

# **Technologieauswahl für die Abwasserreinigung kleiner Ortschaften in Kolumbien**

Vorgelegt von  
Ingenieur M.Sc.  
Jhonniers Guerrero Erazo  
aus Kolumbien

Von der Fakultät VII  
Architektur Umwelt Gesellschaft  
der Technischen Universität Berlin  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Ingenieurwissenschaften  
- Dr.- Ing.-

Genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr. agr. Dr. rer. nar. B.-M. Wilke

Berichter: Prof. Dr.- Ing. H. Diestel

Berichter: Prof. Dr.- Ing. W. Hegemann

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 22. Mai 2003

Berlin 2003

D 83

# Inhalt

Einleitung .....	1
<b>1 Einführung in die Thematik und Problemstellung .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Aktuelle Lage der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung in Kolumbien .....</b>	<b>4</b>
1.1.1 Historische Hintergründe des Sektors Trinkwasseraufbereitung und Abwasserentsorgung.....	4
1.1.2 Strukturdaten von Kolumbien.....	5
1.1.3 Eigenschaften, Behandlung und Deponierung von städtischen flüssigen Abfällen in Kolumbien .....	8
<b>1.2 Kleine Gemeinden und bewohnte Zentren.....</b>	<b>11</b>
1.2.1 Eigenschaften von kleinen Gemeinden und bewohnten Zentren.....	11
1.2.2 Abwasserbehandlung in kleinen Gemeinden und bewohnten Zentren.....	14
<b>1.3 Erläuterung des Problems .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Ziel .....</b>	<b>17</b>
<b>2 Theoretisches Modell zur Auswahl von Technologien zur Abwasserbehandlung in kleinen Gemeinden .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Einführung .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Konzepte für geeignete Technologien.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Vorgeschlagenes Modell.....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Annäherungsphase .....	23
2.3.2 Synthesephase .....	28
<b>3 Technologien der Abwasserbehandlung .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Vorbehandlung und mechanische Behandlung.....</b>	<b>34</b>
3.1.1 Rechen und Siebe.....	34
3.1.2 Vorklärung.....	35
3.1.3 Mehrkammergrube.....	36

3.1.4	Anaerobe Filter (Filterkörper).....	36
<b>3.2</b>	<b>Biologische Abwasserbehandlung.....</b>	<b>38</b>
3.2.1	Landbehandlung.....	38
3.2.2	Behandlungssysteme in Teichen.....	40
3.2.3	Pflanzenkläranlage.....	44
3.2.4	Technische Kläranlagen.....	47
3.2.5	Anaerobe Behandlung - UASB- Reaktoren.....	52
<b>3.3</b>	<b>Verfahrenskombinationen zur Abwasserreinigung in Gemeinden .....</b>	<b>53</b>
<b>4</b>	<b>Auswahlhilfsmodell .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Einsatz des analytischen Rangordnungsmodells (AHP) zur Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung .....</b>	<b>52</b>
4.1.1	Alternativenliste.....	52
4.1.2	Kriterienfeststellung und Umsetzung des Rangordnungsmodells .....	52
4.1.3	Paarweiser technologischer Alternativenvergleich.....	54
4.1.4	Vergleich der Unterkriterien und der Kriterien zwischen Paaren.....	71
4.1.5	Berechnung der Bewertung der Priorität jeder technologischen Alternative .....	72
<b>5</b>	<b>Kostenhilfsmodell.....</b>	<b>74</b>
<b>5.1</b>	<b>Vorbemerkungen.....</b>	<b>74</b>
<b>5.2</b>	<b>Investitionskosten .....</b>	<b>76</b>
5.2.1	Kosten der Vorarbeiten.....	76
5.2.2	Baukosten.....	77
5.2.3	Berechnung der Investitionskosten.....	85
<b>5.3</b>	<b>Betriebs- und Wartungskosten.....</b>	<b>88</b>
5.3.1	Elektrischer Strom .....	89
5.3.2	Chemische Zusätze .....	91
5.3.3	Wasserqualitätskontrolle und Kontrolle der Behandlungsprozesse.....	91
5.3.4	Wartung von Geräten.....	92

5.3.5	Personal für Betrieb und Wartung des Systems.....	93
5.3.6	Verwaltungskosten.....	93
5.3.7	Berechnung der Betriebs- und Wartungskosten .....	95
<b>6</b>	<b>Prüfung des Modells .....</b>	<b>99</b>
<b>6.1</b>	<b>Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun.....</b>	<b>99</b>
6.1.1	Generelle Eigenschaften des Wassereinzugsgebiets.....	99
6.1.2	Bevölkerung.....	102
6.1.3	Soziale Bedingungen .....	104
6.1.4	Wetterbedingungen .....	106
6.1.5	Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung .....	107
<b>6.2</b>	<b>Plan zur Umweltsanierung der Region La Florida .....</b>	<b>110</b>
6.2.1	Technologieauswahl .....	110
<b>6.3</b>	<b>Plan zur Umweltsanierung der Region La Bananera .....</b>	<b>120</b>
6.3.1	Technologieauswahl .....	120
<b>6.4</b>	<b>Analyse und Diskussion .....</b>	<b>127</b>
6.4.1	Technologieauswahl .....	127
6.4.2	Baukosten.....	130
6.4.3	Betriebs- und Wartungskosten.....	132
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>135</b>
<b>7.1</b>	<b>Theoretisches Modell zur Technologieauswahl .....</b>	<b>135</b>
<b>7.2</b>	<b>Kostenhilfsmodell .....</b>	<b>137</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>138</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>149</b>

# Bildungsverzeichnis

Bild 1.1	Geographische Lage Kolumbiens und politische bzw. administrative Einteilung (DANE 2000) .....	5
Bild 1.2	Vergleich der erzeugten, der gesammelten und der behandelten Abwassermenge in Kolumbien .....	11
Bild 2.1	Hauptvariablen der Technologieauswahl von Abwasserreinigungsverfahren. Vergleich zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (VON SPERLING 1996).....	19
Bild 2.2	Schema des Expertsystems zur Feststellung der Auswahl und der Sequenz von Abwasserreinigungsprozessen (KAO & YANG 1996) .....	20
Bild 2.3	Prozedur und Schema der Analyse zur Feststellung von möglichen technologischen Verfahrenskombinationen bei der Abwasserreinigungsinfrastruktur (CHEN & BECK 1997).....	20
Bild 2.4	Generelles Schema des konzeptuellen Modells zur Technologieauswahl bei der Trinkwasseraufbereitung (VARGAS & GALVIS 2000).....	21
Bild 2.5	Institutionelle Auswahlaspekte in der Annäherungsphase.....	25
Bild 2.6	Auswahlaspekte bezüglich der Besitzverhältnisse und Gefährdung durch Naturkatastrophen des Grundstücks, wo die Kläranlage gebaut wird .....	25
Bild 2.7	Auswahlaspekte bezüglich der technischen Eigenschaften des Grundstücks, wo die Kläranlage gebaut werden soll .....	27
Bild 2.8	Auswahlaspekte bezüglich der Verfügbarkeit der erforderlichen Dienstleistungen für die Installation und den normalen Betrieb der Kläranlage .....	28
Bild 2.9	Schema des vorgeschlagenen theoretischen Modells (basiert auf dem Modell von KAO & YANG 1996). .....	32
Bild 3.1	Grundoperationen und Prozesse der Reinigung nach Behandlungsgrad (SALAZAR 1998).....	33
Bild 3.2	Schema des Landbehandlungssystem - Rieselfelder (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996; ATV 1997) .....	39
Bild 3.3	Schema des Landbehandlungssystem - Oberflächenabfluss (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996) .....	40
Bild 3.4	Schema der unbelüfteten Teichanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996) .....	42
Bild 3.5	Schema der belüfteten Teichanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996).....	42

Bild 3.6	Schema der Teichkaskadenanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996).....	43
Bild 3.7	Schema der Teichanlage mit zwischengeschaltetem Tropfkörper (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996) .....	44
Bild 3.8	Schema der Pflanzenkläranlage Oberflächenabfluss .....	45
Bild 3.9	Schema der Pflanzenkläranlage Vertikal- oder Horizontalbeete .....	47
Bild 3.10	Schema der konventionellen Belebungsanlage und Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996) .....	49
Bild 3.11	Schema der Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996).....	50
Bild 3.12	Schema der Tropfkörperanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996).....	51
Bild 3.13	Schema der Tauchkörperanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996).....	52
Bild 3.14	Schema des UASB- Reaktorsystem (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996) .....	53
Bild 4.1	Entscheidungsrangordnung zur Technologiewahl bei der Abwasserreinigung in kolumbianischen Gemeinden.....	53
Bild 6.1	Region von Risaralda – Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun (CARDER 2000).....	100
Bild 6.2	Durchschnittlicher Niederschlag im Monat – Mittleres Wassereinzugsgebiet La Florida (CENICAFE 2000).....	106
Bild 6.3	Durchschnittliche Temperatur im Monat – Mittleres Wassereinzugsgebiet La Florida (CENICAFE 2000) .....	106
Bild 6.4	Hydrologische Bilanz – Mittleres Wassereinzugsgebiet La Florida (CENICAFE 2000).....	107
Bild 6.5	Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse bei der Technologieauswahl für La Florida und La Bananera.....	127
Bild 6.6	Relative Bedeutungen der Auswahlvariablen bei der Alternativenbewertung – La Florida .....	128
Bild 6.7	Relative Bedeutungen der Auswahlvariablen bei der Alternativenbewertung – La Bananera.....	128
Bild 6.8	Investitionskosten pro Person in La Florida und La Bananera (2000).....	131
Bild 6.9	Investitionskosten in La Florida und La Bananera – Vergleich der unterschiedlichen Modelle .....	131

Bild 6.10	Kostenstruktur der ausgewählten Systeme.....	132
Bild 6.11	Zusammenfassung der Ergebnisse der Technologieauswahlprozedur in La Florida und in La Bananera. Betriebs- und Wartungskosten .....	133
Bild 6.12	Betriebs- und Wartungskosten der ausgewählten Systeme in La Florida und in La Bananera – Vergleich der unterschiedlichen Modelle .....	134

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1	Bevölkerung in Kolumbien – Städtisch und ländlich (DANE 2000) .....	6
Tabelle 1.2	Schätzung der kolumbianischen Bevölkerung für das Jahr 2002 und ihre urbane Verteilung (DANE 2000).....	7
Tabelle 1.3	Eigenschaften von häuslichen Abwässern.....	9
Tabelle 1.4	Verteilung der Technologien zur Behandlung von häuslichen Abwässern (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 1998) .....	10
Tabelle 1.5	Ort der Einleitung von flüssigen häuslichen Abfällen nach Anteil der Gemeinden und der Bevölkerung (SIAS 1999).....	11
Tabelle 3.1	Verfahrenskombinationen zur Abwasserreinigung in kleinen Gemeinden ....	55
Tabelle 3.2	Vor- und Nachteile der Systeme zur Abwasserreinigung kleiner Gemeinden (Mit Veränderung nach ATV 1997; VON SPERLING 1996) .....	56
Tabelle 3.3	Qualitative Bewertung der Abwasserverfahren (Mit Veränderung nach ATV 1997a; VON SPERLING 1996) .....	1
Tabelle 4.1	Schema der Matrix für den Vergleich zwischen Paaren bezüglich des Unterkriteriums der Lärmbelastung.....	56
Tabelle 4.2	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: Geruchsentstehung.....	57
Tabelle 4.3	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: Lärmbelastung .....	57
Tabelle 4.4	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: Schädlingsentstehung .....	59
Tabelle 4.5	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: optische Beeinträchtigung der Landschaft.....	59
Tabelle 4.6	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: Belastung empfindlicher Ökosysteme bzw. strategischer Zonen .....	60
Tabelle 4.7	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Soziale und kulturelle. Unterkriterium: Ausbildungsniveau .....	60
Tabelle 4.8	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Soziale und kulturelle. Unterkriterium: Erfordernisse an Arbeitskraft.....	61
Tabelle 4.9	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Soziale und kulturelle. Unterkriterium: Möglichkeiten zur lokalen Betreibung der Gemeinde.....	61
Tabelle 4.10	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Soziale und kulturelle. Unterkriterium: Institutionelle Präsenz.....	62

Tabelle 4.11	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Technologische. Unterkriterium: Einsatz von Zusätzen und Geräten.....	62
Tabelle 4.12	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Technologische. Unterkriterium: Komplexität von Betrieb und Wartung.....	63
Tabelle 4.13	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Technologische. Unterkriterium: Wiederverwendung der gereinigten Abwässer .....	63
Tabelle 4.14	Schlammproduktion der unterschiedlichen Behandlungsverfahren (ATV 1997; TCHOBANOGLOUS & CRITERS 1998, ROMERO 1999, STIER et al. 1994) .....	64
Tabelle 4.15	Schlammproduktion der unterschiedlichen Behandlungsverfahren .....	64
Tabelle 4.16	Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Technologische. Unterkriterium: Schlammproduktion.....	65
Tabelle 4.17	Ein Beispiel der Bewertung: Matrix für Vergleich zwischen Paaren und 1. Schritt der Bewertung .....	66
Tabelle 4.18	Beispiel der Bewertung: Normalisierte Matrix.....	66
Tabelle 4.19	Beispiel der Bewertung: Berechnung der Prioritäten .....	67
Tabelle 4.20	Beispiel der Bewertung: Berechnung der Tauglichkeit der Bewertung. Schritte 1 und 2 .....	68
Tabelle 4.21	Aleatorische Tauglichkeitsindikator (SAATY 1980) .....	68
Tabelle 4.22	Vektoren von relativen Prioritäten und Tauglichkeitsverhältnisse der 21 Technologien bezüglich der Unterkriterien .....	70
Tabelle 4.23	Beispiel der Ergebnisse in einer Gemeinde durch das analytische Rangordnungsmodell AHP .....	73
Tabelle 5.1	Berücksichtige BLS bei der Berechnung der Modelle der Menge für Bauarbeiten .....	78
Tabelle 5.2	Kostenfunktionen zur Berechnung von Mengen an Bauarbeiten für Behandlungseinheiten .....	80
Tabelle 5.3	Kostenfunktionen zur Investitionskostenberechnung von elektrischen und maschinellen Installationen und Geräten .....	83
Tabelle 5.4	Kostenfunktionen zur Berechnung von Mengen an Rohrleitungen und Abwasserleitungen.....	83
Tabelle 5.5	Kostenfunktionen zur Berechnung der Menge an Außenbauarbeiten .....	84
Tabelle 5.6	Kostenfunktionen zur Berechnung von gesamter benötigter Fläche .....	84
Tabelle 5.7	Strukturkosten und/oder Gerätekosten der unterschiedlichen Systeme.....	85
Tabelle 5.8	Kostenfunktionen Energieverbrauch von Pumpen und Belüftern .....	91

Tabelle 5.9	Kostenfunktionen zur Schätzung von Personal zur Wasserqualitätskontrolle und Kontrolle der Behandlungsprozesse .....	92
Tabelle 5.10	Kostenfunktionen zur Personalbestimmung und zur Feststellung von nötigen Materialien für Betrieb und Wartung.....	94
Tabelle 6.1	Bevölkerungsverteilung im mittleren und oberen Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun (AGUAS & AGUAS 1998) .....	103
Tabelle 6.2	Durchschnittliche Eigenschaften des Abwassers – Region La Florida .....	108
Tabelle 6.3	Auslegungsparameter des Abwasserbehandlungssystems – La Florida.....	110
Tabelle 6.4	Checkliste – Annäherungsphase, Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung der Region La Florida.....	111
Tabelle 6.5	Durchführbare Abwasserbehandlungssysteme für die Region La Florida ...	113
Tabelle 6.6	Prioritätsvektoren für jedes Unterkriterium – La Florida .....	115
Tabelle 6.7	Investitionskosten – La Florida.....	116
Tabelle 6.8	Betriebs- und Wartungskosten – La Florida .....	116
Tabelle 6.9	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Umweltbezogene Unterkriterien – La Florida.....	117
Tabelle 6.10	Vergleichsmatrix zwischen Paaren – Soziokulturelle Unterkriterien – La Florida.....	117
Tabelle 6.11	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Technologische Unterkriterien – La Florida.....	118
Tabelle 6.12	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Unterkriterien bezüglich der Kosten– La Florida.....	118
Tabelle 6.13	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Allgemeine Kriterien – La Florida.....	118
Tabelle 6.14	Endeinordnung der Prioritäten – La Florida .....	119
Tabelle 6.15	Auslegungsparameter der Abwasserbehandlungssysteme – La Bananera ...	120
Tabelle 6.16	Checkliste – Annäherungsphase, Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung der Region La Bananera .....	121
Tabelle 6.17	Durchführbare Abwasserbehandlungssysteme für die Region La Bananera	123
Tabelle 6.18	Investitionskosten – La Bananera .....	123
Tabelle 6.19	Betriebs- und Wartungskosten – La Bananera.....	123
Tabelle 6.20	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Umweltbezogene Unterkriterien – La Bananera .....	124
Tabelle 6.21	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Vergleichsmatrix zwischen Paaren – Soziokulturelle Unterkriterien –La Bananera .....	124

Tabelle 6.22	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Technologische Unterkriterien – La Bananera .....	124
Tabelle 6.23	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Unterkriterien bezüglich der Kosten– La Bananera .....	125
Tabelle 6.24	Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Allgemeine Kriterien – La Bananera .	125
Tabelle 6.25	Endeinordnung der Prioritäten – La Bananera.....	126

# Abkürzungsverzeichnis

## *Längen*

mm	=	Millimeter
cm	=	Zentimeter
m	=	Meter
km	=	Kilometer

## *Fläche*

cm <sup>2</sup>	=	Quadratcentimeter
m <sup>2</sup>	=	Quadratmeter
ha	=	Hektar

## *Rauminhalt (Volumen)*

ml	=	Milliliter
l	=	Liter
m <sup>3</sup>	=	Kubikmeter

## *Gewicht*

mg	=	Milligramm
g	=	Gramm
kg	=	Kilogramm
t	=	Tonne

## *Zeit*

s	=	Sekunde
min	=	Minute
h	=	Stunde
d	=	Tag
W	=	Woche
A	=	Jahr

## *elektrische Einheiten*

kW	=	Kilowatt
kW h	=	Kilowatt - Stunde

## *Zusammengesetzte Einheiten*

l/s	=	Liter pro Sekunde
m <sup>3</sup> /s	=	Kubikmeter pro Sekunde
l/(E d)	=	Liter pro Einwohner und Tag
mg/l	=	Milligramm pro Liter

## *Sonstige Kurzzeichen*

BSB <sub>5</sub>	=	biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB	=	chemischer Sauerstoffbedarf
°C	=	Grad Celsius

# Einleitung

Einer der Hauptfaktoren für die Entwicklung eines Landes und für die Lebensqualität in einem Land stellt eine gute Dienstleistung bezüglich der Trinkwasserversorgung und der Abwasserreinigung dar. Die Erfüllung dieser Grundbedürfnisse wurde von den Gemeinden als ihr Recht betrachtet. Die Abwasserreinigung stellt eine sehr wichtige Aufgabe für das Gemeinwohl und zur Kontrolle der Belastung von Gewässern.

In vielen Gemeinden von Entwicklungsländern ist die Verbreitung der Abwasserbehandlung ziemlich gering. Diese Siedlungen verfügen nicht über die technische Infrastruktur, die menschlichen und ökonomischen Ressourcen, um solche Systeme auszulegen, zu konstruieren, und um die Inbetriebnahme zu realisieren. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Planungsmethode entwickelt, die Entscheidungshilfe bei der Auswahl der geeigneten Technologie für die Abwasserreinigung in kleinen Gemeinden gibt. Dabei wird ermöglicht, dass staatliche Einrichtungen und Kontrollbehörden politische Maßnahmen für den Gewässerschutz entwerfen, die den Einsatz von effizienten, günstigen und für kleine Gemeinden (besonders für kolumbianische Gemeinden) zugängliche technologische Alternativen mit berücksichtigen.

Kapitel 1 zeigt die hauptsächlichen Eigenschaften der Systeme zur Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung, die in Kolumbien eingesetzt werden. Dabei wird auch das Problem der Technologieauswahl in kleinen Gemeinden erläutert.

Ein theoretisches Modell für die Technologieauswahl zur Abwasserreinigung, das in dieser Arbeit entwickelt wird, wird in Kapitel 2 vorgestellt. Dieses Modell beinhaltet zwei Phasen: Die Annäherungsphase und die Synthesephase. Bei der Annäherungsphase werden die für einen bestimmten Ort durchführbaren Technologien analysiert. In der Synthesephase werden die durchführbaren Technologien nach verschiedenen Aspekten eingestuft, im Speziellen umweltbezogenen soziokulturellen, technologischen und ökonomischen Aspekten. Dabei werden diese Technologien hinsichtlich dieser Aspekte und der lokalen Merkmale der Gemeinde bewertet.

Kapitel 3 beschreibt die unterschiedlichen technologischen Optionen und ihre Eigenschaften. In Anhang A wird diese Beschreibung vertieft. Mit den aus der Literaturrecherche ausgewählten Technologien werden 21 mögliche Systeme strukturiert. Diese Systeme beruhen auf den folgenden Prozessen: Landbehandlung, Behandlung in

Teichen, Belebungsverfahren, Tropfkörperverfahren, Tauchkörperverfahren, Pflanzenkläranlage und das anaerobe Verfahren „UASB“.

Zur Bewertung und zum Vergleich der unterschiedlichen Alternativen (durchführbare Technologien) wurden in der Synthesephase zwei Hilfsmodelle benutzt. Das erste Modell, das in Kapitel 4 aufgestellt wird, wird als „Analytic Hierarchic Process“ (AHP) bezeichnet und wird hier für das Problem der Technologieauswahl zur Abwasserreinigung angepasst. Der Vorteil des analytischen Rangordnungsmodells liegt darin, dass jeder relevante Aspekt individuell mit den anderen Aspekten verglichen wird. Dies ermöglicht eine objektive Bewertung der subjektiven Prozesse. Außerdem ermöglicht dieses Modell die kommunale Beteiligung. Der bedeutsamste Beitrag dieses Modells stellt seine Fähigkeit dar, die Meinung der Institutionen der Gemeinde und die Sichtweise ihrer Bürger (Vertreter) bezüglich der Entwicklung des Abwassermanagements beim Rangordnungsmodell mit zu berücksichtigen. Dies ermöglicht die Beteiligung der Gemeinde bei der Entwicklung eines Projekts.

Das zweite Hilfsmodell ist das Kostenhilfsmodell, das in Kapitel 5 erläutert wird. Dabei kann man die Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten der Systeme schätzen. Diese Schätzung beruht auf einer Vorauslegung der Behandlung. Mit den sich ergebenden Kosten kann man mit Hilfe des AHP eine Bewertung durchführen, die die Feststellung einer bevorzugten Technologie ermöglicht.

Kapitel 6 erläutert die Validierung des Modells in zwei Gemeinden: La Florida und La Bananera (Kolumbien). Dabei wird Schritt für Schritt jeder Einzelprozess der Modelle entwickelt, und es werden die Ergebnisse dieser Analyse aufgestellt.

Die Diskussion der in den zwei Gemeinden festgestellten Ergebnisse, die Struktur, die Analyse der Vor- und Nachteile des theoretischen Modells sowie die Diskussion der Hilfsmodelle werden in Kapitel 7 aufgestellt. Zuletzt werden in diesem Kapitel die Möglichkeiten einer weiteren Forschung, mit dem Zweck, die möglicherweise vorhandenen Schwächen der Modelle zu überwinden und die Information und die Prozesse zu standardisieren, vorgeschlagen.

# 1 Einführung in die Thematik und Problemstellung

Nach einer Auswertung der Trinkwasserversorgungs- und der Abwasseraufbereitungssysteme in Nord-, Zentral- und Südamerika wird abgeschätzt, dass ca. 80 % der Krankheiten und mehr als ein Drittel aller Todesfälle in Entwicklungsländern durch den Verzehr von verseuchtem Wasser verursacht werden (OMS, OPS 2000).

In diesen Ländern wird durchschnittlich ein Zehntel der produktiven Zeit eines Menschen durch Krankheiten, die mit der Wasserqualität verbunden sind, verloren.

Obwohl im letzten Jahrzehnt (1990 – 2000), so viel wie nie zuvor zur Lösung dieser Probleme unternommen wurde, sind all diese Anstrengungen nicht ausreichend gewesen. Jede dritte Person verfügt heutzutage immer noch nicht über genug Trinkwasser guter Qualität, das so wichtig sowohl für die Gesundheit als auch für die Würde eines Menschen ist.

Darüber hinaus ist bekannt, dass die Abwässer für die Zerstörung der hydrologischen Ressourcen dieser Länder verantwortlich sind. Daraus folgt die Notwendigkeit der Nutzung geeigneter Technologien und des Baus von Abwasseraufbereitungsanlagen, um den Fortschritt in diesen Regionen anzukurbeln (OMS, OPS 2000).

In Kolumbien sind die Lösung der Mängel und die Verbreitung dieser öffentlichen Leistungen seit langem ein Kernpunkt der Bemühungen und Verpflichtungen der Zentralregierung und der örtlichen Zuständigkeiten. Seit 1987, mit dem Beginn des Prozesses der Dezentralisierung, kamen den örtlichen Behörden eine besondere Rolle bei der Lösung dieser Probleme zu. Die Gemeinden sind nun zuständig für die Mediation, den Geschäftsabschluss und die Ausführung, die Kontrolle über die finanziellen Ressourcen und die lokale territoriale Zuordnung der Bauprojekte. Es wird jetzt eine Analyse dieses Sektors vorgestellt.

## **1.1 Aktuelle Lage der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung in Kolumbien**

### **1.1.1 Historische Hintergründe des Sektors Trinkwasseraufbereitung und Abwasserentsorgung**

Zwischen 1950 und 1970 wurden die ersten Firmen für Wasserversorgung und Abwasserkanalisation bzw. -entsorgung in den großen und mittleren Städten gegründet. Diese Firmen verfügten bereits über Finanz- und Verwaltungsautonomie. Für die kleineren Städte und Dörfer gab es zwei Verfahren: (1) Das Gesundheitsministerium, vertreten durch das „Instituto de Fomento Municipal – INSFOPAL“, führte die Konstruktion, die Verwaltung und den Betrieb der Systeme in mittleren und kleinen Städten durch und (2) das Programm für die Trinkwasserversorgung und die Abwasserentsorgung im ländlichen Raum „Programa de Saneamiento Básico Rural - PSBR“, verwaltet durch das Nationale Gesundheitsinstitut und vertreten durch kleine Büros im ganzen Land, kümmerte sich um Dörfer mit weniger als 2.500 Einwohnern.

Dies endete 1987 mit dem Dekret Nr.: 77-1987 der Zentralregierung, das die Liquidierung von INSFOPAL anordnete und gleichzeitig die Verantwortung für die Trinkwasserversorgung und die Abwasserentsorgung an die Gemeinden und die Verwaltungsbezirke durch das PSBR übergab. Mit diesem Dekret wurde auch der Fachbereich der Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung „Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico“ des Bau- und Verkehrsministerium gegründet. Zu den Aufgaben dieser Einrichtung gehörten die Reglementierung, die allgemeine Koordination, die technische Zusammenarbeit, die Verwaltung des Informationssektors als Basis für die richtige Orientierung des PSBR.

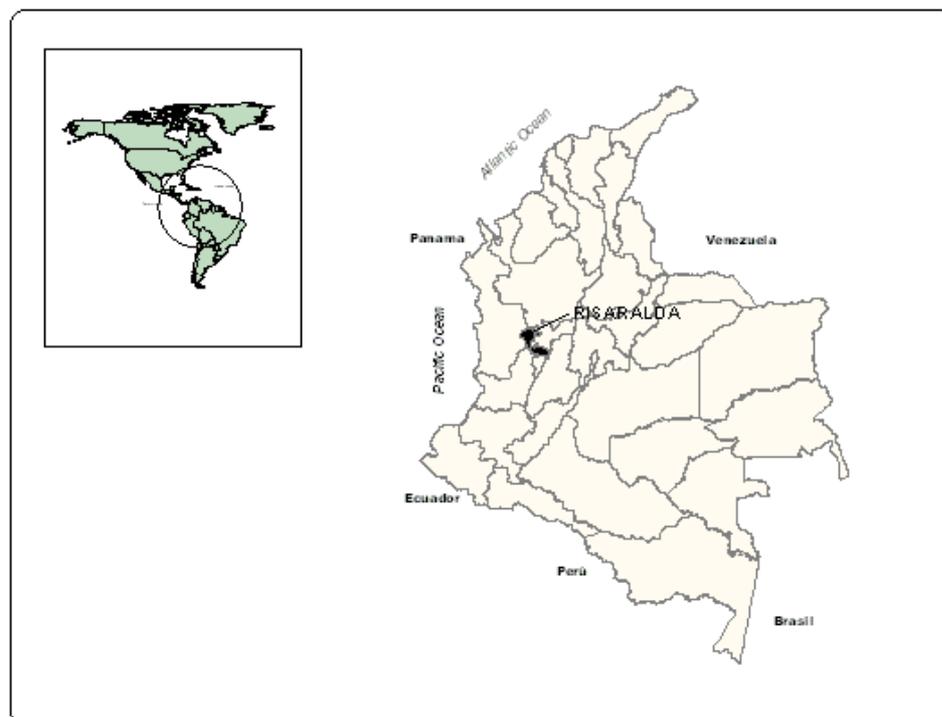
Eine weitere Änderung gab es 1992, als per Dekret 2151 die „Dirección de Agua Potable y Saneamiento“ als Abteilung des Bau- und Verkehrsministerium gestrichen wurde. Diese Einrichtung wurde mit gleichem Namen dem Trinkwasserver- und Abwasserentsorgungssubministerium des Entwicklungsministeriums eingegliedert und sie startete ihre Arbeit in der zweiten Hälfte des Jahres 1993. Anschließend wurden zwei neue Einrichtungen gegründet: die Regulierungskommission für Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung „Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico“ als

regulierendes Organ und die Abteilung des öffentlichen Dienstes „Superintendencia de Servicios Públicos“, welche für die Inspektion, Aufsicht und Kontrolle der Versorgungsfirmen zuständig ist.

## 1.1.2 Strukturdaten von Kolumbien

Kolumbien ist ein tropisches Land und liegt im nördlichen Teil Südamerikas. Das Land hat eine Fläche von 1,1 Mio. km<sup>2</sup> und grenzt im Norden an das karibische Meer, im Süden an die Republiken Ecuador, Peru und Brasilien, im Osten an die Republik Venezuela und im Westen an die Republik Panama und den pazifischen Ozean.

Kolumbien ist in 32 Verwaltungsbezirke unterteilt. Dazu gehören 1.091 Kommunen, die wiederum in städtische und ländliche Gemeinden unterteilt sind (Bild 1.1).



**Bild 1.1 Geographische Lage Kolumbiens und politische bzw. administrative Einteilung (DANE 2000)**

### 1.1.2.1 Bevölkerung

Das nationale statistische Informationssystem teilt die kolumbianische Bevölkerung nach dem Wohnort in zwei Kategorien: städtische Gebiete und ländliche Gebiete ( DANE 2000).

Städtische Gebiete werden durch Ansammlungen von Gebäuden, die rechteckig angeordnet und hauptsächlich durch Straßen und Alleen begrenzt sind, charakterisiert. Diese Gebiete verfügen im Allgemeinen über die essentiellen Dienstleistungen wie Abwasserkanäle, elektrischen Strom, Krankenhäuser, Schulen, usw. Zu dieser Kategorie gehören alle großen Städte sowie alle Hauptstädte der Verwaltungsbezirke. Dies bedeutet, dass die zentrale kommunale Verwaltung in diesen Ortschaften angesiedelt ist.

Ländliche Gebiete werden wiederum durch einzeln verstreute Bebauungen und die dazu gehörende landwirtschaftliche Nutzung charakterisiert. Diese Gebiete verfügen in der Regel weder über geordnete Straßen, Alleen noch über diejenigen öffentlichen Dienstleistungen, die städtische Gebiete charakterisieren. Es existieren hier auch einige größere Ansammlungen, die aber nicht zu den städtischen Zentren gezählt werden können.

Ein bewohntes Zentrum ist ein Gebiet mit urbanen Eigenschaften, das aber in einem ländlichen Gebiet liegt. Es wird durch mindestens 20 nebeneinander liegende Bebauungen gekennzeichnet.

Wie aus der Tabelle 1.1 erkennbar wird, betrug die kolumbianische Bevölkerung laut der von dem „Departamento Administrativo de Estadística – DANE“ in 1993 durchgeführten Volkszählung 37.664.711 Einwohner. In den städtischen Gebieten wohnten 25.849.387 Menschen und in den ländlichen Gebieten 11.815.324, dies ergibt eine prozentuale Verteilung von 68,6% bzw. 31,4 %. Im Vergleich zu den vorherigen Volkszählungen war eine Tendenz zur Bevölkerungskonzentration in den Städten zu erkennen.

