan siedlung von Industrien am leichtesten. Hier kann bei der Genehmigung auf eine sachgerechte Behandlung von Abwasser und Abfall bestanden werden. Limitierend wirkt die Konkurrenz zwischen den EL um Investoren, förderlich sind hingegen internationale Maßgaben für den Export von Produkten, insbesondere Umweltzertifizierungen nach ISO 14000, die ein Mindestmaß an Abwasserbehandlung erforderlich macht.

Die Selbstkontrolle der Kommunen, bzw. des Staates, oder lediglich freiwillige Vereinbarungen mit den Verursachern von Abwasser und Abfall zur Behandlung ihrer Abwässer und Abfälle funktioniert i.d.R. schlecht. Auch hierzu fehlen unabhängige Kontrollinstanzen.

⁸⁷ In Indien liegt der Ablaufgrenzwert für CSB bei 250 mg/ℓ. Auch daher ist der Einsatz von Anaerobverfahren hier weit verbreitet.

Eine systematische und umfassende Analyse der ökonomischen und ökologischen Vor- und Nachteile von Verfahrensalternativen (inkl. öffentliche Expertenanhörung), wie sie im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) im Grundsatz gefordert wird, erfolgt noch selten. In Brasilien wird sie seit Beginn der neunziger Jahren umfassend praktiziert, jedoch bspw. in Cali/Kolumbien zum erstenmal in 1997. Das europäische Umweltrecht (Europäische Gemeinschaft, 1985) verlangt für Kläranlagen, Schlammagerplätze und Anlagen, die der Beseitigung von industriellem und häuslichem Müll dienen, die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Ähnliche Regelungen werden mehr und mehr zumindest im Umweltrecht von Schwellenländern (Kolumbien, Indien) verankert, häufig ergänzt durch Festlegung von Anlagengrößen, ab denen die Umweltverträglichkeitsprüfung obligatorisch wird. Für die Beurteilung der Umweltauswirkungen von Abwasserreinigungsanlagen und Abfallbehandlungsanlagen liegen Leitfäden vor (in Deutschland z. B.: ATV - Arbeitsgruppe 2. 11. 3, 1997; HdUVP, 1988 ff.).

Eine für die anaerobe Abfallbehandlung förderliche Gesetzgebung in Anlehnung an das Kreislaufwirtschaftsgesetz, die eine stoffliche oder energetische Verwertung von Abfällen vorschreibt, wird nach aktuellem Kenntnisstand bisher nur in Indien ernsthaft diskutiert.

3.4.4 Energetische Aspekte

Die Energiekosten stellen einen bedeutenden Anteil an den Behandlungskosten von aeroben Verfahren, und auch bei anaeroben Anlagen fallen Energiekosten an, wenngleich diese i.d.R. wesentlich geringer sind. Durch die Methanproduktion bieten anaerobe Systeme die Möglichkeit, den eigenen Energiebedarf zu decken und außerdem einen Energieüberschuß zu produzieren. Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Studien zeigen jedoch, daß in vielen EL das in anaeroben Behandlungsstufen (inkl. Schlammfäulung) anfallende Gas nicht effizient genutzt wird. Dafür lassen sich eine Reihe von Gründen nennen:

- Die Biogasnutzung wird in der Planung nicht vorgesehen, weil ihre Vorteile sowie Techniken und Geräte unbekannt oder nicht verfügbar sind. Hinzu kommt, daß öffentliche Betreiber oft kein großes Interesse an einer wirtschaftlichen Optimierung haben.
- Niedrige, subventionierte Energiepreise, wie sie in EL oft üblich sind, bieten keinen ökonomischen Anreiz zur Nutzung regenerativer Energiequellen.
- Die Stromeinspeisung in öffentliche Netze wird in vielen Fällen durch administrative Hemmnisse behindert oder verhindert.
- Bei schwach belasteten Abwässern entsteht relativ wenig Gas, so daß die Installation von Gasnutzungsgeräten unwirtschaftlich sein kann.
- Da bei industriellen Anlagen das entstehende Biogas, obwohl ökonomisch lukrativ, häufig nicht genutzt wird, kann davon ausgegangen werden, daß bezüglich der Gasnutzung im Gegensatz zur reinen Abwasserreinigung kein ausreichender Technologietransfer stattgefunden hat. Dies betrifft sowohl die überbetriebliche (z.B. gesetzliche Rahmenbedingungen) als auch die betriebliche Ebene (z.B. Investitionsentscheidung, Management der Anlagen).

Die Klimawirksamkeit von unkontrollierten Methanemissionen wurde bereits in Kapitel 2.2.4 erläutert. Die angesprochenen Wirkungen spielen jedoch eine wachsende Rolle in der Diskussion in den einzelnen Ländern, seit die Klimadiskussionen durch UN-Klimakonferenzen und Klimakatastrophen international erstgenommen wird. Es wird auch von den Ergebnissen der Verhandlungen abhängen, wie schnell diese Aspekte an Bedeutung gewinnen.

Tabelle 38 gibt einen Überblick über den aktuellen Sachstand zur Biogasnutzung:

Tabelle 38: Aktueller Sachstand der Biogasnutzung bei anaeroben Verfahren

	Kommunale Abwässer		Industrielle Abwässer	Abfälle/Schlämme
	dezentral	zentral	große und kleine Industrien	kommunale + industrielle
Nutzung in IL	keine Nutzung ⁸⁸	keine Nutzung ⁸⁸	häufige Nutzung	Nutzung
Gründe	geringe Gasmengen, wenig Gasnutzungsgeräte, gute Verfügbarkeit kostengünstiger alternativer Energiequellen	Anaerobtechnologie wird aufgrund der niedrigen Temperatur noch nicht eingesetzt	Emissionsschutzgesetze, Kostenersparnis, hoher Eigenbedarf	Kostenersparnis bzw. Gewinnmaximierung
Nutzung in EL	teilweise Nutzung	häufig keine Nutzung evtl. Abfackelung	teilweise Nutzung evtl. Abfackelung	bisher kaum Nutzung
Gründe	schlechte Verfügbarkeit von Nutzungsgeräten Nutzungsmöglichkeiten wenig bekannt, Kosten der Verstromung	Nutzungsmöglichkeiten wenig bekannt, geringe Energiepreise; mangelndes technisches Know-how, geringer Eigenbedarf, Stromeinspeisung nicht geregelt, kaum Umweltschutzauflagen	Nutzungsmöglichkeiten wenig bekannt, geringe Energiepreise; bedingtes technisches Know-how, Stromeinspeisung nicht geregelt, hoher Eigenbedarf, Kostenersparnis	wenig bekannt, kaum Umweltschutzauflagen

3.4.5 Klimaaspekte

Die unkontrollierte Entsorgung von Abwässern und Abfällen, aber auch der Betrieb von Anlagen zu ihrer Reinigung verursachen weltweit erhebliche Mengen an Treibhausgasen. Trotzdem spielten Klimaaspekte bei der bisherigen Diskussion um die Abwasser- und Abfallbehandlung kaum eine Rolle. Bei der Bewertung der Anaerobtechnologie sollten aber gerade auch ihre Vorteile hinsichtlich des Ressourcen- und Klimaschutzes berücksichtigt werden.

Vorhaben zur anaeroben Behandlung von kommunalem und industriellem Abwasser sowie von Abfall bieten sich aufgrund ihrer hohen Wirkungen auf die Treibhausgasproblematik als Vorhaben im Rahmen von Joint Implementation Vereinbarungen an.

Allerdings können anaerobe Verfahren auch zu kontraproduktiven Ergebnissen, d.h. erhöhten Emissionen führen, wenn das entstehende Biogas nicht genutzt und unkontrolliert in die Atmosphäre abgelassen wird. Eine Verbreitung der Anaerobtechnologie sollte daher mit entsprechenden rechtlichen Regelungen oder internationalen Vereinbarungen einhergehen, die eine Nutzung des Biogases vorschreiben, zumindest jedoch eine Verbrennung des Gases erforderlich machen.

3.4.6 Finanzierungsaspekte

Die untersuchten Länder unterscheiden sich sehr hinsichtlich ihrer Erfahrungen mit anaeroben Behandlungsstufen. Die Mehrzahl der Anlagen wird im Rahmen der staatlichen oder kommunalen Entsorgungspflicht mit öffentlichen Mitteln errichtet. Auch im Zusammenhang mit der Anaerobtechnologie werden jedoch zunehmend private Organisationsformen erwogen.

⁸⁸ Die anaerobe Schlammfäulung "aerober Verfahren" wird bspw. in Deutschland in der Mehrzahl der Anlagen eingesetzt. Der Gasnutzungsgrad durch BHKW's liegt über 50 % auf die Anlagenzahl bezogen und deutlich darüber bei volumenbezogener Betrachtung. Vorwiegend größere Klärwerke verstromen das Gas.

Die Finanzierungsmöglichkeiten von Maßnahmen von privater Seite hängen insbesondere von der positiven Beurteilung des Erfahrungshorizontes innerhalb des Sektors, der institutionellen Kompetenz staatlicher Strukturen, der rechtlichen und politischen Transparenz innerhalb der Gesellschaft und der Sicherheit der Übertragung von Verfügungsrechten ab. Letzteres betrifft die eigentliche materielle Privatisierung von Investitionsvorhaben von Behandlungsanlagen. Hierbei können für die Entlastung der öffentlichen Haushalte bei Neuinvestitionen sogenannte Betreibermodelle eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Zur Überwindung von Finanzierungsengpässen werden hierbei traditionell dem öffentlichen Sektor zugerechnete Investitionsvorhaben durch Private bzw. eine Betreibergesellschaft geplant, finanziert, erbaut und betrieben. Dabei lassen sich die einzelnen Modelle nach dem Grad und der Dauer der Eigentumsübertragung an eine private Betriebsgesellschaft unterscheiden. Während ein BOT-Modell (Build-Operate-Transfer) eine Konzession (zeitlich befristete Leasingvereinbarung mit Investitionsverantwortung) umschließt, beinhalten BOO-Modelle (Build-Operate-Own) eine volle Eigentumsübertragung an eine Betreibergesellschaft. Um Wettbewerb nicht auszuschließen und keine künstlichen Monopole zu schaffen bieten sich auch Mischformen an, die nach einer festgelegten Vertragsdauer das Investitionsvorhaben an den öffentlichen Sektor übertragen, um anschließend eine erneute Bewerbung von Betreibern zulassen. Ferner können Modelle so strukturiert werden, daß nach Überlassung an den öffentlichen Sektor bspw. Instandhaltungsmaßnahmen weiterhin in privater Regie erfolgen (Build-Operate-Transfer-Maintenance).

Alle vorgestellten Optionen der Betreibermodelle sind von Fall zu Fall unterschiedlich strukturiert. Während normalerweise annähernd ein Drittel des Investitionsvolumens aus Eigenkapital bestritten wird, wird der Rest aus Fremdkapital und Finanzierungshilfen gedeckt. Ein wesentliches Kriterium für den Anlagenanbieter ist hierbei zunächst die Erzielung einer größtmöglichen Rentabilität und einer positiven Cash-Flow-Entwicklung, da eine Kredittilgung aus den erwirtschafteten Erträgen erfolgt. Neben der Einschätzung der Rahmendaten wie erzielbare Behandlungsentgelte, Kompost- und Energieerlöse sowie das zukünftige Abfallaufkommen inklusive der Zusammensetzung der Fraktionen (Abfallbehandlung), bzw. der entsprechenden Rahmendaten bei der Abwasserbehandlung sind Informationen über öffentliche Finanzhilfen von zentraler Bedeutung. Die Anaerobtechnologie wird als relativ attraktiv für überwiegend private Betreibermodelle gesehen, weil insbesondere Betriebskosten niedriger und erwartete Rückflüsse höher ausfallen, als bei Verfahren, die ausschließlich Erträge durch zugesagte Behandlungsentgelte erzielen.

In allen analysierten Ländern besteht die Möglichkeit, Finanzhilfen für die Implementierung von kommunalen, teilweise auch industriellen Kläranlagen und für Maßnahmen im Abfallsektor zu beziehen. Werden auch volkswirtschaftliche Kosten bei Finanzierungsentscheidungen zugunsten Behandlungsverfahren berücksichtigt, erreichen Finanzierungspakete für private Betreiber zusätzliche Attraktivität. Nach da Motta (MAY UND DA MOTTA, 1996) lassen sich für Brasiliens Städte aufgrund der Verschmutzung häuslicher Abwässer zusätzliche durchschnittliche Gesundheitskosten pro Kopf in Höhe von ca. 3 US\$ errechnen. Auch eine Anrechnung von Klimawirkungen (von der Weltbank werden 10 US\$/t CO₂-Äquivalent als unterster Wert der klimabedingten Folgeschäden errechnet) auf Grundlage der in Kyoto diskutierten Modelle (emission trading, joint implementation) kann die Wirtschaftlichkeit und Konkurrenzfähigkeit anaerober Systeme deutlich verbessern. Diese Beträge könnten ohne weiteres als Grundlage für eine Finanzierungshilfe dienen, so daß eine entsprechende Reduktion der Finanzierungskosten von privater Seite erfolgen könnte. Neben nationalen Finanzierungshilfen wurden und werden Anaerob-Bauvorhaben in den amerikanischen Ländern häufig von multilateralen Gebern (*IDB, Weltbank*) und ausländischen Regierungen (co-) finanziert. Die Gelder der multilateralen Geberorganisationen werden meist von nationalen Finanzierungsinstitutionen verwaltet. Von den Partnern wird insbesondere bemängelt, daß es bei diesen Finanzierungshilfen an Transparenz fehlt und das Stellen von Anträgen erfahrungsgemäß mit einem enormen bürokratischen Aufwand verbunden ist.

Nach bisherigen Projekterkenntnissen werden von den Kommunen in allen Beispielen keine oder nur unzureichende Gebühren zur Abwasser- und Abfallbehandlung erhoben, so daß direkte Einnahmen zur Deckung der laufenden Kosten den Betreibern nicht zur Verfügung stehen. Die Finanzierung der Betriebskosten stellt

zumeist ein viel größeres Problem dar als die fremdfinanzierte Anfangsinvestition. Öffentliche und private Entsorgungseinrichtungen können ohne die Erhebung von Gebühren nicht nachhaltig betrieben werden.

Daher ist mit Projekten zum Aufbau und zur Verbesserung der Abwasser- und Abfallentsorgung immer auch eine Komponente zur Entwicklung der institutionellen Voraussetzung für die Erhebung und Verwaltung von Gebühren zu verknüpfen.

Negativ auf Investitionen in Lateinamerika, speziell aus dem privaten Bereich, wirkten lange Zeit die hohen Zinskosten, sowie die inzwischen eingedämmte Instabilität der Währungen. Diese Probleme sind nun eher in Asien anzutreffen.

3.4.7 Konzepte zur Förderung der Anaerobtechnologie

Wie bei anderen Technologien regeln vor allem Angebot und Nachfrage den Markt für Anaerobanlagen. Im Abwasser- und Abfallsektor spielen jedoch - in EL noch mehr als in IL - die staatliche Finanzierung und Einflußnahme sowie die etablierten Technologielobbyisten eine maßgebliche Rolle auch bei der Technologiewahl und -implementierung. Richtungsentscheidungen werden häufig im Rahmen von Machbarkeitsstudien von internationalen Finanzierungsinstituten und der technischen Zusammenarbeit getroffen. Dabei können anaerobe Anlagensysteme auf weniger Referenz- und Erfolgsdaten zurückblicken, was auch die Finanzierungsbereitschaft nationaler Banken und internationaler Institutionen bremst. Die mangelnde Erfahrung setzt sich in diesen Institutionen fort.

Unterstützung bei der Markteinführung, institutionelle Einbindung, Ausbildung und auch gesetzliche Maßnahmen sind daher bisher Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung der Technologie - zumindest im kommunalen Bereich - gewesen.⁸⁹ Der Einsatz der Anaerobtechnologie zur Abwasser- und Abfallbehandlung wird jedoch nur in wenigen Ländern aktiv und konzeptionell gefördert.⁹⁰ Im Rahmen des Vorhabens identifizierte EL, die eigene Mittel in diesen Sektor investieren, sind insbesondere die Flächenstaaten Indien, China, Thailand und Brasilien.

Im Staate Paraná in Brasilien werden von der staatlichen Abwasserbehörde SANEPAR anaerobe Abwasserreinigungssysteme aus ökologischen und ökonomischen Gründen bevorzugt eingesetzt. Der RALF-Reaktor (ein modifizierter wartungsarmer UASB-Reaktor) wurde hier entwickelt bzw. an die örtlichen Gegebenheiten angepaßt. Über 300 solcher Anlagen sind bereits installiert, zunehmend auch größere Anlagen (über 500.000 EG) mit Nachbehandlung.⁹¹

Ähnliches gilt für Indien. Im Rahmen des Ganga-Action-Plans werden in Zusammenarbeit mit der holländischen Regierung entlang des Ganges eine Reihe großer Anaerobanlagen gebaut. Die Gesetzgebung fördert gezielt die Energieproduktion und Stromeinspeisung aus Abfall und Abwasser.⁹²

Auch in Thailand wurde der Einsatz der Anaerobtechnologie zur Reinigung von Destillierabwässern aktiv von der Regierung im Rahmen eines TZ-Programmes gefördert. Die Anwendung der Anaerobtechnologie für andere Industrien verlief weitgehend ohne staatliche Unterstützung.⁹³

Eine systematische Förderung der anaeroben Abwasser- und Abfallbehandlung im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit der IL existiert in Holland, Dänemark, Finnland und mit Einschränkung in Canada

⁸⁹ Siehe Berichte zu den Anaerobseminaren in Belo Horizonte, Bucaramanga und Ho-Chi-Minh-Stadt.

⁹⁰ Siehe auch die entsprechenden Institutionenstudien Kolumbien, Bolivien, Ecuador.

⁹¹ Siehe Länderbericht Brasilien des Sektorvorhabens, 1996

⁹² Siehe Länderbericht Indien des Sektorvorhabens, 1997

⁹³ Siehe Länderbericht Thailand des Sektorvorhabens, 1997

und Deutschland. Supranationale Förderung erfährt die Anaerobtechnologie vor allem durch IDB (Lateinamerika-Netzwerk), UNDP/Weltbank (Indien), und die EU (Einzelprogramme).

Indirekt wird die Anaerobtechnologie meist durch eine monetäre Bewertung von Umweltkosten, -wirkungen und -folgekosten aufgewertet und ist auch dadurch vom umweltpolitischen und -gesetzgeberischen Rahmen und dem Niveau des Umweltbewußtseins in der Bevölkerung abhängig.

Direkte Fördermittel können von multinationalen, überregionalen und nationalen Gebern aus Industrie- (Entwicklungszusammenarbeit) und EL, und dort jeweils aus dem privaten wie aus dem öffentlichen Sektor stammen.

Folgende Formen der Förderung können von einzelnen nationalen Regierungen, aber auch im Rahmen der TZ und FZ angewandt werden:

- Verlorene Zuschüsse
- Zinssubventionen (Förderkredite)
- Besicherungshilfen (Hermes)
- Bereitstellung von Land
- Betriebsmittelhilfen
- Ausbildung
- Technische Beratung
- Gesetze, Kontrollen und Vorschriften

Mit öffentlichen Mitteln finanzierte Unterstützungsmaßnahmen sind zumeist in folgende Sektorprogramme eingebunden:

- Infrastrukturprogramme
- Klimaprogramme
- Exportförderungsprogramme
- Bewässerungs- und Agrarprogramme
- Forschungsprogramme
- Netzwerkförderung
- Umweltprogramme
- Energieprogramme
- lokale Entwicklungsprogramme
- Regionalentwicklungsprogramme
- Bildungs- und Universitätsprogramme
- Stadtentwicklungsprogramme
- Industrielle Umweltmanagementprogramme

In den meisten Ländern und internationalen Organisationen wird der mögliche Beitrag anaerober Verfahren zur Ent- und Versorgung sowie zur Minderung von Wirtschafts-, Umwelt- und Klimaproblemen bisher nicht ausreichend berücksichtigt.

3.4.8 Soziale Aspekte und wissenschaftlich-technische Kompetenz

Das Umweltbewußtsein nimmt in allen (16) Partnerländern zu. Umweltverschmutzung und hygienische Bedingungen haben sich z.T. so dramatisch verschärft, daß ein Umdenken stattfindet und Umweltaspekte und deren Zusammenhänge zusehends ins Bewußtsein treten. Unzufriedenheit bei den Bürgern setzt Regierungen und Industrien (Thailand, Indien) unter Handlungszwang; z.T. spielen Umsatzeinbußen in der Tourismusbranche (Jamaika und andere karibische Inselrepubliken, Nepal, Tunesien) und auch die großen, durch wirtschaftliche Aktivitäten verursachten Katastrophen und Klimaprobleme (Indonesien, China, Brasilien, Kuba, etc.) eine Rolle. Als Folge dieser Entwicklung wird nach Wegen zur Überwindung der Umweltkrise gesucht. Die Anaerobtechnologie bekommt als bescheidener, möglicher Lösungsbeitrag dabei wachsende Bedeutung.

Punktuell bestehen jedoch teils berechnigte, teils unberechnigte Vorbehalte gegenüber dem Einsatz der Anaerobtechnologie. Sie stellt bspw. in der kommunalen Abwasserreinigung und Abfallbehandlung eine relativ neue Technologie dar, wohingegen aerobe Verfahren schon seit längerem angewandt werden. Wirtschaftliche Interessen und das Durchsetzungsvermögen der jeweiligen Anlagenbauer begünstigen aerobe Systeme. Viele Sanitäringenieure - gegenwärtige Entscheidungsträger in Ministerien und Ämtern - haben eine Ausbildung an Universitäten in IL absolviert, die kaum auf die besonderen Anforderungen der Abwasserreinigung in EL eingehen. Prioritär wird die traditionell in IL am weitesten verbreitete aerobe Abwasserreinigung als Standard gelehrt. Zurückhaltung gegenüber anaeroben Verfahren ist deshalb häufig auch durch persönliche Einstellungen bzw. geringe Kenntnisse über Verfahrensweise und Vor- und Nachteile dieser Technologie begründet.

Auch Fehlschläge in der Vergangenheit führten in einigen Ländern zu einer gebremsten Anwendung der Anaerobtechnologie. Ein Grund: besonders in Brasilien und Mexiko kamen anaerobe Verfahren regelrecht in Mode, so daß sich viele Unternehmen ohne genaue Kenntnisse dieser Technologie in Planung und Bau von Anaerobanlagen versucht haben.

Religiöse Vorbehalte oder Verhaltensweisen bestimmter Kulturen und Ethnien konnten durch die erstellten Studien nicht als wesentlicher Hemmfaktor identifiziert werden. Andererseits spielen die Jahrhunderte alte Tradition der Organikverwertung Asiens (insbesondere Indien und China) und die überlieferten Erfahrungen im Wassermanagement (v.a. in China) eine förderliche Rolle.

Brasilien, Mexiko, Kolumbien, Indien und China verfügen grundsätzlich über umfangreiches nationales Know-how in Planung und Betrieb von anaeroben Abwasserbehandlungsanlagen. Dies trifft auch für die institutionelle Ebene in diesen Ländern zu, wo gewisse Erfahrungen sowohl über industrielle als auch kommunale Abwässer vorhanden sind. Dazu zählen neben Universitäten nationale Bauunternehmen und Planungsbüros, aber auch staatliche Kontroll- und bauausführende Instanzen. In den anderen Ländern ist der Wissensstand unzureichend, um zügig eine große Zahl erforderlicher Anwendungen erwarten zu können.⁹⁴

Im Abfallsektor befinden sich die ersten Anlagen z. Z. in Bau, zumeist von Unternehmen aus IL projiziert.

Das Know-how ist, obwohl es stetig wächst, in Industrie- und Entwicklungsländern punktuell konzentriert, bzw. nur bei einem kleinen Kreis von Eingeweihten und Interessierten vorhanden. Das Wissen um die Einsatzmöglichkeiten der Anaerobtechnologie zur Behandlung von kommunalen Abwässern und Abfällen ist noch weit davon entfernt, "Allgemeinwissen" zu sein, wie dies für Belebtschlamm- und Teichverfahren und auch Deponien eher der Fall ist. Eine breitere und qualitativ hochwertigere Anwendung bedarf einer Integration in die Lehrpläne der Hochschulen und Informationskanäle der Entscheidungsträger, um eine wesentliche Benachteiligung gegenüber konkurrierenden und komplementären Technologien auszugleichen.