**Tabelle 1.1 Bevölkerung in Kolumbien – Städtisch und ländlich (DANE 2000)**

<b>Jahr</b>	<b>Gesamt- Bevölkerung</b>	<b>Städtische Bevölkerung</b>	<b>Ländliche Bevölkerung</b>	<b>% Städtische</b>	<b>% Ländliche</b>
1973	22.886.290	13.656.249	9.230.041	59,67	40,33
1985	30.062.207	19.627.615	10.434.592	65,29	34,71
1993	37.664.711	25.849.387	11.815.324	68,63	31,37
1998*	40.768.721	28.719.052	12.049.669	70,44	29,56
1999*	41.534.639	29.382.265	12.152.374	70,74	29,26
2002*	43.771.178	31.535.879	12.235.299	72,05	27,95

\* Schätzung von DANE auf der Basis von der Volkszählung von 1993

Die städtische Bevölkerung hat überproportional zugenommen. 1951 stellte sie 38,9% der Gesamtbevölkerung dar, 1964 53,4%, 1973 60% und 1985 65%. Diese Tendenz lässt sich hauptsächlich durch die Ausweisungsphänomene, die in den ländlichen Gebieten stattgefunden haben, erklären. Laut der von DANE durchgeführten Schätzung betrug die kolumbianische Bevölkerung in 1998 40.768.721 Einwohnern, 70,4% in den urbanen Gebieten und nur 29,6 % auf dem Land.

Tabelle 1.2 zeigt die Schätzung für die städtische Bevölkerung im Jahre 2002 und ihre Verteilung nach der Größe der urbanen Zentren; 77% aller Hauptstädte der Verwaltungsbezirke in Kolumbien haben eine Bevölkerung von unter 12.000 Einwohner mit insgesamt drei Millionen Einwohnern. Dies ist ein Zehntel der gesamten urbanen Bevölkerung im Land. Wenn man bedenkt, dass die Mehrheit der ländlichen Bevölkerung auch in kleinen bewohnten Zentren wohnt, dann steigt die Anzahl der Bevölkerung, die in kleinen Ortschaften mit weniger als 12.000 Einwohnern zu Hause ist, sehr. Es wird geschätzt, dass die Bevölkerung, die in diesen Ortschaften wohnt, 20% der kolumbianischen Bevölkerung darstellen.

**Tabelle 1.2 Schätzung der kolumbianischen Bevölkerung für das Jahr 2002 und ihre urbane Verteilung (DANE 2000)**

<b>Urbanen Zentren</b>	<b>Zahl</b>	<b>Einwohner</b>
Weniger als 1.000 EW.	124	746.633
Zwischen 1.000 – 5.000 EW.	461	1.427.828
Zwischen 5.000 –12.000 EW.	247	1.922.364
Zwischen 12.000 – 50.000 EW.	167	3.884.595
Zwischen 50.000 – 100.000 EW.	40	2.710.620
Zwischen 100.000 – 1.000.000 EW.	33	9.350.199
Mehr als 1.000.000 EW.	4	12.165.610
<b>Gesamt</b>	<b>1.076</b>	<b>31.535.879</b>

### **1.1.2.2 Deckung der Wasserversorgungs- und der Abwasserreinigungssysteme**

Die Volkszählung von 1993 berichtete über eine Gesamtzahl von 4.467.000 Wohneinheiten in den städtischen Gebieten und 1.739.000 in den ländlichen Teilen des Landes. 4.227.000 Wohneinheiten in den Städten und 719.000 Wohneinheiten auf dem Lande sind mit einer privaten, bis zur Wohneinheit reichenden Leitung für Wasserversorgung ausgestattet, wodurch sich eine prozentuale Deckung von 94,6 % bzw. 41,3% ergibt.

Die Versorgung mit einem Abwassersystem bzw. mit Abwasserkanälen betreffend,

verfügten 3.657.000 Wohneinheiten in den Städten und 254.000 Wohneinheiten auf dem Lande über entsprechende, bis zur Wohneinheit reichende, private Leitungen zur Abwasserentsorgung. Dies entspricht einer prozentualen Verteilung von 81,8% bzw. 14,6%.

Auf der anderen Seite erreicht die nominelle Deckung mit Wasserversorgungssystemen in den Landkreisen einen prozentualen Wert von 89,2%. Insgesamt sind 25.619.498 Einwohnern Nutzer dieses Dienstes. Auf Basis dieser globalen Ergebnisse wird abgeschätzt, dass im Jahre 1998 die Anzahl der Einwohner ohne eine private und bis zur Wohneinheit reichende Wasserversorgungsleitung ungefähr 3.099.554 beträgt.

Für die Abwasserentsorgungskanäle wird festgestellt, dass 78,6%, entsprechend 22.547.415, der Einwohner über eine direkte und private Leitung verfügen. Die mit einem Abwasserentsorgungssystem nicht ausgestattete Bevölkerung beträgt somit ca. 6.171.000 Einwohner.

### **1.1.3 Eigenschaften, Behandlung und Deponierung von städtischen flüssigen Abfällen in Kolumbien**

In Kolumbien stammt die Verschmutzung der Gewässer durch flüssige Abfälle aus dem häuslichen, dem landwirtschaftlichen und dem industriellen Sektor. Verschiedene Probenahmen in den wichtigsten Städten des Landes zeigten, dass die Konzentration mit Coliformen in den Oberflächenwässern, die aus flüssigen und häuslichen Abfällen stammen, Werte von etwa 2.400 in 100 ml. N. N. (OPS 1997) erreicht. Diese Sektoren produzieren täglich ca. 9.200 Tonnen von organischen und kontaminierenden Stoffen. Etwa 1.500 Tonnen stammen aus bewohnten Gebieten, 500 Tonnen von der Industrie und ca. 7.200 Tonnen haben ihren Ursprung in der Landwirtschaft. Dies entspricht einer Belastung mit ca. 4.500.000 m<sup>3</sup> Abwässern (SARMIENTO 1997).

Das Land verfügt über eine geeignete Infrastruktur für die Behandlung von häuslichen Abwässern, welche eine effektive Deckungsrate von ca. 4% der städtischen Bevölkerung aufweist. Zur Zeit befinden sich Projekte in den Städten von Bogotá, Cali und Medellín in der Bauphase. Für die Städte Pereira, Cartagena und Barranquilla läuft wiederum ein Finanzierungsprozess.

### 1.1.3.1 Abschätzung der Abwassermengen

Auf nationaler Ebene beträgt der durchschnittliche Verbrauch für jeden Benutzer 24,2 m<sup>3</sup>/Monat. Dies entspricht einem Pro- Kopf- Verbrauch von ca. 165 l/(E \* d) (SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PUBLICOS 1999). Der Rückkehrkoeffizient liegt zwischen 0,7 und 0,8 gemäß dem Artikel A.11.4.3 des Technischen Regelwerks für den Sektor Leitungswasser und Sanierung (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000). Somit ergibt sich eine durchschnittliche Abwassermenge von 124 l/(E d).

Es wird festgestellt, dass die Größe der Ortschaft einen direkten Einfluss auf den Wasserverbrauch hat. In kleinen Siedlungen steigt dieser bis ca. 300 l/(E d).

### 1.1.3.2 Qualität des Abwassers

Die typische Zusammensetzung für häusliche Abwässer wird in der Tabelle 1.3 dargestellt. Diese Tabelle wurde aus verschiedenen Quellen erstellt.

**Tabelle 1.3 Eigenschaften von häuslichen Abwässern**

Verseuchende Stoffe	TCHOBANOGLOUS & CRITER (1998)		ROMERO (1999)	METCALF & EDDY (1996)			KIELY (2000)
	Intervall mg/l	Durchschnitt mg/l	Typische Werte mg/l	Gering mg/l	Mittel mg/l	Hoch mg/l	Typische Werte mg/l
Trockensubstanzgehalt (TS)	350 - 1200	700	720	350	720	1200	
Gelöste Stoffe	280 - 850	500	500	250	500	850	440
Schwebstoffe	100 - 350	210	220	100	220	350	300
Absetzbare Stoffe	5.0 - 20	10	10	5	10	20	
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB <sub>5</sub> )	110 - 400	210	220	110	220	400	250
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)	80 - 290	160	160	80	160	290	160
Chemischer Sauerstoffverbrauch (CSB)	250 - 1000	500	500	250	500	1000	500
Stickstoff	20 - 85	35	40	20	40	85	40
Organischer Stickstoff	8.0 - 35	13	15	8	15	35	15
Ammonium - Stickstoff (NH <sub>4</sub> -N)	12.0 - 50	22	25	12	25	50	25
Nitrit (NO <sub>2</sub> - N)	0 - 0	0	0	0	0	0	0
Nitrat (NO <sub>3</sub> - N)	0 - 0	0	0	0	0	0	0
Phosphor (P <sub>ges</sub> )	4.0 - 15	7	8	4	8	15	9
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	20 - 50	30		20	30	50	
Öle und Fette	50 - 150	90	100	50	100	150	100
VOC	<100 a >400	100 - 400		<100	100 - 400	>400	
Coliforme Keime (in 100 ml n. n.)	10E6 - 10E9	10E7 - 10E8		10E6 - 10E7	10E7 - 10E8	10E7 - 10E9	10E8 - 10E9
Escherichia coli (in 100 ml n. n.)	10E3 - 10E7	10E4 - 10E5					10E7 - 10E8

### 1.1.3.3 Behandlung von Abwässern

Die Anzahl der in Kolumbien gebauten Abwasserbehandlungsanlagen beträgt 190 (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 1998), die in insgesamt 131 Hauptstädten der Verwaltungsbezirke liegen. Dies entspricht etwa 12% aller Gemeinden im Lande. Tabelle 1.4 zeigt die Verteilung der für die Abwasserbehandlung verwendeten Technologien in Kolumbien.

**Tabelle1.4 Verteilung der Technologien zur Behandlung von häuslichen Abwässern (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 1998)**

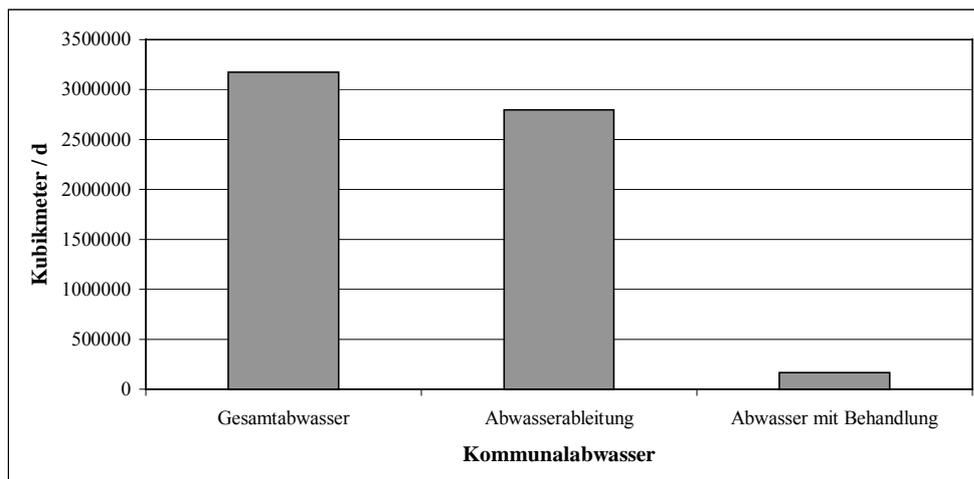
Technologien	Zahl	%
Teichanlage (anaerob/aerob)	105	55,0
Belebungsanlage	43	22,5
Tropfkörperanlage	24	13,0
UASB	17	9,0
Vorbehandlung	1	0,5
Gesamt	190	100

Wie man erkennen kann, ist die Teichanlage die meist verbreitetste Technologie. Ihre Anzahl beträgt 105 Einheiten. Darüber hinaus werden, wenn auch in kleiner Anzahl, Belebungsanlagen, Tropfkörperanlagen und UASB Systeme verwendet.

Bild 1.2 zeigt die Beziehung zwischen der Abwasserbehandlungsmethode und der Erzeugung und Sammlungsart dieser Abwässer. Zur Abschätzung der produzierten Abwassermenge wurde der Anteil der mit einer direkten Wasserversorgungsleitung ausgestatteten Bevölkerung und der Rückkehrkoeffizient berücksichtigt, was einer Abwassermenge von ca.  $124 \text{ l}/(\text{E} * \text{d})$  entspricht; zur Abschätzung der gesammelten Abwassermenge wurde der Anteil der mit einer privaten und bis zur Wohneinheit reichenden Abwasserleitung ausgestatteten Bevölkerung berücksichtigt und zuletzt wurde zur Abschätzung der behandelten Abwassermenge der Anteil der Einwohner berücksichtigt, der über eine Abwasserbehandlungsanlage verfügt.

#### **1.1.3.4 Abwasserentsorgung**

Häusliche Abwässer werden auf verschiedene Weisen entsorgt. Ein Teil wird in Oberflächengewässer eingeleitet (Flüsse und/oder Quellen), ein weiterer Teil wird direkt in das Meer entsorgt und ein letzter Teil wird versickert. Die Art der Entsorgung hängt nur von den allgemeinen Eigenschaften der Ortschaft ab. Tabelle 1.5 zeigt die Beziehung zwischen der endgültigen Entsorgung und dem Anteil des Gemeinden bzw. des Bevölkerung.



**Bild 1.2 Vergleich der erzeugten, der gesammelten und der behandelten Abwassermenge in Kolumbien**

**Tabelle 1.5 Ort der Einleitung von flüssigen häuslichen Abfällen nach Anteil der Gemeinden und der Bevölkerung (SIAS 1999)**

	% Gemeinden	% Einwohner
Flüsse und Quellen	73,9	85
Meer	1,1	5,5
Boden	13,7	5,4
See	6,4	4,1

## 1.2 Kleine Gemeinden und bewohnte Zentren

### 1.2.1 Eigenschaften von kleinen Gemeinden und bewohnten Zentren

Eine kleine Gemeinde ist -gemäß der Definition der Weltbank- eine Ansiedlung, die groß genug ist, so dass die Gemeinde die Vorteile der von kollektiven Systemen angebotenen Skalawirtschaft nutzen kann. Sie ist aber gleichzeitig zu klein, um als Stadt verwaltet werden zu können. In den Entwicklungsländern haben diese kleinen Gemeinden eine Bevölkerung von unter 10.000 Einwohner (ORON et al. 1999).

In Kolumbien werden städtische Gebiete mit weniger als 12.000 Einwohnern als kleine Gemeinden bezeichnet. Gemäß der oben vorgestellten Bevölkerungsanalyse beträgt ihre Anzahl 832 Hauptstädte der Verwaltungsbezirke. Diese Zahl nimmt zu, wenn man die bewohnten Zentren in den ländlichen Gebieten berücksichtigt, die in etwa 20% der

kolumbianischen Bevölkerung ausmachen.

In diesen Ansiedlungen werden, global betrachtet, drei herausragende Probleme im Sektor der Wasserversorgung und der Abwasserentsorgung identifiziert (OPS 1997):

#### **1.2.1.1 Amtliche Verantwortung**

Die Stadtgemeinden bzw. die Verwaltungsbezirke, vertreten durch ihre Bürgermeister, haben die Verantwortung über die Gewährleistung der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung und -behandlung. Die Verwaltungsbezirke werden hierbei mit einer Reihe von technologischen Schwierigkeiten konfrontiert, sowohl bei der Planung und dem Bau als auch bei dem nachhaltigen Betrieb dieser Systeme. Darüber hinaus gibt es große Defizite bei der technischen Ausbildung des Fachpersonals und sie verfügen über geringe Unterstützung von Seiten der regionalen und der nationalen Regierung. Die Mehrheit der kleinen Verwaltungsbezirke verfügt nicht über die Fähigkeit zur Identifizierung und Lösung von Problemen in der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung, unabhängig davon, ob die Gemeinden in den ländlichen oder in den urbanen Gebieten des Landes liegen.

Eine große Anzahl von Projekten wird formuliert und nur während der Amtszeit des koordinierenden Bürgermeisters teilweise ausgeführt. Ein Wechsel der politischen Orientierung zu Beginn fast jeder neuen Amtsperiode führt dazu, dass viele Projekte wegen Finanzierungsmangels abgebrochen werden. Oft ziehen die Bürgermeister es vor, in die Gemeinden zu investieren, in denen die einflussreichsten lokalen Persönlichkeiten residieren, anstatt in den ländlichen Ansiedlungen mit den größeren Bedürfnissen.

Auf der anderen Seite bieten die regionalen Zuständigkeiten für den Sektor immer noch nicht die notwendige Unterstützung auf lokaler Ebene, um die Defizite in den verschiedenen Projektphasen zu bewältigen, obwohl sie über die Rahmenbedingungen schon seit fast 10 Jahren verfügen.

Auf nationaler Ebene übt das Entwicklungsministerium die Funktionen einer regulierenden Instanz für den Sektor aus. Dennoch ist bisher weder die Struktur noch die Programme betreffend eine spezifische Abteilung in der „Dirección de Agua Potable“ definiert worden, die sich mit der Lösung der Probleme der kleineren Verwaltungsbezirke und der ländlichen Gebiete befasst.

Die Normen, Regulierungen, Verordnungen, Kontrollen, Tarife, usw. wurden für große und

mittlere Verwaltungsbezirke konzipiert. Erst seit kurzer Zeit werden geeignete Werkzeuge identifiziert, die speziell für kleine Gemeinden charakterisiert wurden. Es wäre wünschenswert, dass diese Charakterisierung auch die kritischen und minimalen Bildungsstandards, die in den kleinen urbanen und in den ländlichen Gebieten zur Verfügung stehen, berücksichtigt, so dass diese Werkzeuge wirklich anwendbar und erfüllbar werden.

Es gibt keine geeignete interinstitutionelle Koordination, die die Definition eines strategischen Planes, der sowohl die technischen und umweltlichen Dimensionen als auch die kommunale Beteiligung berücksichtigt, ermöglicht.

#### **1.2.1.2 Zuweisung der Ressourcen**

Wie oben erwähnt, zieht man es vor, in den Hauptstädten der Verwaltungsbezirke zu investieren und nicht in den ländlichen Gebieten.

Um die Rückgewinnung der Investitionen oder den kostendeckenden Betrieb der Systeme durch Gebühren zu gewährleisten, sollten geeignete Technologien ausgewählt werden, die den Betrieb und die Instandhaltung der Systeme ermöglichen und die in den Gemeinden zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal nutzen.

Vor allem ländliche Gebiete verfügen nicht über einen eigenen Ressourcenfond, der die Finanzierung und die technische Unterstützung für die Entwicklung von Projekten möglich macht.

Nationale Finanzierung hat kleine Laufzeiten und hohe Zinssätze. Internationale Finanzierung für die ländlichen Gebiete ist zur Zeit sehr gering und wird durch interne Verwaltungsfaktoren erschwert.

#### **1.2.1.3 Nachhaltigkeit des Prozesszyklus**

Damit die von den Kommunen gewählten Systeme auf lokaler Ebene angenommen und genutzt werden, ist Folgendes nötig: (1) ihre Teilnahme bei den Entscheidungsprozessen in jeder Phase des Prozesszyklus, (2) die Interaktion der verschiedenen Wissenschaftsrichtungen mit einem sehr wichtigen interdisziplinären Gesichtspunkt, vor allem bei den sozialen Aspekten und (3) die Anpassung des Zyklus an die Phasen, die das kollektive Lernen, die Vorführungseffekte und die Wiederherstellung der Ergebnisse beinhalten.

Die Teilnahme der Bevölkerung war traditionell auf den Bauprozess limitiert. In den Phasen der Identifizierung der Bedürfnisse, der Lösungsformulierung, der Auswahl von Technologien und des Betriebs der Systeme wurde die Bevölkerung nicht berücksichtigt. In diesen Phasen ist es nicht nur angemessen, sondern sehr wichtig, dass die Erkenntnisse über die lokale Realität der Projektnutznießer integriert werden.

#### **1.2.1.4 Geeignete Technologien**

Die spezifischen Projekttechnologien sind als physische Bestandteile in Kolumbien formuliert worden. Die Bereiche Betrieb und Instandhaltung, die für den Erfolg des Managements und die Nachhaltigkeit der Systeme wichtig sind, wurden hier nicht berücksichtigt. Die Auswertung des Jahrzehntes in Bezug zum Wasser- und Umweltschutz zeigen, dass ein großer Prozentsatz der Probleme in den Systemen mit der Projektformulierung, mit den Schwächen der Betriebspläne für die einzelnen Technologien, mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten und mit dem mangelhaften Transfer zwischen dem Dienstleistungsanbieter und den Gemeinden zusammenhängt.

Die größten Schwierigkeiten, die Nachhaltigkeit der Projekte zu erreichen, werden bei den Komponenten der Behandlungsanlagen festgestellt. Diese Anlagen benötigen sowohl ein minimales Vorbereitungs-niveau für den Betrieb als auch Pumpwerke mit spezialisierter Instandhaltung über, die die kleinen Gemeinden häufig nicht verfügen.

### **1.2.2 Abwasserbehandlung in kleinen Gemeinden und bewohnten Zentren**

Die Planung und die Verwaltung von kleinen Behandlungsanlagen sind sehr oft schwieriger als die bei großen Anlagen (RIEDL 1999). Die Ursachen dafür sind unter anderem:

- Die Abwassermenge in kleinen Gemeinden könnte unübliche Eigenschaften im Vergleich zu normalen häuslichen Abwässern, sowohl in der Menge als auch in der Qualität aufweisen. Der Grund dafür ist, dass in vielen dieser bewohnten Zentren die häuslichen Abwässer mit flüssigen landwirtschaftlichen Abfällen vermischt werden.
- Bei der Nutzung von Maschinen und technischen Prozessen können Störungen auftreten, die negative Effekte für das ganze System haben können.
- Die Qualifikation des Betriebspersonals ist in diesen Gebieten häufig nicht gegeben.

- Die Automatisierung der Prozesse soll in diesen Gemeinden, aufgrund der Eigenschaften der technologischen Entwicklung, nicht berücksichtigt werden.

Auf der Basis dieser besonderen Eigenschaften müssen folgende Planungsprinzipien festgelegt werden:

- Für den Fall, dass Maschinen benutzt werden, sollten diese robust und deren Instandhaltung einfach sein. Soweit wie möglich sollte auf die Nutzung von automatisierten Einrichtungen verzichtet werden, da in der Regel eine Reparatur solcher Systeme auf lokaler Ebene nicht möglich ist.
- Die Betriebssicherheit hat Priorität gegenüber einer kleinen Verweildauer in den Einheiten (geringe Volumina in den Reaktoren) oder gegenüber möglichen Energieeinsparungen.
- Die Einfachheit der Systeme, die Robustheit der Prozesse, die Nutzung einer geeigneten Technologie sowie die Flexibilität bei starken Änderungen in der Konzentration und der Abwassermenge sind von größerer Bedeutung als große Kapazitäten und die Effizienz der Behandlung.
- Kleine Behandlungsanlagen sollten nicht als eine Kopie von großen Anlagen entworfen werden, weil die auch besondere Eigenschaften haben.

Unter Berücksichtigung der bis heute dargelegten Erkenntnisse kann man behaupten, dass noch kein ideales System zur Abwasserbehandlung existiert. Jede Situation muss einzeln analysiert werden, alle lokalen Variablen, die damit zusammenhängen, müssen betrachtet werden. Dazu gehören unter anderem: die Notwendigkeit der Abwasserbehandlung, die Größe der Installationen, die Eigenschaften des Bodens, auf dem die Anlage gebaut werden soll, die Eigenschaften der Gemeinde und ihre Bereitschaft zum Betrieb und zur Instandhaltung des Systems (ATV 1997). Nur so ist es möglich, ein System einzuführen, das die Bedürfnisse befriedigen kann, sowohl unter dem ökonomischen Gesichtspunkt, als auch unter dem Aspekt der Qualität der behandelten Abwässer. Und dies nicht nur während der Planungsphase, sondern auch während des Betriebs und der Instandhaltung des Systems.

### 1.3 Erläuterung des Problems

Wie in den vorherigen Absätzen erläutert wurde, wohnen ca. 20% der kolumbianischen Bevölkerung in kleinen Gemeinden mit weniger als 12.000 Einwohnern. Diese Gemeinden verfügen mehrheitlich (ca. 80%) über ein System zur Sammlung und zum Transport von Abwässern. Aber fast 90% dieser Gemeinden verfügen nicht über ein geeignetes System zur Behandlung dieser Abwässer. Deshalb ist ein großer Anteil der Gewässer entweder verschmutzt oder in einem kritischen hygienischen Zustand.

Deshalb wird die Implementierung von Abwasserbehandlungssystemen in den nächsten Jahren notwendig sein. Dazu muss eine große Menge finanzieller Ressourcen auf lokaler, regionaler oder internationaler Ebene freigegeben werden. Diese Summe ist noch nicht berechnet worden. Eine positive Bilanz aus der Kosten- Nutzen- Analyse ist aber zu erwarten.

Die Nutzung einer geeigneten Technologie spielt eine wichtige Rolle beim Erlangen dieser Ziele, denn sie kann die lokalen Ressourcen stärken und gleichzeitig ein bedeutsames Ergebnis in der Qualität der behandelten Abwässern erzielen. Der besondere soziale und ökonomische Zustand der kleinen Gemeinden in den Entwicklungsländern erzwingt eine sehr präzise Analyse der Entscheidungsvariablen bei der Auswahl der zu implementierenden Systeme.

***Frage:** Wie kann man alle Entscheidungsvariablen bei der Auswahl der Technologie zur Abwasserbehandlung berücksichtigen und gleichzeitig diese Variablen kombinieren, um ein befriedigendes Ergebnis für alle Interessenten (Bevölkerung, Institutionen, Berater, Sponsoren, usw.) zu erzielen?*

Diese Arbeit „Technologieauswahl für Abwasserreinigung kleiner Ortschaften in Kolumbien“ beabsichtigt, die in den kolumbianischen Gemeinden existierende Notwendigkeit einer zuverlässigen Methodik sowie eines zuverlässigen Werkzeuges für die Auswahl der Technologien zur Abwasserbehandlung zu befriedigen. Diese Methodik berücksichtigt dabei die technischen, finanziellen, umweltrelevanten, sozialen, ökonomischen und kulturellen Besonderheiten einer bestimmten Gemeinde, so dass die Umweltinstitutionen und die Planungsgesellschaften über eine zuverlässige Option verfügen, deren Anwendung zur Verbesserung der Umwelt- und Lebensqualität der nutznießenden Bevölkerung beitragen kann. Diese Verbesserung stellt einen wichtigen

Schritt bei der Entwicklung auf lokaler und regionaler Ebene dar.

## **1.4 Ziel**

Erstellung einer Methodik, die eine Auswahl von geeigneten Technologien zur Behandlung von häuslichen Abwässern für kleine Gemeinden in Kolumbien ermöglicht, unter Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften dieser Gemeinden und der Mitwirkung ihrer Bevölkerung.

Im Detail heißt das:

- Erstellung eines theoretischen Modells für die Auswahl von geeigneten Technologien zur Behandlung von häuslichen Abwässern für kleine Gemeinden in Kolumbien, unter Berücksichtigung der technischen, sozialen und ökonomischen Variablen.
- Feststellung der Mechanismen, die eine Teilnahme der Bevölkerung bei der Auswahl von Technologien zur Behandlung von häuslichen Abwässern ermöglichen.
- Feststellung einer Methodik zur Berechnung von Anfangsinvestitions-, Betriebs- und Instandhaltungskosten für Systeme zur Behandlung von häuslichen Abwässern in Kolumbien.
- Prüfung des Modells in ländlichen Gemeinden im Verwaltungsbezirk Risaralda – Kolumbien.

## **2 Theoretisches Modell zur Auswahl von Technologien zur Abwasserbehandlung in kleinen Gemeinden**

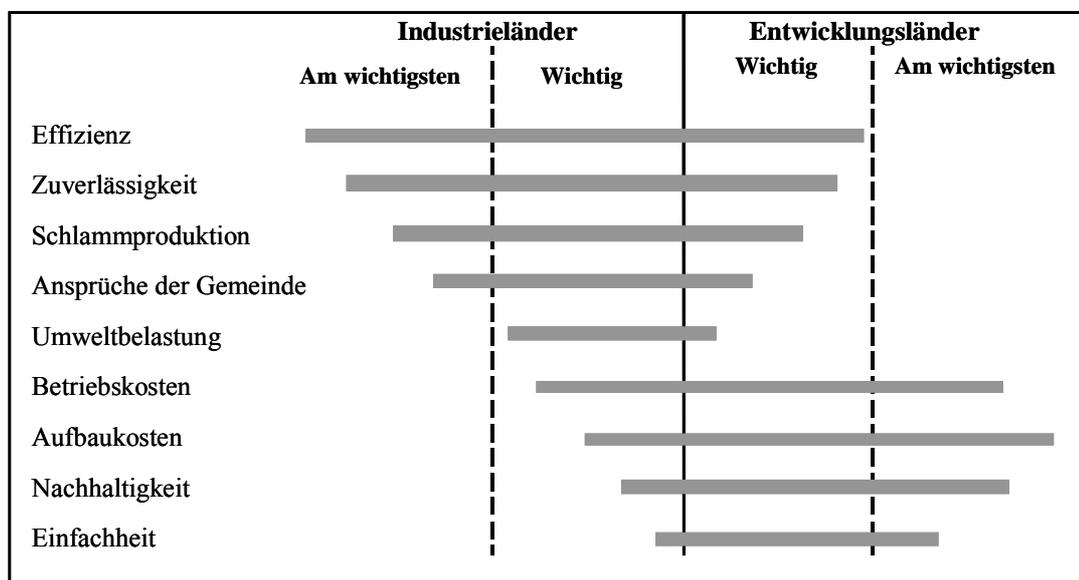
Die Zuverlässigkeit der Reinigungsverfahren und der richtige Betrieb von Prozessen und Grundoperationen stellen wichtige Faktoren bei der Auswahl von Technologien zur Abwasserbehandlung dar (METCALF & EDDY 1996). Jedoch muss die Auswahl einer Technologie als ein individuelles und lokales Problem betrachtet werden. Lösungen können nicht verallgemeinert werden und der Einfluss der unterschiedlichen Aspekte, nämlich der sozialen, wirtschaftlichen, kulturellen, gesetzlichen, umwelt- und ausbildungsbezogenen Aspekte, muss geprüft werden (SOUZA 1997)

### **2.1 Einführung**

Unterschiedliche Methoden wurden entwickelt, um die technischen Möglichkeiten in Projekten zur Abwasserreinigung analysieren zu können. Diese Methoden beinhalten eine große Vielfalt an unterschiedlichen Betrachtungsweisen, Philosophien und Vorbedingungen. Die ersten Arbeiten in diesem Gebiet beruhen auf grundlegenden Optimierungsverfahren und wirtschaftlicher Analyse (ARNOLD 1982, CAMERA 1982). Mitte der siebziger Jahre wurden Modelle zur Auswahl von Prozessen in der Abwasserreinigung wie z. B. CAPDET (Computer-Assisted Procedure for the Design and Evaluation of Wastewater Treatment Systems) entwickelt. Mit diesem Programm kann man die Technologien auf einer wirtschaftlichen Basis vergleichen. Dabei wird auch die gewünschte Qualität des gereinigten Abwassers berücksichtigt. Dieses Modell wurde vom U.S. Army Corps of Engineers und von der EPA entwickelt. Weitere Entwicklungen stellen das Modell EXEC-OP (ROSSMAN 1979) und das Modell USAID-REID (REID & DISCENZA 1976) dar, das zum ersten Mal geeignete Technologiekonzepte mit einbezieht.

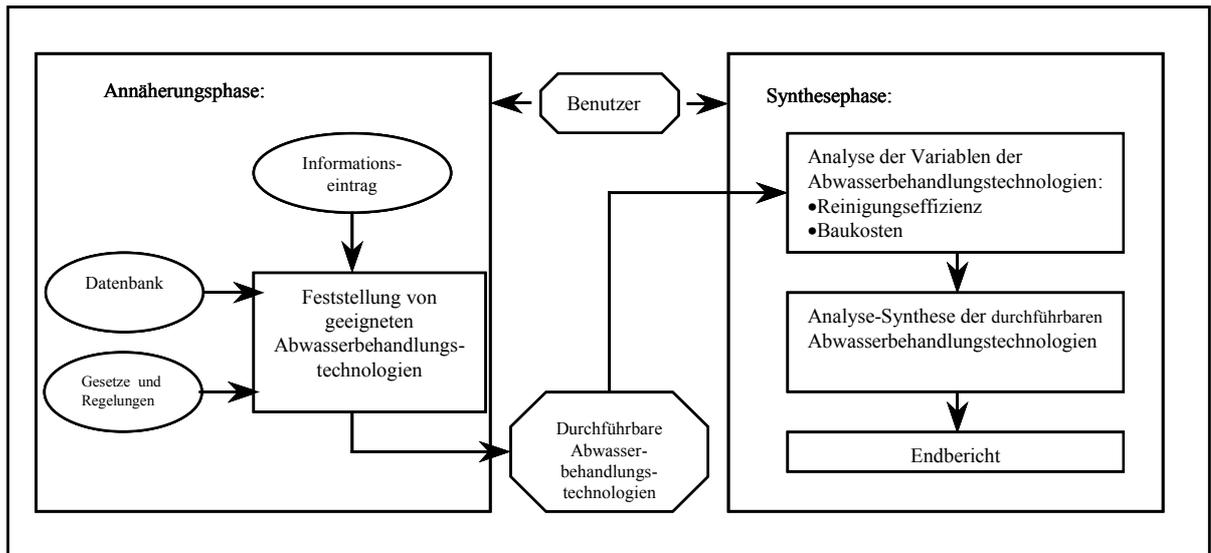
WOLF (1987) setzte eine einfache Methode ein, die auf einer Auswahlanalyse mit vielfältigen Zielen beruht, um Alternativen zur Abwasserbehandlung auszuwählen. Dabei wurde eine neue Methode zur Auswahl von Reinigungsverfahren angewendet (GOICOECHEA et al. 1982). Weitere relevante Arbeiten, die das gleiche Prinzip verwendeten, wurden danach vorgestellt: TECLE et al. (1988), SOUZA (1992) und HARADA & CORDEIRO (1999).

VON SPERLING (1996) schlug vor, außer der Effizienz und der Kosten des Systems bei der Technologieauswahl von Abwasserreinigungsverfahren Aspekte wie z. B. Schlammproduktion, Platzbedarf, Umweltbelastung, Nachhaltigkeit und Einfachheit des Systems mit einzubeziehen. Außerdem bemerkte er, dass eine unterschiedliche Bedeutung jeder dieser Aspekte besteht, je nach lokalen Bedingungen der Gemeinden. Bild 2.1 zeigt einen Vergleich der Hauptfaktoren der Technologieauswahl von Abwasserreinigungsverfahren in Industrie- und Entwicklungsländern. Der Vergleich findet zwischen den am meisten angewendeten Systemen zur Abwasserbehandlung in Entwicklungsländern (15 unterschiedliche Verfahrenskombinationen) statt. Die Analyse erfolgte durch Variationsrechnung.



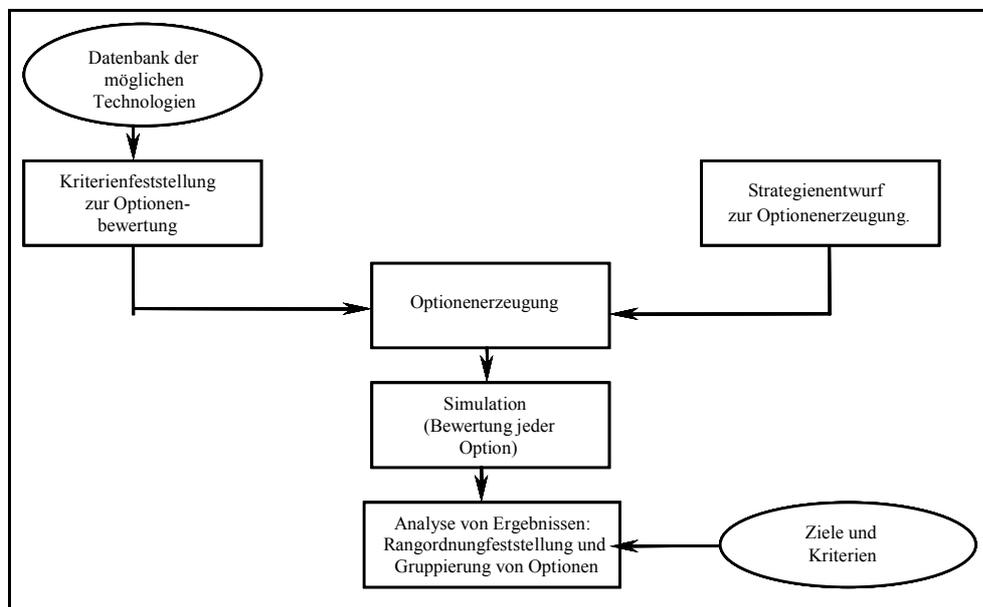
**Bild 2.1 Hauptvariablen der Technologieauswahl von Abwasserreinigungsverfahren. Vergleich zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (VON SPERLING 1996)**

YAKG und KAO (1996) stellten ein Expertensystem zur Feststellung der Auswahl und der Sequenz von Behandlungsverfahren auf. Das System hilft bei der Auslegung bzw. bei der Bestimmung von optimierten Verfahrenskombinationen, Abwässer mit mehreren Verunreinigungen zu behandeln. Dazu werden die Trennungseffizienz der Verunreinigungen, die Aufbaukosten und die Bevorzugung von bestimmten Systemen (Bild 2.2) berücksichtigt.



**Bild 2.2 Schema des Expertensystems zur Feststellung der Auswahl und der Sequenz von Abwasserreinigungsprozessen (KAO & YANG 1996)**

CHEN & BECK (1997) entwickelten ein simples Computerprogramm, das mögliche Verfahren zur Abwasserbehandlung in Stadtgebieten kombiniert. Dieses Programm beruht auf der Monte-Carlo-Simulation. Dabei ergeben sich Verfahrenskombinationen, und die Unsicherheit der eigenen Bewertungen der vorgeschlagenen Kombinationen wird berechnet (Bild 2.3).

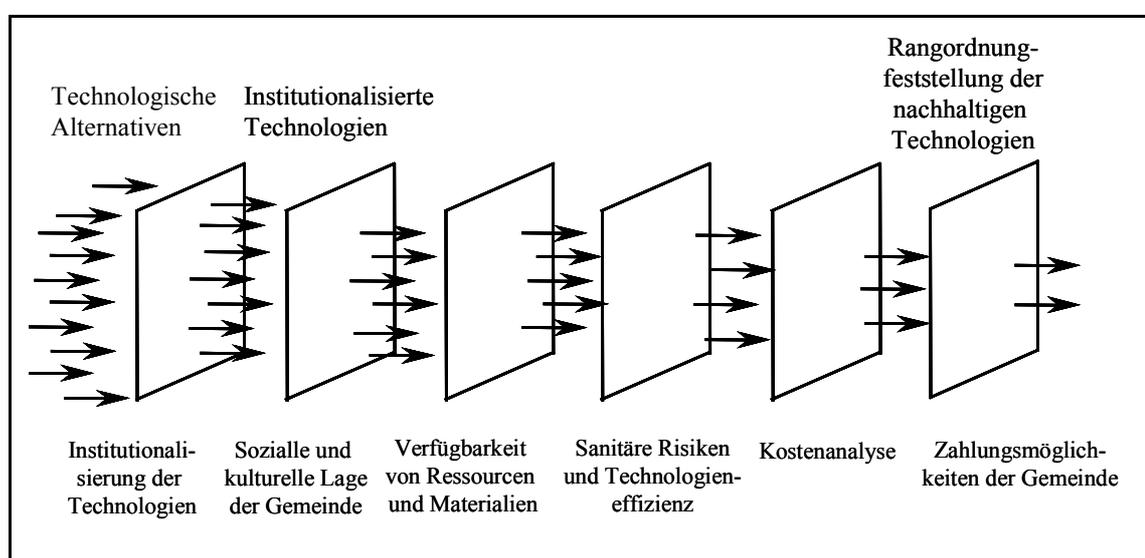


**Bild 2.3 Prozedur und Schema der Analyse zur Feststellung von möglichen technologischen Verfahrenskombinationen bei der Abwasserreinigungsinfrastruktur (CHEN & BECK 1997)**

Das Cinara-Institut der Universität von Valle in Kolumbien schlug vor, das Thema der Auswahl von geeigneten Technologien zur Trinkwasseraufbereitung mit der

Berücksichtigung einer „holistischen“ Perspektive zu analysieren, die die Entwicklung von nachhaltigen Lösungen erlaubt (Bild 2.4). Dabei wird eine Methode aufgestellt, die mehrere Aspekte bewertet: die Effizienz der Technologie, kulturelle und soziale Variablen, Kosten und Umweltaspekte. Damit wird die Nachhaltigkeit des Systems gewährleistet (VARGAS & GALVIS 2000).

Die generelle Struktur des konzeptuellen Modells zur Technologieauswahl wird in Form von Stufen (Bild 2.4) aufgestellt. Jede Auswahlstufe wirkt wie ein Filter, der die Technologien ausschließt, die die Voraussetzungen der Gemeinde nicht erfüllen. Die Ergebnisse dieser Auswahl sind nachhaltige Technologien, die danach gemäß Betriebs- und Wartungskosten eingestuft werden.



**Bild 2.4** Generelles Schema des konzeptuellen Modells zur Technologieauswahl bei der Trinkwasseraufbereitung (VARGAS & GALVIS 2000)

## 2.2 Konzepte für geeignete Technologien

Der Begriff *geeignete Technologie* wird in der Literatur in Zusammenhang mit unterschiedlichen Bezeichnungen verwendet. Die Begriffe „geeignete Technologie“, „alternative Technologie“, „optimale Technologie“, „günstige Technologie“, usw. werden im Allgemeinen als Synonyme eingesetzt. Jedoch haben sie unterschiedliche Bedeutungen in der Trinkwasseraufbereitung und in der Abwasserreinigung (BUARQUE 1983).

Man kann die „geeignete Technologie“ wie folgt definieren: „Technologie, die sich am

besten dem geistigen, sozialen, biologischen und physikalischen Milieu einer Gemeinde zu einem Zeitpunkt anpasst.“ (WILLOUGHBY 1990). PEREZ (1998) stellt eine ähnliche Definition auf: „Als geeignete Technologie wird keine elementare bzw. veraltete Technik verstanden, sondern diese, die nicht nur die Gebote von Effizienz erfüllt, sondern auch einen einfachen Bau und Betrieb und eine geringe Wartung beansprucht, eine hohe Zuverlässigkeit, Flexibilität, Zugänglichkeit besitzt und die ökonomischen Ressourcen der Gegend weitgehend benutzt; dies bedeutet, dass das Projekt in Harmonie mit den „physikalischen“ und „logischen“ Komponenten der Region geplant werden muss.“

In Übereinstimmung mit diesen Begriffen kann man verschiedene Analysedimensionen erkennen, die man bei der Technologieauswahl berücksichtigen muss. Zunächst muss man die technologische Dimension betrachten, die die gewünschten Ziele und Eigenschaften jeder Technologie (Vor- und Nachteile) analysiert. An zweiter Stelle steht die Umweltdimension, die den Gebrauch von erneuerbaren Energien, die lokal verfügbar sind, bevorzugt. Dabei werden erneuerbare Energien, die nicht lokal verfügbar sind, unter ökonomischen Betrachtungen analysiert. Eine geringe Produktion an Zwischenprodukten und eine minimale Umweltbelastung werden ebenso in Betracht gezogen. Aufgaben sozialer und kultureller Dimension sind Anpassung der Technologie an die lokalen Sitten, die Minimierung des Arbeitskrafttransfers und die Nutzung von dezentralen Technologien. Zuletzt wird bei der ökonomischen Dimension eine Minimierung der Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten durchgeführt (CARNEIRO et al. 2000).

## **2.3 Vorgeschlagenes Modell**

Zur Feststellung der Aufgabe der gewünschten Behandlung (Endqualität des Abflusses des Systems) wird die Charakterisierung der in Kapitel 1 vorgestellten kolumbianischen Gemeinden und die in Kolumbien zur Abwasserabgabe gültige Regelung (Decreto 1594 de 1994) eingesetzt. Diese Regelung erfordert eine 80-prozentige Reduktion des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB) und eine ähnliche Reinigungsleistung für die suspendierten Stoffe TTS (abfiltrierbare Stoffe) der Abwässer, wenn keine Umstände vorliegen, die eine Erhöhung der Reinigungsansprüche bzw. eine Abtrennung bestimmter Einzelstoffe erfordern.

Unter den genannten Betrachtungen bewertet das vorgeschlagene Modell die möglichen

Technologien zur Abwasserreinigung, deren Umsetzung in einem Grundstück der Gemeinde realisierbar sind. Zu diesem Zweck müssen sie ökonomisch machbar, hinsichtlich der Umwelt nachhaltig und sozial umsetzbar sein. Dabei werden durch die Analyse der geeigneten Variablen und Parameter die Technologien nach ihrer Durchführbarkeit eingestuft.

Hierzu wurden das von KAO und YANG (1997) entwickelte Expertensystem und die in dem von VARGAS & GALVIS (1998) entwickelten Modell eingesetzte Auswahlprozedur als Grundlage verwendet. Die Auswahl wird in zwei Phasen durchgeführt (Bild 2.2), nämlich der Annäherungsphase, welche die für den Prozess geeigneten Technologien identifiziert, und der Synthesephase, die die Merkmale der unterschiedlichen Technologien beurteilt. In der Synthesephase werden die Eigenschaften jeder Technologie hinsichtlich der Merkmale der Gemeinde bewertet, und ihre Wünsche bezüglich der Abwasserreinigung beurteilt.

In den Bildern 2.2 und 2.3 kann man sehen, dass das Modell von einer Datenbank hängt, die diejenigen Technologien enthält, die in der Gemeinde durchführbar sind. In Kapitel 3 wird eine Beschreibung der durchführbaren Abwasserreinigungstechnologien in kolumbianischen Gemeinden und eine Beschreibung der Verfahrenskombinationen dargestellt, um Klarheit diesbezüglich zu schaffen.

### **2.3.1 Annäherungsphase**

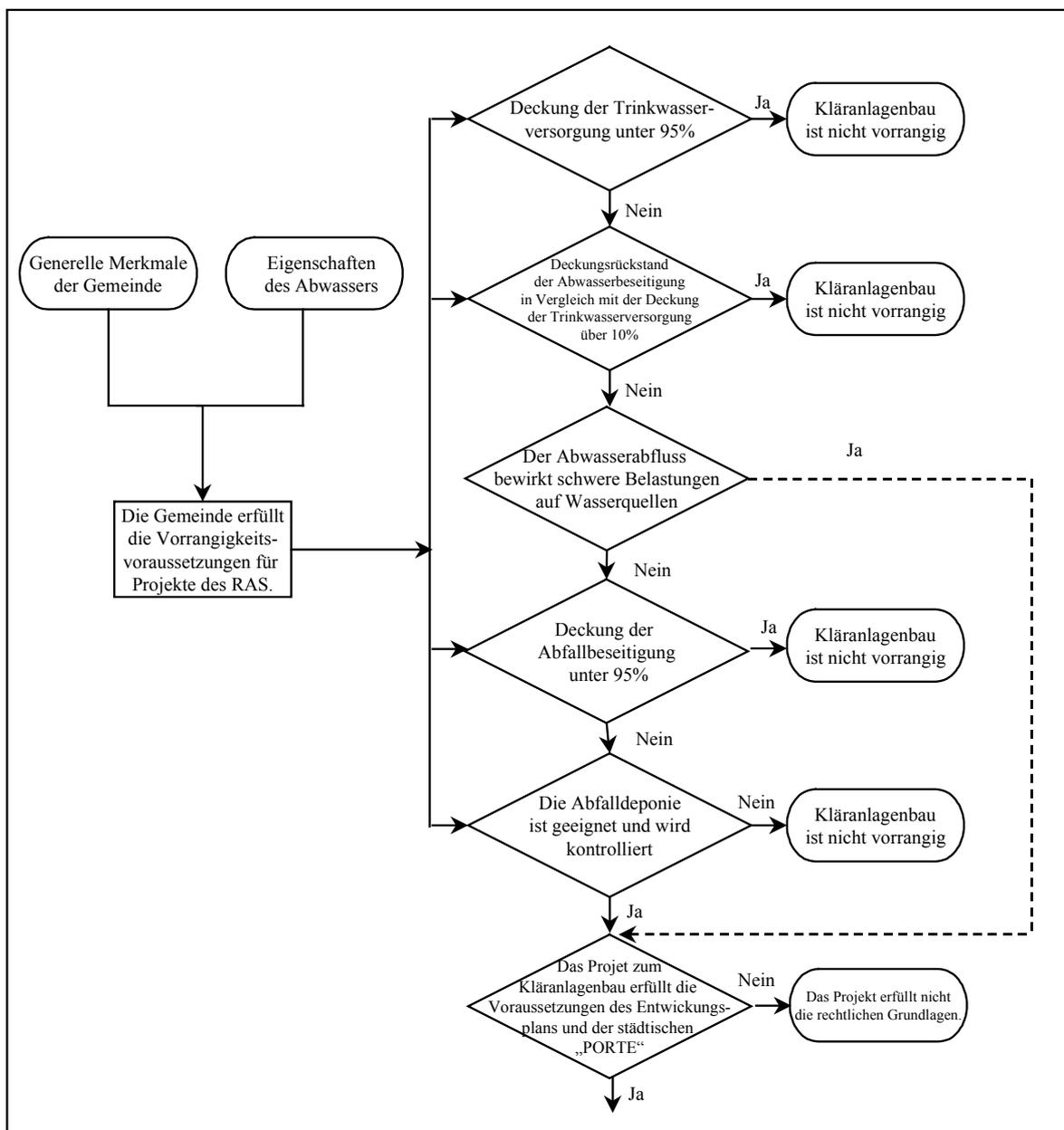
In dieser Phase werden die aufgrund ihrer ungünstigen Eigenschaften für die Gemeinden ungeeigneten Technologien bzw. Verfahrenskombinationen sofort ausgeschlossen.

Bild 2.5 zeigt den ersten Teil dieser Phase, der sich auf die Bewertung der Eignung des Projekts in der Gemeinde bezieht, gemäß der kolumbianischen technischen Regelung zur Trinkwasseraufbereitung und der grundlegenden Abwasserreinigung, Abschnitt A (Reglamento Técnico Colombiano del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS-00 2000, Título A). Im Prinzip haben in Kolumbien die Projekte Priorität, die direkte, gute und offenkundige Wirkungen auf die Bevölkerung haben. Deshalb werden bevorzugt: Trinkwasserversorgungs-, Abwasserbeseitigungs-, Abfallbeseitigungs-, Abfalldeponie-, und Kläranlagenbauprojekte (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO 2000).

Dabei empfiehlt diese Regelung die Durchführung einer Bewertung bezüglich der Existenz

und Deckung der grundlegenden Dienstleistungen für die Abwasserreinigung, bevor der Bau der Kläranlage beginnt.

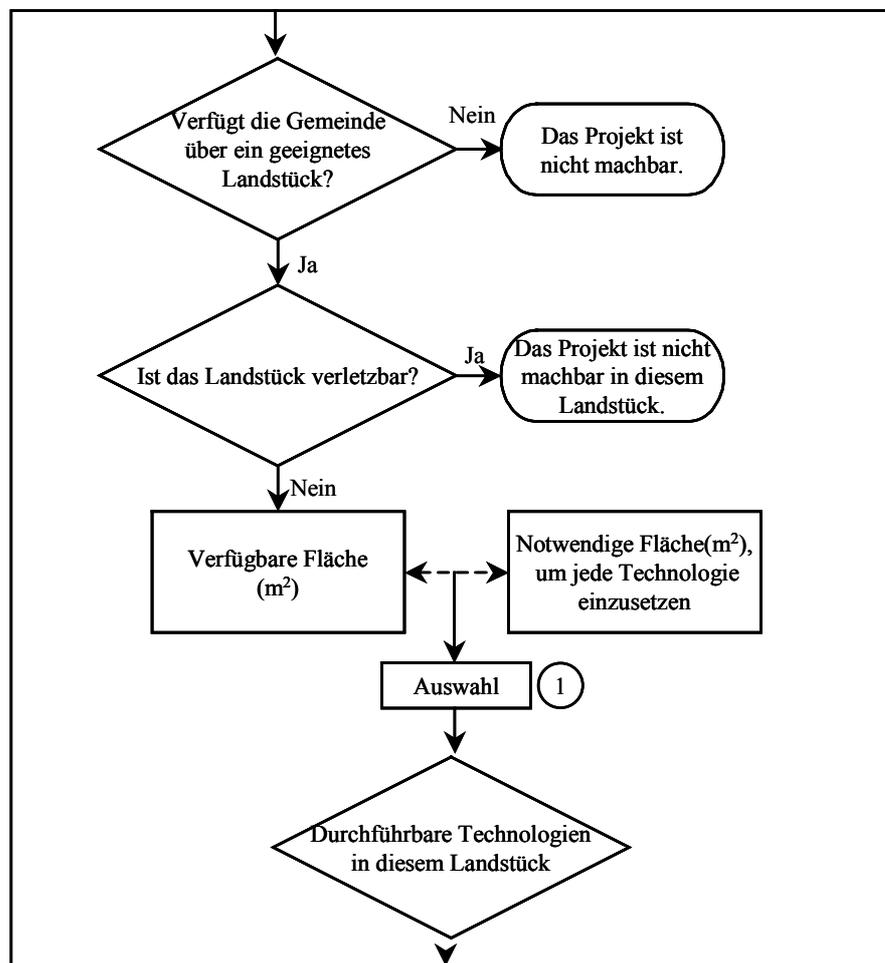
Wenn einer dieser Aspekte negativ bewertet wird, ist das Projekt nicht durchführbar, da laut RAS-00 die Priorität in dieser Gemeinde nicht der Bau der Kläranlage ist. Aber wenn die negative Bewertung der von der RAS-00 empfohlenen Aspekte aufgrund einer mangelhaften Abfallwirtschaft erfolgt, und feststeht, dass der Abfluss des Vorfluters flussabwärts schwere Belastungen in der Trinkwasserversorgung bewirkt, dann werden diese Aspekte der RAS-00 nicht mehr berücksichtigt, und der nächste Schritt wird sofort analysiert, nämlich die institutionellen und rechtlichen Grundlagen des Projekts (Bild 2.5).



**Bild 2.5 Institutionelle Auswahlaspekte in der Annäherungsphase**

Die Bewertung der institutionellen und rechtlichen Grundlagen des Projekts wird gemäß der Prognose der künftigen Entwicklung der Gemeinde, die in Instanzen mit kommunaler Beteiligung (Gemeinde, Nichtregierungsorganisationen (NGO), staatliche und private Institutionen), im Plan zur Landordnung (Plan de Ordenamiento Territorial – POT) und im städtischen Entwicklungsplan aufgestellt. In diesen Plänen muss die Verwirklichung des Abwasserreinigungssystems der Gemeinde geplant werden.

Ab dieser Stelle werden in der Annäherungsphase technische Aspekte bewertet, die einige Technologien ausschließen, und die Realisierbarkeit des Kläranlagenbaus im ausgewählten Grundstück bestätigen (Bild 2.6).



**Bild 2.6 Auswahlaspekte bezüglich der Besitzverhältnisse und Gefährdung durch Naturkatastrophen des Grundstücks, wo die Kläranlage gebaut wird**

Um mit diesem Teil des Prozesses beginnen zu können, sind genaue Kenntnisse über die Verfügbarkeit des Grundstücks (einschließlich Merkmale bezüglich des Eigentums) erforderlich. Dabei werden die möglichen Limitierungen zur Realisierung der Kläranlage

bewertet, wie z. B. hohe Gefahr von Landbewegungen, Erosion, Fluten, oder Erdbeben. Falls im ausgewählten Ort ein hohes Risiko dieser Art besteht, kann man dieses Grundstück für diesen Zweck nicht empfehlen.

Ebenfalls muss die Fläche des verfügbaren Grundstücks mit den notwendigen Flächen für jede Technologie verglichen werden, angemessen der Menge und Beschaffenheit des zu behandelnden Abwassers.

Danach kann man eine erste Auswahl von durchführbaren Technologien treffen, die im für diesen Zweck von der Gemeinde ausgesuchten Grundstück gebaut werden können.

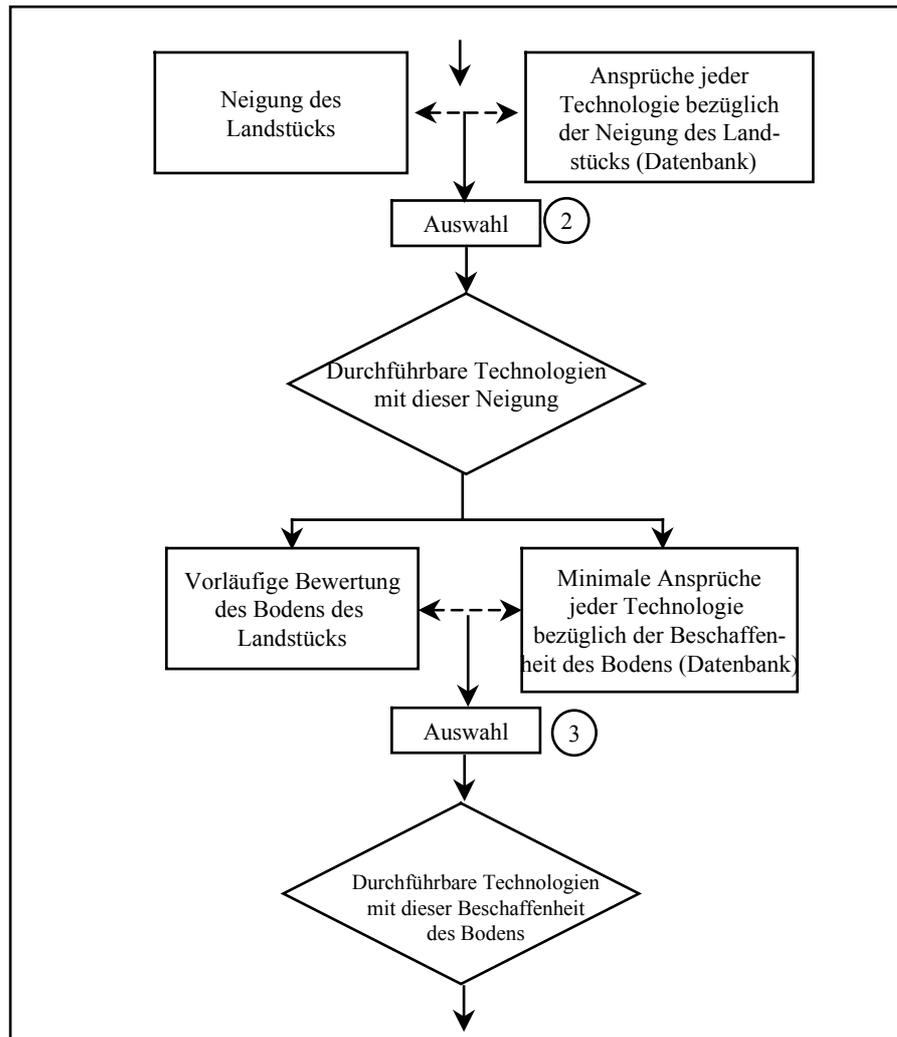
Beim nächsten Schritt werden drei der grundlegenden Merkmale des Bodens, wo die Kläranlage gebaut wird, bewertet, nämlich die Neigung des Grundstücks, der Grundwasserspiegel, und seine Permeabilität (Bild 2.7). Die Neigung des Grundstücks wird mit den Ansprüchen jeder Technologie verglichen, um die zweite Auswahl zu treffen.

Nachfolgend wird eine vorläufige Bewertung des Bodens durchgeführt. Dabei werden der Grundwasserspiegel (m) und die Permeabilität des Bodens (cm/d) mit den Anforderungen der unterschiedlichen Technologien (Bild 2.7) verglichen. Dabei ergeben sich die zweite und die dritte Auswahl.

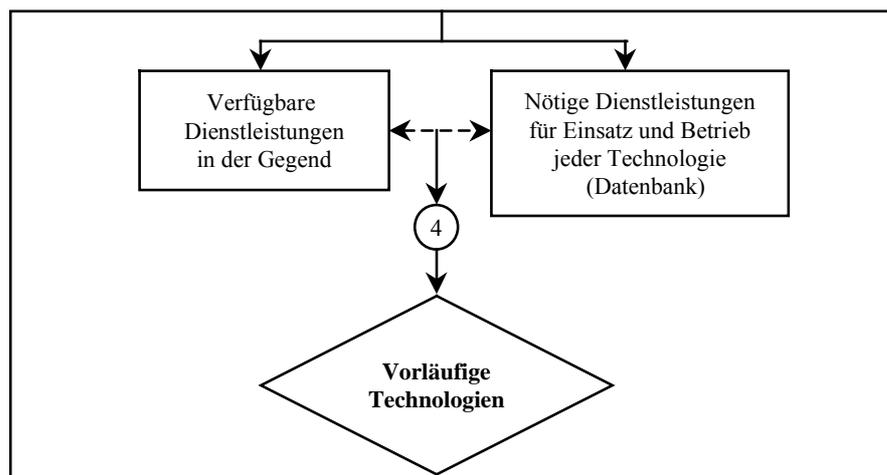
Schließlich werden die verfügbaren Dienstleistungen der Gegend (Energieversorgung, Trinkwasserleitung, Abwasserkanäle, Abfallbeseitigung, Telefonanschlüsse) mit den zur Verwirklichung jeder Technologie erforderlichen Dienstleistungen verglichen. Dabei ergibt sich die vierte Auswahl (Bild 2.8).

Am Ende dieser Phase ergeben sich vorläufige Technologien, die zu den rechtlichen Aspekten und den Eigenschaften des verfügbaren Grundstücks gut passen. Diese vorläufigen Technologien werden in der nächsten Phase, nämlich der Synthesephase, bewertet.

Im nächsten Kapitel werden die Erfordernisse jeder Technologie hinsichtlich der in dieser Phase bewerteten Parameter gezeigt.



**Bild 2.7** Auswahlaspekte bezüglich der technischen Eigenschaften des Grundstücks, wo die Kläranlage gebaut werden soll



**Bild 2.8** Auswahlaspekte bezüglich der Verfügbarkeit der erforderlichen Dienstleistungen für die Installation und den normalen Betrieb der Kläranlage

## 2.3.2 Synthesephase

Nach der Feststellung der durchführbaren Technologien wird eine gewählt, die am Besten zu den Merkmalen der Gemeinde passt. Dazu müssen die Eigenschaften (Vor- und Nachteile) jeder Technologie mit den lokalen Zuständen und dem Wunsch der Gemeinde verglichen werden. Die Gemeinde soll an der Auslegung des Systems beteiligt sein und übernimmt den Betrieb oder beauftragt ein Unternehmen mit dem Betrieb des Systems.

Laut SPERLING (1996), PEREZ (1998) und CARNEIRO et al. (2000) müssen die folgenden Aspekte bzw. Variablen berücksichtigt werden, um die Analyse durchzuführen: Aspekte bezüglich der Umwelt, soziale und kulturelle Aspekte der Gemeinde, technologische Aspekte und wirtschaftliche Aspekte.

### 2.3.2.1 Umweltvariablen

Diese Variablen bewerten die Belastung, die jede Technologie am Ort und in der Nähe bewirken kann, wo die Kläranlage gebaut wird. Die Belastungen, die auftreten können, sind: Lärmbelastungen, Schädlingsentstehung, optische Beeinträchtigung der Landschaft, Geruchsemissionen und die mögliche Belastung empfindlicher Ökosysteme bzw. strategischer Zonen.

- **Lärmbelastung:** Nicht quantifizierbare Variable. Die Belastung wird bewertet, unter Berücksichtigung der Lärmentstehung jeder Technologie und der Nähe zwischen dem Ort, wo die Kläranlage gebaut wird, und den Siedlungen (je näher desto größer die Belastung).
- **Schädlingsentstehung:** Nicht quantifizierbare Variable. Sie bezieht sich auf die mögliche Entstehung von Schädlingen (Insekten, Nagetiere, usw.) als Folge des Einsatzes der Technologien. Dabei entstehen negative Wirkungen auf die Siedlungen. Ähnlich wie bei der Lärmbelastung hängen ihre Beeinträchtigungen von der Nähe zu den Siedlungen ab. Es ist klar, dass, je näher die Kläranlage liegt, desto größer die negativen Wirkungen auf die Gemeinde werden.
- **Optische Beeinträchtigung der Landschaft:** Nicht quantifizierbare Variable. Es wird bewertet, in welchem Maße die Anlage die Landschaft optisch stört, z. B. in ästhetischer Hinsicht durch ihre Größe oder Form (je größer der visuelle Unterschied zwischen der Technologie und der Gegend, desto größer wird die Belastung.)

- **Geruchsentstehung:** Nicht quantifizierbare Variable. Es wird die Geruchsentstehung bewertet, die sich je nach Technologie ergeben kann. Dabei muss man die Entfernung, die Richtung und Häufigkeit der vorherrschenden Winde zwischen dem Projektort und der nächstgelegenen Siedlung berücksichtigen (je näher das Grundstück liegt, je ungünstiger die Richtung und je öfter die entsprechende Windrichtung vorliegt, desto größer wird die Belastung.)
- **Belastung empfindlicher Ökosysteme bzw. strategischer Zonen:** Nicht quantifizierbare Variable. Falls eine Technologie im Einflussgebiet eines empfindlichen Ökosystems (Feuchtgebiete, Primär- bzw. Sekundärwälder, Hochlandgebiete, Korallenriffe, usw.) eingesetzt wird, wird diese Technologie analysiert, um ihre Belastung zu bewerten.

### 2.3.2.2 Soziale und kulturelle Variablen

Die sozialen und kulturellen Variablen analysieren die Aspekte, die die Nachhaltigkeit einer Technologie zur Abwasserreinigung in einer Gemeinde bedingen. Diese Variablen werden beurteilt, gemäß der sozialen und kulturellen Merkmale der Gemeinde, die für den Betrieb und die Wartung des Systems verantwortlich ist (GALVIS et al. 1998). Die Aspekte, die berücksichtigt werden, sind: Ausbildungsniveau der Bewohner, verfügbare Arbeitskraft in der Gemeinde, Möglichkeiten zur lokalen Betreuung und institutionelle Präsenz.