Für kommunale Abwässer besteht im Gegensatz zu industriellen bei anaeroben Verfahren kein Know-how- und Erfahrungsvorsprung der IL gegenüber EL, denn erstere können in gemäßigten Klimazonen aufgrund der speziellen Temperaturanforderungen für Kommunalabwässer nicht eingesetzt werden. Inzwischen gewonnene Erfahrungen sind ein Produkt gemeinsamer Anstrengungen zur Weiterentwicklung und Implementierung dieser Technologie. Führend in der Entwicklung und internationalen Vermarktung sind in diesem Bereich die Niederlande, die die erste Initiative zum Einsatz der UASB-Technologie in tropischen Klimazonen ergriffen hat.

Bemerkenswert ist, daß in den EL die Privatwirtschaft dabei nur langsam eine wachsende Rolle spielt. Entwicklung, Planung und Bau lagen zunächst vielmehr in der Hand von Hochschulen und staatlichen Institutionen. Ein Süd-Süd-Austausch findet nur bedingt statt. Zunehmend werden dabei anaerobe Technologien von weiteren IL als interessantes Betätigungsfeld entdeckt: deutsche, kanadische, japanische und US-amerikanische Unternehmen drängen auf den Markt.

⁹⁴ Siehe auch die entsprechenden Institutionenstudien Kolumbien, Bolivien, Ecuador.

3.4.9 Institutionelle Rahmenbedingungen und Netzwerke

Größtes Hindernis für die Anwendung anaerober Verfahren ist die mangelnde Information über die Technologie. Dies gilt für alle privaten und öffentlichen Institutionen von Ausbildungsinstitutionen und Ingenieurbüros über lokale politische Instanzen bis hin zu internationalen Finanzinstitutionen. Für die Akzeptanz adäquater Behandlungsverfahren spielt oft auch die Aufgabenverteilung zwischen privaten und öffentlichen Trägern im Abwasser- und Abfallsektor eine Rolle. Eine direkte Korrelation zwischen spezifisch organisatorischen Merkmalen und der Technologiewahl ist jedoch nicht erkennbar.

Ausbildungsinstitutionen

An den Universitäten Brasiliens, Kolumbiens und Mexikos ist die Anaerobtechnologie bereits Teil des Lehrangebots. Die Universitäten sind in diesen Ländern ein Kristallisationspunkt und Multiplikator für das entsprechende Know-how und dessen Verbreitung. Nationale Universitätspartnerschaften (Brasilien) oder Kooperationen mit europäischen Universitäten helfen dabei. In anderen Ländern wie Bolivien, Ecuador, Jamaika, Vietnam und Thailand gibt es kaum Ausbildungsinstitutionen, die die Anaerobtechnologie berücksichtigen.

Öffentliche Implementierungsinstitutionen

Auch öffentliche Implementierungsinstitutionen, wie Stadtverwaltungen und Abwasserbehörden, sind i.d.R. nur wenig über die Möglichkeiten des Einsatzes der Anaerobtechnologie im kommunalen Abwasserbereich informiert. Ausnahmen finden sich bei SANEPAR und CETESB, beide Brasilien, und EMCALI und CDMB in Kolumbien, die sich aktiv mit der Implementierung anaerober Verfahren im Kommunalbereich beschäftigen. Für eine adäquate Nutzung der Technologie ist es entscheidend, daß regionale und lokale öffentliche Entscheidungsträger mehr als bisher über die Nutzungsmöglichkeiten der Technologie informiert werden.

Von Bedeutung für eine erfolgreiche Implementierung ist auch die Aufgaben- und Kompetenzenverteilung wichtiger Institutionen im kommunalen Bereich. Während in Brasilien versucht wird, kommunale Implementierungsaufgaben im Abwasser- und Abfallsektor zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung an die Privatwirtschaft abzugeben, um die öffentliche Hand zu entlasten und auf ihre Kontroll- und Steuerungsaufgaben zu beschränken, liegt die Verantwortung für die aktuelle Abwasser- und Abfallentsorgung in den meisten Ländern noch vorwiegend bei nationalen und zunehmend kommunalen Verwaltungen.

In Tarija/Bolivien sperren sich bspw. die kommunalen Abfallentsorgungsunternehmen gegen die Übernahme von Entsorgungsaufgaben durch private Unternehmen. In der Valle-Region in Kolumbien haben Mitarbeiter der regionalen Umweltbehörde in der Vergangenheit im Detail vorgegeben, welche Verfahren zu benutzen und welche Planungs- und Bauunternehmen zu beauftragen waren. Eine durch Konkurrenz und den Privatsektor flexibilisierte Technologieauswahl und -optimierung über den Markt wird so erheblich erschwert, wenn nicht gar unmöglich gemacht.

Auf der anderen Seite werden in einigen Ländern ganze Provinzen (Malaysia) privaten Konglomeraten für die Entsorgungsplanung und -durchführung auf lange Zeiträume überlassen, bzw. dies als Option diskutiert (Ecuador), ohne für die kommunalen Behörden einen adäquaten Kontroll- und Steuerungszugriff zu sichern.

Nur in den wenigsten Fällen werden die real entstehenden Kosten an den Verbraucher, bzw. Verursacher weitergegeben, so daß die kommunale Entsorgung i.d.R. unterentwickelt und unterkapitalisiert ist und bezuschußt werden muß. Zahllose stillgelegte Behandlungsanlagen geben hiervon ein beredtes Zeugnis.

Institutionen der Privatwirtschaft

Industrieverbände in Lateinamerika, die oft zugleich eine Beraterfunktion im Abwasser- und Abfallbereich innehaben, sind in Einzelfällen bereits mit anaeroben Verfahren vertraut. Dies gilt insbesondere für große Industriebereiche (Brauerei, Zucker- und Alkoholherstellung, etc.) und spezialisierte Verbände wie bspw. CENICAFE oder CENIPALMA in Kolumbien, die vorwiegend kleinere Kaffee- und Palmöl-Industrien beraten.

In Ingenieurverbänden, wie ACODAL in Kolumbien, bestehen z.T. noch große Wissensdefizite über anaerobe Verfahren. Aus diesem Grunde wurde 1997 von ACODAL in Zusammenarbeit mit EMCALI und IDB eine internationale Konferenz zum Vergleich der verschiedenen Aspekte von Anaerob- und Aerobtechnologien (aktive Belüftung) organisiert. Die Konferenz trug den sicherlich treffenden Titel: "Un evento con vision integral para despejar el mito de las Tecnologias" ("Eine Zusammenkunft zur Entschleierung des Mythos der Technologien") und soll als Modell für eine weitere Verbreitung von Kenntnissen über die Anaerobtechnologie in vergleichbaren Institutionen dienen.

Verknüpfung von Sektorinstitutionen

Für die erfolgreiche Nutzung der verschiedenen Vorteile und zur Vermeidung der Nachteile von anaeroben Verfahren ist die sektorübergreifende Zusammenarbeit mehrerer Institutionen Voraussetzung, aber sie wird vielerorts nur zögerlich praktiziert. Bedeutsam für die Implementierung der Anaerobtechnologie ist bspw. die Kooperation mit dem Energie- und dem Agrarsektor sowie den Stadtentwicklungs- und Raumplanungsbehörden. Erfahrungen mit erneuerbaren Energien und rechtlichen Regelungen für deren Verkauf existieren selten, eine Abstimmung mit zuständigen Agrarbehörden wird so gut wie nie erwogen. Eine Verknüpfung kann bspw. auch durch politische Richtlinien übergeordneter Institutionen, wie Planungs- und Umweltministerien, oder durch adäquate entwicklungspolitische Sektorleitlinien (BMZ) erfolgen.

Informationsnetzwerke

Fachverbände, Vereine und Informationsnetzwerke sind zentrale Knotenpunkte für die Technologieentwicklung und -auswahl. Eine Liste von institutionalisierten und informellen Netzwerken befindet sich im Anhang. In den am Vorhaben beteiligten Ländern sind 3 informelle Netzwerke besonders erwähnenswert:

- Das kolumbianische Anaerobnetzwerk "Red Colombiana de Biotecnologia Ambiental", das an die Universidad del Valle angebunden ist. Dieses offen organisierte Netzwerk bietet ein nationales Diskussionsforum zu Aspekten der Anaerobtechnologie für Wissenschaftler, Anlagenplaner und -konstrukteure, sowie für private und öffentliche Anlagenbetreiber und Industrieverbände.
- Für Lateinamerika besteht ein weiteres informelles Netzwerk - Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales" -, welches als Konferenz organisiert in 2-jährigen Abständen tagt, 1996 in Kolumbien und 1998 in Chile. Dieses Netzwerk hat keine offiziellen Mitglieder. Alle Interessierten können an den Veranstaltungen teilnehmen.
- Ein von der GTZ gefördertes Regionalseminar in Vietnam gab 1997 den Initialfunken für die Gründung eines asiatischen Anaerobnetzwerks, das allerdings erst wenig an Bedeutung gewinnen konnte und einer weiteren Stärkung bedarf.

Sowohl das kolumbianische als auch das lateinamerikanische Netzwerk leisten eine bedeutende Arbeit zur kritischen Weiterentwicklung und Verbreitung des Know-hows über die Anaerobtechnologie. Sie können als Vorbilder für Netzwerke in anderen Regionen dienen. Aktivitäten auf dem Anaerobsektor in der lateinamerikanischen Region sollten mit diesen Netzwerken abgestimmt werden.

Lokale und regionale Abwasser- und Ingenieursverbände befassen sich dagegen nur eingeschränkt mit der Anaerobtechnologie, sollten jedoch künftig verstärkt berücksichtigt werden. Im Rahmen dieses Vorhabens konnte auch CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Peru - eine in Südamerika regional tätige bedeutsame Organisation zur Förderung von Abwasserreinigung, an den Projektaktivitäten beteiligt werden. Für einen verbesserten Einsatz der Anaerobtechnologie sollten vermehrt auch Berufsverbände durch geeignete Informationen unterstützt werden.

3.4.10 Zentralisierungsgrad der Behandlung

Die Diskussion über (Ab-)Wasser- und Abfallmanagement führt unweigerlich auch zur Frage nach dem optimalen Zentralisierungsgrad von Sammlung und Behandlung, da allein für die Erfassung (Kanalisation, Müllabfuhr) zwischen 50 und 90% der gesamten Entsorgungskosten aufgewendet werden. Durch eine dezentrale "community-on-site" oder "on-site" Behandlung oder eine stadtteileigene Vorbehandlung können - wenn das nötige Management garantiert wird - bei der kommunalen Abwasser- und Abfallbehandlung Kosten eingespart werden. In den meisten Städten, die an den Projektstudien beteiligt waren, wurde aber eine zentrale Behandlung favorisiert.

Ein Zusammenhang zur Technologiewahl besteht insofern, als die verschiedenen Verfahrensalternativen hinsichtlich Platzbedarf, Kostendegression, Technisierungsgrad sowie Betriebs-, Wartungs- und Transportaufwand eine unterschiedliche Eignung zum dezentralen Einsatz aufweisen. Anaerobe Technologien eignen sich durch ihrer Merkmale grundsätzlich auch für einen solchen oder einen gemischt "dezentral-zentralen" Einsatz (dezentrale Vorbehandlung mit zentraler Endreinigung kann die Kanalisationskosten beträchtlich senken). Trennsysteme und eine stärkere Beteiligung der Bevölkerung können aufgrund der Technologiewahl nützlich oder notwendig werden.

Die Strategie von SANEPAR, der staatlichen Abwasserbehörde in Paraná, Brasilien, könnte für einige EL Modellcharakter zur Verringerung der Abwasserproblematik bekommen: Reinigungsansprüche an die Einzelanlagen werden gesenkt und RALF-Reaktoren oft ohne Nachbehandlung dezentral eingesetzt. Durch den Bau von über 300 teilstandardisierten Anlagen im Staat Paraná (mit Unterstützung der Weltbank), scheint der Gesamteffekt bezüglich Gewässerschutz und Hygienebedingungen auch unter Kostengesichtspunkten beachtenswert.

4 Ausblick

Erdbevölkerung, Verstädterung, Wasserverbrauch, Abwasser- und Abfallaufkommen wachsen unaufhaltsam. Vielerorts steigen parallel durch resultierende Umweltbelastung und schlechter werdende Lebensbedingungen das Umweltbewußtsein und Anstrengungen zur Behandlung und Entsorgung von Abwässern und Abfällen. Da einerseits in EL in kaum einem Land mehr als 10% der entstehenden Abwässer gereinigt werden, andererseits aber die Nachfrage nach sauberem Trinkwasser, Agrar- und Meeresprodukten zunimmt, bedeutet dies eine enorme Herausforderung. Zudem entscheidet die Qualität der Umwelt zunehmend über Anziehungskraft und wirtschaftliches Potential einer Region und wandelt sich somit zum Standortfaktor von größter Bedeutung.