- **Ausbildungsniveau:** Quantifizierbare Variable. Es muss das Ausbildungsniveau der Gemeinde analysiert und mit den Erfordernissen jeder Technologie bei Bau, Betrieb und Wartung verglichen werden. Aspekte sind das höchste Ausbildungsniveau, das in den lokalen Bildungseinrichtungen erreicht werden kann, Personen in der Gemeinde, die die Hochschule absolviert haben, Personen, die eine berufliche Ausbildung haben, Personen mit einer technischen Ausbildung und Personen, die keine formelle Ausbildung erhalten haben, die jedoch technische Tätigkeiten, die für das Projekt interessant sind, ausüben.
- **Verfügbare Arbeitskraft:** Quantifizierbare Variable. Das Anforderungsniveau der Arbeitskraft jeder Technologie (im Bezug auf ihre Anzahl und Qualität bei Bau, Betrieb und Wartung) und die in der Gemeinde verfügbare Arbeitskraft muss dabei verglichen werden. Um die lokale Situation analysieren zu können, müssen Aspekte bewertet werden, wie z.B. die Verfügbarkeit der Arbeitskraft in der Gegend

hinsichtlich des technischen Personals sowie hinsichtlich der Werkstätten und anderer Einrichtungen, die die unterschiedlichen Technologien unterstützen können.

- **Möglichkeiten zur lokalen Durchführung:** Quantifizierbare Variable. In der Gemeinde müssen drei grundlegende Aspekte beurteilt werden: 1) Vorhandensein von gemeinnützigen Einrichtungen, Projekten, Vereinen. 2) Gemeindeverwaltung 3) Verwaltung der öffentlichen Dienstleistungen. Diese Aspekte zeigen die Fähigkeit, die die Gemeinde hat, diese Systeme entsprechend ihrer Komplexität zu betreiben.
- **Institutionelle Präsenz:** Quantifizierbare Variable. Die Existenz von öffentlichen bzw. kommunalen Institutionen in der Gemeinde kann die Nachhaltigkeit der Projekte gewährleisten. Deshalb ist es wichtig, die technologischen Erfordernisse an institutioneller Präsenz mit den lokalen Zuständen zu vergleichen.

### 2.3.2.3 Technologische Variablen

Diese Eigenschaften messen die technische Eignung jeder Technologie. Dabei werden ihre Vor- und Nachteile mit den lokalen Ansprüchen und Zuständen verglichen. Diese Variablen werden hinsichtlich der folgenden Aspekte beurteilt: Zusätze und Geräte für den Betrieb und Wartung des Systems, Möglichkeiten zur Wiederverwendung der gereinigten Abwässer, Schlammproduktion jeder Technologie, Komplexität des Betriebs und der Wartung.

- **Zusätze und Geräte für Betrieb und Wartung des Systems:** Nicht quantifizierbare Variable. Die Technologien werden bewertet hinsichtlich ihrer Erfordernisse an Geräten, Ersatzteilen, und Zusätzen, die für den korrekten Bau und den Betrieb des Systems erforderlich sind. Diesbezüglich werden die Ansprüche der Technologien mit den lokalen Zuständen verglichen. Hierzu müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden: Existenz von Gewerben, die diese Produkte vertreiben, bzw. die Entfernung zur nächstgelegenen Siedlung bzw. Stadt, in der diese Produkte verfügbar sind.
- **Möglichkeiten zur Wiederverwendung der gereinigten Abwässer:** Quantifizierbare Variable. Die Bewertung wird gemäß der Effizienz der Technologie durchgeführt. Dabei werden die Möglichkeiten zur Wiederverwendung der gereinigten Abwässer hinsichtlich der folgenden Aspekte eingestuft: Fischzucht, Viehzucht, Landwirtschaft oder keine Nutzung. Außerdem muss festgestellt werden, ob die Gemeinde selbst die Abwasserwiederverwendung braucht und zu welchem

Zweck.

- **Schlammproduktion:** Quantifizierbare Variable. Diesen Aspekt kann man ohne Schwierigkeiten quantifizieren. Man kann eine Bewertung gemäß der Schlammproduktion jeder Technologie durchführen. In Kapitel 5 werden die Schlammproduktionsparameter der vorgeschlagenen Technologien aufgestellt. Dabei gilt: je niedriger die Schlammproduktion ist, desto attraktiver wird die Technologie für den Entscheidungsträger.
- **Komplexität des Betriebs und der Wartung:** Nicht quantifizierbare Variable. Die Bewertung erfolgt gemäß der Komplexität des Betriebs und der Wartung jeder Technologie. Dabei wird ebenso ihre Anfälligkeit hinsichtlich der Änderung des Volumenstroms und der Abwasserbeschaffenheit beurteilt. Hierzu werden diese Aspekte mit den lokalen Zuständen und mit der Fähigkeit der Gemeinde, diese komplexen Systeme zu betreiben, verglichen.

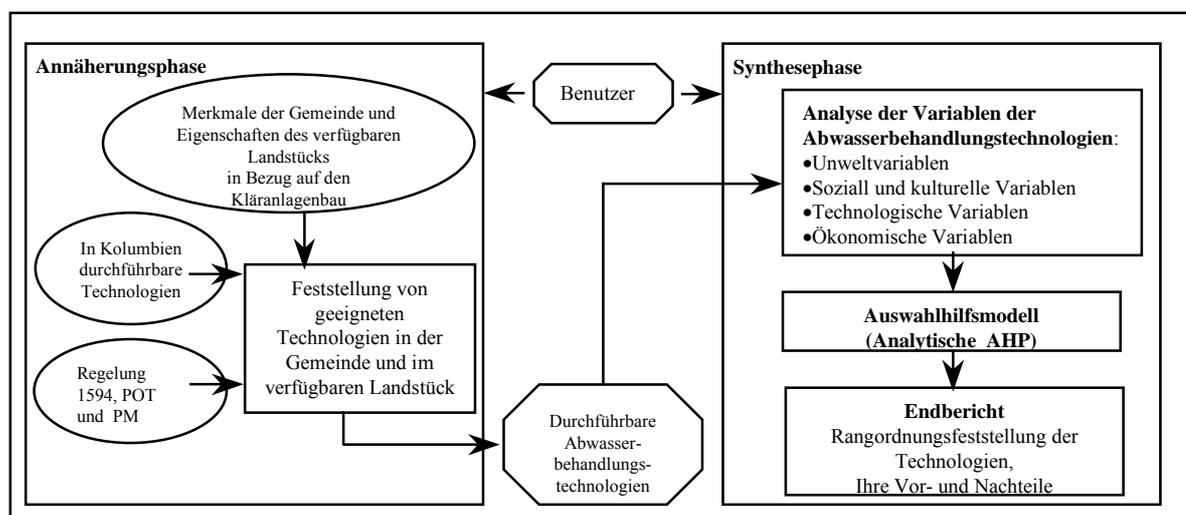
#### 2.3.2.4 Ökonomische Variablen

Die Investitionskosten und die Betriebs- und Wartungskosten sind die Hauptkriterien gewesen, um die Technologien zur Abwasserreinigung auszuwählen. Obwohl die Kosten relativ einfach zu quantifizieren sind, können je nach den Merkmalen der Gemeinde subjektive Kriterien vorherrschen: wenn eine Technologie extrem bzw. deutlich teurer als eine andere Technologie ist, dann hängt die Entscheidung vom finanziellen Zustand der Gemeinde ab.

- **Betriebs- und Wartungskosten:** Quantifizierbare Variable. Man muss die jährlichen Betriebs- und Wartungskosten der unterschiedlichen Technologien bewerten und mit den Zahlungsmöglichkeiten der Gemeinde vergleichen. Dazu werden das monatliche familiäre Einkommen und die Tarife der Trinkwasserversorgung und der Abwasserbeseitigung berücksichtigt. Die Technologien, deren Kosten zu einem hohen Anteil bzw. ganz von der Gemeinde übernommen werden können, werden positiv beurteilt.
- **Investitionskosten:** Quantifizierbare Variable. Sie bezieht sich auf die Baukosten des Systems. Man bestimmt direkt die Kosten jeder Technologie und vergleicht sie mit den Zahlungsmöglichkeiten der Gemeinde.

Da viele Variablen nicht quantifizierbar sind, muss man sie miteinander oder mit mehreren quantifizierbaren Variablen vergleichen. Man muss eine Methode einsetzen, die eine gerechtfertigte Beurteilung dieses subjektiven Prozesses durchführt. Dafür wird ein Stützmodell mit vielfältigen Zielen verwendet, das analytische Rangordnungsmodell (Analytic Hierarchic Process – AHP. Kapitel 4). Mit Hilfe dieses Modells kann man die aus der Annäherungsphase sich ergebenden technologischen Alternativen hinsichtlich der Merkmale der Gemeinde bewerten.

Eine Synthese des vorgeschlagenen theoretischen Modells, das eine Variation des Modells von KAO & YANG (1996) darstellt, wird in Bild 2.9 gezeigt.

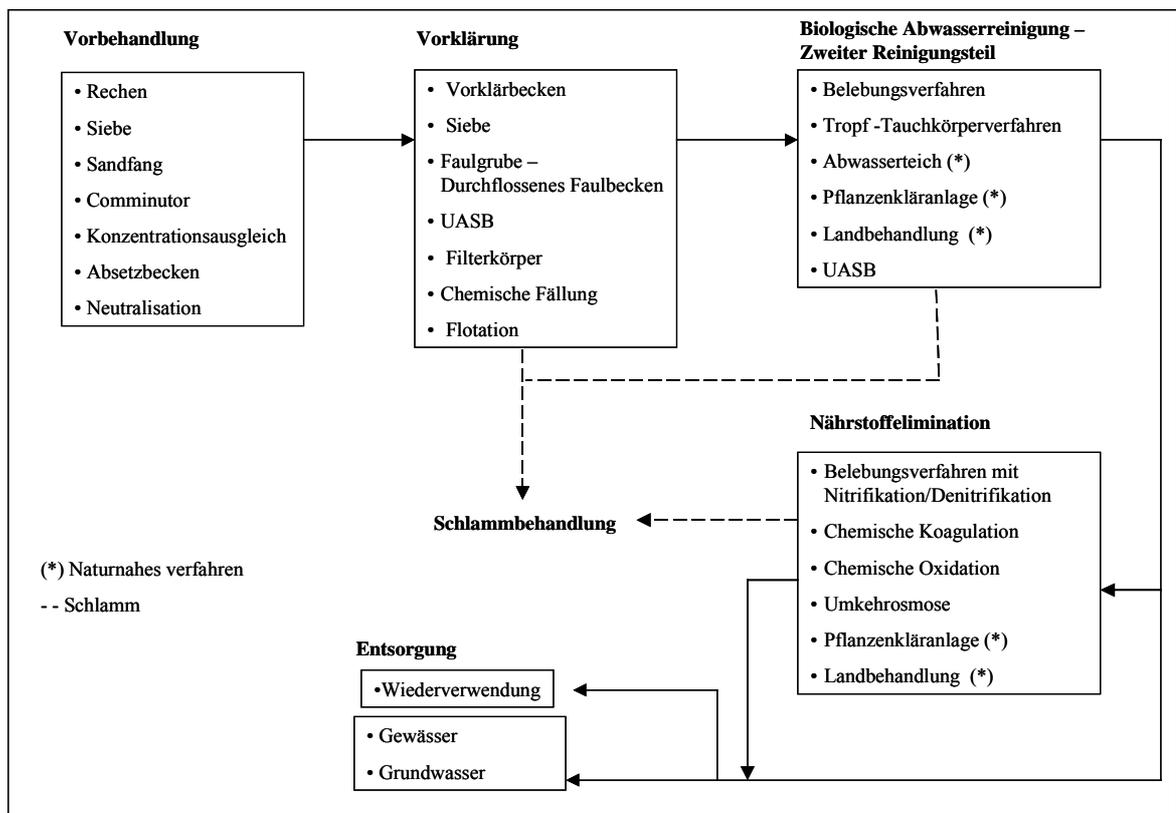


**Bild 2.9 Schema des vorgeschlagenen theoretischen Modells (basiert auf dem Modell von KAO & YANG 1996).**

### 3 Technologien der Abwasserbehandlung

In diesem Kapitel werden diejenigen Technologien der Abwasserbehandlung diskutiert, die am häufigsten in kleinen kolumbianischen Gemeinden eingesetzt werden. Darüber hinaus werden auch Technologien, die nicht so häufig eingesetzt werden, jedoch gemäß der bibliographischen Recherche ein hohes Einsatzpotential besitzen, vorgestellt. Dabei wird nicht versucht, jede Technologie ausführlich zu analysieren, sondern es wird eine einfache Beschreibung ihres Funktionsprinzips dargestellt, um einen Überblick über die technologischen Aspekte zu erhalten. Die Auslegungsparameter und die technische Spezifizierung werden in Anhang A gezeigt.

Um kommunale Abwässer zu klären, gibt es vielfältige Prozesse und Grundoperationen, die sehr unterschiedliche Effizienz- und Komplexitätsstufen aufweisen. Bild 3.1 stellt den Behandlungsgrad von Schadstoffen dar, der durch die unterschiedlichen Prozesse und Grundoperationen erreicht wird (SALAZAR 1998).



**Bild 3.1 Grundoperationen und Prozesse der Reinigung nach Behandlungsgrad (SALAZAR 1998)**

Im Folgenden wird eine Darstellung der Grundoperationen und Prozesse der Reinigung gezeigt, gemäß ihrer Stufe im Klärprozess (Vorbehandlung, mechanische und biologische Behandlung). Schließlich werden die Verfahrenskombinationen für Gemeinden dargestellt, die schon eingesetzt werden, oder die ein hohes Einsatzpotential besitzen.

## **3.1 Vorbehandlung und mechanische Behandlung**

Rechen, Sandfang und Vorklärbecken sind die Bauwerke einer konventionellen mechanischen Behandlungsstufe (ATV 1997), aber für kleine Kläranlagen können auch Mehrkammergruben oder UASB- Systeme zur Vorbehandlung eingesetzt werden.

### **3.1.1 Rechen und Siebe**

Grobe Gegenstände, Plastikteile und Spinnstoffe verursachen auf Kläranlagen häufig betriebliche Probleme. In der Praxis wird versucht, durch den Einbau von Rechen oder Sieben am Zulauf den geschilderten Problemen zu begegnen (ATV 1987).

Rechen- und Siebverfahren stellen normalerweise die erste Grundoperation einer Kläranlage dar. Die zur Zeit bei diesen Verfahren eingesetzten Geräte kann man wie folgt einordnen: Rechen (Rechen, metallische Gewebe und perforierte Platten), Siebe (feine und sehr feine Siebe).

**Rechen.** Die Rechenstäbe sollen eine lichte Stabweite von größer als 10 mm haben. Die Reinigungsverfahren für die Rechen werden in manuelle und maschinelle Reinigungsverfahren eingeteilt (ATV 1987).

Wanderrostrechen bestehen aus einem endlosen Band mit Gliedern aus nebeneinander liegenden Kunststoffelementen, die parallel in den Abwasserstrom eintauchen und bei ihrer Aufwärtsbewegung die aus dem Abwasserstrom herausgekämmtten Stoffe mitnehmen. Trommelrechen werden in Form eines ringförmigen Rechenpakets quer zum Abwasserstrom eingebaut und Stufenrechen haben stufenförmige, parallel in den Abwasserstrom eintauchende Gitterlamellen (ATV 1987).

**Siebe.** Bogensiebe stellen die einfachste Ausführungsart dar. Sie besitzen keine mechanisch bewegten Teile. Das Abwasser fließt von oben über die starre bogenförmige Siebfläche nach unten und zugleich durch das Sieb hindurch. Die Schmutzstoffe rutschen auf der

Sieboberfläche nach unten und können dort aufgefangen werden. Es gibt auch mechanische Siebe wie Trommelsiebe oder Siebbänder, bei denen die Reinigung mit Spritzwasser und rotierenden Bürsten erfolgt (STIER & FISCHER 1993; ATV 1987).

### **3.1.2 Vorklärung**

Bei der Sedimentation können suspendierte Partikel mit Hilfe der Schwerkraft entfernt werden, deren Dichte höher als die des Wassers ist. Die Aufgabe dieses Verfahren ist die Entfernung von suspendierten Feststoffen und des BSB<sub>5</sub> des Abwassers, mit Hilfe des Absetzens im Vorklärbecken (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO 2000), das ein rein physikalisches Verfahren darstellt. Die biologische Abwasserbehandlung funktioniert um so besser, je weitgehender im Vorklärbecken die absetzbaren ungelösten Feststoffe abgeschieden wurden (STIER et al. 1994).

Als primäre Stufen werden Becken bezeichnet, die rohe Abwässer empfangen, die also vor der Durchführung einer biologischen (sekundären) Behandlung stehen. Diese Becken können rechteckig oder rund sein. Bei rechteckigen Becken wird das rohe Abwasser durch Öffnungen eingeleitet, die sich nahe an der Oberfläche am Einlauf des Beckens befinden. Die Strömungsgeschwindigkeit des Abwassers ist sehr gering, damit auch kleine und weniger dichte Partikel sedimentieren. Das Abwasser fließt dann auf der gegenüber befindlichen Seite des Beckens über den Ablauf ab. Im Rundbecken wird das Abwasser durch die Öffnung an der oberen Seite einer senkrechten Rohrleitung in der Beckenmitte eingeleitet, und das Abwasser fließt radial zum Ablauf am Beckenumfang. Hier bedarf es dann jedoch einer getrennten Schlammfaulanlage (ATV 1997).

Die Vorklärbecken können beim korrekten Betrieb zwischen 50 und 70% der gesamten suspendierten Feststoffe und zwischen 25 und 40% des BSB<sub>5</sub> entfernen (STIER et al. 1994; TCHBANOGLOUS & CRITES 1998). Dabei soll berücksichtigt werden, dass die Reinigungseffizienz bezüglich des BSB<sub>5</sub> und der suspendierten Feststoffe von der Konzentration des eingeleiteten Abwassers und von der Verweilzeit abhängt .

Mit einem Vorklärbecken kann man sowohl die Trennung der suspendierten Feststoffe als auch den Abbau der auf dem Beckenboden abgesetzten organischen Stoffe durch anaerobe Bakterien durchführen (SUCHER & HOLZER 1999).

### **3.1.3 Mehrkammergrube**

Rechen, Sandfang und Vorklärbecken können bei kleinen Ausbaugrößen durch eine Mehrkammergrube ersetzt werden. Merkmal der Mehrkammergrube ist, dass Sedimentation und Faulung im gleichen Behälter stattfinden. Ein septischer Tank besteht grundsätzlich aus einem oder mehreren nacheinander aufgestellten Becken, in denen die Sedimentation der Feststoffe stattfindet (ATV 1997). Die Funktionen einer Mehrkammergrube sind (ROMERO 1999):

- Trennung von suspendierten Fest- und Schwebstoffen.
- Anaerobe Behandlung sedimentierter Schlämme.
- Einlagerung von Schlämmen und Schwebstoffen.

In der Mehrkammergrube bilden die im rohen Abwasser enthaltenen sedimentierbaren Feststoffe eine Schlammschicht auf dem Boden des Tanks. Fette, Öle und andere Schwebstoffe häufen sich an der Oberfläche an, wo eine schwimmende schaumige Schicht gebildet wird. Die organischen Stoffe auf dem Tankboden werden anaerob und anoxisch (fakultativ) abgebaut und in Verbindungen wie z. B. Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) umgewandelt.

Obwohl in der Mehrkammergrube Schwefelwasserstoff gebildet wird, ist eine Geruchsentstehung nicht üblich, da der Schwefelwasserstoff mit Schwermetallen reagiert und unlösliche Sulfide bildet, die sich im Sediment anhäufen. Obwohl das Volumen der Feststoffe durch den anaeroben Abbau vermindert wird, ergibt sich netto dennoch immer ein Schlammanfall. Die Reinigungsleistung liegt, bezogen auf den  $\text{BSB}_5$ , bei etwa 30 – 50%; die prozentuale Reinigungsleistung, bezogen auf den CSB, ist etwas niedriger anzusetzen (ATV 1997).

### **3.1.4 Anaerobe Filter (Filterkörper)**

Anaerobe Filter sind als Systeme mit hoher Beschickungsmenge bekannt. Diese Systeme wurden Ende der siebziger Jahre entwickelt und seitdem bei der industriellen und kommunalen Abwasserbehandlung eingesetzt. Bei Filtern mit aufwärts gerichteter Fließrichtung strömt das Wasser im Tank nach oben durch ein im Behälter eingefülltes Trägermaterial, das aus einem Feststoff besteht (Kies, Stücke synthetischen Materials, usw.).

Auf dem Trägermaterial bildet sich ein Biofilm, in dem die organischen Stoffe abgebaut werden. Anaerobe Filter können bei niedrigen Verweilzeiten und hohen organischen Belastungen betrieben werden, da ihr Betrieb sehr stabil ist (NOYOLA & MORGAN 1997).

Obwohl die Vorteile der anaeroben Behandlung gegenüber der aeroben Behandlung größer werden, je höher die organische Belastung ist, zeigen unterschiedliche Studien (GENUG et al. 1982; KOBAYHASE et al. 1983; PRETRORIUS 1981; YOUNG & YANG 1989; Zitate von NOYOLA & MORGAN 1997), dass bei der Nutzung von anaeroben Filtern auch bei der Behandlung von verdünntem kommunalem Abwasser eine Abnahme der organischen Stoffe von bis zu 85% erreicht werden kann.

Bei allen durchgeführten Untersuchungen und Studien war das Filtermedium immer ein umstrittener Aspekt gewesen. Die Untersuchungen an Reaktoren mit unterschiedlichen Filtermedien zeigten, dass die spezifische Oberfläche des Filtermediums einen geringen Einfluss auf die Effizienz des Reaktors hat. Dies bedeutet, dass eine Erhöhung der spezifischen Oberfläche keine deutliche Verbesserung der Reaktoreffizienz bewirkt. Jedoch scheint, dass die Form des Filtermediums hingegen einen Einfluss auf den Wirkungsgrad hat. Je weniger Kurzschlüsse für das strömende Abwasser im Reaktor vorhanden sind, desto intensiver wird der Kontakt zwischen Wasser und biologischer Masse. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wird festgestellt, dass in den ersten 60 Zentimetern des Filtermediums in Richtung des Wasserflusses die höchste Schadstoffeliminierung stattfindet und dass über die folgenden 1,2 Meter keine weitere Reinigungswirkung auftritt (KAMIYAMA 1993).

Einige Studien untersuchten verschiedene Filtermaterialien (außer Kies) mit dem Zweck, Verstopfungen zu vermeiden und den Betrieb einfacher zu gestalten. Erfahrungen der „Corporación Autónoma Regional del Valle de Cauca – CVC“ wurden berichtet. Dabei wurden Abwässer der Kaffeeindustrie mit anaeroben Filtern bei aufwärts gerichteter Strömung behandelt. Hierzu wurde Zuckerrohr „Gadua“ als Filtermedium eingesetzt, und eine Reinigungsleistung von über 90% des BSB<sub>5</sub> und 70% der TSS erreicht (ZAMBRANO 1997).

## **3.2 Biologische Abwasserbehandlung**

### **3.2.1 Landbehandlung**

Die Abwasserlandbehandlung ist das älteste und einfachste Verfahren zur Entsorgung von häuslichen Abwasser. Unter dem Begriff Abwasserlandbehandlung definiert die ATV (1997) das Verfahren, in dem das Abwasser mit seinen Inhaltsstoffen bei landwirtschaftlicher Verwertung zum Teil von den Pflanzen aufgenommen wird.

Die eingesetzte Methode hängt von den folgenden Aspekten ab: den Eigenschaften des Abwassers, der Topographie und der Verfügbarkeit des Landstücks, den Eigenschaften des Bodens d. h. der Textur, der Struktur, den Versickerungseigenschaften, dem Kationenaustauschvermögen und den Umweltschutzregelungen.

Aufgabe der Landbehandlung des Abwassers ist (ROMERO 1999):

- Abtrennung von Schadstoffen aus dem Abwasser
- Anbau von Kulturpflanzen und Wiesen
- Erholung von dürrer Boden und von durch Erosion geschädigtem Boden
- Nährstoffwiederverwendung
- Erhaltung und Anbau von Grünflächen

Normalerweise finden diese Prozesse mit vorgeschalteten gekoppelten Vorbehandlungen statt, d. h. mit einem Vorklärbecken oder mit einer Mehrkammergrube.

#### **3.2.1.1 Rieselfelder**

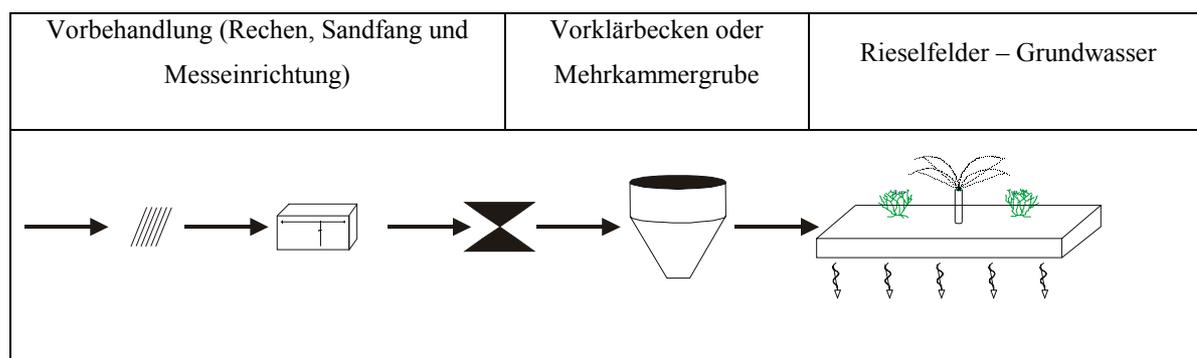
Dieser Prozess entwickelte sich aus der „landwirtschaftlichen Abwasserverwertung“, die in Europa im Jahrzehnt von 1840 praktiziert wurde, und später als „Abwasserbewässerung“ bezeichnet wurde und in den USA schon ab 1880 eingesetzt wurde. Die Effizienz der Landbehandlung wurde im Jahrzehnt von 1860 in England festgestellt (JEWELL & SEABROOK 1979).

Die Landbehandlung hat eine große Vielfalt z. B. Gießbewässerung im Bergabhang, landwirtschaftliche Bewässerung, Waldbewässerung, Bewässerung von Golfplätzen, usw.

Bei der gezielten Abwasserperkolation wird die Reinigungswirkung der Lithosphäre ausgenutzt, die auf geochemischen, physikalischen, biochemischen und biologischen Vorgängen beruht (ATV 1997).

Die Permeabilität, die Höhe der Bodensäule zwischen der Oberfläche und dem Grundwasserspiegel, die Präsenz einer dichten Bodenschicht oder einer Steinschicht sind normalerweise die wichtigsten Eigenschaften, die man berücksichtigen muss, um die Eignung des Landstücks zur Anwendung der Landbehandlung festzustellen (METCALF & EDDY 1996; ATV 1997). Es gibt verschiedene Arten mit den zugehörigen Boden- und Grundwasserverhältnissen: Verregnung, Stauverrieselung, Bodenfilter, Furchenverrieselung und Hangverrieselung.

Eine Reinigungsleistung von über 99% des BSB<sub>5</sub> und Keimverminderungen von etwa 3 Zehnerpotenzen von 10<sup>8</sup> Keime/ml auf 10<sup>5</sup> Keime/ml werden erreicht (BAUMANN & BRAMM 1978; GELLER et al. 1992 Zitate von ATV 1997). Bild 3.2 zeigt das Schema des Systems.



**Bild 3.2 Schema des Landbehandlungssystem - Rieselfelder (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996; ATV 1997)**

### 3.2.1.2 Landbehandlung Oberflächenabfluss

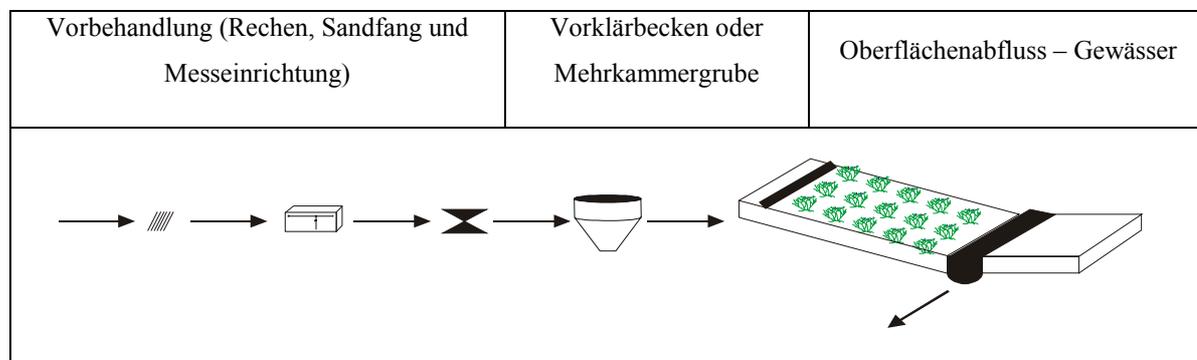
Die Landbehandlung mit oberflächlichem Abfluss wurde entwickelt, um Böden mit geringer Permeabilität, wie z. B. tonhaltige Böden, nutzen zu können. Dieses Verfahren wurde zum ersten Mal 1954 in den USA in Napoleon Ohio eingesetzt. Spätere Entwicklungen wurden von der Campbell Soup Company in Paris durchgeführt.

Die Landbehandlung mit oberflächlichem Abfluss ist ein biologisches Rieselfilmverfahren, wobei Gras und Gewächse als Trägermaterial für das bakterielle Wachstum dienen. Die Reinigung erfolgt bei diesem Verfahren durch das Fließen des Wassers über bewachsene Böden, die nur geringe Neigungen (2 bis maximal 10%) aufweisen. Normalerweise werden

Landstücke mit Neigungen von 2 bis 4% und mit einer Länge von 36 bis 45 Metern eingesetzt. Der Ablauf des behandelten Abwassers wird an der unteren Seite des Landstücks gesammelt (METCALF & EDDY 1996). Dieses System ist der Landbehandlung Hangverrieselungsart, die in Deutschland angewendet wird, ähnlich, aber während das Abwasser bei der Hangverrieselung im Boden versinkt, findet dies bei der Landbehandlung Oberflächenabfluss nicht statt.

Die Behandlung mit oberflächlichem Fluss kann als Vorbehandlung in einem System zur Wasserwiederverwendung eingesetzt werden, um eine biologische Behandlung durchzuführen, eine weitgehende sekundäre Behandlung zu betreiben oder um gemäß der Abwasserabgabeanforderungen den Stickstoff zu entfernen.

Böden, die eine geringe Permeabilität oder eine komplette Undurchlässigkeit aufweisen, können bei diesem Verfahren sehr gut eingesetzt werden. Böden mit einer mäßig hohen Permeabilität können erst nach einer Verdichtung des Bodens zu diesem Zweck verwendet werden. Diese Verdichtung wird durchgeführt, um eine Versickerung des Abwassers zu vermeiden und um eine horizontal gerichtete laminare Strömung zu gewährleisten (TCHBANOGLOUS & CRITES 1998). Bild 3.3 zeigt eine Schema des Systems .



**Bild 3.3 Schema des Landbehandlungssystem - Oberflächenabfluss (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

### 3.2.2 Behandlungssysteme in Teichen

Die Forschungsarbeiten, die über die Behandlung in Teichen während der vierziger Jahre durchgeführt wurden, initiierten die Entwicklung dieser Systeme und entwickelten eine kostengünstige Alternative zur Abwasserbehandlung (ATV 1997; Mc GAUHEY 1968 und MARAIS 1970, Zitate von TCHOBENOGLOUS & CRITES 1998).

Die Teiche werden gemäß dem im Wasser gelösten Sauerstoff (Aerobizitätsniveau) und

gemäß der Sauerstoffquelle zum bakteriellen Abbau von organischen Schadstoffen eingeordnet.

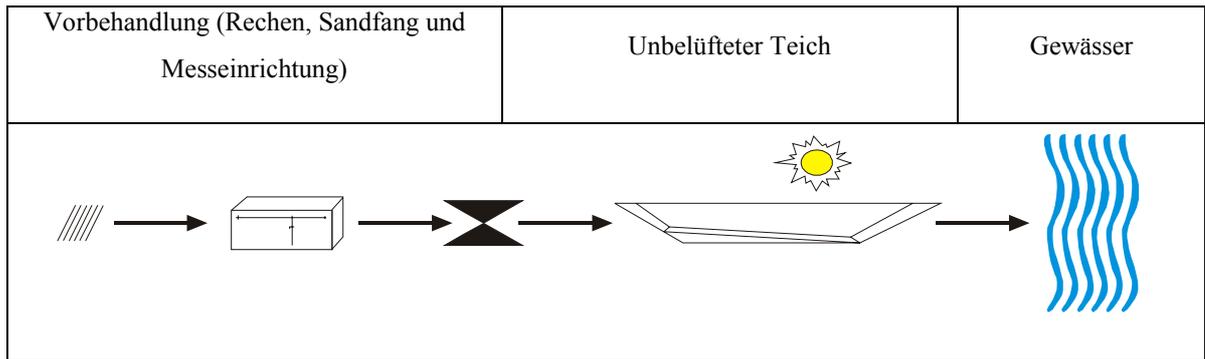
### **3.2.2.1 Unbelüftete Teichanlage**

Das ATV- Arbeitsblatt A 201 (ATV 1989a) beschreibt die unbelüftete Teichanlage auf folgende Weise: Unbelüftete Teiche, d. h. Abwasserteiche ohne technische Belüftungseinrichtung, sind großflächig und flach; sie werden zur biologischen Behandlung von Abwasser eingesetzt. Sofern keine Absetzteiche zur Entschlammung vorgeschaltet werden, dienen sie gleichzeitig der Entfernung der absetzbaren Stoffe. Sauerstoff wird in unbelüftete Abwasserteichanlagen auf natürliche Weise eingetragen; sein Eintrag ist damit von klimatischen bzw. meteorologischen Faktoren abhängig.

Unbelüftete Teichanlagen sind die am meisten verwendeten und flexibelsten Systeme dieser Art. Im Allgemeinen liegt ihre Tiefe zwischen 1 und 3 Metern, und sie sind auch als Stabilisierungsteiche bekannt. Die Behandlung erfolgt durch den Einsatz von aeroben Bakterien in der oberen Schicht und anaeroben Bakterien in der unteren Schicht. Dies ist allerdings von der Wasserdurchmischung abhängig, die durch Winde bewirkt werden kann. Die sedimentierbaren Feststoffe setzen sich auf dem Boden des Teichs ab. Der Sauerstoffeintrag erfolgt durch Photosynthese und durch natürliche Oberflächenbelüftung (Bild 3.4) (STIER & FISCHER 1993; METCALF & EDDY 1996).

Unbelüftete Teichanlagen werden gemäß der BSB-Belastung ausgelegt. Die Aufgabe ist dabei, Teichen auf hohe Verweilzeiten und geringe organische Belastungen auszulegen, damit aerobe Verhältnisse in der oberen Wasserschicht eingehalten werden können. Die Temperaturänderungen im Frühjahr und im Herbst bewirken einen aufwärts gerichteten Fluss, der sedimentierte Feststoffe wieder suspendieren kann. Obwohl der Abfluss einer unbelüfteten Teichanlage suspendierte Feststoffe enthalten kann, unterscheidet sich die Beschaffenheit dieses suspendierten Materials deutlich von den suspendierten Feststoffen der rohen Abwässer, da es sich bei den suspendierten Feststoffen im Ablauf der Teichanlage grundsätzlich um Algen handelt (ATV 1989a).

Die BSB<sub>5</sub>- Ablaufwerte der unbelüfteten Teichanlage hängen von der spezifischen Teichfläche ab. BSB<sub>5</sub>- Ablaufwerte von unter 10 mg/l BSB<sub>5</sub> (Filtriert) und CSB-Ablaufwerte von unter 50 mg/l CSB (Filtriert) können mit einer spezifische Teichfläche von 15 m<sup>2</sup>/E erreicht werden (ATV 1997). Bild 3.4 zeigt ein Schema des Systems.

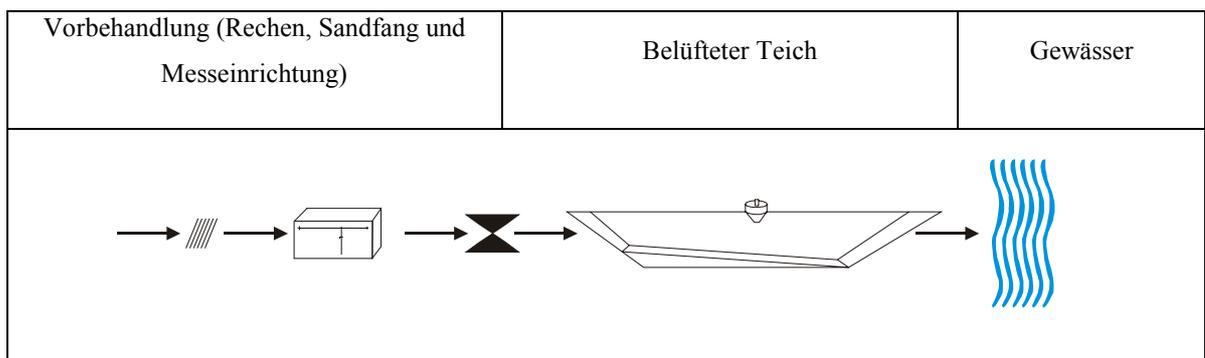


**Bild 3.4 Schema der unbelüfteten Teichanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

### 3.2.2.2 Belüftete Teichanlage

Belüftete Teichanlagen sind tiefer und können eine größere organische Belastung als unbelüftete Teichanlagen behandeln. Der Sauerstoffeintrag erfolgt durch mechanische Oberflächenbelüfter bzw. durch getauchte Druckbelüfter. Belüftete Teichanlagen weisen Tiefen zwischen 2 und 6 Metern auf, und ihre Verweilzeiten betragen zwischen 3 und 20 Tagen. Der wichtigste Vorteil einer belüfteten Teichanlage liegt darin, dass sie eine kleinere Oberfläche als die anderen Teichanlagensysteme aufweist. Die Belüftung der Systeme ermöglicht, trotz der kleineren Oberfläche den notwendigen Sauerstoff einzutragen, der für die biologische Aktivität gebraucht wird (Bild 3.5) (ATV 1989a; ROMERO1999).

ATV (1997) zeigte BSB<sub>5</sub>- Ergebnisse von unter 25 mg/l und CSB von unter 50 mg/l mit einer Raumbelastung von 0,1 kg/(m<sup>3</sup> d) aber einer geringen Nitrifikationsleistung. Bild 3.5 zeigt ein Schema des Systems.



**Bild 3.5 Schema der belüfteten Teichanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

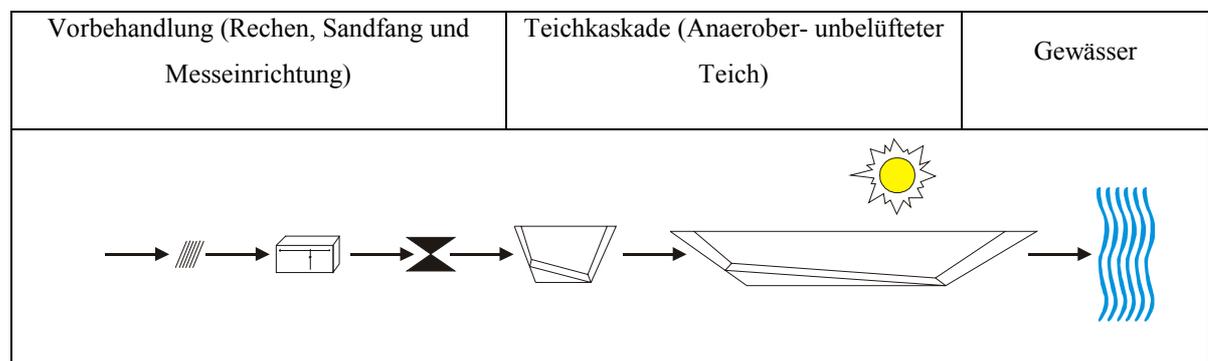
### 3.2.2.3 Anaerobe Teichanlage

Anaerobe Teichanlagen werden ausgelegt, um Abwässer mit hohen organischen

Belastungen zu behandeln, z. B. Industrieabwässer aus entfernten ländlichen Gebieten. Diese Teichanlagen besitzen keine aeroben Zonen, ihre Tiefe liegt zwischen 3 und 4 Metern, und die Verweilzeiten betragen zwischen 20 und 50 Tagen. Aufgrund einer möglichen Geruchsentstehung müssen anaerobe Teichanlagen abgedeckt bzw. von den Siedlungen isoliert werden (METCALF & EDDY 1996).

Die anaerobe Behandlung erfolgt durch eine große Vielfalt an Bakterien, die in zwei Arten eingeordnet werden können: Säurebildende Bakterien (acidogene) und methanbildende Bakterien (methanogene). Diese zwei großen Bakterienarten wirken auf eine kombinierte Weise und erzielen die Umwandlung der kohlenstoffhaltigen Verbindungen zu Methan .

Wenn nur eine kleine Fläche für die Anlage zur Verfügung steht, kann eine Teichkaskade (Anaerobe- unbelüftete Teichanlage) eingesetzt werden (Bild 3.6).

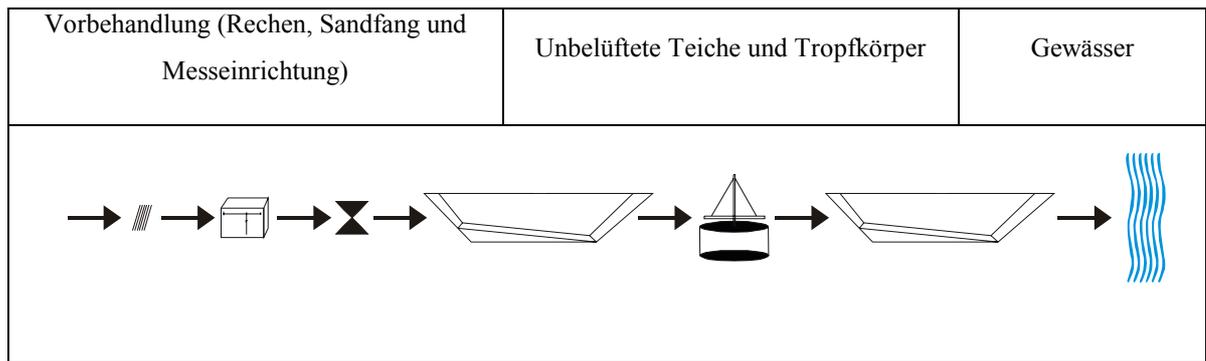


**Bild 3.6 Schema der Teichkaskadenanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

#### 3.2.2.4 Abwasserteichanlage mit biologischen Reaktoren

Abwasserteichanlagen mit zwischengeschaltetem Tropfkörper, Tauchkörper oder ähnlichen Verfahren als biologische Stufe, werden meist bei beengten Platzverhältnissen, in klimatisch ungünstigen Gebieten eingesetzt (STIER et al. 1994).

Absetzteich und Nachklärteich bleiben dabei als einfache Teichanlagen erhalten. Die Bemessung der biologischen Reaktoren erfolgt wie bei den herkömmlichen Verfahren (ATV 1989b; STIER et al. 1994). Bild 3.7 zeigt eine Schema des Systems.



**Bild 3.7 Schema der Teichanlage mit zwischengeschaltetem Tropfkörper (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

### 3.2.3 Pflanzenkläranlage

Pflanzenkläranlagen sind ein naturnahes Abwasserreinigungsverfahren, bei dem Abwasser durch einen Bodenkörper geleitet wird, der mit Sumpfpflanzen (meist Schilf) bewachsen ist. Die Reinigungsleistung von Pflanzenkläranlagen beruht auf einer Kombination aus Boden-Bakterien- und Pflanzeneinfluss (GELLER et al. 1992).

Die Wirkungsmechanismen im Bodenkörper sind durch komplexe physikalische, chemische und biologische Vorgänge gekennzeichnet, die sich aus dem Zusammenwirken von Füllmaterial, Sumpfpflanzen, Mikroorganismen, Porenluft und Abwasser ergeben. Die Reinigungsvorgänge beruhen im Wesentlichen auf den im Boden angesiedelten Mikroorganismen; die Pflanzenwurzeln sollen einer Verstopfung der Bodenporen infolge einer Zunahme der Biomasse durch die Mikroorganismen entgegenwirken (ATV 1998)

Im Allgemeinen kann man diese Feuchtgebiete nach drei Arten hinsichtlich der Anordnung und der Wachstumsbedingungen des dominierenden Schilfs (HARBERL 1997) unterteilen: Systeme mit einem ständigen Abfluss über die Beetoberfläche (Oberflächenabfluss) und Systeme mit Pflanzenbeeten (Vertikal- Horizontalbeete). Systeme mit vertikal durchströmten Pflanzenbeeten weisen noch Probleme mit der Kolmation auf. (DURAN et al. 1999; PLATZER 1997), deshalb untersuchen verschiedene Forschungsgruppen, so auch das Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin, wie die Probleme mit der Kolmation gelöst werden können (TESCHNER 1999).

Als Vorteile dieses Verfahren sind zu nennen, dass Schlamm nur im Absetzbecken bzw. vorzugsweise im Emscherbrunnen anfällt, dass diese Anlage unempfindlich auf Konzentrationsstöße reagiert, der geringe Wartungsaufwand bei hoher Betriebssicherheit

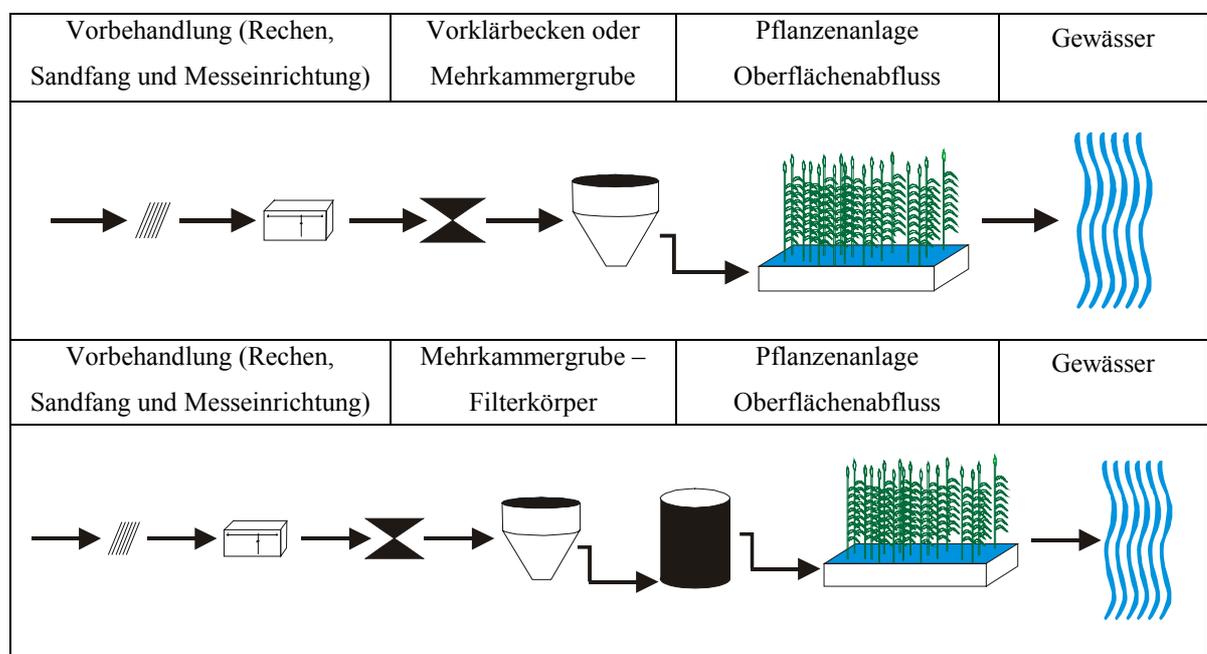
und die kostengünstige Herstellung. Pflanzenkläranlagen lassen sich auch gut in die Landschaft einpassen (ATV 1997; NACRI-GÖTTLICH 1994).

### 3.2.3.1 Oberflächenabflusspflanzenkläranlage

In diesen Feuchtgebieten sind die entstehenden Pflanzen bis zu einer Tiefe von 10 bis 45 cm unter Wasser getaucht. Zu den für diesen Zweck eingesetzten Pflanzen zählen Binsen und Schilfröhricht. Einige der technischen Feuchtgebiete dieser Art werden mit einer Abdichtung aus undurchlässigem Material ausgerüstet, um eine Versickerung zu vermeiden, und stattdessen die Verdunstung zu fördern (ROMERO 1999).

Die Pflanzen wirken durch ihre eingetauchten Stengel, Blätter und Wurzeln als Stützmaterial für das bakterielle Wachstum. Außerdem vermindern sie das Wachstumspotential der Algen und tragen Sauerstoff in das Wasser ein (TCHOBENOGLOUS & CRITES 1998)..

Weil Abtrennung von grobem Material und suspendierten Feststoffen der erste und unverzichtbare Schritt bei der Pflanzenkläranlage ist, kann mit Vorklärbecken oder Mehrkammergrube oder Mehrkammergrube und anaerobem Filter ein System gebildet werden (Bild 3.8).



**Bild 3.8 Schema der Pflanzenkläranlage Oberflächenabfluss**

Bei technischen Feuchtgebieten mit Wasserspiegel werden hohe Reinigungsleistungen bezüglich BSB<sub>5</sub>, TSS, Stickstoff, Metallen und Krankheitserregern erzielt. Die

Verminderung des BSB<sub>5</sub> kann zwischen 60 und 80% betragen, und eine Entfernung des TSS von zwischen 50 und 90% erreicht werden (ROMERO 1999).

### **3.2.3.2 Pflanzenkläranlage (Vertikal- und Horizontalbeete)**

Bei vertikal durchflossenen Beeten fließt das Abwasser vorwiegend vertikal durch den Bodenkörper von ca. 0,8 – 1,5 m Tiefe (ATV (1998) empfiehlt Tiefe  $\geq 0,8$  m). Das Abwasser wird intermittierend auf den Bodenkörper aufgebracht und durch Drainagerohre an der Beckensohle abgenommen. Durch die intermittierende Betriebsweise wird auf sehr geringer Fläche eine hohe Reinigungsleistung erzielt (PLATZER 1996)

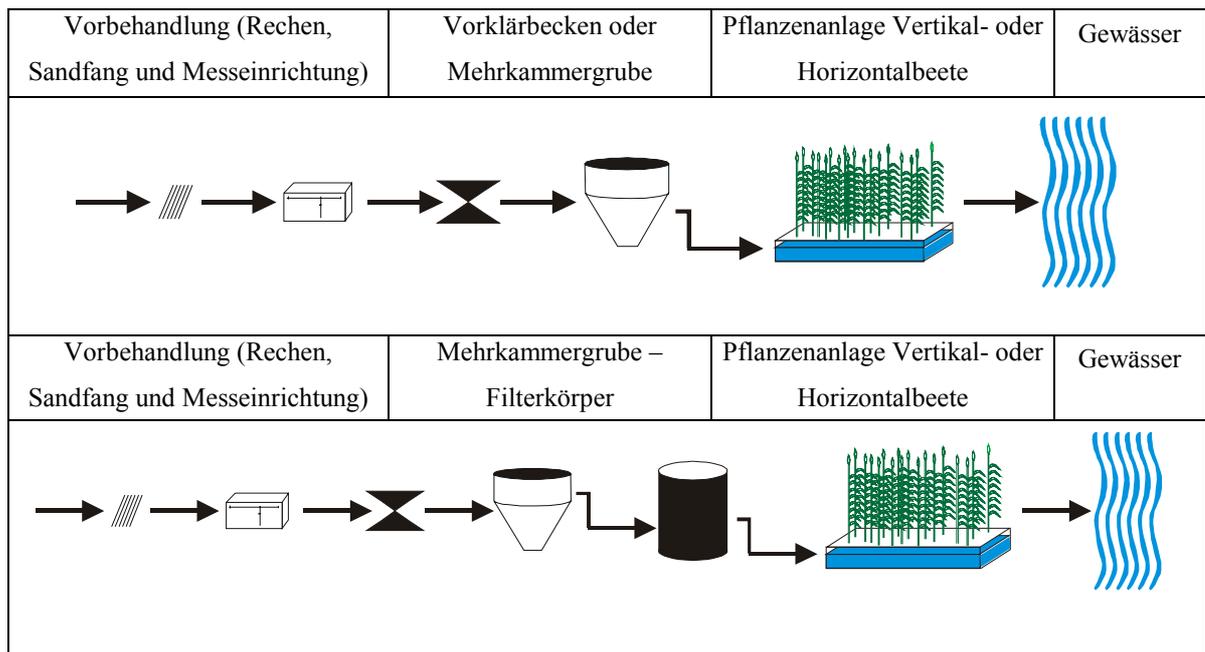
Bei horizontal durchflossenen Beeten wird das Wasser an einer Stirnseite in eine 0,6 – 0,8 m tiefes Beet (ATV (1998) empfiehlt Tiefe  $\geq 0,5$  m) über Drainagen eingeleitet und durchfließt das Beet horizontal. Der Beckenboden hat eine Neigung von 0 bis 0,5% (PLATZER 1996; ROMERO 1999) (Bild 3.9).

Der Boden der Grube wird mit Ton, synthetischem Kunststoff oder Asphalt abgedichtet, um das Wasser zurückzuhalten und eine Versickerung in den Untergrund und/oder in das Grundwasser zu vermeiden. Nach der Abdichtung wird dieser Raum mit Kies gleichmäßiger Größe oder mit einer Kombination von Erde, Sand und Kies ( $d_{10} \geq 0,2$  mm) gefüllt. Die Korngröße hängt von der Qualität des zu behandelnden Abwassers ab, welches diese Füllschicht horizontal durchströmen muss. Es ist auch zu beachten, dass das Festbett nicht verdichtet wird, was durch den Einsatz von schweren Maschinen passieren könnte, wodurch die hydraulische Leitfähigkeit des Festbetts beeinträchtigt werden könnte (ATV 1998).

Die biologische Behandlung in einer Pflanzenkläranlage ist als eine Behandlung hoher Effizienz bezüglich der Entfernung von organischen Stoffen bekannt. Selbst beim Betrieb mit einer großen oberflächenbezogenen Belastung von  $95 \text{ l/m}^2$  wird im Ablauf eine Konzentration an BSB<sub>5</sub> von unter 10 mg/l und eine Konzentration an CSB von 25 bis 30 mg/l erreicht. (SUCHER & HOLZER 1999). PLATZER & HEGEMANN (1997) stellten vor, dass die Reinigungsleistung der Pflanzenkläranlage bei dem biologisch abbaubaren Anteil der DOC-Fracht höher als 90% ist.

PLATZER (1997) untersuchte die Verfahrenskombination mit vertikalen und horizontalen Pflanzenbeeten. Er erreichte, dass die Verfahrenskombination auf eine weitgehende Stickstoffelimination ausgerichtet ist. Die Vertikalbeete dienen der Nitrifikation (Nitrifikationleistung 80%) und die Horizontalbeete der Denitrifikation

(Denitrifikationsleistung von 80%, bezogen auf den nitrifizierten Stickstoff).



**Bild 3.9 Schema der Pflanzenkläranlage Vertikal- oder Horizontalbeete**

## 3.2.4 Technische Kläranlagen

### 3.2.4.1 Belebungsanlagen

Das Belebungsverfahren wird am häufigsten bei der Abwasserreinigung eingesetzt. Dieses Verfahren wurde in England 1914 von ARDEN und LOCKETT entwickelt. Die Behandlung wird so bezeichnet, da bei ihrem Betrieb eine belebte Masse an Mikroorganismen wirkt, die dazu fähig sind, das Abwasser aerob stabilisieren (ATV 1997).

Beim Belebungsverfahren wird das Abwasser nach der Vorklärung oder der Siebung in den Belüftungstank eingeleitet, wo es mit einer großen Luftmenge gemischt wird. Unter diesen Bedingungen wachsen aerobe Mikroorganismen, die die organischen Stoffe teilweise oxidieren und in Kohlendioxid und Wasser umwandeln. Dabei gewinnen die Mikroorganismen Energie und neue mikrobielle Zellen werden gebildet. Danach wird das Wasser in ein Nachklärbecken eingeleitet, wo sich die gebildeten biologischen Flocken absetzen. Es ergibt sich ein klarer Ablauf mit niedrigem organischen Gehalt. Ein Teil der Schlämme wird in den Belüftungstank zurückgeführt, und der überschüssige Schlamm wird entfernt und zur Schlammbehandlung geleitet. Der Ablauf einer Kläranlage mit Belebungsverfahren, die richtig ausgelegt und betrieben wird, weist eine hohe Qualität auf (Bild 3.10) (STIER & FISCHER 1993).

Es ist üblich, im Ablauf eine BSB<sub>5</sub>- und TSS-Konzentration von gleich oder geringer als 10 mg/l zu erreichen (TCHOBENOGLOUS & CRITES 1998).

Es gibt unterschiedliche Variationen des Belebungsverfahrens, die von der Aufenthaltszeit der Mikroorganismen im Belebungsbecken (Schlammalter), von dem Verhältnis zwischen der organischen Belastung und den Mikroorganismen sowie von der hydraulischen Verweilzeit abhängig sind. Diese technischen Kriterien können im Anhang A gesehen werden. Unter den in kleinen Gemeinden am meisten angewendeten Systemen findet man eine Variante, die als Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung bezeichnet wird.

#### **3.2.4.2 Belebungsverfahren mit Schlammstabilisierung**

Das Belebungsverfahren mit gemeinsamer Schlammstabilisierung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Schlammbelastung im Belebungsbecken niedrig und eine Schlammfäulung entbehrlich ist. Daraus ergeben sich: 1. eine gute Reinigungsleistung, 2. eine hohe Betriebssicherheit, 3. eine einfache Stabilisierung des Schlammes, 4. gute Voraussetzungen für die Nährstoffelimination und 5. das Belebungsbecken wird ohne Vorklärung betrieben (Bild 3.10) (ATV 1992a).

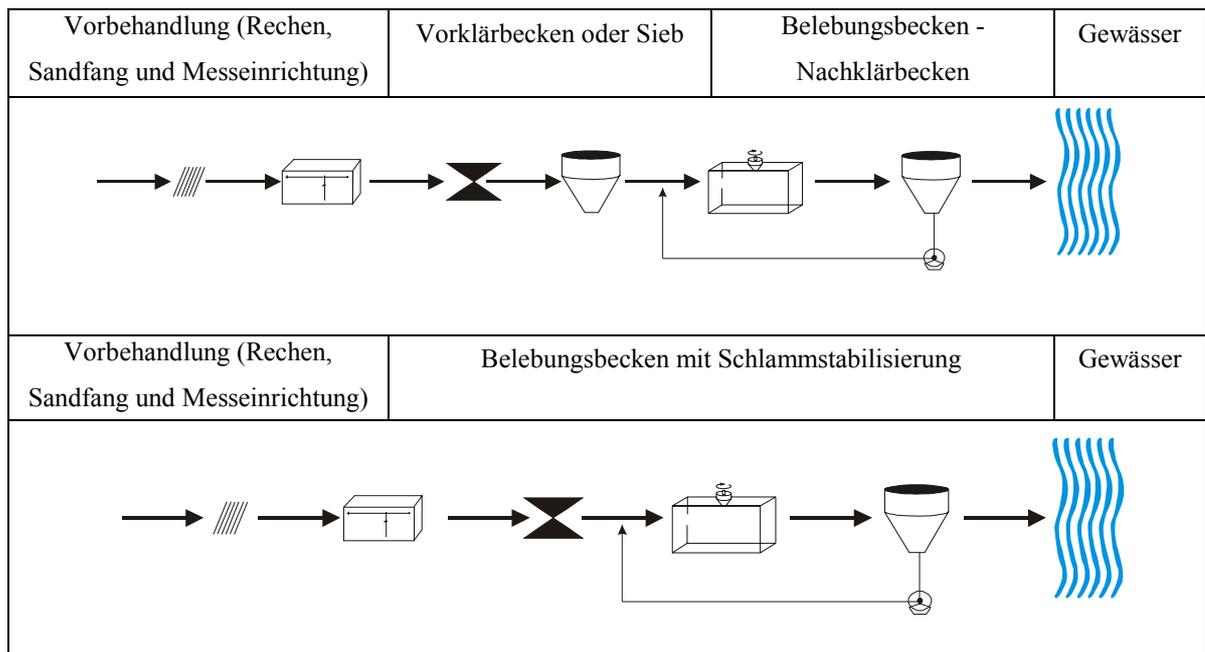
Die Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung ist dem konventionellen Belebungsverfahren ähnlich. Der Unterschied liegt darin, dass die Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung im Bereich der endogenen Atmung der Wachstumskurve der Bakterienkultur betrieben wird. In dieser Phase erfordert der Prozess eine niedrige organische Belastung und eine lange Belüftungszeit. Dieses Verfahren kann in kompakten bzw. vorgefertigten Anlagen durchgeführt werden (ATV 1997; ATV 1992a).

#### **3.2.4.3 Nachklärbecken (ergänzend zum Belebungsverfahren und zu anderen Verfahren)**

Im Nachklärbecken werden die Biomasse und die in den biologischen Reaktoren suspendierten Feststoffe entfernt (Belebungs-, Tropfkörper- und Scheibentauchkörperverfahren).

Tiefe Trichterbecken mit Vertikalströmung sind für kleine Kläranlagen besonders geeignet, da bewegliche Schlammräumeinrichtungen nicht erforderlich sind. Bei kleinen Beckendurchmessern empfiehlt sich eine sternförmig nach innen auskragende Ablaufkonstruktion. Sie muss wartungsfreundlich und für Reinigungsarbeiten gut

zugänglich sein (ATV 1992a).



**Bild 3.10 Schema der konventionellen Belebungsanlage und Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

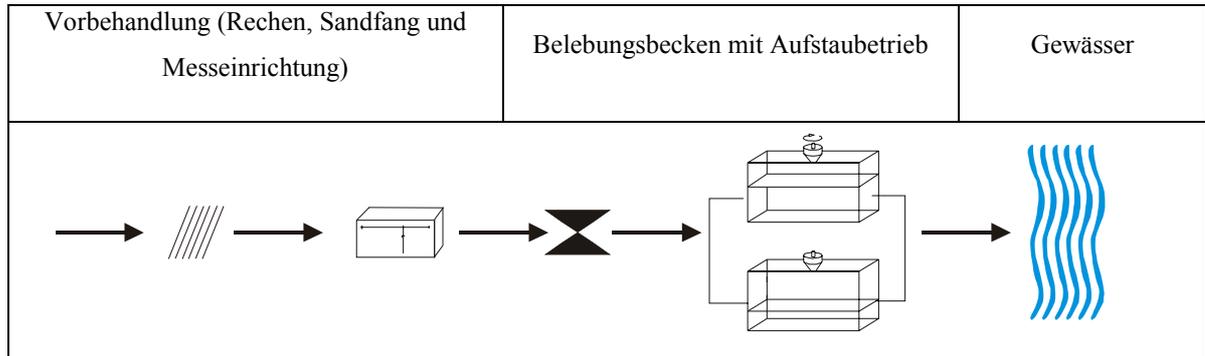
#### 3.2.4.4 Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb

Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb (SBR) stellt eine Sonderform des Belebungsverfahrens dar, bei dem die Vorgänge der biologischen Reinigung und der Abtrennung des belebten Schlammes in dem so genannten Aufstaubecken erfolgen. Zur Zeit wird der SBR-Prozess in sechs Schritten betrieben, die in Sequenz durchgeführt werden: 1. Füllen, 2. Mischen, 3. Reaktion (Belüftung), 4. Absetzen (Sedimentation/Klärung), 5. Abzug und 6. Stillstand. Alle diese Prozess- Schnitte werden im gleichen Reaktor durchgeführt (Bild 3.11) (ATV 1997b).

Gemäß der Ziele der Behandlung kann der Befüllungsprozess aus einer einfachen Befüllung, aus einer Befüllung und Mischung oder aus einer Befüllung, Mischung und Belüftung bestehen. Es können unterschiedliche Modifikationen beim Prozess in den jeweiligen Phasen des Reinigungsverfahrens durchgeführt werden, um die spezifischen Ziele jeder Behandlung zu erreichen.

Die Abfuhr der Schlämme wird bei den 6 grundlegenden Schritten des Verfahrens nicht mitberücksichtigt, da kein fester Zeitpunkt für die Schlammabfuhr bei diesem Zyklus festgestellt wurde. Die Menge und Frequenz der abgeführten Schlämme wird durch die Reinigungsansprüche festgelegt, ähnlich wie bei den konventionellen Systemen mit kontinuierlichem Fluss. Beim SBR-Verfahren erfolgt der Schlammabzug während der

Sedimentationsphase oder während der Ablagerungsphase (ATV 1997; ATV 1997b TCHOBENOGLOUS & CRITES 1998).



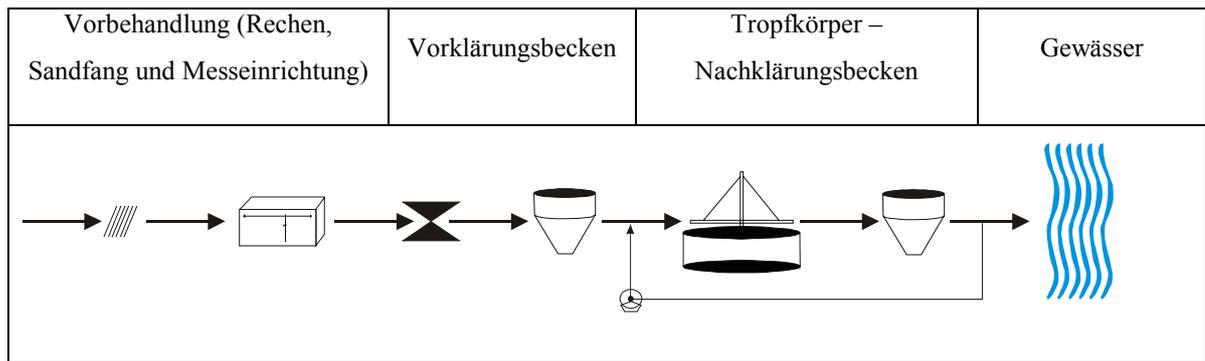
**Bild 3.11 Schema der Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

### 3.2.4.5 Tropfkörperverfahren

Das Tropfkörperverfahren ist aus den Erkenntnissen der Vorgänge bei der Bodenfiltration entwickelt worden. In einem Behälter wird durch geeignete Füllmaterialien (Gesteinsbrocken, Lavaschlacke oder Kunststoffelemente) eine möglichst große Oberfläche für das Wachstum von Bakterien und Kleinstlebewesen bereitgestellt. Das Abwasser, also die Nährlösung, wird gleichmäßig über die Oberfläche des Tropfkörpers verteilt und fließt in einem dünnen Film über die Füllkörper. Mit dem Hohlraumgehalt der Füllung ist sicherzustellen, dass das über dem Tropfkörper verregnete Abwasser und die zur Sauerstoffversorgung hindurchströmende Luft überall freien Zugang zum biologischen Rasen finden, sowie dass überschüssiger biologischer Schlamm mit dem Abwasser abgeführt werden kann (Bild 3.12) (ATV 1989; STIER et al. 1994).