4.1 Einsatzpotential der Anaerobtechnologie

Abbildung 21 zeigt anhand der im Sektorvorhaben gesammelten Daten den bisherigen Verlauf der Implementierung von anaeroben Anlagen zur Abwasserreinigung. Daraus ist zu erkennen, daß der Einsatz im Industriebereich deutlich fortgeschrittener ist. Die Nachfrage nach anaeroben Systemen für Industrieabwässer geht in einigen IL (z.B.: Deutschland und Holland) bereits zurück, in EL ist sie deutlich ansteigend. Die Abflachung der Kurve in den letzten Jahren muß auch auf die nur begrenzte Zugänglichkeit der Daten zurückgeführt werden. Die Entwicklung für kommunale Abwässer befindet sich noch am Anfang.

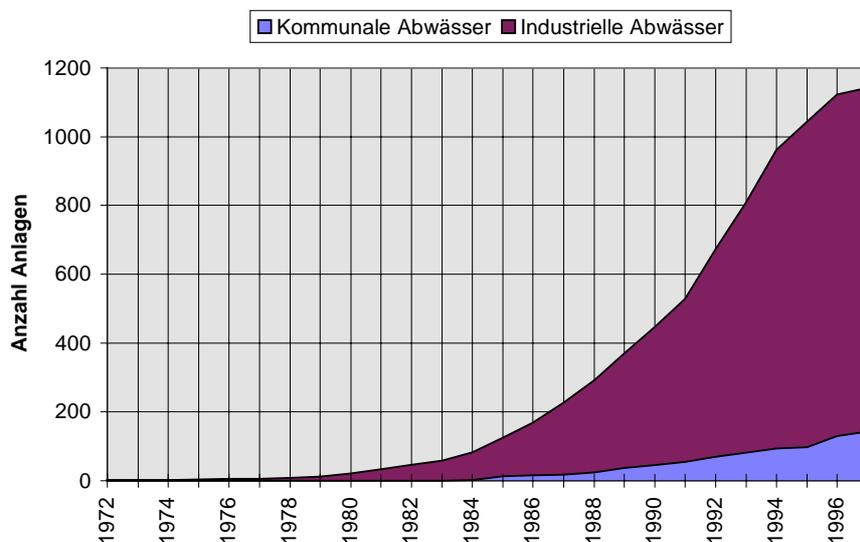


Abbildung 21: Entwicklung des Einsatzes anaerober Verfahren für industrielle und kommunale Abwässer weltweit, Kommunale Anlagen über 50 m³ Reaktorvolumen; Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens, 1998

Deutlich wird die Entwicklung im Kommunalabwasserbereich wenn man auch die im Bau befindlichen Anlagen berücksichtigt. Folgende Abbildung stellt dies graphisch dar:

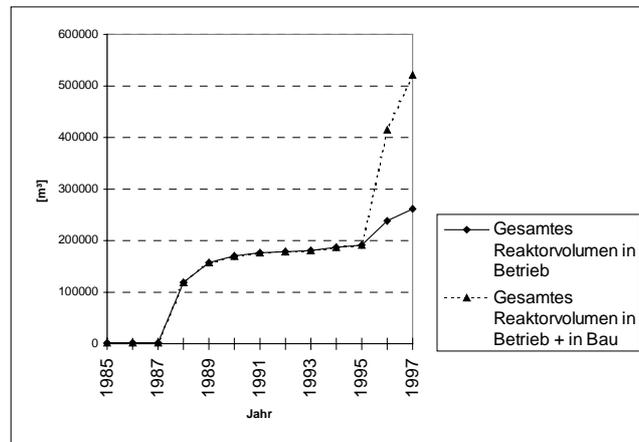


Abbildung 22: Gesamtvolumen der Anaerobreaktoren zur kommunalen Abwasserreinigung; Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

Technologien zur anaeroben Behandlung von organischen Abfällen befinden sich selbst in Mitteleuropa noch in einem frühen Stadium und sind in EL kaum über die Pilotphase hinaus gekommen.

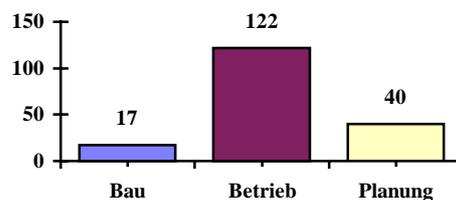


Abbildung 23: Aktueller Stand von Anaerobanlagen zur Behandlung organischer Abfälle inkl. Co-Fermentationsanlagen (1997); Quelle: Anlagendatenbank des Sektorvorhabens

In Kapitel 3.2.4 wird der aktuelle Stand von Anlagen zur Abfallvergärung beschrieben. Kaum eine Anlage ist älter als 5 Jahre. Annähernd 30% der dokumentierten Anlagen befinden sich noch in Planung oder im Bau, ein Indikator einerseits für die geringe Anzahl existierender Anlagen, andererseits aber für die Dynamik der jüngsten Entwicklung.

Defizite bezüglich Marktpenetration, -reife, und -transparenz, Managementkapazitäten sowie gesellschaftlicher Rahmenbedingungen treten zudem besonders im Bereich der kleineren und mittleren Einheiten auf. Technisch auf spezielle Abwässer angepasste Lösungen existieren oft nur in einzelnen Ländern und werden selten breitflächig und systematisch zur Behebung drängender Umwelt- und Hygieneprobleme eingesetzt und vermarktet.

Die angesprochenen "anaeroben" Teilmärkte wachsen überdurchschnittlich, mit regional (am schnellsten in den größeren Ländern Lateinamerikas und Asiens) und spartenbezogen (am schnellsten für kommunale Abwässer und Abfälle) sehr unterschiedlichem Tempo.

4.2 Wirtschaftliches Potential der AT

Eine erwartete Verdoppelung des Weltmarktes (520 Mrd. DM/Jahr in 1990) für Umwelttechnik innerhalb von etwas über 10 Jahren, der 1996 zu einem großen Teil aus Abwasser- und Abfalltechnologien bestand, mit 92% "end-of-the-pipe"-Technologien (IHK FFM 12/97), läßt auch für das Segment "Anaerobe Kombinationstechnologien" in Anbetracht seiner aktuellen Wettbewerbsfähigkeit eine weitere Nachfragesteigerung (ausgehend von einem niedrigen Niveau z.Z. ca. 800 Mio. DM/a) prognostizieren. Dabei ist der Marktanteil der EL sowohl auf der Hersteller- als auch auf der Nutzerseite steigend.

Ein Fünftel des Marktes sind schon heute Energie- und Umweltkombinationstechnologien, und sowohl die Entsorgungswirtschaft, Energie- und Wasserversorger als auch die Chemiebranche erweitern systematisch ihr Angebot in diese Richtung. Bei einem sinkenden deutschen Marktanteil von knapp 19%, der insbesondere auf den rein nachsorgenden Behandlungstechnologien fußt und gegenwärtig etwas an Bedeutung verliert, benötigt die deutsche und europäische Exportwirtschaft dringend innovative Ansätze. So sind künftig weniger die Anlagenhardware (diese wird vermehrt von Firmen der EL selbst errichtet) als vielmehr bezahlbare "high-tech"-Steuerungskonzepte, Know-how und nachhaltige Produktionsansätze gefragt.

Auf den Umweltmärkten Asiens und Lateinamerikas steigt die Wettbewerbsfähigkeit integrierter und additiver Systemansätze, die branchen- und sektorenübergreifend eine Optimierung und Effizienzsteigerung der gesamten Ressourcennutzung und -verwertung bei minimalen Emissionen anstreben. Es darf angenommen werden, daß bereits im Jahr 2000 intelligente und integrierte Technologien, Kreislauf-, Verbund- und Substitutionsverfahren weit über 15% des Marktes ausmachen werden. Die Anaerobtechnologie wird durch ihre ressourcenübergreifenden Stärken und Recyclingpotentiale in diesem Rahmen vermehrt nachgefragt.

Da weltweit die Preise für Land, Wasser, Wasseraufbereitung und Energie kaum sinken werden, kann von einer mittel- und langfristig erheblichen Nachfragesteigerung für Abwasser- und Abfallbehandlungstechnologien im allgemeinen und für die Anaerobtechnologie im besonderen ausgegangen werden. Gewicht bekommen auch degradierende Bodenressourcen und wirtschaftlich zunehmend schmerzhaftes Klimaveränderungen.

Ungelöste Fragen stellen sich bezüglich der Finanzierung. Für eine schnellere und breitere Anwendung schienen vorhandene Abwasser- und Abfalltechnologien lange zu teuer. In welchem Zeitrahmen verbesserte Technologien und sinkende Technologiepreise, schärfere Umweltüberwachung, Gebühren und auch verschiedene Organisations- und Betreibermodelle künftig den ungesättigten Bedarf decken und die Nachfrage steigern werden, läßt sich nur bedingt voraussehen. Sobald die Abwasser- und Abfallbehandlung tatsächlich über Steuern, Gebühren und Recyclingerlöse für ein größeres Bevölkerungs- und Verursacherspektrum aus eigenen Mitteln finanzierbar wird, werden allerdings erhebliche Investitionsschübe erwartet.

Dabei entstehen wirtschaftliche Vorteile nicht nur für die Bevölkerung der EL sondern durch Technologieexporte auch für IL, da geringere Kosten der Einzelanlagen in Anbetracht des Problemdrucks und der Preiselastizität nicht zu geringeren Gesamtinvestitionen in diesem Sektor führen, eher im Gegenteil. Resultierende Beschäftigungs- und Exportpotentialanteile für IL beinhalten dabei (nicht nur für anaerobe Technologien) ein langsames Wachstum von Maschinen und Anlagenkomponenten zugunsten eines schnelleren Wachstums von Know-how und ggf. analytischem Gerät.

Das Potential in EL für verschiedene Anwendungen der Anaerobtechnologie, das bei besserer Markttransparenz und -konkurrenz und einer breiteren Anbieterpalette realisiert werden könnte, ist noch nicht ausgeschöpft. Die Nachfrage entwickelt sich dennoch zügig in Abhängigkeit von verschiedenen zusätzlichen Faktoren, wie Gesetzgebung, Ressourcenverknappung, Wachstum der Bevölkerung und des Sozialprodukts sowie der Zahl der Anbieter und Beispielsanlagen pro Region. Nachfragesteigernd wirken außerdem eine Qualitätsverbesserung der neu errichteten Systeme, sinkende Angebotspreise und Ersparnisse im Vergleich zu kostenintensiveren Problemlösungen.

Teil C

5 Anhang

5.1 Glossar

Abbaubarkeit	Grad des natürlichen oder technischen Abbaus durch biologische, chemische oder physikalische Prozesse.
Ablauf	Gereinigtes Abwasser nach der Behandlung.
Ablaufwerte	Charakteristika des Ablaufs; können anhand der Parameter CSB, BSB ₅ , TS, oTS, N _{kj} , N _{tot} beschrieben werden.
Abwasser	Durch häuslichen und/oder gewerblichen/industriellen Gebrauch verunreinigtes und von Niederschlägen aus dem Siedlungsbereich abfließendes Wasser.
Acetogenese	Die 3. Stufe anaerober Prozesse.
Aerob	In Anwesenheit von Sauerstoff.
Aerosol	Disperses System aus Gas oder Gasgemisch und fein verteilten schwebenden festen oder flüssigen Stoffen (Durchmesser < 1 mm).
Anaerob	In Abwesenheit von Sauerstoff.
Anaerobtechnologie	Technologie zur Abwasser- und Abfallbehandlung mit einer anaeroben Behandlungsstufe nach der Vorbehandlung, häufig gefolgt von einer aeroben Nachbehandlung.
Anaerobteich	Teiche, die durch ihre hohe Flächenbelastung ab ca. 3.000 kg BSB ₅ /ha*d bei einer Tiefe von etwa 3 - 5 m weder Sauerstoff noch Algen enthalten und somit anaerobe Bedingungen aufweisen.
Anaerobteiche, verbesserte	Teiche mit aufwärtsströmender Substratführung und Gaserfassung
Aufbereitung	Konditionierung eines Ausgangssubstrates zur Erreichung bestimmter Eigenschaften, die für eine weitere Behandlung notwendig sind.
Batch-Verfahren	Verfahren mit diskontinuierlicher Beschickung des Reaktorraums.
Belebtschlammverfahren	Verfahren zur aeroben biologischen Abwasserreinigung mit Hilfe von belebtem Schlamm in belüfteten Becken. In Europa meist kombiniert mit einer anaeroben Schlammfäulung.
Belüftete Teiche	Teiche mit künstlicher Oberflächenbelüftung, vom Prinzip her vergleichbar mit der Langzeitbelebung. Wurden bei dem Versuch entwickelt, Geruchsemissionen aus überlasteten Fakultativteichen zu vermeiden.
Belüftungsverfahren	Aerobe Abwasserreinigungsverfahren mit aktiver Belüftung (Einblasen von Luft).
Betrieb	Der Betrieb einer Anlage umfaßt alle Aktivitäten, die notwendig sind, um eine zufriedenstellende Behandlung zu erzielen.
Biogas	Aus dem mikrobiellen Abbau organischer Substanzen entstehendes Gasgemisch mit einem CH ₄ -Gehalt von rund 60 - 65 % (Abfall) bis zu 75 % (Abwasser).

Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	Parameter für die Konzentration an (in 5 Tagen) biologisch abbaubaren Substanzen im Abwasser, ausgedrückt in mg/ℓ (Oxidation von reduziertem Stickstoff ist nicht enthalten); für tropische Klimata wird zunehmend auch über die Anwendung kleinerer BSB-Meßperioden diskutiert.
Blockheizkraftwerk (BHKW)	Kleine dezentrale Kraftwerke, die in einem Koppelprozeß Strom und Wärme liefern.
C/N-Verhältnis	Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff. Beeinflußt biologische Abbauprozesse: zuviel C verlangsamt die Mineralisierung der organischen Substanz; C-Mangel im Abwasser verhindert eine Denitrifikation.
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	Parameter für die Konzentration an chemisch abbaubaren Substanzen im Abwasser, ausgedrückt in mg/ℓ (Oxidation von reduziertem Stickstoff ist nicht enthalten).
Co-Fermentation	Die Vergärung gemischter Substrate auf Grundlage eines stabilen Monosubstrates, meist Gülle oder Klärschlamm.
Düngung	Zufuhr von mineralischen oder organischen Stoffen zum Boden zum Ausgleich von nutzungsbedingten Verlusten/Veränderungen und/oder zur Verbesserung des Zustandes/der Nährstoffversorgung.
Effizienz/ Reinigungsleistung	Prozentualer Anteil der entfernten Schmutzfracht durch ein(en) Verfahren(sschritt).
Expanded Granular Sludge Bed - Reaktor (EGSB)	Aufwärts durchströmter Anaerobreaktor mit Abwasserrezirkulierung und internem Schlammrückhalt. Vom Prinzip her ein hoher, schlanker UASB mit hoher Aufströmgeschwindigkeit.
Einlauf/Zulauf	Abwasser vor der Behandlung, im Anlagenzustrom.
Einwohnergleichwert (EG)	Äquivalent organischer Verschmutzung im Abwasser, das der Menge entspricht, die pro Kopf und Tag produziert wird, ausgedrückt in CSB oder BSB ₅ (durchschnittlich 120 g CSB/E•d oder 60 g BSB ₅ /E•d); bzw. durchschnittlich anfallende Abfallmenge pro Kopf und Tag.
Emission	Abgabe von gasförmigen, flüssigen oder festen Stoffen in die Umwelt.
Erneuerbare Energie	Energiequelle/-träger aus nicht erschöpfbaren Ressourcen, die als Ersatz für fossile Energieträger (Erdöl, Erdgas) genutzt werden können.
Eutrophierung	Übermäßiger Nährstoffeintrag in Gewässer, der zu verstärktem Algenwachstum und in der Folge zu Sauerstoffmangel führt.
Fakultativteich	Teiche mit einer Tiefe von ca. 1,5 m, einer Flächenbelastung von etwa 200 - 350 kg BSB ₅ /ha•d, die in Abhängigkeit von Tiefe, Temperatur, Belastung und der Algenaktivität im Tagesverlauf oberflächennahe aerobe und tiefere anaerobe Zonen ausbilden.
Festbettreaktor (FB)	Reaktoren mit inertem Trägermaterial (zur Ansiedlung der Biomasse; heute zu meist Kunststoffe), meist mit externer Biomasseabtrennung und -rückführung.
Fermentation	Siehe Vergärung.
Fließbettreaktor	(Schwebe- und Wirbelbettreaktoren) Moderne Hochleistungsreaktoren mit hoher Raum-Zeit-Ausbeute. Inerter Trägermaterialien und Rezirkulation zur Aufrechterhaltung des Fluidierungszustandes.
Gemischtes Kanalsystem	Kanalsystem, welches sowohl Abwasser als auch Niederschlagswasser führt.

Gewässer	Fließendes oder stehendes Oberflächen- und Grundwasser einschließlich Gewässerbett/Grundwasserleiter.
Grauwasser	Summe aus Schwarzwasser und Waschwasser; sämtliche aus Toilette, Küche und Bad stammende häusliche Abwässer.
Hauptbehandlung	Biologische Behandlungsstufe, in der der bedeutendste Abbau der Schmutzfracht/organischen Substanz geschieht.
Hydrolysis Upflow Sludge Bed-Reaktor (HUSB)	Aufwärts durchströmter Anaerobreaktor mit dem Hauptziel der Feststoffentnahme. Hauptunterschied zum UASB ist die kurze HRT von etwa 2 - 5 h.
Hydraulische Verweilzeit (HRT)	(engl. Hydraulic Retention Time) Rechnerische Aufenthaltszeit von Abwasser im Reaktor; Quotient aus theoretisch nutzbarem Reaktorvolumen und Zufluß.
Hydrolyse	Chemische Zersetzung von Stoffen unter Einwirkung von Wasser, die 1. Stufe anaerober Prozesse.
Internal Circulation (IC)	Vom Prinzip her ein (aufwärts durchströmter) EGSB-Reaktor mit zwei Phasentrennern und Abwasserrezirkulierung.
In Wastewater Systems Interactive Approach (InWaSia)	Modulares Kompaktsystem mit aufwärts durchströmtem Schlammbett und Gasfassung (Drei-Phasen-Trennung) für Teiche.
Imhoff Tank	Besteht aus einer Absetzkammer über einem Gärraum; suspendierte und gelöste Feststoffe haben keinen direkten Kontakt zum aktiven Schlamm.
Kommunales Abwasser	Siedlungsabwasser, bestehend aus häuslichen und gewerblichen Abwässern und Niederschlagswasser.
Kompostierung	Verfahren zum mikrobiellen Abbau organischer Abfälle unter aeroben Bedingungen.
Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	Erzeugung von Strom kombiniert mit Nutzung der Wärmeabgabe für industrielle oder Heizzwecke.
Langzeitbelebung	Mechanisch belüftete Verfahren zur aeroben biologischen Abwasserreinigung mit langen Verweilzeiten.
Mesophil	Temperaturbereich von 30 - 40 °C.
Methan (CH ₄)	Einfachster Kohlenwasserstoff; gasförmig; Hauptbestandteil von Biogas; mit sehr hohem Treibhauspotential. Methan entsteht in anaeroben Abbauprozessen organischer Substanzen.
Methanogenese	Die 4. Stufe anaerober Prozesse.
Nachbehandlung	Biologische oder chemisch/physikalische Behandlung zur Verbesserung des Behandlungsergebnisses der Hauptbehandlungsstufe.
Nachreinigungsteich	Nach dem anaeroben Verfahrensschritt kombiniert anaerob/aerober Systeme eingesetzter Teich für die vorgereinigten Abwässer ; prinzipiell ähnlich dem Fakultativteich, mit einer Tiefe von rund 1,5 m und Flächenbelastungen von etwa 400 - 500 kg BSB ₅ /ha•d.
Nährstoffe	Für biologisches Wachstum notwendige chemische Substanzen. Hohe Konzentrationen im Ablauf von Abwasserreinigungsanlagen sind bei Einleitung in Oberflächengewässer unerwünscht, da sie zur Eutrophierung führen, können aber bei landwirtschaftlicher Nutzung des Ablaufs durchaus erwünscht sein.

Natürlich belüftete Teiche	Teiche mit geringer Tiefe, die so in der Landschaft ausgerichtet werden, daß die natürliche Luftbewegung für ausreichenden Sauerstoffeintrag (durch Wind, Bewegung der Wasseroberfläche) sorgt, um aerobe Verhältnisse zu gewährleisten.
Off-site	Zentrale Behandlung/Entsorgung, räumlich getrennt vom Entstehungsort.
On-site	Behandlung und/oder Entsorgung finden unmittelbar am Entstehungsort statt.
Organische Stoffe/ Substanzen	Stoffe, die als Hauptelemente Kohlenstoff und Wasser beinhalten.
Organische Trockensubstanz (oTS)	Organischer Anteil der Trockensubstanz.
Ortsfern	Behandlung und/oder Entsorgung finden fernab des Anfallortes statt, Abwasser/Abfälle müssen durch Fahrzeuge oder Kanalsysteme transportiert werden; weite Transportwege
Ortsnah	Behandlung und/oder Entsorgung finden am Anfallsort statt, Abwasser/Abfälle müssen durch Fahrzeuge oder Kanalsysteme transportiert werden; aber mit kurzen Transportwegen.
Oxidationsgräben	Ringförmiger oder ovaler Kanal mit mechanischer Belüftung; meist betrieben als Langzeitbelebung mit Verweilzeiten von etwa 2-3 Tagen.
Pathogene	Mikroorganismen (Helminthen, Protozoa, Bakterien, Viren), die bei Mensch und Tier zu Krankheiten führen können. Viele Pathogene werden durch menschliche Ausscheidungen verbreitet, so daß Abwasser stark damit kontaminiert sein können.
Pelletisierung	Ausbildung von Kornschlamm in der Abwasserbehandlung.
Pflanzenkläranlagen	Naturnahe Abwasserreinigung, bei der ein bewachsener Bodenkörper vom Abwasser vorwiegend horizontal durchströmt wird. Die Reinigung erfolgt in anaeroben und aeroben Zonen die sich im Wurzelbereich ausbilden.
pH-Wert	Wasserstoffionenkonzentration, Kennzahl für basischen, neutralen oder sauren Charakter wäßriger Lösungen.
Reator Anaerobio de Leito Fluidizado (RALF)	In Brasilien entwickelte Variante des UASB-Reaktors mit sehr kleiner oder häufig nicht existenter Dreiphasentrennung, der vom Charakter eher einem aufwärts durchströmten Teich gleicht.
Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Ähneln einer Reihe nacheinander aufwärts durchströmter anaerober Teiche.
Rotte	Kompostierung.
Schadstoffe	Stoffe, die den biologischen Prozeß negativ beeinflussen
Schlamm	Die in der Abwasserreinigung erzeugte Bakterienmasse und die abgesetzten organischen und anorganischen Substanzen, die in der mechanischen Vorreinigung nicht entfernt werden. Die Schlammqualität variiert je nach Ort des Entstehens erheblich.
Schlammalter	Verhältnis von im System vorhandenem Schlamm zu täglich erzeugtem Überschussschlamm; wichtigster Parameter in der Schlammbehandlung.
Schlammverweilzeit (SRT)	(engl. Sludge/Solids Retention Time) Mittlere Feststoffverweilzeit (auch Schlammalter).
Schwarzwasser	Toilettenabwasser (Kot, Urin und Toilettenspülwasser).