Das Festbett hat eine Partikelgröße von 40 bis 150 mm. Das Festbett weist normalerweise eine Höhe von 2,8 bis 4,2 m auf, in manchen Fällen aber auch eine geringere Höhe (ATV 1989).

Die BSB<sub>5</sub>- und die TSS-Konzentration des Ablaufes eines richtig betriebenen Tropfkörperverfahrens liegt unter 20 mg/l und der CSB unter 100 mg/l. Tropfkörperverfahren, die gering belastet werden, zeigen eine hohe Effizienz bei der Nitrifikation (ATV 1997).



**Bild 3.12 Schema der Tropfkörperanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

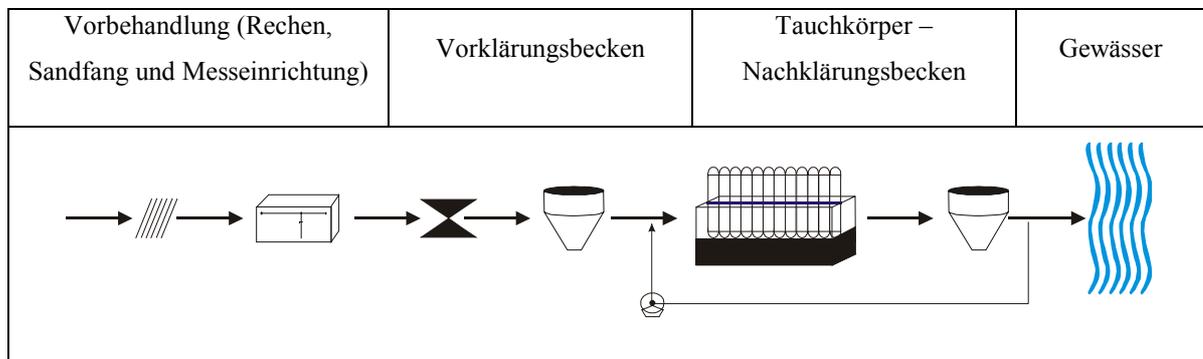
### 3.2.4.6 Tauchkörperverfahren

Tauchkörperverfahren, auch als Rotationsscheibenreaktoren bekannt, wurden zum ersten Mal 1960 in Deutschland eingesetzt und später in den USA eingeführt. Tauchkörperreaktoren bestehen aus auf einer horizontalen Welle angeordnete Scheiben mit einem Durchmesser von 2 bis 3,5 m. Die untere Hälfte der rotierenden Scheiben bleibt stets eingetaucht in dem Abwasserbehälter, und die obere Hälfte hat Kontakt mit der Luft (SALAZAR & OROZCO 1995; ATV 1997).

Die Scheiben werden aus leichtem Kunststoff hergestellt, und während des Betriebes der Tauchkörperanlage bildet sich auf der Scheibe ein Biofilm mit einer Dicke von 1,5 bis 3,9 mm. Durch die Drehung bekommt der Biofilm abwechselnd Kontakt mit dem Abwasser und mit der Luft. Aus der Luft erhalten die Mikroorganismen den nötigen Sauerstoff, um die im Abwasser enthaltenen organischen Stoffe zu oxidieren. Im Abwasser absorbiert der Biofilm die Abwasserinhaltsstoffe, die das Wachstum der Bakterien fördern. Die Biomasse wächst an, bis ein Teil der Masse, aufgrund der mechanischen Wirkung der Rotation, von der Scheibe abgelöst wird und im Abwasser suspendiert bleibt.

Bei einer geeigneten Auslegung können die Bioscheiben bessere Reinigungsleistungen aufweisen als die anderen Verfahren mit immobilisiertem Biofilm. Die höhere Abbauleistung erklärt sich durch das bessere Verhältnis von organischer Belastung und Biomasse, durch die höhere Verweilzeit der Feststoffe in der biologischen Phase und durch die Vermeidung von Kurzschluss- Strömen aufgrund der Durchmischung des Abwassers durch die rotierenden Scheiben. Bei der Auslegung eines Bioscheibensystems muss am Einlauf die gleichmäßige Verteilung des Abwassers über die Breite des Abwasserbeckens beachtet werden, damit alle Bioscheibeneinheiten gleichmäßig mit Abwasser angeströmt

werden. Wichtig bei der Auslegung sind auch die Belastungskriterien, die Abwassereigenschaften und die Einbeziehung einer Sedimentationsstufe (Bild 3.13) (METCALF & EDDY 1996).



**Bild 3.13 Schema der Tauchkörperanlage (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

ATV (1997) zeigt, dass BSB<sub>5</sub>-Werte unter 20 mg/l nur bei BSB<sub>5</sub>-Flächenbelastung unter 10 g/(m<sup>2</sup> d) erreicht werden können.

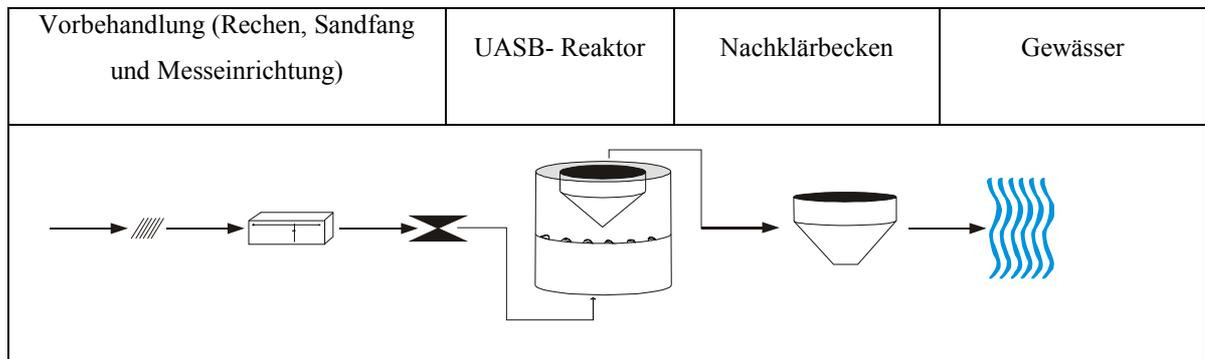
### 3.2.5 Anaerobe Behandlung - UASB- Reaktoren

BISCHOFBERGER & HEGEMANN (2000) definieren den UASB- Reaktor (Upstream anaerobic sludge blanket reactor) als einen biologischen Reaktor, der aufwärts durchströmt und meistens anaerob betrieben wird. Durch die Aufwärtsströmung bildet sich ein Flockenfilter, in dem die Biomasse angereichert wird. Der Schlammabtrieb wird zusätzlich durch Einbauten am oberen Ablauf unterdrückt. Der Schlammrückhalt wird durch die Ausbildung der Bakterienflocken in dichten Granulen unterstützt.

Es gibt zwei UASB- Reaktorarten entsprechend dem Typ der Biomasse. Der erste Reaktortyp wird als Reaktor mit granuliertem Schlamm bezeichnet. Wie sein Name ausdrückt, wird bei diesem Reaktor granulierter Schlamm gebildet, der aufgrund seiner guten Eigenschaften und bei methanogener Aktivität hohe spezifische organische Belastungen behandeln kann. Die zweite Reaktorart wird als Reaktor mit geflocktem Schlamm bezeichnet, und kann nur niedrigere organische und hydraulische Belastungen behandeln.

Bei der kommunalen Abwasserbehandlung müssen Verweilzeiten von über 6 Stunden vorliegen, um eine Reinigungsleistung von bis zu 80% des BSB<sub>5</sub> zu schaffen (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO 2000).

Der UASB- Reaktor kann mit nachgeschaltetem Nachklärbecken ein Reinigungssystem bilden. Ein Schema des Systems wird in Bild 3.14 gezeigt.



**Bild 3.14 Schema des UASB- Reaktorsystem (Mit Veränderung nach VON SPERLING 1996)**

### **3.3 Verfahrenskombinationen zur Abwasserreinigung in Gemeinden**

In Tabelle 3.1 werden die durchführbaren Verfahrenskombinationen zur Abwasserreinigung gezeigt. Insgesamt werden hier 21 durchführbare Verfahrenskombinationen vorgestellt, jedoch sind noch weitere Verfahrenskombinationen denkbar.

In Tabelle 3.2 werden die Vorteile und die Nachteile der Abwasserverfahren und in Tabelle 3.3 die qualitative Bewertung der Abwasserverfahren nach ATV (1997a) und VON SPERLING (1996) gezeigt. Diese Tabellen werden in Kapitel 4 als Begründung für die quantitative Bewertung dienen..

**Tabelle 3.1 Verfahrenskombinationen zur Abwasserreinigung in kleinen Gemeinden**

TECHNOLOGIE		Code	VERFAHREN			
			Vorbehandlungsstufe		Behandlung	
Landbehandlung	Rieselfelder	1	Rechen - Sandfang	Vorklärbecken	Rieselfelder	
		2	Rechen - Sandfang	Mehrkammergrube	Rieselfelder	
	Oberflächenabfluss	3	Rechen - Sandfang	Vorklärbecken	Oberflächenabfluss	
		4	Rechen - Sandfang	Mehrkammergrube	Oberflächenabfluss	
Behandlung in Teichen	Unbelüftete Teichanlage	5	Rechen - Sandfang		Unbelüfteter Teich	
	Belüftete Teichanlage	6	Rechen - Sandfang		Belüfteter Teich	
	Teichkaskade	7	Rechen - Sandfang		Anaerober- unbelüfteter Teich	
	Teichanlage mit Zwischenstufe	8	Rechen - Sandfang		Teich mit Zwischenstufe (Tropfkörper)	
Belebungsanlage	Belebungsanlage	9	Rechen - Sandfang	Vorklärbecken	Belebungsbecken	Nachklärbecken
	Belebungsanlage	10	Rechen - Sandfang	Siebe	Belebungsbecken	Nachklärbecken
	Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung	11	Rechen - Sandfang		Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung	Nachklärbecken
	SBR- Belebungsanlage	12	Rechen - Sandfang		Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb	
Tropf und- Tauchkörper	Tropfkörperanlage	13	Rechen - Sandfang	Vorklärbecken	Tropfkörper	Nachklärbecken
	Tauchkörperanlage	14	Rechen - Sandfang	Vorklärbecken	Tauchkörper	Nachklärbecken
Pflanzenkläranlage	Oberflächenabfluss	15	Rechen - Sandfang	Vorklärbecken	Pflanzenanlage (Oberflächenabfluss)	
		16	Rechen - Sandfang	Mehrkammergrube	Pflanzenanlage (Oberflächenabfluss)	
		17	Rechen - Sandfang	Mehrkammergrube - Filterkörper	Pflanzenanlage (Oberflächenabfluss)	
	Vertikal- oder Horizontalpflanzenbeete	18	Rechen - Sandfang	Vorklärbecken	Pflanzenbeete	
		19	Rechen - Sandfang	Mehrkammergrube	Pflanzenbeete	
		20	Rechen - Sandfang	Mehrkammergrube - Filterkörper	Pflanzenbeete	
Anaerobanlage	Upflow anaerobic sludge blanket (UASB)	21	Rechen - Sandfang		UASB	Nachklärbecken

**Tabelle 3.2 Vor- und Nachteile der Systeme zur Abwasserreinigung kleiner Gemeinden  
(Mit Veränderung nach ATV 1997; VON SPERLING 1996)**

<b>Landbehandlung</b>		
<b>System</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Rieselfelder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe Reinigungsleistung (BSB<sub>5</sub> Mikroorganismen, N<sub>ges</sub> und P<sub>ges</sub>)</li> <li>• Kombinierte Methode zur Behandlung und Endbeseitigung</li> <li>• Einfache Konstruktion, Betrieb und Wartung</li> <li>• Gutes Puffervermögen gegenüber Schmutzstößen</li> <li>• Schlammproduktion nur in der Vorbehandlung</li> <li>• Bodendüngung und Konditionierung</li> <li>• Grundwasseranreicherung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hoher Platzbedarf</li> <li>• Mögliche Geruchsentstehung</li> <li>• Mögliche Insekten- und Wurmentstehung</li> <li>• Relativ abhängig von Wetterbedingungen und Nährstoffanforderungen von Pflanzen</li> <li>• Abhängig von Bodeneigenschaften</li> <li>• Mögliche Kontaminierung von Landarbeitern</li> <li>• Mögliche chemische Belastung in Boden, Pflanzen und Grundwasser (im Fall von Industrieabwassereinleitung)</li> <li>• Bei Regenwetter muss die Behandlung verringert bzw. unterbrochen werden.</li> </ul>
Oberflächenabfluss	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie Rieselfelder (allerdings geringere Effizienz bezüglich der Entfernung von pathogenen Mikroorganismen)</li> <li>• Geringerer Platzbedarf im Vergleich zu Rieselfeldern</li> <li>• System mit geringerer Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften (im Vergleich mit Rieselfeldern)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie Rieselfelder (jedoch mit geringerem Platzbedarf und ununterbrochener Behandlung über das ganze Jahr)</li> <li>• Mögliche Grundwasserbelastung mit Nitrat</li> <li>• Höhere Abhängigkeit von der Bodenneigung</li> </ul>

**Tabelle 3.2 (Fortsetzung) Vor- und Nachteile der Systeme zur Abwasserreinigung kleiner Gemeinden (Mit Veränderung nach ATV 1997; VON SPERLING 1996)**

Behandlung in Teichen		
System	Vorteile	Nachteile
Unbelüftete Teichanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Reinigungsleistung (BSB<sub>5</sub> und Mikroorganismen)</li> <li>• Einfache Konstruktion, Betrieb und Wartung</li> <li>• Keine mechanischen Bauelemente erforderlich</li> <li>• Geringer Energiebedarf</li> <li>• Gutes Puffervermögen gegenüber Schmutzstößen</li> <li>• Schlammbeseitigung praktisch nicht notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Großer Platzbedarf</li> <li>• Einfacher Betrieb kann eine Nachlassen der Wartung bewirken.</li> <li>• Um anspruchsvolle Abwasserstandards zu erfüllen, ist es möglicherweise notwendig, Algen aus dem Abfluss zu entfernen.</li> <li>• Reinigungsleistung ist von den Wetterbedingungen abhängig.</li> <li>• Mögliches Insektenwachstum</li> </ul>
Teichkaskade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie bei unbelüfteten Teichanlagen</li> <li>• Geringerer Platzbedarf im Vergleich mit unbelüfteten Teichanlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie bei unbelüfteten Teichanlagen</li> <li>• Mögliche Geruchsbelastung in anaeroben Teichanlagen</li> <li>• Notwendigkeit großer Entfernungen zu den nächsten Häusern</li> </ul>
Belüftete Teichanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativ einfache Konstruktion, Betrieb und Wartung</li> <li>• Geringerer Platzbedarf im Vergleich zur unbelüfteten Teichanlage und der Teichkaskade</li> <li>• Weniger abhängig von den Wetterbedingungen im Vergleich zur unbelüfteten Teichanlage und der Teichkaskade</li> <li>• Geringfügig bessere Effizienz bezüglich der BSB-Entfernung im Vergleich zu unbelüfteten Teichanlagen</li> <li>• Gutes Puffervermögen gegenüber Schmutzstößen</li> <li>• Geringe Gefahr von Geruchsproblemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerätebedarf</li> <li>• Geringfügige Erhöhung der Anlagenkomplexität</li> <li>• Relativ großer Energiebedarf</li> </ul>
Teichanlage mit Zwischenstufe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie bei unbelüfteten Teichanlagen</li> <li>• Geringer Platzbedarf im Vergleich zu unbelüfteten Teichanlagen</li> <li>• Geringe Gefahr von Geruchsproblemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie bei unbelüfteten Teichanlagen</li> <li>• Gerätebedarf</li> <li>• Geringfügige Erhöhung der Anlagenkomplexität</li> </ul>

**Tabelle 3.2 (Fortsetzung) Vor- und Nachteile der Systeme zur Abwasserreinigung kleiner Gemeinden (Mit Veränderung nach ATV 1997; VON SPERLING 1996)**

<b>Belebungsanlage</b>		
<b>System</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Belebungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Reinigungsleistung (BSB<sub>5</sub>)</li> <li>• Mögliche biologische N &amp; P – Entfernung</li> <li>• Geringer Platzbedarf</li> <li>• Betriebliche Flexibilität</li> <li>• Geringe Gefahr von Geruchs-, Insekten- und Wurmproblemen</li> <li>• Große Unabhängigkeit von Wetterbedingungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Energiebedarf</li> <li>• Komplexer Anlagenbetrieb erforderlich</li> <li>• Hohes Mechanisierungsniveau</li> <li>• Relativ empfindlich gegenüber toxischen Belastungen</li> <li>• Vollständige Schlammbehandlung und Schlammabeseitigung erforderlich</li> <li>• Mögliche Lärm- und Aerosolentstehung.</li> </ul>
Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie bei der Belebungsanlage</li> <li>• Vorklärungsbecken nicht erforderlich</li> <li>• Einfacher als Belebungsanlagen</li> <li>• Geringere Schlammproduktion im Vergleich zur Belebungsanlage</li> <li>• Schlammstabilisierung erfolgt im selben Reaktor (getrennter Fäulnisbehälter nicht erforderlich)</li> <li>• Gutes Puffervermögen gegenüber Schmutzstößen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeme mit hohem Energiebedarf</li> <li>• Hohes Mechanisierungsniveau (allerdings geringer als bei der Belebungsanlage)</li> <li>• Schlammbehandlung und Schlammabeseitigung erforderlich (allerdings Stabilisierung nicht erforderlich)</li> </ul>
Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb (SBR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich wie bei der Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung</li> <li>• Gute N- und mögliche P-Entfernung</li> <li>• Geringer Platzbedarf</li> <li>• Einfacher als die anderen Belebungsverfahren</li> <li>• Weniger Geräte als bei den anderen Belebungsverfahren</li> <li>• Betriebliche Flexibilität (Zyklusänderung)</li> <li>• Sekundäre Sedimentationsbecken nicht erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höherer installierter Energiebedarf als bei den anderen Belebungsverfahren</li> <li>• Schlammbehandlung und Schlammabeseitigung erforderlich</li> </ul>

**Tabelle 3.2 (Fortsetzung) Vor- und Nachteile der Systeme zur Abwasserreinigung kleiner Gemeinden (Mit Veränderung nach ATV 1997; VON SPERLING 1996)**

<b>Tropf und- Tauchkörperanlage</b>		
<b>System</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Tropfkörperanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Reinigungsleistung (BSB<sub>5</sub>)</li> <li>• Relativ geringerer Platzbedarf</li> <li>• Einfacher als Belebungsverfahren</li> <li>• Mechanisierungsniveau relativ gering</li> <li>• Einfache mechanische Geräte</li> <li>• Schlammstabilisierung erfolgt im selben Reaktor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringere betriebliche Flexibilität als beim Belebungsverfahren</li> <li>• Relativ abhängig von der Lufttemperatur</li> <li>• Relativ empfindlich gegenüber toxischen Belastungen</li> <li>• Schlammbehandlung und Schlammabeseitigung erforderlich (allerdings Stabilisierung nicht erforderlich)</li> <li>• Mögliche Probleme mit der Entwicklung von Fliegen</li> <li>• Hoher Druckverlust</li> </ul>
Tauchkörperanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Reinigungsleistung (BSB<sub>5</sub>)</li> <li>• Relativ geringerer Platzbedarf</li> <li>• Mechanisierungsniveau relativ gering</li> <li>• Einfache mechanische Geräte</li> <li>• Geringe Gefahr von Geruchs-, Insekten- und Wurmproblemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringere betriebliche Flexibilität als beim Belebungsverfahren</li> <li>• Relativ abhängig von der Lufttemperatur</li> <li>• Relativ empfindlich zu toxischen Belastungen</li> <li>• Schlammbehandlung und Schlammabeseitigung erforderlich (allerdings Stabilisierung nicht erforderlich)</li> </ul>

**Tabelle 3.2 (Fortsetzung) Vor- und Nachteile der Systeme zur Abwasserreinigung kleiner Gemeinden (Mit Veränderung nach ATV 1997)**

<b>Pflanzenkläranlage</b>		
<b>System</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Oberflächenabfluss	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Reinigungsleistung (BSB<sub>5</sub> und Mikroorganismen)</li> <li>• Einfache Konstruktion, Betrieb und Wartung</li> <li>• Gutes Puffervermögen gegenüber Schmutzstößen</li> <li>• Schlammproduktion nur in der Vorbehandlung</li> <li>• Keine mechanische Bauelemente erforderlich</li> <li>• Geringer Energiebedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Großer Platzbedarf</li> <li>• Mögliche Geruchsentstehung</li> <li>• Mögliche Insekten- und Wurmentstehung</li> <li>• Relativ abhängig von Wetterbedingungen und Nährstoffanforderungen von Pflanzen</li> <li>• Um anspruchsvolle Abwasserstandards zu erfüllen, ist es möglicherweise notwendig, Algen aus dem Abfluss zu entfernen</li> </ul>
Vertikal- oder Horizontalpflanzenbeete	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Reinigungsleistung (BSB<sub>5</sub>, Mikroorganismen und N<sub>ges</sub>)</li> <li>• Geringerer Platzbedarf im Vergleich zum Oberflächenabfluss</li> <li>• Gutes Puffervermögen gegenüber Schmutzstößen</li> <li>• Schlammproduktion nur in der Vorbehandlung</li> <li>• Keine mechanische Bauelemente erforderlich</li> <li>• Geringer Energiebedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Geruchsentstehung</li> <li>• Bei Vertikalbeet mögliche Kolmation</li> <li>• Füllkörper erforderlich</li> </ul>
<b>Anaerobanlage</b>		
<b>System</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
UASB- Reaktor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Befriedigende Effizienz bezüglich BSB-Entfernung</li> <li>• Sehr geringer Platzbedarf</li> <li>• Geringer Energiebedarf</li> <li>• Keine Füllkörper erforderlich</li> <li>• Einfache Konstruktion, Betrieb und Wartung</li> <li>• Geringe Schlammproduktion</li> <li>• Schlammstabilisierung erfolgt im selben Reaktor.</li> <li>• Schlammbehandlung besteht lediglich aus Schlammabeseitigung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierigkeiten mit der Erfüllung von anspruchsvollen Abflussstandards</li> <li>• Abfluss nicht ästhetisch angenehm</li> <li>• Ungenügende N &amp; P-Entfernung</li> <li>• Mögliche Geruchsentstehung</li> <li>• Langsame anfängliche Inbetriebnahme</li> <li>• Relativ empfindlich gegenüber Belastungsänderungen</li> <li>• Möglicherweise Nachbehandlung erforderlich</li> </ul>

**Tabelle 3.3 Qualitative Bewertung der Abwasserverfahren (Mit Veränderung nach ATV 1997a; VON SPERLING 1996)**

<b>Verfahren Bewertung Kriterien</b>	<b>Landbehandlung (Rieselfelder)</b>	<b>Landbehandlung (Oberflächen- abfluss)</b>	<b>Unbelüftete Abwasserteiche</b>	<b>Belüftete Abwasserteiche</b>	<b>Abwasserteiche mit technischer Zwischenstufe</b>	<b>Pflanzenkläranlagen</b>	<b>Mechanisch- biologische Kläranlage</b>	<b>Anaerobanlage</b>
<b>Umweltbelange</b>	Landschaftliche Einbindung noch gut möglich; Geruchsentwicklung bei Betriebs-Probleme	Landschaftliche Einbindung noch gut möglich; Geruchsentwicklung bei Betriebs-Probleme	Landschaftliche Einbindung leicht möglich; Geruchs-entwicklung bei Betriebs- Probleme	Landschaftliche Einbindung noch gut möglich; Lärmschutz je nach Belüftungs- system erforderlich	Landschaftliche Einbindung noch gut möglich; Geruchsentwicklung bei Betriebs- probleme	Landschaftliche Einbindung leicht möglich; Geruchs-entwicklung bei Betriebsprobleme	Maßnahme zur landschaftlichen Einbindung sowie zum Lärmschutz erforderlich	Maßnahme zur landschaftlichen Einbindung; Geruch möglich
<b>Konstruktive Besonderheiten</b>	Keine	Keine	Keine	Gegenseitige Anpassung von Teichen, Belüftung und Umwälzung	Gegenseitige Anpassung von Teichen und Einrichtungen	Lösungen für dauerhaft gleich- mäßige Abwas- serbeschickung und Beetdurchströmung in Entwicklung	Mechanische und Elektrische Einrichtungen	Keine
<b>Einfahrphase</b>	Keine	Weinige Wochen	Keine	Keine	Wenige Wochen	Mehrere Wochen	Zwischenstufe wenige Wochen	Mehrere Wochen
<b>Betriebskontrollen Wartung</b>	Gering	Gering	Sehr gering	Gering	Gering	Bei Zulaufeinrichtun- gen und im Einström- bereich erhöht; Pflanzenpflege notwendig	Täglich notwendig	Täglich Notwendig
<b>Betriebssicherheit</b>	Sehr groß	Groß	Sehr groß	Sehr groß bis groß	Sehr groß bis groß	Verstopfungsgefahr	Abhängig von Einsatzort und Konstruktion unterschiedlich	Wenig
<b>Mechanisch- und Elektrische Ausrüstung</b>	Keine bis gering	Keine	Keine	Mittel	Mittel	Keine	Hoch	Keine bis gering

**Tabelle 3.3 (Fortsetzung) qualitative Bewertung der Abwasserverfahren (Mit Veränderung nach ATV 1997; ATV 1997a; VON SPERLING 1996)**

<b>Bewertung Kriterien</b>	<b>Verfahren</b>	<b>Landbehandlung (Rieselfelder)</b>	<b>Landbehandlung (Oberflächenabfluss)</b>	<b>Unbelüftete Abwasserteiche</b>	<b>Belüftete Abwasserteiche</b>	<b>Abwasserteiche mit technischer Zwischenstufe</b>	<b>Pflanzenkläranlagen</b>	<b>Mechanisch-biologische Kläranlage</b>	<b>Anaerobanlage</b>
<b>Reststoffe</b>	Vorklärung oder Mehrkammergrube mit Primärschlammbehandlung. Schlammabeseitigung notwendig	Vorklärung oder Mehrkammergrube mit Primärschlammbehandlung. Schlammabeseitigung notwendig	Schlammräumung in ein- bis mehr-jährigen Abständen je nach Auslegung	Schlammräumung in ein- bis mehr-jährigen Abständen je nach Auslegung	Schlammräumung in ein- bis mehr-jährigen Abständen je nach Auslegung	Vorklärung oder Mehrkammergrube mit Primärschlammbehandlung. Schlammabeseitigung notwendig	Schlammabzug mehr oder weniger häufig je nach System; Häufigkeit der Schlammabeseitigung je nach Zwischenlängungsmöglichkeit	Weniger als mechanisch-biologische Kläranlage	
<b>Baukosten</b>	Hoch	Mäßig bis hoch	Mäßig	Hoch	Mäßig bis hoch	Mäßig	Mäßig bis hoch	Wenig	
<b>Betriebskosten</b>	Gering	Gering	Sehr gering	Beachtliche Stromkosten insgesamt Hoch	Beachtliche Stromkosten insgesamt mäßig	Gering	Hoch	Gering	

## 4 Auswahlhilfsmodell

In diesem Kapitel wird das Auswahlhilfsmodell aufgestellt, das eine Bewertung der Technologien in der Synthesephase ermöglicht. Diese Bewertung wird auf der Grundlage der Technologienmerkmale durchgeführt. Dabei werden die Beschaffenheit des für die Kläranlage verfügbaren Landstücks und die Eigenschaften der Gemeinde analysiert.

Es gibt unterschiedliche Modelle und Methoden, um eine Analyse mit vielfältigen Zielen durchzuführen. Man kann folgende Modelle hervorheben:

- Addierte-Abwägungsmethode (WOLF 1987)
- Electre-I-Methode (BENAYOUN et al. 1996; TECLE et al. 1988)
- Electre-II-Methode (ROY 1991)
- Electre-III-Methode (ROY 1991; DUCKSTEIN et al. 1994)
- „Compromising Programming“ Methode (ZELENY 1982; DUCKSTEIN et al. 1994)
- „Kooperative Spiele Theorie“ Methode (SZIDAROVSKY et al. 1984; TECLE et al. 1998)
- UTA-Methode (Addierter Nutzen) (JACQUESTLEGREZE und SISKOS 1982)

In dieser Arbeit wird das analytische Rangordnungsmodell („Analytic Hierarchic Process“ AHP) eingesetzt, das wie schon bei den genannten Modellen die Technologien gemäß ihrer relativen Bedeutung bewertet. Das AHP wurde von SAATY (1980) entwickelt. In dieser Arbeit wird das AHP an das Technologieauswahlproblem angepasst.

Der Vorteil des analytischen Rangordnungsmodells liegt darin, dass jeder relevante Aspekt individuell mit den anderen Aspekten verglichen wird. Dies ermöglicht eine objektive Bewertung der subjektiv gewählten Prozesse. Außerdem ermöglicht dieses Modell die kommunale Beteiligung. Der bedeutsamste Beitrag dieses Modells stellt seine Fähigkeit dar, die Meinung der Institutionen der Gemeinde und die Sichtweise ihrer Bürger (Vertreter) bezüglich der Entwicklung des Abwassermanagements beim Rangordnungsmodell mit zu berücksichtigen. Dies ermöglicht die Beteiligung der Gemeinde bei der Entwicklung des Projekts. Das Rangordnungsmodell wird in Abschnitt 4.1 erklärt.

Man darf nicht vergessen, dass diese Entscheidungen in Kolumbien normalerweise ohne die Berücksichtigung der Meinung der Gemeinde getroffen werden. Wie schon in Kapitel 1 erläutert, wird meistens nur nach der Sichtweise externer Berater und Planer gehandelt, die aber oft die Region kaum kennen und deren Einwohner und deren Vor- und Nachteile noch weniger verstehen.

## **4.1 Einsatz des analytischen Rangordnungsmodells (AHP) zur Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung**

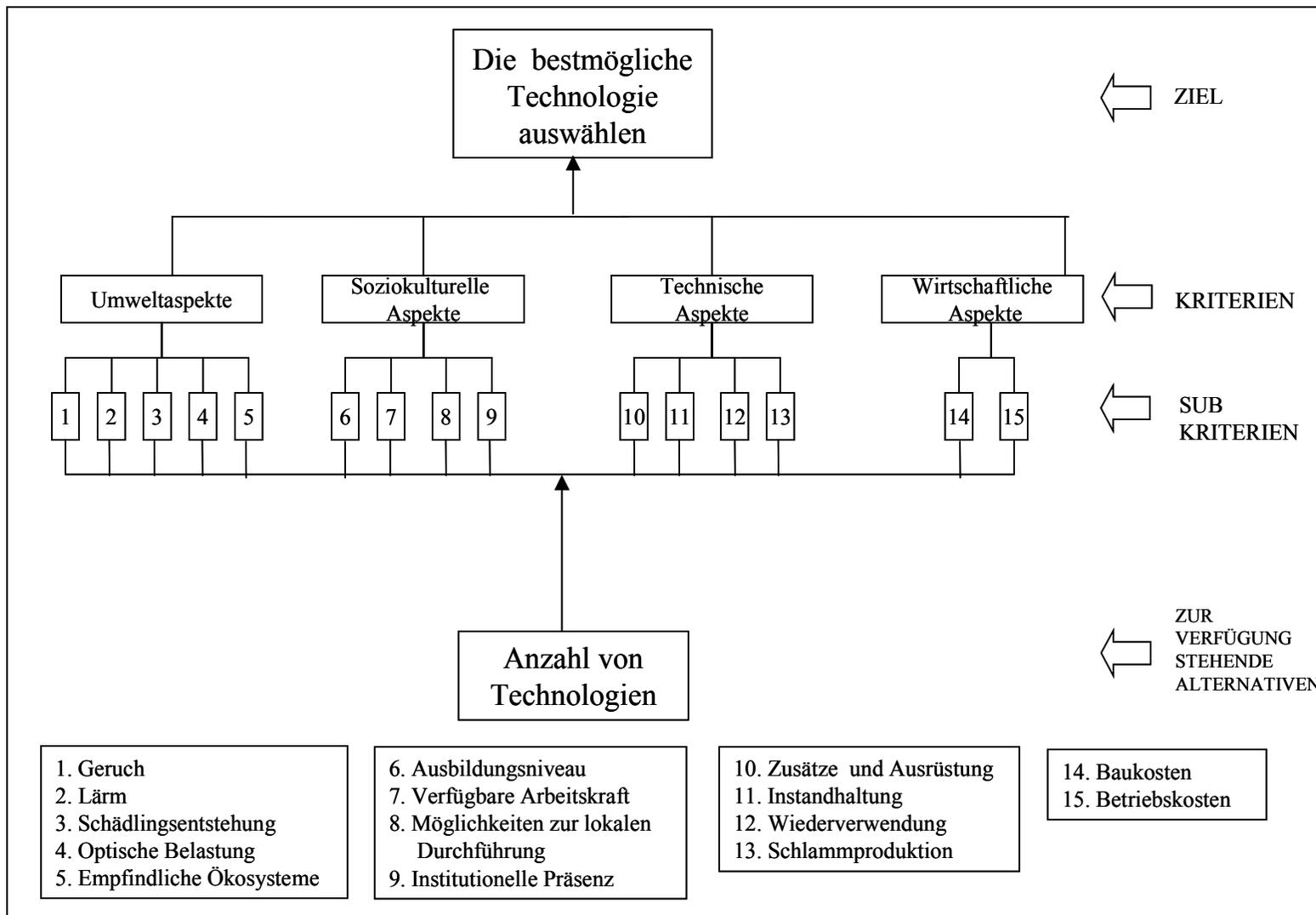
HUIZINGH et al. (1994) schlagen fünf Schritte bei der Umsetzung des AHP bei einem spezifischen Problem vor. Im Folgenden werden diese Schritte bei dem Problem der Technologieauswahl für die Abwasserbehandlung durchgeführt.