Schwebstoffe (TSS)	(engl. Total Suspended Solids) Ungelöste organische und anorganische Stoffe, die annähernd die gleiche Dichte wie Wasser haben od. durch Turbulenz in Schwebelage gehalten werden.
Septic Tank	Häufigste dezentrale Abwasserbehandlung weltweit. Im Prinzip ein einfacher Sedimentationsbehälter, in dem abgesetzter Schlamm durch anaerobe Vergärung stabilisiert wird; gelöste und suspendierte Feststoffe verlassen den Reaktor nahezu unbehandelt.
Soziokulturelle Aspekte	Einbeziehen der Einstellungen, Gewohnheiten, Religion und Präferenzen der Nutzer, Betreiber und Förderer von Abwasser-/Abfallbehandlungsanlagen.
Stand der Technik	Der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Technologien oder Betriebsweisen, deren praktische Eignung gesichert erscheint.
Störstoffe	Stoffe, die den mechanisch/physikalischen Prozeß von Vergärungs-/Kompostierungsverfahren negativ beeinflussen.
Technische Zusammenarbeit (TZ)	Vermittlung, Mobilisierung von technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Kenntnissen und Fertigkeiten und Verbesserung der Voraussetzungen für deren Anwendung in den Entwicklungsländern.
Teichverfahren	Flächenbehandlung von Abwässern.
Thermophil	Temperaturbereich von 50 - 65 °C
Trockensubstanz (TS)	Substanzmenge nach Entzug von Wasser bis zur Gewichtskonstanz.
Tropfkörper	Perkolationsverfahren mit hochpermeablem Medium (mineralisch oder aus Kunststoff) im Reaktor, an das sich Mikroorganismen anlagern.
Upflow Anaerobic Sludge Blanket - Reaktor (UASB)	(Deutsch: Schlammtrittreaktor). Aufwärts durchströmter Anaerobreaktor mit internem Schlammrückhalt und Dreiphasentrennung.
Vergärung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verfahren zum mikrobiellen Abbau organischer Abfälle unter anaeroben Bedingungen. 2. Die 2. Stufe anaerober Prozesse
Vorbehandlung	Sämtliche physikalische und chemische Behandlungsstufen vor der biologischen Behandlung.
Vorklärung	Vorbehandlung in der Abwasserreinigung; mechanisch und/oder chemisch-physikalisch, meist mindestens bestehend aus Rechen und Sandfang.
Waschwasser	Sämtliche Haushaltsabwässer (Küche, Bad, etc.) ohne Schwarzwasser.
Xenobiotika	Fremdstoffe im jeweiligen Milieu, die den biologischen Abbau u.U. verlangsamen.

5.2 Organisationen und Partner

5.2.1 Lateinamerika

(FIDES) Fundación Integral de Desarrollo

Dipl.-Ing. Heinz-Peter Mang, Dr. Armando Molina
Avenida Sta. Cruz N° 187 (Edif Ferrindus)
Casilla 1911, Sta Cruz de la Sierra, **Bolivia**
Tel: +591-3-339607 Fax: +591-3-472279 e-mail: Sibiofid@mitai.nrs.bolnet.bo

(CETESB) Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia
Dr. Sonia M. Manso Vieira
Av. Prof. Frederico Hermann Jr. 345, 05489-900 Sao Paulo - SP, **Brasil**
Tel: +55-11-30306156 Fax: +55-11-30306402 e-mail: Soniav@cetesb.br

Ministerio del Ambiente (de Colombia) Direccion Ambiental

Mr. Pedro Arturo Chavarro Vásquez
Cra. 4a No 60A-21, Bogotá, **Colombia**
Tel: +57-1-3427629 Fax: +57-1-3360968

(CDMB) Corporación por la Defensa de la Meseta de Bucaramanga

Mrs. Jenny Alexandra Rodríguez, Mr. Ulises Rincon
Bucaramanga, **Colombia**
Tel: +57-7-6500221 Fax: +57-76-6384353 e-mail: Cdm5@multicomputo.multinet.com.co

(CETEC) Corporación para Estudios Interdisciplinarios y Asesoría Técnica

Mr. Alberto Rodríguez Patiño
Diagonal 26A #26-94 A.A. 26278, Cali, **Colombia**
Tel: +57-2-5585603 Fax: +57-2-5564806

Empresas Municipales de Cali, Colombia

Mrs. Carmen Eugenia Sterling
Empresas Municipales de Cali, Cra.56 #3-88, Edif. Ana Pilar piso 5, Cali, **Colombia**
Tel: +57-2-5134695 Fax: +57-2-5529800

Cooperación Técnica Ecuador-Alemania

Ing. Francisco Villota P.
Av. Atahualpa 628 y Bayas, Casilla 17-21, 0914 Quito, **Ecuador**
Tel: +593-2-250137 Fax: +593-2-250130 e-mail: Gtzp2@ecnet.ec

(SRC) Scientific Research Council

Old Hope Road, Hope Gardens, PO Box: 350, Kingston 6, **Jamaica**, W.I.
Tel: +1809-927-1771 Fax: +1809-927-5347

(CNA) Comisión Nacional del Agua Gerencia Regional del Sureste, Subgerencia Técnica

Calle 59-B No. 238 x 116 Y 118. Av. Zamna, C.P. 97230 Mérida, Yucatán, **Mexico**
Tel.: +52-99-454008 Fax.: +52-99-450937 e-mail: cnagerse@minter.cieamer.conacyt.mx

(CEPIS) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

Dr. Sergio Carporali

Los Pinos 259, CP 4337, 100 Lima, Peru

Tel: +51-1-4377081 Fax: +51-1-4377019 e-mail: Scaporal@cepis.org.pe

5.2.2 Asien

Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection

Dr. Wang Kaijun

Fuwai Avenue, 100037 Beijing, China

Tel: +86-1068313146 Fax: +86-1068314675

(CEEIC) Chengdue Energy Environment International Corporation No. 13 Section 4

Mr. Jian Zuo

Peoples South Street, 610041 Chengdue, China

Tel: +86-285212629

(BPPT) Agency for the Assessment and Application of Technologie

Mr. Haryono Prawiranata

Lalan M.H. Thamrin No. 8, 10340 Jakarta, Indonesia

Tel: +62-21-3169760

Standards & Industrial Research Institute of Malaysia

Mr. Ghin Yeoh

PO Box 7035, 40911 Shah Alan, Selangor, Malaysia

Tel: +60-3-5508095

National Center for Genetic Engineering and Biotechnology National Science and Development Agency

Ph.D. Morakot Tanticharoen

5th fl NSTDA Bld. Rama VI Road, 10400 Bangkok, Thailand

Tel: +66-2-6448150-4 Fax: +66-2-6448107 e-mail: Morakt@nwg.nectec.or.th

(NEPO) National Energy Police Office

78 Ratchadamnoen Nok Road, Dusit, Bangkok 10300, Thailand

Tel: +66-2-2829028/30 Fax: +66-2-2800292

(BAU) Biogas Advisory Unit

Chiang Mai University, Hauykaew Road Maung, Chiang Mai, Thailand

Tel: +66-53-805338 Fax: +66-53-805338 e-mail: klogsdon@chmai.loxinfo.co.th

5.2.3 Afrika

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Prof. Abdellatif Achkari-Begdouri

Rabat Instituts, BP 6202, Rabat, Morocco

Tel: +212-7-771745/58/59 Fax: +212-7-710605 e-mail: Iavciri@mtds.com

5.3 Ausbildungsinstitutionen

Universidad Mayor de San Simón Centro de Universidad de Investigación y Capacitación Agrobioenergética

Ing. Fernando Jiménez

Casilla 399, Cochabamba, **Bolivia**

Tel: +591-42-24469 Fax: +591-42-32545 e-mail: Sibiofid@mitai.nrs.bolnet.bo

Universidade Federal de Paraíba

Dr. Adrianus van Haandel

Cidade Univ., R. Monteiro Lobato 207-Alto Branco, 58102-470 Campina Grande - PB, **Brasil**

Tel: +55-83-3314809 Fax: +55-83-3101388 e-mail: Ahaandel@deps.ufpb.br

Universidade Federal de Minas Gerais Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

Prof. Marcos von Sperling, Prof. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Av. do Contorno, 842 - 7o andar, 30.110-060 Belo Horizonte, MG, **Brasil**

Tel: +55-31-2381884 Fax: +55-31-2381879 e-mail: Sperling@africanet.com.br

Universidad del Valle Facultad de Ingeniería, Dpto. de Procesos Químicos y Biológicos

Dra. Olga Rojas Chacon

Ciudad Universitaria, Meléndez, A.A. 25360, Cali, **Colombia**

Tel: +57-2-3393248 Fax: +57-2-3392335 e-mail: Olgaro@petecuy.univalle.edu.co

(UAM) Universidad Autónoma Metropolitana - Itzapalapa Departamento de Biotecnología

Mr. Oscar Monroy Hermosillo

Av. Michoacán y La Purísima, Iztapalapa 09340, México, D.F., **Mexico**

Tel: +52-5-7244985 Fax: +52-5-7244723 e-mail: Monroy@xanum.uam.mx

Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental

Ing. Roncal Fausto

Av. Tupac Amaru S/N Apartado 1301, Lima, **Peru**

Tel: +51-1-4811070 Fax: +51-1-4406562 e-mail: Froncal@digesas.sld.pe

Wageningen Agricultural University Department of Environmental Technology

Prof. Gatze Lettinga

Bomenweg 2, Postbus 8129, 6700 EV Wageningen, **Netherlands**

Tel: +31-317-484 Fax: +31-317-482108 e-mail: Gatze.lettinga@algemeen.mt.wan.nl

Universität Hannover Institut für Siedlungswasserwirtschaft

Mr. Martin Brockmann, Dr. Ing. K. H. Rosenwinkel

Welfengarten 1, 30167 Hannover, **Germany**

Tel: +49-511-7622778 Fax: +49-511-7622881 e-mail: M.Brockmann@mbox.isah.uni-hannover.de

5.4 Finanzierungsinstitutionen

(KfW) Kreditanstalt für Wiederaufbau

Dr. Uwe Stoll, Mr. Dieter Schultze, Mr. J. Oltmann
Palmengartenstr. 5-9, 60325 Frankfurt/Main, Germany
Tel: +49-69-7431-0 Fax: +49-69-7431-2944

(AsDB) Asian Development Bank

6ADB Avenue, Mandaluyong, 0401 Metro Manila, Philippines
Tel: +63-2-6324444 Fax: +63-2-6362444

(IDB) Inter-American Development Bank - Headquarter

1300 New York Avenue, NW, Washington DC 20577, USA
Tel: +1-202-6231000 Fax: +1-202-6231010

The World Bank - Headquarter

1818 H Street NW, Washington DC 20433, USA
Tel: +1-202-4771234 Fax: +1-202-4776391

(GEF) Global Environmental Facility

1818 H Street NW, Washington DC 20433, USA
Tel: +1-202-4738935 Fax: +1-202-5223240

5.5 Netzwerke

IAWQ Specialist Group

Secretary: Professor K J Kennedy
University of Ottawa, 161 Louis Pasteur, Ottawa Ontario K1N 6N5, Canada
Tel: +1-613-5643999 Fax: +1-613-5649842

(RECBAM) Red Colombia de Biotecnología Ambiental

c/o Universidad del Valle
Dra. Olga Rojas Chacon
Ciudad Universitaria, Meléndez, A.A. 25360, Cali, Colombia
Tel: +57-2-3393248 Fax: +57-2-3392335 e-mail: Olgaro@petecuy.univalle.edu.co

5.6 Im Rahmen der Anaerobtechnologie wichtige Netzwerke und Organisationen

Name	Sitz	Aktivitäten	Querverbindungen, Förderungen	Kontakte/Treffen	Ansprechpartner	Bemerkungen
AD-NETT	Kommission der EU	Tätigkeitsschwerpunkte sind die Anaerobtechnologie in der Landwirtschaft, Co-Fermentation und Abfallbehandlung. Hauptziel ist die Vernetzung von Nutzern und Anbietern in Landwirtschaft und Agroindustrie, aber auch die Bildung nationaler Interessengruppen mit Expertenbeteiligung. Ziel ist <u>nicht</u> die Verbreitung erneuerbarer Energien Datenbanken zu landwirtschaftliche Anlagen; Kontaktadressen, Internet-Homepage verschiedene Publikationen	Gefördert über FAIR-Programm der EU	Nationale Netzwerke werden als Basisstruktur genutzt.	Michael Köttner, Fachverband Biogas Barbara Klingler, TBW GmbH, Frankfurt	Europäisches Netzwerk, bei dem die landwirtschaftliche Biogasnutzung im Vordergrund steht.
AIT Asian Institute of Technology	Thailand	Einrichtung ehemaliger Universitätsabgänger, die in der Anaerobtechnologie aktiv sind.	Diverse internationale Finanzierungen	Konferenzen	Prof. C. Polprasert	Wichtiges Know-how und Kontaktzentrum mit informeller Struktur
ANESAPA Asociación Nacional de Entidades de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado	Bolivien	Organisation von Abwasserseminaren Publikationen: Studie über Stand der Technik von Stabilisationsteichen in Bolivien	Kontakte zu regionalen berufständischen Vereinigungen	Seminare	Av. Villazon, Bolivia	Wenig Informationen über Netzwerkaktivitäten
ANS Mettmann Arbeitskreis zur Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen, Fachausschuß Vergärung	Deutschland, Europa	Organisation von Kommunen, Herstellern von Abfallvergärungsanlagen, Anlagenbetreiber	ATV, Bundesgütegemeinschaft Kompost	halbjährliche Treffen	Hr. Leonhardt, Hr. Euler	Wichtige Vereinigung zur Förderung der Nutzung und Behandlung von Bioabfällen
ATV Abwassertechnische Vereinigung Fachausschuß Anaerobe Industrieabwasserreinigung	Deutschland	Setzen von Normen, Standards	Universität Hannover	Ausschußsitzungen	Prof. Rosenwinkel	Traditionsreiche Organisation im Abwassersektor

Name	Sitz	Aktivitäten	Querverbindungen, Förderungen	Kontakte/Treffen	Ansprechpartner	Bemerkungen
CCTA Coordinación de Ciencia y Tecnología en los Andes; CENDOTEC Centro de Documentación de Tecnología	Peru	Tätigkeitsschwerpunkte der CCTA sind Förderung, Verbreitung von Wissen und Beratung im andinen Raum. CENDOTEC ist das zugehörige Informations- und Dokumentationszentrum mit Datenbanken und Frage-Antwortdienst. Weiterhin werden hier NRO mit Anbietern angepaßter Technologien vernetzt; Zielgruppe sind Techniker, Akademiker und Mitarbeiter nationaler/internationaler Organisationen.	Fungiert als Anlaufstelle für nationale Fachinformationen.		CENDOTEC: Dora Velasquez, Lima (Leiterin)	CENDOTEC trägt wesentlich zum Netzwerkcharakter der CCTA bei
CEPIS Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente	Peru	Tätigkeitsschwerpunkte sind Informationsverbreitung, technische Beratung, Förderung regionaler Programme, Vernetzung der Kooperationszentren und Ausbildung sowie die Mobilisierung und richtige Anwendung nationaler Ressourcen. Publikationen	Ist zugleich Zentrum für Umwelttechnologie der Pan American Health Organisation (PAHO) und regionales Kooperationszentrum für REPIDISCA Förderung durch verschiedene IL.	Seminare	Sergio Caporali	Etablierte, regionale lateinamerikanische Institution, allerdings kein echter Netzwerkcharakter
FAO/SREN European Sustainable Rural Environment and Energy Network	EU	Tätigkeitsschwerpunkt sind Umwelteinflüsse von Technologien zur Energiegewinnung in derzeit vier Arbeitsgruppen (AG): <u>Biomass for Energy and Environment</u> , <u>Environmental Aspects of Anaerobic Treatments</u> , <u>Decentralized Energy Sources</u> , <u>Pollination and Pollinators Diversity Management</u> ; neue Aktivitäten/AG geplant; Kooperation mit nicht-europäischen Wissenschaftlern soll verstärkt werden Organisation/Durchführung von Workshops Publikationen: Newsletter; bisher 13 Bände in FAO/REU Technical Series;	Initiative des FAO Regional Office for Europe. Gehört zu ESCORENA (European System of Co-operative Research Networks in Agriculture; besteht aus 13 Netzwerken),	Workshops in 2-jährigen Abständen - "Anaerobic conversions for Environmental Protection, Sanitation and Re-Use of Residues"; Mailing list	Rainer Krell, FAO/Regional	Netzwerk mit zwei AG von großem Interesse für AT
Follow-up Gruppe des Vietnam-Anaerob-Seminars 1996	Asien	Expertennetzwerk zur Anaerobtechnologie	Erfährt z.Z. keine Unterstützung, ist mit dem Sektorvorhaben verbunden.	Erstmalig auf der Konferenz "Anaerob96" in Ho-Chi-Minh-City	W. Kossmann, GTZ GmbH/ISAT	Das Netzwerk ist derzeit noch im Aufbau begriffen.

Name	Sitz	Aktivitäten	Querverbindungen, Förderungen	Kontakte/Treffen	Ansprechpartner	Bemerkungen
IAWQ International Association on Water Quality	England	Derzeit bestehen 33 „specialist groups“ als internationales Expertennetzwerk, Themen sind u.a. <u>Anaerobic Digestion: Design, Operation and Costs of Large/Small Wastewater Treatment Plants</u> ; <u>Pre-treatment of Industrial Wastewaters</u> ; <u>Pulp and Paper Industry Wastewaters</u> ; <u>Water and Waste Technology and Management Strategies for Developing Countries (WW)</u> Publikationen: <u>Water Quality International</u>	Querverbindungen bestehen zu relevanten nationalen Sektororganisationen	Alle 2 Jahre IAWQ Konferenz, Konferenzen der specialist groups;	Prof. E.R. Hall, Dept. of Civil Engineering; University of British Columbia, Canada L. Hulshoff Pol für die Specialist Group of Anaerobic Digestion für Westeuropa	Renomierteste, sehr gut etablierte internationale Wasser- und Abwasserorganisation, mit vielfältiger informeller Netzwerkstruktur
RECBAM Red Colombiana de Biotecnología Ambiental	Kolumbien	Tätigkeitsschwerpunkt ist die kommunale und industrielle anaerobe Abwasserreinigung	Universidad del Valle, Cali		Dra. Olga Rojas Chacon, Cuidad Universitaria, Melendez;	Echtes Netzwerk mit großer Bedeutung für die Anaerotechnologie
REPIDISCA Red Panamericana de Información en Salud Ambiental	Lateinamerika und Karibik	Kooperationszentren in 24 lateinamerikanischen/karibischen Ländern mit Schwerpunkt auf Informationsverbreitung. bibliographische Datenbank mit derzeit 80.000 Titeln, Zuwachs um 10.000 pro Jahr.	c/o CEPIS/PAHO		(über Internet)	Informationsnetzwerk zu Gesundheit und Wasser, Abwasser und Abfall
RISE-AT Regional Information Service Centre for South East Asia on Appropriate Technology	Südostasien Vietnam, Laos, Kambodschia, China und Thailand	Regionales Informations-Netzwerk mit Schwerpunkten auf erneuerbaren Energien, Abfall- und Abwasserbehandlung, Bau, Textilverarbeitung, nachhaltige Agrarwirtschaft; ist ausgerichtet auf Know-how Verbreitung und Erfahrungsaustausch für angewandte Technologien zugunsten der Nutzer in den angebundenen Ländern Organisation von Regionalseminaren, Ausbildungskursen, Studienreisen, Netzwerk-Aktivitäten Datenbanken für anaerob-relevante Dokumente und Institute, Frage- und Antwort-Dienst	Interneationale Finanzierung, u.a. durch GTZ	Seminare	Institute of Science and Technology, Research and Development (IST) der Chiang-Mai University, Thailand	Bedeutendes regionales Netzwerk für Südostasien
Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales" Lateinamerika-Netzwerk	Lateinamerika	Tätigkeitsschwerpunkt ist die kommunale und industrielle anaerobe Abwasserreinigung	Kontakte bestehen zu nationalen Institutionen in Lateinamerika über informelle Mitglieder	2-jährliches Seminar	Dra. Olga Rojas Chacon, Cuidad Universitaria, Melendez;	Bedeutendes informelles Netzwerk ohne offiziellen Mitglieder

Name	Sitz	Aktivitäten	Querverbindungen, Förderungen	Kontakte/Treffen	Ansprechpartner	Bemerkungen
Waste for Energy - Netzwerk	EU	Ziel ist die industrielle Nutzung von Abfällen zur Energieerzeugung. Das Netzwerk verbindet/koordiniert zwischen Biomasse-Zentren der drei Sektoren Holz & Papier, Hausmüll, Biogas mit teilweisem Einbezug der Anaerobtechnologie. Organisation von Seminaren und Workshops	Gefördert über Altener Programm der EU, vernetzt mit AD-NETT	Seminare, Konferenzen	Centro da Biomassa para a Energia, Olívia Matos	Anaerobtechnologie umfaßt nur einen Bruchteil des Netzwerkes.
WEDC Water Engineering and Development Centre	England	Tätigkeitsbereich sind Ausbildungs-, Forschungs- und Beratungsaktivitäten in Niedriglohnländern sowie die Informationsverbreitung für Praxis und Forschung. Kooperation mit internationalen Unternehmen, Beratern und NRO's. Publikationen: regelmäßige Informationen im Wassersektor, Projektstudien aus Forschung und Beratung professional academic staff	Eigenfinanzierte Organisation mit Verbindung zu anderen Universitäten. International Centre for Landscape Ecology, Centre for Hazard and Risk Management	Kontakt zu vom WEDC ausgebildeten Experten ist möglich. Mailing list	Dr. Jeremy Parr, WEDC Loughborough University	Bereitstellung und Verbreitung von Information

5.7 Quellen⁹⁵

- Adrian;** Manz; Szewzyk; Görisch: Etablierung einer stabilen, Trichlorbenzol dechlorierenden Mischkultur und deren partielle Populationsbeschreibung mit Hilfe rRNA-gerichteter Oligonukleotidsonden, gwf - Wasser. Abwasser 137, 612 - 618. 1996.
- Alaerts, J.** et al.: Feasibility of Anaerobic Sewage Treatment in Sanitation Strategies in Developing countries, 1990.
- Alaerts, J.;** Bentrelsen, M.; van Duijl, L.A.; Veenstra, S.: Feasibility of Anaerobic Sewage Treatment in Sanitation Strategies in Developing Countries, IHE Report Series 20, Delft/The Netherlands. 1990.
- Andreoli, C.V.:** Principais resultados da política ambiental brasileira: O setor público. In: Revista de Administração Pública. Ano 26 (1992). C.4. Out./Dez. 1992. Rio de Janeiro. P. 10-31.
- Aspé;** Martí; Roeckel: Anaerobic Treatment of Fishery Wastewater using a Marine Sediment Inoculum, Wat. Res. 31, 2147 - 2160. 1997.
- ATV-Arbeitsgruppe** 2.11.3 'Umweltverträglichkeitsprüfung für Kläranlagen': Hinweise zur Beurteilung der Umweltauswirkungen von Abwasseranlagen. Untersuchungsrahmen, Informationsgrundlagen, Maßstäbe zur fachlichen Beurteilung, Korrespondenz Abwasser 44, 1637 - 1646. 1997.
- ATV-Fachausschuß** 7.5 'Anaerobe Verfahren zur Behandlung von Industrieabwässern': Geschwindigkeitsbestimmende Schritte beim anaeroben Abbau von organischen Verbindungen in Abwässern, Korrespondenz Abwasser 41, 101 - 107. 1994.
- Baum, H.-G.;** Canter, J.: Überzeugendere Gebührengestaltung in der Abfallentsorgung. In: Wasser & Boden. 5, S. 10-17. 1997.
- Beckmann, R.;** Grooterhorst, A.; Wiehn, G.; Wolf, C.: Nicht nur Zufall. In: Müllmagazin 4, S. 77-80. 1996.
- Bhattacharya, K.;** Leslie, R.E.; Madura, R.L.: Effects of bioavailable cadmium on anaerobic systems, Wat. Environ. Res. 67, 1092 - 1094. 1995.
- Borghans, M.L.;** Eggert, A. J.; van Driel, A.: Anaerobe Reinigung chemischer Abwässer. Eine sorgfältige Planung garantiert den Erfolg, umwelt & technik Nr.6, 24 - 26.1988.
- CBS Milieustatistieken** - Waterkwaliteitsbeheer. Deel b Zuivering van afvalwater 1993. Voorburg/Heerlen, CBS 1995.
- DHV Consultants BV,** Netherlands, IBRD Workshop on UASB Technology for Sewage Treatment, Washington, D.C., USA, 1993 Economic Feasibility of the UASB Technology - A Comparative Study on Costs.
- Diekmann, R.;** Krull, R.: Behandlung von Bioabfall in Vergärungsanlagen - eine Marktübersicht. In: EntsorgungsPraxis 5, S. 22-25. 1995.
- EG-Richtlinie** 85/337/EG vom 27. Juni 1985 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten, ABl. EG Nr. L 175/40
- Florencio** et al.: A opção da tecnologia anaeróbia para o tratamento de baixo custo para os esgotos domésticos e industriais em Pernambuco; o uso do reator anaeróbio de fluco ascendente (RAFA). 1995.
- Frost, K.-J.;** Obid, G.: Ansätze zur Bildung von Deponiegebühren. In: AJ 6, S. 34-37. 1997.
- Gessler, G.;** Keller, K.: Vergleich verschiedener Verfahren zur Vergärung von Bioabfall. In: AbfallwirtschaftsJournal 7, Nr.6. S. 377-382. 1995.