### **4.1.1 Alternativenliste**

In Kapitel 3 wurden die einsetzbaren Alternativen bei der Abwasserbehandlung in Gemeinden aufgestellt. In der Tabelle 3.1 werden die 21 Technologien mit ihren Behandlungsoperationen und –prozessen gezeigt. Diese technologischen Optionen wurden in Kapitel 2 bei dem konzeptuellen Modell als „Datenbank“ bezeichnet. Die Technologien, die im nächsten Prozess berücksichtigt werden, erfüllen die Ansprüche der Anfangsphase und stellen die durchführbaren Technologien des Modells dar.

### **4.1.2 Kriterienfeststellung und Umsetzung des Rangordnungsmodells**

Die Kriterien und Unterkriterien wurden in Kapitel 2 (Abschnitt 2.3.2) aufgeführt. Mit diesen Kriterien wird eine graphische Darstellung des Problems erstellt. Dabei werden das generelle Ziel, die Bewertungskriterien und die Entscheidungsalternativen mit berücksichtigt. Bild 4.2 zeigt die Rangordnung zur Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung. Diese Darstellung zeigt die Rangordnung des Problems. Die erste Stufe der Rangordnung zeigt, dass das generelle Ziel die Auswahl der besten Technologie ist. In der zweiten Stufe werden die vier Kriterien (umweltbezogene, soziale und kulturelle, technologische und wirtschaftlichen Kriterien), die zum Erreichen des generellen Ziels beitragen, mit berücksichtigt. Die dritte Stufe bezieht sich auf die Unterkriterien jeder der vier Kriterien. In der vierten Stufe werden die durchführbaren Technologien analysiert.



**Bild 4.1 Entscheidungsrangordnung zur Technologiewahl bei der Abwasserreinigung in kolumbianischen Gemeinden**

### 4.1.3 Paarweiser technologischer Alternativenvergleich

Der paarweise Vergleich stellt die grundlegende konstruktive Basis des Rangordnungsmodells dar. Wenn die Technologien paarweise verglichen werden (jede Technologie wird mit jeder anderen einzeln verglichen), SANTILLO (1998), werden die Vorzüge jeder Technologie hinsichtlich der Unterkriterien festgestellt und die Technologien nach ihrer Eignung in eine Rangordnung gesetzt. In dieser Etappe werden also alle Unterkriterien der einzelnen Systeme einzeln miteinander verglichen. Es finden jeweils 21 Vergleiche statt

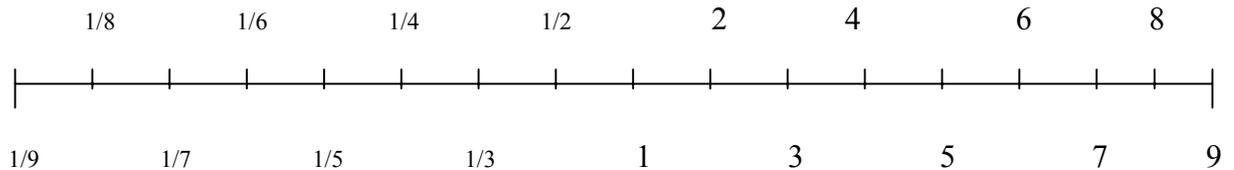
bezüglich:

- der Geruchsentstehung
- der Lärmbelastung
- der Schädlingsentstehung
- der visuellen Beeinträchtigung der Landschaft
- der Belastung empfindlicher Ökosysteme bzw. strategischer Zonen
- des Ausbildungsniveau
- der Erfordernisse an qualifizierter Arbeitskraft für Betrieb und Wartung
- der Möglichkeiten zur lokalen Betreuung der Gemeinde hinsichtlich der Nachhaltigkeit des Projekts
- der institutionellen Präsenz, die die Nachhaltigkeit des Projekts gewährleisten soll
- des Einsatzes von Zusätzen und Geräten für Betrieb und Wartung des Systems
- der Komplexität des Betriebs und der Wartung
- der Möglichkeiten zur Wiederverwendung der gereinigten Abwässer
- der Schlammproduktion
- der Investitionskosten

- der Betriebs- und Wartungskosten

Dabei werden folgende Schlüsse gezogen: Die Technologie A ist hinsichtlich des Unterkriteriums der Lärmbelastung um ein Maß  $x$  besser als die Technologie B. Diese Prozedur wird bei allen Unterkriterien eingesetzt.

Bei der Analyse benutzt das analytische Rangordnungsmodell AHP die folgende Bewertungsskala, die auf dem Vergleichsprinzip zwischen Paaren beruht.



Diese Bewertungsskala wurde von SAATY (1980) als experimentelles Forschungsergebnis entwickelt. Dabei wurde festgestellt, dass eine Skala mit neun Elementen für die Bewertung geeignet ist. Mit dieser Skala kann man die unterschiedlichen Bewertungsstufen, die eine Person zwischen den Elementen einer bestimmten Gruppe erkennen kann, feststellen. Auf diese Art und Weise können die Vergleiche zwischen Messungen und nicht quantifizierbaren Variablen mit dem gleichen Maßstab bewertet werden (ARAPE 2000).

#### 4.1.3.1 Matrix für den Vergleich zwischen Paaren

Um die Prioritäten der Technologien bezüglich der Unterkriterien feststellen zu können, wird eine Matrix für den Vergleich zwischen Paaren angewendet. Dafür wurden die 21 Technologien mit einbezogen. Dies ergab 15 Matrizen (15 Kriterien) mit 21 Reihen und 21 Zeilen. Die Bewertung beruht auf Kriterien aus Kapitel 3 und aus beruflichen Erfahrungen unterschiedlicher Experten, die befragt wurden.

In der folgenden Analyse wird gezeigt, wie Prioritäten hinsichtlich der Technologien bei der Lärmbelastung festgestellt werden. Die anderen Prioritätengruppen können ähnlich bestimmt werden. Tabelle 4.2 zeigt ein Schema der Matrix mit den 21 Technologien, die bewertet werden. Der Technologiecode wird in Tabelle 3.1 gezeigt.

In Tabelle 4.1 wird gezeigt, dass wenn eine Technologie mit sich selbst verglichen wird, der Urteil lautet: „gleiche Lärmbelastung“. Folglich ergibt sich für diesen Fall gemäß der Bewertungsskala ein Wert gleich 1. Daher ist die Diagonale der Matrix gleich 1.

**Tabelle 4.1 Schema der Matrix für den Vergleich zwischen Paaren bezüglich des Unterkriteriums der Lärmbelastung**

Code des Systems	1	2	...	9	...	20	21
1	1	1	n	9	m	1	1
2	1/1	1	p	9	q	1	1
...	1/n	1/p	1	x	y	z	w
9	1/9	1/9	1/x	1	a	1/9	1/9
...	1/m	1/q	1/y	1/a	1	b	c
20	1/1	1/1	1/z	9	1/b	1	1
21	1/1	1/1	1/w	9	1/c	1/1	1

Wenn man die Technologie 1, die sich auf die Landbehandlung (Rieselfelder) bezieht, mit der Technologie 9, die für die Belebungsanlage steht, vergleicht, Zelle 1-9 (Zeile 1 – Spalte 9), wird klar, dass die Technologie 1 deutlich weniger Lärm als die Technologie 9 erzeugt. Daher wird die Technologie 1 bevorzugt und wird mit dem höchsten Wert, 9, bewertet. Wenn die Zelle 9 – 1 (Zeile 9 – Spalte 1) berücksichtigt wird, wird diese Zelle mit dem Kehrwert des Werts der Zelle 1-9 bewertet, nämlich 1/9.

Auf diese Art und Weise wird durch paarweisen Vergleich die Vergleichsmatrix erstellt. In Tabelle 4.2 bis 4.16 werden alle Vergleichsmatrizen zwischen Paaren bezüglich der 15 Unterkriterien gezeigt.



**Tabelle 4.4 Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: Schädlingsentstehung**

Code des Systems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	1,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	0,13	0,13	0,13	0,13	2,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00	4,00	2,00	0,20
2	1,00	1,00	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	0,11	0,11	0,11	0,11	2,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00	4,00	2,00	0,20
3	0,25	0,25	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,11
4	0,25	0,25	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,11
5	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,13
6	0,25	0,25	0,50	1,00	2,00	1,00	0,40	0,40	0,11	0,11	0,11	0,11	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,13
7	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00	2,50	1,00	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,13
8	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00	2,50	1,00	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,13
9	8,00	9,09	9,09	9,09	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	4,00	4,00	4,00	3,00
10	8,00	9,09	9,09	9,09	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	4,00	4,00	4,00	3,00
11	8,00	9,09	9,09	9,09	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	4,00	4,00	4,00	3,00
12	8,00	9,09	9,09	9,09	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	7,00	8,00	8,00	8,00	4,00	4,00	4,00	3,00
13	0,50	0,50	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,14
14	0,50	0,50	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,14
15	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,13
16	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,13
17	0,50	0,50	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,50	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,13
18	0,50	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,25	0,25	0,25	0,25	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,13
19	0,25	0,25	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,25	0,25	0,25	0,25	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,13
20	0,50	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,25	0,25	0,25	0,25	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,13
21	5,00	5,00	9,09	9,09	8,00	8,00	8,00	8,00	0,33	0,33	0,33	0,33	6,99	6,99	8,00	7,69	7,69	7,69	7,69	7,69	1,00

**Tabelle 4.5 Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: optische Beeinträchtigung der Landschaft**

Code des Systems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00	4,00	4,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,00	6,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	4,00
2	1,00	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00	4,00	4,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,00	6,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	4,00
3	0,33	0,33	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	2,00
4	0,33	0,33	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	2,00
5	0,25	0,25	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	2,00
6	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	2,00
7	0,25	0,25	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	2,00
8	0,25	0,25	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	2,00
9	0,14	0,14	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,14	0,14	0,14	0,50
10	0,14	0,14	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,14	0,14	0,14	0,50
11	0,14	0,14	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,14	0,14	0,14	0,50
12	0,14	0,14	0,25	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,14	0,14	0,14	0,50
13	0,17	0,17	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,17	0,17	0,17	0,50
14	0,17	0,17	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,17	0,17	0,17	0,50
15	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	2,00
16	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	2,00
17	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	2,00
18	1,00	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00	5,00	5,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	1,00	4,00
19	0,33	0,33	1,00	1,00	4,00	5,00	5,00	5,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	1,00	4,00
20	1,00	1,00	3,00	3,00	4,00	5,00	5,00	5,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	1,00	4,00
21	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	1,00

**Tabelle 4.6 Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Umweltschutz. Unterkriterium: Belastung empfindlicher Ökosysteme bzw. strategischer Zonen**

Code des Systems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	1,00	4,00	4,00	2,00	4,00	2,00	2,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00
2	1,00	1,00	4,00	4,00	2,00	4,00	2,00	2,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00
3	0,25	0,25	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	0,16	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50
4	0,25	0,25	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	0,16	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50
5	0,50	0,50	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,25	0,25	0,50	0,50	0,33	0,33	0,50	0,33	0,50
6	0,25	0,25	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16	0,16	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50
7	0,50	0,50	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50
8	0,50	0,50	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50
9	3,00	3,00	9,00	9,09	9,00	9,00	9,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	7,00	7,00	3,00	3,00	7,00	3,00	3,00
10	3,00	3,00	9,00	9,09	9,00	9,00	9,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	7,00	7,00	3,00	3,00	7,00	3,00	3,00
11	3,00	3,00	9,00	9,09	9,00	9,00	9,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	7,00	7,00	3,00	3,00	7,00	3,00	3,00
12	3,00	3,00	9,00	9,09	9,00	9,00	9,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	7,00	7,00	3,00	3,00	7,00	3,00	3,00
13	2,00	2,00	6,00	6,00	4,00	6,00	4,00	4,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	6,00	6,00	2,00	2,00	6,00	2,00	3,00
14	2,00	2,00	6,00	6,00	4,00	6,00	4,00	4,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	6,00	6,00	2,00	2,00	6,00	2,00	3,00
15	0,33	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,17	0,17	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,50
16	0,33	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,17	0,17	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,50
17	1,00	1,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00
18	1,00	1,00	4,00	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00
19	0,33	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,17	0,17	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,50
20	1,00	1,00	4,00	4,00	3,03	4,00	4,00	4,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00
21	0,33	0,33	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	2,00	2,00	0,33	0,33	2,00	0,33	1,00

**Tabelle 4.7 Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterium: Soziale und kulturelle. Unterkriterium: Ausbildungsniveau**

Code des Systems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	6,00
2	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	6,00
3	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	6,00
4	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	6,00
5	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	3,00	1,00	2,00	4,00	4,00	3,00	4,00	2,50	3,00	0,50	0,50	1,00	0,50	2,00	1,00	3,00
6	0,17	0,17	0,17	0,17	0,33	1,00	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,17	0,17	0,33	0,17	0,17	0,33	1,00
7	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	3,00	1,00	2,00	4,00	4,00	3,00	4,00	3,00	3,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	3,00
8	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	1,00	0,50	1,00	3,00	3,00	2,00	3,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	1,00
9	0,14	0,14	0,14	0,14	0,25	1,00	0,25	0,33	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,14	0,14	0,33	0,14	0,14	0,33	0,50
10	0,14	0,14	0,14	0,14	0,25	1,00	0,25	0,33	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,14	0,14	0,33	0,14	0,14	0,33	0,50
11	0,17	0,17	0,17	0,17	0,33	1,00	0,33	0,50	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,17	0,17	0,33	0,17	0,17	0,33	1,00
12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,25	1,00	0,25	0,33	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,14	0,14	0,33	0,14	0,14	0,33	1,00
13	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	1,00	0,33	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,33	0,20	0,20	0,33	1,00
14	0,17	0,17	0,17	0,17	0,33	1,00	0,33	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,17	0,17	0,33	0,17	0,17	0,33	1,00
15	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	6,00
16	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	6,00
17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	3,00
18	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	6,00
19	0,50	0,50	0,50	0,50	2,00	6,00	2,00	4,00	7,00	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	6,00
20	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	3,00
21	0,17	0,17	0,17	0,17	0,33	1,00	0,33	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,17	0,17	0,33	0,17	0,17	0,33	1,00







Die Schlammproduktion ist ein technologisches Unterkriterium, das quantitativ bewertet werden kann. In Tabelle 4.14 wird die theoretische Schlammproduktion der unterschiedlichen Behandlungsverfahren gezeigt.

**Tabelle 4.14 Schlammproduktion der unterschiedlichen Behandlungsverfahren (ATV 1997; TCHOBANOGLOUS & CRITERS 1998, ROMERO 1999, STIER et al. 1994)**

Verfahren	Schlamm (Kg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
Vorklärbecken	144
Mehrkammergrube	100
Sieben	190
Unbelüfteter Teich	19
Belüfteter Teich	96
Belebungsbecken	82
Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung *	96
Tropfkörper	72
Tauchkörper	72
Filterkörper	20
UASB	110

\* mit dem Primärschlamm

Anhand der Tabelle 4.14 wird die Tabelle 4.15 erstellt, wobei die Schlammproduktion der 21 Behandlungstechnologien gezeigt wird. Nachfolgend wird Tabelle 4.16 erstellt, die die Vergleichsmatrix zwischen Paaren des Kriteriums: Technologische Variablen, Unterkriterium: Schlammproduktion, darstellt.

**Tabelle 4.15 Schlammproduktion der unterschiedlichen Behandlungsverfahren**

Code	System			Gesamt Schlamm (Kg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	
	Vorbehandlungsstufe	Behandlung			
1	Rechen	Vorklärbecken	Rieselfelder	144	
2	Rechen	Mehrkammergrube	Rieselfelder	100	
3	Rechen	Vorklärbecken	Oberflächenabfluss	144	
4	Rechen	Mehrkammergrube	Oberflächenabfluss	100	
5	Rechen		Unbelüfteter Teich	19	
6	Rechen		Belüfteter Teich	96	
7	Rechen		Teichkaskade	38	
8	Rechen		Teich mit Zwischenstufe	91	
9	Rechen	Vorklärbecken	Belebungsbecken	Nachklärbecken	226
10	Rechen	Sieben	Belebungsbecken	Nachklärbecken	272
11	Rechen		Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung	Nachklärbecken	96
12	Rechen		Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb		96
13	Rechen	Vorklärbecken	Tropfkörper	Nachklärbecken	216
14	Rechen	Vorklärbecken	Tauchkörper	Nachklärbecken	216
15	Rechen	Vorklärbecken	Pflanzenanlage (Oberflächenabfluss)		144
16	Rechen	Mehrkammergrube	Pflanzenanlage (Oberflächenabfluss)		100
17	Rechen	Mehrkammergrube - Filterkörper	Pflanzenanlage (Oberflächenabfluss)		120
18	Rechen	Vorklärbecken	Pflanzenanlage (Pflanzenbeeten)		144
19	Rechen	Mehrkammergrube	Pflanzenanlage (Pflanzenbeeten)		100
20	Rechen	Mehrkammergrube - Filterkörper	Pflanzenanlage (Pflanzenbeeten)		120
21	Rechen		UASB	Nachklärbecken	110

**Tabelle 4.16 Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Kriterien: Technologische. Unterkriterium: Schlammproduktion**

Code des Systems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1,00	0,69	1,00	0,69	0,13	0,67	0,27	0,63	1,57	1,89	0,67	0,67	1,50	1,50	1,00	0,69	0,83	1,00	0,69	0,83	0,76
2	1,44	1,00	1,44	1,00	0,19	0,96	0,38	0,91	2,26	2,72	0,96	0,96	2,16	2,16	1,44	1,00	1,20	1,44	1,00	1,20	1,10
3	1,00	0,69	1,00	0,69	0,13	0,67	0,27	0,63	1,57	1,89	0,67	0,67	1,50	1,50	1,00	0,69	0,83	1,00	0,69	0,83	0,76
4	1,44	1,00	1,44	1,00	0,19	0,96	0,38	0,91	2,26	2,72	0,96	0,96	2,16	2,16	1,44	1,00	1,20	1,44	1,00	1,20	1,10
5	7,50	5,21	7,50	5,21	1,00	5,00	1,99	4,75	11,77	14,17	5,00	5,00	11,25	11,25	7,50	5,21	6,25	7,50	5,21	6,25	5,73
6	1,50	1,04	1,50	1,04	0,20	1,00	0,40	0,95	2,35	2,83	1,00	1,00	2,25	2,25	1,50	1,04	1,25	1,50	1,04	1,25	1,15
7	3,77	2,62	3,77	2,62	0,50	2,51	1,00	2,39	5,92	7,12	2,51	2,51	5,65	5,65	3,77	2,62	3,14	3,77	2,62	3,14	2,88
8	1,58	1,10	1,58	1,10	0,21	1,05	0,42	1,00	2,48	2,98	1,05	1,05	2,37	2,37	1,58	1,10	1,32	1,58	1,10	1,32	1,21
9	0,64	0,44	0,64	0,44	0,08	0,42	0,17	0,40	1,00	1,20	0,42	0,42	0,96	0,96	0,64	0,44	0,53	0,64	0,44	0,53	0,49
10	0,53	0,37	0,53	0,37	0,07	0,35	0,14	0,34	0,83	1,00	0,35	0,35	0,79	0,79	0,53	0,37	0,44	0,53	0,37	0,44	0,40
11	1,50	1,04	1,50	1,04	0,20	1,00	0,40	0,95	2,35	2,83	1,00	1,00	2,25	2,25	1,50	1,04	1,25	1,50	1,04	1,25	1,15
12	1,50	1,04	1,50	1,04	0,20	1,00	0,40	0,95	2,35	2,83	1,00	1,00	2,25	2,25	1,50	1,04	1,25	1,50	1,04	1,25	1,15
13	0,67	0,46	0,67	0,46	0,09	0,44	0,18	0,42	1,05	1,26	0,44	0,44	1,00	1,00	0,67	0,46	0,56	0,67	0,46	0,56	0,51
14	0,67	0,46	0,67	0,46	0,09	0,44	0,18	0,42	1,05	1,26	0,44	0,44	1,00	1,00	0,67	0,46	0,56	0,67	0,46	0,56	0,51
15	1,00	0,69	1,00	0,69	0,13	0,67	0,27	0,63	1,57	1,89	0,67	0,67	1,50	1,50	1,00	0,69	0,83	1,00	0,69	0,83	0,76
16	1,44	1,00	1,44	1,00	0,19	0,96	0,38	0,91	2,26	2,72	0,96	0,96	2,16	2,16	1,44	1,00	1,20	1,44	1,00	1,20	1,10
17	1,20	0,83	1,20	0,83	0,16	0,80	0,32	0,76	1,88	2,27	0,80	0,80	1,80	1,80	1,20	0,83	1,00	1,20	0,83	1,00	0,92
18	1,00	0,69	1,00	0,69	0,13	0,67	0,27	0,63	1,57	1,89	0,67	0,67	1,50	1,50	1,00	0,69	0,83	1,00	0,69	0,83	0,76
19	1,44	1,00	1,44	1,00	0,19	0,96	0,38	0,91	2,26	2,72	0,96	0,96	2,16	2,16	1,44	1,00	1,20	1,44	1,00	1,20	1,10
20	1,20	0,83	1,20	0,83	0,16	0,80	0,32	0,76	1,88	2,27	0,80	0,80	1,80	1,80	1,20	0,83	1,00	1,20	0,83	1,00	0,92
21	1,31	0,91	1,31	0,91	0,17	0,87	0,35	0,83	2,05	2,47	0,87	0,87	1,96	1,96	1,31	0,91	1,09	1,31	0,91	1,09	1,00

Die Kriterien bezüglich der Kosten sind ebenfalls quantifizierbar. Die Vorgehensweise zur Quantifizierung wird in Kapitel 5 erläutert. Ähnlich wie bei der Schlammproduktion kann man dabei die Vergleichsmatrix zwischen Paaren erstellen.

#### 4.1.3.2 Verfahren zur Synthesebewertung

Wenn die Matrizen des paarweisen Vergleichs erstellt worden sind, kann die Rangordnung jedes Elements, das verglichen wurde, bestimmt werden. Das genaue mathematische Verfahren der Synthese berücksichtigt die Berechnung von charakteristischen Vektoren. Eine sehr gute Annäherung dieser Werte kann mit dem folgenden Verfahren erreicht werden:

**Schritt 1.** Summe der Werte jeder Spalte der Vergleichsmatrix zwischen Paaren. Ein Beispiel wird in der Tabelle 4.17 gezeigt.

**Tabelle 4.17 Ein Beispiel der Bewertung: Matrix für Vergleich zwischen Paaren und 1. Schritt der Bewertung**

Kriterien	1	2	3	4	
1	1,00	1,00	0,17	0,13	1: Umweltaspekte
2	1,00	1,00	0,20	0,11	2: Soziokulturelle Aspekte
3	6,00	5,00	1,00	0,17	3: Technische Aspekte
4	8,00	9,00	6,00	1,00	4: Ökonomische Aspekte
Summe	16,00	16,00	7,37	1,40	

**Schritt 2.** Division jedes Elementes der Vergleichsmatrix zwischen Paaren durch die Summe seiner Spalten. Die sich ergebende Matrix wird als normalisierte Vergleichsmatrix zwischen Paaren bezeichnet. Das Beispiel wird in der Tabelle 4.18 gezeigt.

**Tabelle 4.18 Beispiel der Bewertung: Normalisierte Matrix**

Kriterien	1	2	3	4
1	1 / 16	0,06	0,02	0,09
2	1 / 16	0,06	0,03	0,08
3	6 / 16	0,31	0,14	0,12
4	8 / 16	0,56	0,81	0,71
Summe	1,00	1,00	1,00	1,00

**Schritt 3.** Berechnung des Mittelwerts jeder Zeile der normalisierten Vergleichsmatrix. Diese Mittelwerte stellen eine Schätzung der relativen Prioritäten dar, die verglichen werden. Das Beispiel wird in der Tabelle 4.19 gezeigt.

**Tabelle 4.19 Beispiel der Bewertung: Berechnung der Prioritäten**

<b>Kriterien</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Prioritäten</b>
<b>1</b>	0,06	0,06	0,02	0,09	<b>0,06</b>
<b>2</b>	0,06	0,06	0,03	0,08	<b>0,06</b>
<b>3</b>	0,38	0,31	0,14	0,12	<b>0,24</b>
<b>4</b>	0,50	0,56	0,81	0,71	<b>0,65</b>
Summe	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

#### **4.1.3.3 Tauglichkeit der Bewertung**

Eine wichtige Betrachtung bezüglich der Qualität der endgültigen Entscheidung bezieht sich auf die Tauglichkeit der Bewertungen, die der Entscheidungsträger beim paarweise Vergleich vornimmt.

Es muss angenommen werden, dass eine perfekte Tauglichkeit der Bewertungen sehr schwierig zu erreichen ist, und dass eine gewisse Untauglichkeit bei allen Vergleichskriterien unvermeidbar ist. Beim analytischen Rangordnungsmodell (AHP) kann man den Tauglichkeitsgrad der Methode berechnen. Falls der Tauglichkeitsgrad akzeptabel ist, kann der Entscheidungsprozess fortgesetzt werden. Wenn dies nicht der Fall ist, muss der Entscheidungsträger bedenken, ob eine Nachprüfung der Bewertungen des paarweisen Vergleichs zwischen Paaren durchgeführt werden soll, bevor die Analyse weiter fortgeführt wird.

Die Tauglichkeitsprüfung wurde so ausgelegt, dass Tauglichkeitsbewertungen von über 0,1 auf eine Untauglichkeit des Systems hinweisen. Tauglichkeitsbewertungen von gleich oder unter 0,1 werden als akzeptabel und tauglich beurteilt.

Die Tauglichkeit kann folgendermaßen berechnet werden:

**Schritt 1.** In der Vergleichsmatrix bei einem paarweisen Vergleich wird jeder Wert der ersten Spalte mit der relativen Priorität des ersten Elements multipliziert. Jeder Wert der zweiten Spalte wird mit der relativen Priorität des zweiten Elements multipliziert, und so wird für jede weitere vorgegangen. Die Werte der Zeile werden addiert, und dabei ergibt sich ein Wert, der als gewichtete Summe bezeichnet wird. Das Beispiel wird in der Tabelle 4.20 gezeigt.

**Schritt 2.** Die Elemente des Vektors der gewichteten Summen, die in Schritt 1 berechnet wurden, werden durch die entsprechende Priorität dividiert. Das Beispiel wird in der Tabelle 4.20 gezeigt.

**Tabelle 4.20 Beispiel der Bewertung: Berechnung der Tauglichkeit der Bewertung. Schritte 1 und 2**

1. Schritt					2. Schritt
1 * 0,06	0,06	0,04	0,08	<b>0,24</b>	0,24 / 0,06
1 * 0,06	0,06	0,05	0,07	<b>0,24</b>	4,08
6 * 0,06	0,29	0,24	0,11	<b>0,99</b>	4,19
8 * 0,06	0,52	1,41	0,65	<b>3,05</b>	4,72

**Schritt 3.** Der Mittelwert der in Schritt 2 berechneten Werte wird kalkuliert. Dieser Wert wird als  $\lambda_{\max}$  bezeichnet. Für das Beispiel ist  $\lambda_{\max} = 4,25$

**Schritt 4.** Der Tauglichkeitsindikator CI wird berechnet.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Dabei:  $n =$  Zahl der Elemente, die verglichen werden.

Für das Beispiel ist  $CI = (4,25 - 4) / (4 - 1) = 0,08$

**Schritt 5.** Das Tauglichkeitsverhältnis CR ist folgendermaßen definiert:

$$CR = CI / RI$$

RI ist der aleatorische Tauglichkeitsindikator einer Vergleichsmatrix zwischen (Tabelle 4.21).

**Tabelle 4.21 Aleatorische Tauglichkeitsindikator (SAATY 1980)**

<b>N</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	21
<b>RI</b>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	2,1

Für das Beispiel ist  $CR = 0,08 / 0,9 = 0,09$

In der Synthesephase werden die Prioritäten der 21 Technologien bezüglich jedes Unterkriteriums festgestellt. Die Vektoren der 21 Technologien und die Tauglichkeitsverhältnisse jeder Analyse werden in Tabelle 4.22 gezeigt.

**Tabelle 4.22 Vektoren von relativen Prioritäten und Tauglichkeitsverhältnisse der 21 Technologien bezüglich der Unterkriterien**

Code des Systems	Umweltaspekte					Soziokulturelle Aspekte				Technische Aspekte		
	Geruch	Lärm	Schädlingse ntstehung	Optische Belastung	Zerbrechliche Ökosysteme	Ausbildungs niveau	Verfügbare Arbeitskraft	Möglichkeiten zur lokalen Durchführung	Institutionelle Präsenz	Zusätze und Ausrüstung	Instandhaltung	Wiederverw endung
1	0,014	0,071	0,044	0,112	0,042	0,086	0,078	0,066	0,066	0,069	0,065	0,006
2	0,010	0,071	0,044	0,112	0,042	0,086	0,078	0,066	0,066	0,069	0,127	0,006
3	0,009	0,071	0,016	0,046	0,011	0,086	0,078	0,066	0,066	0,069	0,036	0,016
4	0,009	0,071	0,015	0,046	0,011	0,086	0,078	0,066	0,066	0,069	0,112	0,019
5	0,029	0,071	0,012	0,033	0,015	0,048	0,078	0,066	0,066	0,069	0,023	0,066
6	0,101	0,007	0,012	0,032	0,011	0,014	0,014	0,016	0,017	0,010	0,019	0,066
7	0,029	0,071	0,013	0,032	0,015	0,044	0,078	0,066	0,066	0,069	0,024	0,066
8	0,029	0,020	0,013	0,032	0,016	0,023	0,026	0,033	0,034	0,026	0,023	0,066
9	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	0,011	0,012	0,008	0,008	0,010	0,011	0,027
10	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	0,011	0,012	0,008	0,008	0,010	0,011	0,027
11	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	0,016	0,012	0,008	0,008	0,010	0,015	0,027
12	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	0,012	0,012	0,008	0,008	0,010	0,010	0,027
13	0,051	0,020	0,024	0,019	0,074	0,017	0,024	0,034	0,034	0,022	0,019	0,026
14	0,051	0,020	0,023	0,019	0,074	0,016	0,022	0,023	0,022	0,014	0,019	0,026
15	0,029	0,068	0,013	0,034	0,018	0,086	0,074	0,066	0,066	0,069	0,057	0,074
16	0,024	0,068	0,013	0,034	0,018	0,086	0,074	0,066	0,066	0,069	0,113	0,086
17	0,032	0,068	0,017	0,049	0,046	0,051	0,045	0,066	0,066	0,069	0,067	0,086
18	0,058	0,068	0,028	0,112	0,046	0,086	0,074	0,066	0,066	0,069	0,075	0,086
19	0,043	0,068	0,026	0,097	0,018	0,077	0,067	0,066	0,066	0,069	0,096	0,086
20	0,044	0,068	0,028	0,112	0,046	0,042	0,038	0,066	0,066	0,069	0,067	0,086
21	0,007	0,068	0,115	0,024	0,027	0,016	0,024	0,066	0,066	0,066	0,012	0,026
<b>Summe</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<b>Tauglichkeit der Bewertung</b>	0,056	0,004	0,036	0,021	0,012	0,011	0,005	0,000	0,000	0,002	0,024	0,033

#### **4.1.4 Vergleich der Unterkriterien und der Kriterien zwischen Paaren**

Bei der Feststellung der Prioritäten der Unterkriterien bezüglich der vier Kriterien und bei der Feststellung der Prioritäten der Kriterien bezüglich der Bedeutung jedes Kriteriums hinsichtlich des generellen Ziels wird das gleiche Verfahren eingesetzt, das bei der Entscheidung von Alternativen eingesetzt wurde. Dieses Verfahren beruht auf dem Vergleich zwischen Paaren. Bei der Berechnung von diesen Matrizen müssen die Eigenschaften der Gemeinde berücksichtigt werden. Damit ist gemeint, dass bei der Bewertung der Kriterien und Unterkriterien die Ansprüche und Wünsche der Ortsansässigen Vorrang haben. Auf diese Art und Weise berücksichtigt das analytische Rangordnungsmodell AHP nicht nur die Eigenschaften der Technologien, sondern auch die Merkmale der Gemeinde.