⁹⁵ Im Projekt erarbeitete und für diesen Bericht verwendete Dokumente siehe Kap. 0

GTZ Environmental Manual for Power Development.

Haandel, A. van; Lettinga, G.: Anaerobic Sewage Treatment, 1994.

HdUVP - Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung (P. - C. Storm; T. Bunge/Hrsg.), E. Schmidt Verlag, Berlin 1988 ff., darin: G. Fehr; M. Jüring Abwasserbehandlungsanlagen, Kap. 4180 (12. Erg. Lfg., 1994)

Hensel, J.; Pohlmann, M.; Wiegel, U.: Effektiver Nutzen. In: Müllmagazin 2, S. 64-69. 1997.

IHK FFM 12/97, Der Markt für Umwelttechnik ist im Umbruch.

Henzen, M. und Harremoes, P.: Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors - a literature review. In: Water Science and Technology, 15, 1, 1983.

Hunklinger, R.; Jager, J.; Lohf, A.; Seemann, A.: Energetische Verwertung oder thermische Behandlung zur Beseitigung. In: EntsorgungsPraxis 3, S. 23-27. 1997.

IBGE: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB - 1989, publ. pelo IBGE, Rio de Janeiro, 1993.

Idelovitch, E.: Costos y sostenibilidad a largo plazo, Sistemas aeróbios, Foro Internacional - Comparación y complementación de tecnologías en aguas residuales domesticas para municipalidades, Colombia. 1997.

Idelovitch, E.; Ringskog, K.: Wastewater Treatment in Latin America. Old and New Options. World Bank Publication, Washington D.C., USA 1997.

Kayser Unternehmensberatung, Tübingen 1997; in Umweltmarkt 01/1998, Mehr Chancen als Risiken.

Knieling, M.: Von großer Tragweite. In: Müllmagazin 4, S. 72-76. 1996.

Lamberz, T.; Röper, B.; Thomas, G.: Unter Dampf gesetzt. In: Müllmagazin 2, S.60-62. 1997.

Lettinga, G. et al.: Evaluation of the strategic development plan for the new wastewater treatment plant for the Amriya District in Alexandria, Egypt. 1997.

Lexmond, M. et al.: Potential of controlled anaerobic wastewater treatment in order to reduce the global emissions of the greenhouse gases methan and carbon dioxide. 1995.

Lin, Y.: Effect of Heavy Metals on Volatile Fatty Acid Degradation in Anaerobic Digestion, Wat. Res. 23, 655. 1992.

Mara, D.: Low-Cost Wastewater Treatment in Waste Stabilisation Ponds and Waste Stabilisation Reservoirs in Brazil. In: Seminário Internacional „Tendencias no Tratamiento Simplificado de Aguas Residuárias Domésticas e Industriais“, Belo Horizonte, Brasil, 6 a 8 Março, 1996.

Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse. Third edition, revised by G. Tchobanoglous, F. Burton, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, India, 1991.

Miron en Zeeman, Anaerobic treatment of kommunale Abwässer with a two step UASB system -I: The role of the SRT on the hydrolysis of lipids and proteins and on dewaterability of the produced sludge, in progress.

Motta, R.S. da; May, P.H.: Pricing the Planet. Economic Analysis for Sustainable Development. Columbia University Press. New York. 1996.

Obermeier, T.; Pichler, A.: Vergärung von festen Abfällen. In: EntsorgungsPraxis 11, S. 30-37. 1995.

Pahl, U.; Rummer, V.: Biologische Abfallbehandlung - Rahmenbedingungen und Marktübersicht -. In: AbfallwirtschaftsJournal 7, Nr. 9. S. 536-544. 1995.

Port, W.: Teuber EG-Richtlinie über Anforderungen an kommunale Abwasseranlagen, gwf - Wasser. Abwasser 132, 657 - 659. 1991.

Salas, J.E.; Gomes, E.G.: Aprovechamiento económico de los desechos sólidos municipales: modelo de análisis para la evaluación financiera; Reciclaje y compostación aerobica vs reciclaje y digestión anaerobica alta en sólidos. 1996.

Sanders et al.: Anaerobic digestion of waste activated sludge - the effect of digestion temperature and Heat shocks, submitted to water quality international'98, IAWQ Vancouver. 1997.

Sasse, Ludwig: DEWATS. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries. Published by BORDA - Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen, 1998.

Siemens (Hrsg.): Betreibermodelle im internationalen Anlagengeschäft. Voraussetzungen und Möglichkeiten aus der Sicht des Herstellers. München/Erlangen. 1995.

Switzenbaum, S.: Obstacles in the Implementation of Anaerobic Treatment Technology, Biores. Technol. 53, 255 - 262. 1995.

Tagliareni, C.: Mikrobielle Reinigungsleistung und Reduktion von Parasiten in einer mechanisch/biologischen Kläranlage und einer Teichkläranlage, gwf - Wasser. Abwasser 138, 255 - 259. 1997.

World Bank: Water resources management. A World Bank policy paper. Third Printing 1995. Washington D.C.

Zur, E.: Betreiberschaft als unternehmerische Herausforderung! In: Kreditpraxis, Nr.4, S.2309 ff. 1996.

5.8 Projektliteratur

5.8.1 Statusbericht

1) Statusberichte, 1998:

- **Band 1: Nichtechnische Einflußfaktoren, Energie, Klima, Ökonomie, Grundlagen, 1998**
- **Band 2: Abwasser, 1998**
- **Band 3: Abfall, 1998**

5.8.2 Länderberichte

- 1) **Länderbericht Brasilien.** (engl.) Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Sao Paulo, Brasilien; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasilien; Fontes&Haandel, Engenharia Ambiental, Salvador, Brasilien: Oktober 1996.
- 2) **Länderbericht Kolumbien.** (span.) Conil, P.; Orozco, A.; Rodriguez Patiño, A.; Stöcklein, A.; Chavarro, P., September 1996.

Anhangsband zum Länderbericht Kolumbien. (span.)

- 3) **Länderbericht Mexiko.** (span.) Environmental Technology Group, Biotechnology Department, Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico, September 1996.
- 4) **Länderbericht Bolivien.** (span.) Centro de Investigación y Capacitación Agrobioenergética (CEINCA), Cochabamba, Bolivi en; Fundación Integral de Desarrollo (FIDES), Santa Cruz de la Sierra, Bolivien, September 1996.
- 5) **Länderbericht Thailand.** (engl.) Tantichoaren, M., September 1996.
- 6) **Länderbericht Jamaika.** (engl.) Environmental Solutions Ltd., Kingston, Jamaika, September 1996.
- 7) **Länderbericht Ecuador.** (span.) Villota, F., Oktober 1996.
- 8) **Länderbericht Indien.** (engl.) Arceivala, S., Januar 1997.
- 9) **Länderbericht China.** (engl.) Kaijun, W., September 1996.
- 10) **Länderbericht Vietnam.** (engl.) Ngoc Sinh, N.; Van Than, N.; Ngoc Quyhn, D.; Minh Triet, L.; Hong Lan Chi, D., April 1997.
- 11) **Länderbericht Indonesia.** (engl.) Han, E.; Prawiranata, H., Februar 1997.
- 12) **Länderbericht Malaysia.** (engl.) Yeoh, B.G., Februar 1997.
- 13) **Länderbericht Nepal.** (engl.) Ghimire, P.C., Januar 1997.
- 14) **Länderbericht Kingdom of Cambodia.** (engl.) Jona, V., Februar 1997.
- 15) **Länderbericht Lao PDR.** (engl.) Phannavong, S., Februar 1997.
- 16) **Länderbericht Marokko.** (franz.) Achkari-Begdouri, A., Januar 1997.

5.8.3 Reiseberichte

- 1) Hulshoff Pol, L.; Eitner, A.: **Reisebericht Brasilien 02.-16. März 1996.**
- 2) Hulshoff Pol, L.; van Lier, J.B.: **Mission Report to Ecuador, 10 September - 2 October 1996, Anaerobic Sewage Treatment in Babahoyo, Ecuador. Technological Aspects.**
- 3) Euler, H.; Hulshoff Pol, L.; Eitner, A.: **Mission Report to Bucaramanga, 13.-23. November 1996 and Report on Short Term Mission to Peru, 23.-25. November 1996.**
- 4) Eitner, A.: **Missionsbericht Marokko, Abschlußseminar der GTZ-Eigenmaßnahme Ben Sergao, Nationales Seminar Biomasse-Energie, 01.-06. Mai 1997.**
- 5) Hulshoff Pol, L.; Eitner, A.: **Mission Report to Belo Horizonte, Brazil, 21.-23. July 1997.**

5.8.4 Vorträge und Aufsätze

- 1) Eitner, A.: **Digestão de resíduos orgânicos sólidos, urbanos e agro-industriais em Instalações anaeróbias de sólidos e instalações de biogás agrícolas por co-fermentação.** März 1996.
- 2) Klingler, B.; Eitner, A.; Euler, H.: **Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agriculture, Agro-Industries and Municipal Wastewater as Major Cause for Climatic Change and its Reduction Potential through Anaerobic Technologies.** Juni 1996.
- 3) Euler, H.; Hulshoff Pol, L.; Klingler, B.; Eitner, A.: **Social Barriers to the Application of Anaerobic Technology in the Field of Waste and Wastewater Treatment.** Dezember 1996.
- 4) **Final Conclusion on the Regional Seminar for South-East Asia on Aerobic Technology for Waste and Wastewater Management and its Economic, Social and Ecological Implications.** Dezember 1996.
- 5) Krieg, A.: **State-of-the-art of Anaerobic Organische Abfälle Treatment: the European Experience.** Dezember 1996.
- 6) Hulshoff Pol, L.; Euler, H.; Eitner, A.: **GTZ Sectoral Project „Promotion of Anaerobic Technology for the Treatment of Municipal and Industrial Sewage and Wastes“.** Dezember 1996.
- 7) Klingler, B.; Euler, H.: **Anaerobic Technologies - a Key Technology for the Future. One Appropriate Technology Element to Reduce Growing Environmental Threats.** 1996.

5.8.5 Anlagenberichte

- 1) van Haandel, **Anlagenanalyse UASB Pedregal** 5.000 EG, Brasil
- 2) Salomão Jr., A., CETESB, **Anlagenanalyse UASB SABESP** (ex Imhoff), Sao Paulo, Brasil,
- 3) Rodrigues, J., CDMB, **Anlagenanalyse: UASB Rio Frio**, 240.000 EG, Colombia
- 4) Sterling, C., EMCALI, **Anlagenanalyse UASB Cali-Vivero**, 20.000 EG, Colombia
- 5) CEPIS, **Anlagenanalyse UASB UNI**, Lima, Peru
- 6) FIDES, **Analyse der Anaerobanlagen: UASB Santa Cruz** (5000 EG), **Plug-flow** (4000 EG), **Imhoff tank Sindrota** (5000 EG), Bolivia
- 7) Driouache, A., **Anlagenanalyse Kläranlage Ben Sergao, anaerobes Absetzbecken**, 10.000 EG, Marokko

5.8.6 Anlagendokumentation

- 1) Sonia Vieira, A. van Haandel, **Anlagendokumentation**, Brasil
- 2) Red Nacional de Biotecnologia Ambiental, **Anlagendokumentation**, Colombia
- 3) Monroy, O., UAM, **Anlagendokumentation** Mexico
- 4) FIDES, **Anlagendokumentation** Bolivien
- 5) Villota, **Anlagendokumentation** Ecuador

5.8.7 Institutionen und Rahmenbedingungen

- 1) FIDES, **Analyse der Rahmenbedingungen/Implementierungsinstitutionen** u.a. ANESAPA, LIDEMA-Liga Nacional de Defensa del Medio Ambiente, CEINCA, FIDES, ABIS, DINASBA, "Case Capinota", Bolivia
- 2) Monroy, O., UAM, **Analyse der Rahmenbedingungen/Implementierungs-institutionen: Pretreatment of domestic WW in Mexico City** - (CNA - Comision Nacional de Agua/ Mexico City), Mexico
- 3) Chavarro P., **Analyse der Rahmenbedingungen / Implementierungsinstitutionen**, Colombia
- 4) Villota, **Analyse der Rahmenbedingungen/Implementierungsinstitutionen** u.a. Direccion de Medio Ambiente del Municipio Metropolitano, SSA, Ecuador