In diesem Schritt wird die Gemeinde bei der Analyse mit einbezogen. Die Gemeinde und die Experten bewerten und gewichten die Unterkriterien und Kriterien gemäß ihrer Wahrnehmung und Wünsche.

Die Analysen, die durchgeführt werden, beziehen sich auf folgende Vergleiche zwischen Paaren:

- Die fünf Unterkriterien des Kriteriums „Umweltschutz“
- Die vier Unterkriterien des soziokulturellen Kriteriums
- Die vier Unterkriterien des technologischen Kriteriums
- Die zwei Unterkriterien des wirtschaftlichen Kriteriums „Kosten“
- Die vier Kriterien des generellen Ziels

Basierend auf der Tabelle 4.1 wird die Bedeutung jedes Kriteriums und Unterkriteriums berechnet. Dabei wird das gleiche Verfahren, das bei der Feststellung der relativen Prioritäten der Technologien verwendet wurde, eingesetzt. Es wird eine Matrix mit 5 Reihen und 5 Spalten für das Kriterium „Umweltschutz“ erstellt. Für das soziale und kulturelle Kriterium und für das technologische Kriterium wird eine Matrix mit 4 Reihen und 4 Spalten erstellt. Für das Kriterium „Kosten“ wird eine Matrix mit 2 Reihen und 2 Spalten erstellt, und für das generelle Ziel wird eine Matrix mit 4 Reihen und 4 Spalten erstellt.

#### **4.1.5 Berechnung der Bewertung der Priorität jeder technologischen Alternative**

Die Bewertung der Prioritäten wird durch eine lineare additive Funktion bestimmt. Das Verfahren, um die Prioritäten jeder Entscheidungsalternative zu berechnen, wird besser verstanden, wenn die Priorität jedes Kriteriums als ein gewichteter Koeffizient, der seine Bedeutung widerspiegelt, berücksichtigt wird. Die generelle Priorität jeder Alternative ergibt sich aus der Summe von dem Produkt der Prioritäten der Kriterien, von dem Produkt der Prioritäten der Unterkriterien und von dem Produkt der Priorität der Entscheidungsalternative. In der Tabelle 4.23 wird ein Beispiel der Ergebnisse einer Gemeinde und die Berechnungsprozedur der relativen Priorität jeder Alternative gezeigt.

Tabelle 4.23 Beispiel der Ergebnisse in einer Gemeinde durch das analytische Rangordnungsmodell AHP

Code des Systems	Kriterium																			Ergebnis
	Priorität der Umweltaspekte						Priorität der soziokulturellen Aspekte					Priorität der technischen Aspekte					Priorität der ökonomischen			
	0,100						0,100					0,240					0,560			
	Priorität der Unterkriterien						Priorität der Unterkriterien					Priorität der Unterkriterien					P. der U.			
1	2	3	4	5	Ges.	1	2	3	4	Ges.	1	2	3	4	Ges.	1	2	Ges.		
0,246	0,085	0,520	0,051	0,100		0,136	0,142	0,067	0,655		0,135	0,153	0,046	0,667		0,250	0,750			
1	0,014	0,071	0,044	0,112	0,042	<b>0,004</b>	0,086	0,078	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,065	0,006	0,029	<b>0,009</b>	0,021	0,054	<b>0,026</b>	<b>4,6</b>
2	0,010	0,071	0,044	0,112	0,042	<b>0,004</b>	0,086	0,078	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,127	0,006	0,029	<b>0,012</b>	0,058	0,054	<b>0,031</b>	<b>5,4</b>
3	0,009	0,071	0,016	0,046	0,011	<b>0,002</b>	0,086	0,078	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,036	0,016	0,042	<b>0,010</b>	0,014	0,054	<b>0,025</b>	<b>4,4</b>
4	0,009	0,071	0,015	0,046	0,011	<b>0,002</b>	0,086	0,078	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,112	0,019	0,042	<b>0,013</b>	0,053	0,054	<b>0,030</b>	<b>5,2</b>
5	0,029	0,071	0,012	0,033	0,015	<b>0,002</b>	0,048	0,078	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,023	0,066	0,216	<b>0,038</b>	0,054	0,061	<b>0,033</b>	<b>8,0</b>
6	0,101	0,007	0,012	0,032	0,011	<b>0,003</b>	0,014	0,014	0,016	0,017	<b>0,002</b>	0,010	0,019	0,066	0,043	<b>0,009</b>	0,058	0,037	<b>0,023</b>	<b>3,7</b>
7	0,029	0,071	0,013	0,032	0,015	<b>0,002</b>	0,044	0,078	0,066	0,066	<b>0,006</b>	0,069	0,024	0,066	0,144	<b>0,027</b>	0,026	0,061	<b>0,029</b>	<b>6,5</b>
8	0,029	0,020	0,013	0,032	0,016	<b>0,002</b>	0,023	0,026	0,033	0,034	<b>0,003</b>	0,026	0,023	0,066	0,046	<b>0,010</b>	0,046	0,058	<b>0,031</b>	<b>4,5</b>
9	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	<b>0,011</b>	0,011	0,012	0,008	0,008	<b>0,001</b>	0,010	0,011	0,027	0,018	<b>0,004</b>	0,061	0,015	<b>0,015</b>	<b>3,1</b>
10	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	<b>0,011</b>	0,011	0,012	0,008	0,008	<b>0,001</b>	0,010	0,011	0,027	0,018	<b>0,004</b>	0,064	0,015	<b>0,015</b>	<b>3,1</b>
11	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	<b>0,011</b>	0,016	0,012	0,008	0,008	<b>0,001</b>	0,010	0,015	0,027	0,043	<b>0,008</b>	0,056	0,014	<b>0,013</b>	<b>3,4</b>
12	0,108	0,009	0,136	0,013	0,118	<b>0,011</b>	0,012	0,012	0,008	0,008	<b>0,001</b>	0,010	0,010	0,027	0,043	<b>0,008</b>	0,052	0,017	<b>0,014</b>	<b>3,4</b>
13	0,051	0,020	0,024	0,019	0,074	<b>0,004</b>	0,017	0,024	0,034	0,034	<b>0,003</b>	0,022	0,019	0,026	0,019	<b>0,005</b>	0,030	0,048	<b>0,024</b>	<b>3,5</b>
14	0,051	0,020	0,023	0,019	0,074	<b>0,003</b>	0,016	0,022	0,023	0,022	<b>0,002</b>	0,014	0,019	0,026	0,019	<b>0,005</b>	0,057	0,048	<b>0,028</b>	<b>3,8</b>
15	0,029	0,068	0,013	0,034	0,018	<b>0,002</b>	0,086	0,074	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,057	0,074	0,029	<b>0,010</b>	0,062	0,060	<b>0,034</b>	<b>5,3</b>
16	0,024	0,068	0,013	0,034	0,018	<b>0,002</b>	0,086	0,074	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,113	0,086	0,042	<b>0,014</b>	0,056	0,060	<b>0,033</b>	<b>5,6</b>
17	0,032	0,068	0,017	0,049	0,046	<b>0,003</b>	0,051	0,045	0,066	0,066	<b>0,006</b>	0,069	0,067	0,086	0,029	<b>0,010</b>	0,041	0,060	<b>0,031</b>	<b>5,0</b>
18	0,058	0,068	0,028	0,112	0,046	<b>0,004</b>	0,086	0,074	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,075	0,086	0,042	<b>0,013</b>	0,040	0,060	<b>0,031</b>	<b>5,5</b>
19	0,043	0,068	0,026	0,097	0,018	<b>0,004</b>	0,077	0,067	0,066	0,066	<b>0,007</b>	0,069	0,096	0,086	0,035	<b>0,012</b>	0,053	0,060	<b>0,033</b>	<b>5,5</b>
20	0,044	0,068	0,028	0,112	0,046	<b>0,004</b>	0,042	0,038	0,066	0,066	<b>0,006</b>	0,069	0,067	0,086	0,035	<b>0,011</b>	0,037	0,060	<b>0,030</b>	<b>5,2</b>
21	0,007	0,068	0,115	0,024	0,027	<b>0,007</b>	0,016	0,024	0,066	0,066	<b>0,005</b>	0,066	0,012	0,026	0,038	<b>0,009</b>	0,060	0,051	<b>0,030</b>	<b>5,1</b>
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,100</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,100</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,240</b>	1,000	1,000	0,560	<b>100</b>

Die Berechnung der relativen Bedeutung des Kriteriums „Umweltschutz“ für die Technologie 1 wird folgendermaßen kalkuliert:  $(0,01 \times 0,25 \times 0,10) + (0,07 \times 0,09 \times 0,10) + (0,04 \times 0,52 \times 0,10) + (0,11 \times 0,05 \times 0,10) + (0,04 \times 0,10 \times 0,10) = 0,004$ .

Die Berechnung der relativen Priorität der Technologie 1 ergibt:  $(0,004 + 0,007 + 0,009 + 0,026) \times 100 = 4,6$ .

## 5 Kostenhilfsmodell

Die Investitionskosten und die Betriebs- und Wartungskosten des Systems sind zwei wichtige quantifizierbare Variablen bei der Bewertung der unterschiedlichen Technologien mit dem analytischen Rangordnungsmodell (AHP). In diesem Kapitel wird das Modell zur Bewertung der in Kapitel 3 erläuterten 21 Technologien aufgestellt. Dabei werden die Behandlungsansprüche 80-prozentige Reduzierung des BSB<sub>5</sub> und des TSS berücksichtigt.

### 5.1 Vorbemerkungen

Seit langer Zeit besteht die Notwendigkeit einer exakten und schnellen Methode, um vorläufige Auslegungen und Kostenschätzungen einer Kläranlage durchzuführen. Mehrere Modelle wurden zu diesem Zweck entwickelt. Einige dieser Modelle wurden entwickelt, um es Planern und Ingenieuren, die für Berechnungen des Kläranlagenbaus zuständig sind, zu ermöglichen, einen Alternativenvergleich durchzuführen.

EPA (1980) entwickelte das Dokument „Baukosten von kommunalen Kläranlagen“ mit einem Inventar von 737 Behandlungssystemen, die in den USA gebaut wurden. Es wurde eine Datenbank strukturiert, womit man Kostenkurven für die unterschiedlichen Systeme und für jede Komponente der Systeme in Bezug auf den in die Kläranlage eingeleiteten Volumenstrom entwickelte.

Die originale Version von CAPDET (COE & EPA 1982), 1973 entwickelt, setzte ebenfalls Kurven ein, um die Kosten zu berechnen. Diese Methode wurde als parametrische Kostenschätzung bezeichnet und beruht auf einer statistischen Annäherung, denn diese Methode stellt eine statistische Analyse der Kosten von Systemen mit ähnlichen Eigenschaften dar.

Der grundlegende Vorteil der parametrischen Annäherung ist die geringe Zahl an nötigen Einträgen pro Benutzer, die normalerweise auf eine Eigenschaft, die das Behandlungsverfahren beschreibt, wie z. B. Volumenstrom, Fläche, usw., beschränkt ist. Danach werden die Kosten der Prozesseinheit gemäß einer Eigenschaft des Prozesses bestimmt. Die größten Nachteile der parametrischen Annäherung liegen in ihrer statistischen Natur begründet: Eine große Menge an Informationen wird gebraucht, um die Datenbank zu

erstellen, Die Effekte der örtlichen wirtschaftlichen Situation werden nicht genügend bei der Kostenanalyse berücksichtigt, und die Einbeziehung der Effekte der Teuerungsrate in die Kosten ist schwierig und oft ungenau, da dabei lediglich die *Indizes der Baukosten* mit berücksichtigt werden. Ohne Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen sind sichere Kostenermittlungen in einer frühen Projektphase und vergleichende Kostenaussagen nicht möglich (GÜNTHERT 1998).

Eine andere Methode, die von CAPDET (COE & EPA 1982) entwickelt wurde, wird als Schätzung des Bauleistungsschlüssels (BSL) oder als Schätzung von Kosteneinheiten bezeichnet, die auf der Identifizierung der Menge an Arbeit der Haupteinheiten einer Struktur beruht. Die Kosten dieser Haupteinheiten werden festgestellt, indem z. B. quantifiziert wird, wieviel Kubikmeter Beton beim Bau eines Sedimentationsbeckens benötigt werden. Bei der Berechnung werden die Kosten der Haupteinheit mit den Kubikmetern multipliziert. Diese BSL werden gemäß der Erfordernisse an Materialien, Geräten und Arbeitskraft für die Erzeugung von einem Kubikmeter Beton kalkuliert.

Dieser Prozess weist mehrere Vorteile gegenüber der Kostenberechnung durch die parametrische Annäherung auf, z. B. die Aktualisierung der Kosten von Zusätzen, Geräten und Arbeitskraft wird in den Kosten der Komponenten des Systems widerspiegelt. Die Effekte der Teuerungsrate können einfach bewertet werden. Dazu werden die Kosten an die örtliche Situation angepasst, anstatt Indices nationaler Durchschnitte zu benutzen. Außerdem kann man mit diesem Prozess die Kostenstruktur (bezüglich Materialien, Geräte und Arbeitskraft) besser analysieren.

CAPDET kombiniert beide Methoden (Methode der parametrischen Annäherung und BSL), um die Schätzung der totalen Kosten des Projekts durchzuführen.

Später entwickelte VARGAS & GALVIS (2000) ein konzeptuelles Modell zur Technologieauswahl bei der Trinkwasseraufbereitung. Dabei wurde ein Kostenmodell strukturiert, das das von CAPDET eingesetzte Prinzip bezüglich der BSL verwendet.

Da in Kolumbien nicht genügend viele Kläranlagen gebaut wurden, um eine Analyse mit der Methode der parametrischen Annäherung durchzuführen, beruht das in dieser Arbeit aufgestellte Modell auf der Methode der BSL gemäß der Richtlinien der Modelle von CAPDET und CINARA.

## **5.2 Investitionskosten**

Die Investitionskosten der Abwasserbehandlungssysteme beziehen sich auf die Kosten der nötigen Investitionen für den Bau der gesamten physikalischen Struktur der Kläranlage. In diesem Sinne werden die Kosten für Auslegung, Materialien, Maschinen, Geräte und Arbeitskraft mit einbezogen.

### **5.2.1 Kosten der Vorarbeiten**

Bei den Investitionskosten eines Bauwerks müssen außer den Baukosten auch andere Kosten quantifiziert werden, da diese Kosten der Vorarbeiten die Investitionskosten beträchtlich erhöhen können. Diese Kosten beziehen sich auf:

#### **5.2.1.1 Vorinvestitionsstudien**

Bei den Bauwerken muss man die Kosten von technischen Studien bezahlen. Bei diesen Studien müssen die Machbarkeit des Projekts geklärt und die Konstruktionen ausgelegt werden. Diese Studien betrachten Topographie, Bodenstudien, hydraulische Auslegung, Auslegung von Strukturen, und elektro-mechanischer Auslegung. Diese Kosten werden als ein Anteil der Baukosten des Bauwerks berechnet und schwanken normalerweise zwischen 5 und 10% (VARGAS & GALVIS 2000). In dieser Arbeit wird ein Wert von 7,5% eingesetzt.

#### **5.2.1.2 Beaufsichtigung**

Die technische Beaufsichtigung des Bauwerks während der Konstruktion erzeugt Kosten in Bezug auf das technische Personal, das diese Überwachung durchführt. Es wird geschätzt, dass diese Kosten 10% der Baukosten betragen (VARGAS & GALVIS 2000).

#### **5.2.1.3 Verwaltung, Unwägbarkeiten und Gewinn (AIU)**

Diese Kosten beziehen sich auf die Kosten, die das Bauunternehmen auf das gesamte Investitionsbudget als Prozentsatz addiert. Dieser Prozentsatz beträgt in Kolumbien zwischen 15 und 25% (VARGAS & GALVIS 2000), und in dieser Arbeit wird ein Wert von 20% angenommen.

## 5.2.2 Baukosten

Wie schon erwähnt, wird bei der Berechnung der Baukosten die Methode der BSL eingesetzt. Laut SEYFRIED (1985) weisen die Kosten eines Systems zur Abwasserreinigung keine lineare Proportionalität mit dem Volumenstrom auf, da die Größe der Kläranlage auch von der Beschaffenheit des Abwassers abhängt. Die Kosten beziehen sich auf die Größe der Behandlungseinheiten, und diese können mit einer Gleichung der Form  $y = a \cdot x^b$  dargestellt werden. Dabei stellt  $y$  die nötige Menge an Bauarbeiten, und  $x$  die charakteristische Größe der Behandlungseinheit dar.

Die Modelle für die Menge an Bauarbeiten wurden unabhängig von jeder Hauptkomponente der Kläranlage entwickelt. Für diesen Zweck wurden die folgenden Komponenten eines Systems zur Abwasserreinigung definiert:

- Behandlungseinheiten
- Elektrische Installationen und Geräte
- Rohrleitungen und Abwasserleitungen
- Außenbauarbeiten
- Benötigtes Landstück
- Schlammbehandlung

Für jede Komponente wurden die Modelle für die Menge an Bauarbeiten für die wichtigsten Aktivitäten (Bauleistungsschlüssel - BLS) geschätzt, Tabelle 5.1.

Auf diese Art und Weise können die Investitionskosten separat für jede einzelne Komponente geschätzt werden. Die Gesamtkosten der Kläranlage ergeben sich aus der Summe der Kosten aller Komponenten.

Bei der Schätzung der Modelle der Menge an Bauarbeiten der unterschiedlichen Technologien wurden folgende Kriterien mit einbezogen:

### 5.2.2.1 Beschränkungen in Bezug auf den Volumenstrom und die Beschaffenheit des Abwassers

Um die Beschränkungen bezüglich des Volumenstroms zu schätzen, wurde der Anteil der Bevölkerung, für den das Projekt ausgelegt wird (1000 – 12000 Einwohner), berücksichtigt.

Die Volumenströme für die Auslegung wurden auf 1 – 2 – 10,4 und 20,8 l/s gesetzt. Diese Volumenströme entsprechen einer Bevölkerung von 500, 1.000, 5.000, 10.000 Einwohnern. Dabei wurde ein Wasserverbrauch von 180 l/Einwohner Tag und ein Abflussbeiwert von 0,8 eingesetzt.

Die Eigenschaften des Abwassers wurden gemäß einer typischen Konzentration (KIELY 2000) gesetzt, die Tabelle 1.3 zeigt.

Für jeden dieser Volumenströme, die eine bestimmte Abwasserbeschaffenheit aufweisen, wurden typische Entwürfe für jede der 21 Technologien (84 Entwurfstypen) erstellt. Diese Systeme wurden ausgelegt, mit dem Ziel die Größe der wichtigsten Dimension (Volumen oder Fläche) jeder Behandlungseinheit zu erkennen, und aus dieser Dimension/Größe die Modelle für die Menge an Bauarbeiten der relevanten BLS abzuleiten (Tabelle 5.1).

**Tabelle 5.1 Berücksichtige BLS bei der Berechnung der Modelle der Menge für Bauarbeiten**

BLS-Nr.	Bauleistungsschlüssel	Einheit
A00	Fläche	m <sup>2</sup>
A10	Bürobaracken auf- und abbauen	m <sup>2</sup>
A20	Platzbefestigungen herstellen und entfernen	m <sup>2</sup>
A30	Gelände planieren und wiederherstellen	m <sup>2</sup>
A40	Aushub für Leitungsgräben, Tiefe 1.5 - 3.0 m	m <sup>3</sup>
A50	Aushub für Tanks, Tiefe 1.5 - 3.0 m	m <sup>3</sup>
A60	Bettung	m <sup>3</sup>
A70	Bettung aus Kies und Kiessand	m <sup>3</sup>
A80	Filterstoffe (Stein 1/2", 1" und 1 1/2")	m <sup>3</sup>
A90	Planumsschutz mit Kunststoff- Folie	m <sup>2</sup>
A100	Beton (3.000 psi) für Tanks	m <sup>3</sup>
A110	Unterbeton	m <sup>3</sup>
A120	Stahl fy = 37.000	kg
A130	Stahl fy = 60.000	kg
A140	PVC- Rohre 4"	m
A150	PVC- Rohre 4" (Gelocht)	m
A160	Filterstoffe (Bambus)	Stck
A170	Scheiben für Tauchkörper	Stck
A180	Bepflanzungen	m <sup>2</sup>
A190	Sammelschacht	Stck
A200	Beton- Leitungsrohre 6"	m
A210	PVC- Leitungsrohre 6"	m
A220	Zaun	m
A230	Wassergraben für Ableitung von Regen	m
A240	Gehweg aufbauen	m

### **5.2.2.2 Auslegungskriterien**

Die Auslegungskriterien der Behandlungsalternativen wurden gemäß der Literaturrecherche (Kapitel 3) und gemäß der Beratung durch Herstellerfirmen bestimmt.

Die Behandlungseinheiten wurden für ihre strukturelle Dimensionierung als halbversenkt berücksichtigt, und als Material des Kläranlagenbaus wurden Beton gewählt.

### **5.2.2.3 Kostenfunktion der Menge an Bauarbeiten**

In der Tabelle 5.2 werden die Kostenfunktionen der unterschiedlichen Behandlungseinheiten gezeigt. In der Tabelle 5.3 werden die Kostenfunktionen der elektrischen Installationen und Geräte der 21 Systeme gezeigt. Tabelle 5.4 zeigt Rohrleitungen und Abwasserleitungen. Tabelle 5.5 werden die Kostenfunktionen der Außenbauarbeiten gezeigt, und Tabelle 5.6 zeigt die Kostenfunktionen der benötigten Fläche.

**Tabelle 5.2 Kostenfunktionen zur Berechnung von Mengen an Bauarbeiten für Behandlungseinheiten**

BLS-Nr.	Bauleistungsschlüssel	Einheit	Vorklärbecken (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Mehrkammergrube (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Filterkörper (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Reaktor UASB (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Nachklärbecken (U: Volumen, m <sup>3</sup> )
A10	Bürobaracken auf- und abbauen	m <sup>2</sup>	0	0	0	$C = 9,89 U^{0,19}$	0
A20	Platzbefestigungen herstellen und entfernen	m <sup>2</sup>	$C = 1,38 U^{0,79}$	$C = 1,25 U^{0,85}$	$C = 0,71 U^{0,97}$	$C = 1,71 U^{0,71}$	$C = 1,05 U^{0,88}$
A30	Gelände planieren und wiederherstellen	m <sup>2</sup>	$C = 1,38 U^{0,79}$	$C = 1,18 U^{0,83}$	$C = 0,71 U^{0,97}$	$C = 1,71 U^{0,71}$	$C = 1,05 U^{0,88}$
A40	Aushub für Leitungsgräben, Tiefe 1,5 - 3,0 m	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
A50	Aushub für Tanks, Tiefe 1,5 - 3,0 m	m <sup>3</sup>	$C = 14,06 U^{0,64}$	$C = 4,49 U^{0,81}$	$C = 5,31 U^{0,80}$	$C = 9,65 U^{0,72}$	$C = 4,97 U^{0,79}$
A60	Bettung	m <sup>3</sup>	$C = 1,44 U^{0,65}$	$C = 9,44 U^{0,27}$	$C = 1,08 U^{0,82}$	$C = 6,12 U^{0,41}$	$C = 2,77 U^{0,46}$
A70	Bettung aus Kies und Kiessand	m <sup>3</sup>	$C = 0,33 U^{0,71}$	$C = 0,47 U^{0,61}$	$C = 0,54 U^{0,49}$	$C = 0,39 U^{0,65}$	$C = 0,15 U^{0,61}$
A80	Filterstoffe (Stein 1/2", 1" und 1 1/2")	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
A90	Planumsschutz mit Kunststoff- Folie	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
A100	Beton (3,000 psi) für Tanks	m <sup>3</sup>	$C = 4,05 U^{0,46}$	$C = 2,46 U^{0,42}$	$C = 3,99 U^{0,44}$	$C = 6,77 U^{0,47}$	$C = 1,22 U^{0,50}$
A110	Unterbeton	m <sup>3</sup>	$C = 0,36 U^{0,77}$	$C = 0,29 U^{0,79}$	$C = 0,27 U^{0,83}$	$C = 0,30 U^{0,87}$	$C = 1,12 U^{0,41}$
A120	Stahl fy = 37.000	kg	$C = 16,32 U^{0,58}$	$C = 0,68 U^{1,00}$	$C = 9,40 U^{0,70}$	$C = 14,53 U^{0,43}$	0
A130	Stahl fy = 60.000	kg	$C = 339,88 U^{0,57}$	$C = 108,57 U^{0,72}$	$C = 188,01 U^{0,70}$	$C = 457,94 U^{0,59}$	$C = 171,79 U^{0,54}$
A140	PVC- Rohre 4"	m	$C = 5,01 U^{0,50}$	$C = 5,01 U^{0,50}$	$C = 5,01 U^{0,50}$	$C = 4,17 U^{0,31}$	0
A150	PVC- Rohre 4" (Gelocht)	ml	0	0	$C = 2,64 U^{0,69}$	$C = 2,17 U^{0,45}$	0
A160	Filterstoffe (Bambus)	Stck	0	0	$C = 4,70 U^{0,95}$	0	0
A170	Scheiben für Tauchkörper	Stck	0	0	0	0	0
A180	Bepflanzungen	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	0

**Tabelle 5.2 (Fortsetzung) Kostenfunktionen zur Berechnung von Mengen an Bauarbeiten für Behandlungseinheiten**

BLS-Nr.	Bauleistungsschlüssel	Einheit	Rieselfelder (U: Fläche, ha)	Oberflächenabfluß (U: Fläche, ha)	Anerobische Teich (U: Fläche, m <sup>2</sup> )	Unbelüftete Teich (U: Fläche, m <sup>2</sup> )	Belüftete Teich (U: Fläche, m <sup>2</sup> )
A10	Bürobaracken auf- und abbauen	m <sup>2</sup>	$C = 97,12 U^{0,29}$	$C = 160,30 U^{0,55}$	0	$C = 11,89 U^{0,26}$	$C = 6,16 U^{0,36}$
A20	Platzbefestigungen herstellen und entfernen	m <sup>2</sup>	$C = 11409 U^{0,98}$	$C = 12636 U^{0,91}$	$C = 1,831 U^{0,96}$	$C = 2,41 U^{0,92}$	$C = 1,82 U^{0,93}$
A30	Gelände planieren und wiederherstellen	m <sup>2</sup>	$C = 10240 U^{1,00}$	$C = 10245 U^{0,99}$	$C = 1,831 U^{0,96}$	$C = 2,41 U^{0,92}$	$C = 1,82 U^{0,93}$
A40	Aushub für Leitungsgräben, Tiefe 1,5 - 3,0 m	m <sup>3</sup>	$C = 1002 U^{1,00}$	$C = 1590 U^{0,98}$	0	0	0
A50	Aushub für Tanks, Tiefe 1,5 - 3,0 m	m <sup>3</sup>	0	0	$C = 3,150 U^{0,99}$	$C = 7,48 U^{0,83}$	$C = 0,97 U^{1,16}$
A60	Bettung	m <sup>3</sup>	$C = 1002 U^{1,00}$	$C = 93,03 U^{0,95}$	0	0	0
A70	Bettung aus Kies und Kiessand	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
A80	Filterstoffe (Stein 1/2", 1" und 1 1/2")	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
A90	Planumsschutz mit Kunststoff- Folie	m <sup>3</sup>	0	0	$C = 1,22 U^{0,99}$	$C = 1,22 U^{0,99}$	$C = 1,22 U^{0,99}$
A100	Beton (3,000 psi) für Tanks	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
A110	Unterbeton	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
A120	Stahl fy = 37.000	kg	0	0	0	0	0
A130	Stahl fy = 60.000	kg	0	0	0	0	0
A140	PVC- Rohre 4"	m	0	0	$C = 1,26 U^{0,52}$	$C = 1,41 U^{0,49}$	$C = 1,16 U^{0,49}$
A150	PVC- Rohre 4" (Gelocht)	ml	$C = 630,73 U^{0,99}$	0	0	0	0
A160	Filterstoffe (Bambus)	Stck	0	0	0	0	0
A170	Scheiben für Tauchkörper	Stck	0	0	0	0	0
A180	Bepflanzungen	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	0

**Tabelle 5.2 (Fortsetzung) Kostenfunktionen zur Berechnung von Mengen an Bauarbeiten für Behandlungseinheiten**

BLS-Nr.	Bauleistungsschlüssel	Einheit	Belebungsbecken (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Reaktor SBR (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Tropfkörper (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Tauchkörper (U: Volumen, m <sup>3</sup> )	Oberfläche abfluss pflanzenanlage (U: Fläche, ha)	Pflanzenbett (U: Fläche, ha)
A10	Bürobaracken auf- und abbauen	m <sup>2</sup>	$C = 0,09 U^{0,87}$	$C = 0,09 U^{0,87}$	$C = 0,62 U^{0,81}$	$C = 2,12 U^{0,43}$	$C = 72,51 U^{0,27}$	$C = 107,57 U^{0,34}$
A20	Platzbefestigungen herstellen und entfernen	m <sup>2</sup>	$C = 0,44 U^{0,96}$	$C = 0,88 U^{0,96}$	$C = 2,32 U^{0,81}$	$C = 0,73 U^{0,98}$	$C = 13275 U^{0,98}$	$C = 13275 U^{0,98}$
A30	Gelände planieren und wiederherstellen	m <sup>2</sup>	$C = 0,44 U^{0,96}$	$C = 0,88 U^{0,96}$	$C = 2,32 U^{0,81}$	$C = 0,73 U^{0,98}$	$C = 10851 U^{0,97}$	$C = 10851 U^{0,97}$
A40	Aushub für Leitungsräben, Tiefe 1,5 - 3,0 m	m <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0
A50	Aushub für Tanks, Tiefe 1,5 - 3,0 m	m <sup>3</sup>	$C = 4,10 U^{0,87}$	$C = 8,37 U^{0,86}$	$C = 5,64 U^{0,81}$	$C = 1,92 U^{0,99}$	$C = 4670 U^{0,97}$	$C = 4350 U^{0,99}$
A60	Bettung	m <sup>3</sup>	$C = 2,96 U^{0,52}$	$C = 5,93 U^{0,52}$	$C = 1,22 U^{0,61}$	$C = 0,29 U^{0,92}$	0	
A70	Bettung aus Kies und Kiessand	m <sup>3</sup>	$C = 0,07 U^{0,96}$	$C = 0,14 U^{0,96}$	$C = 0,26 U^{0,86}$	$C = 0,09 U^{0,93}$	0	0
A80	Filterstoffe (Stein 1/2", 1" und 1 1/2")	m <sup>3</sup>	0	0	$C = 0,82 U^{0,95}$	0	0	$C = 4160 U^{0,99}$
A90	Planumsschutz mit Kunststoff- Folie	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	$C = 12220 U^{0,99}$	$C = 12220 U^{0,99}$
A100	Beton (3.000 psi) für Tanks	m <sup>3</sup>	$C = 2,13 U^{0,64}$	$C = 4,13 U^{0,73}$	$C = 1,79 U^{0,49}$	$C = 0,36 U^{0,82}$	0	0
A110	Unterbeton	m <sup>3</sup>	$C = 0,20 U^{0,93}$	$C = 0,40 U^{0,93}$	$C = 0,34 U^{0,86}$	$C = 0,14 U^{0,99}$	0	0
A120	Stahl fy = 37.000	kg	$C = 1,79 U^{0,75}$	$C = 3,85 U^{0,87}$	0	0	0	0
A130	Stahl fy = 60.000	kg	$C = 178,72 U^{0,75}$	$C = 357,44 U^{0,75}$	$C = 140,40 U^{0,70}$	$C = 34,81 U^{0,91}$	0	0
A140	PVC- Rohre 4"	m	0	0	0	0	$C = 199,27 U^{0,87}$	$C = 199,27 U^{0,87}$
A150	PVC- Rohre 4" (Gelocht)	ml	0	0	0	0	$C = 1524,17 U^{0,90}$	$C = 1524,17 U^{0,90}$
A160	Filterstoffe (Bambus)	Stck	0	0	0	0	0	0
A170	Scheiben für Tauchkörper	Stck	0	0	0	$C = 16,15 U^{0,98}$	0	0
A180	Bepflanzungen	m <sup>2</sup>	0	0	0	0	$C = 9528 U^{0,97}$	$C = 9150 U^{0,97}$

**Tabelle 5.3 Kostenfunktionen zur Investitionskostenberechnung von elektrischen und maschinellen Installationen und Geräten**

Code des Systems	Systeme	Bauleitungsschlüssel		
		Elektrische Installationen	Pumpen	Belüfter
1	Rechen - Vorklärbecken - Rieselfelder	0	0	0
2	Rechen - Mehrkammergrube - Rieselfelder	0	0	0
3	Rechen - Vorklärbecken - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	0	0	0
4	Rechen - Mehrkammergrube - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	0	0	0
5	Rechen - Unbelüfteter Teich	0	0	0
6	Rechen - Belüfteter Teich	$P = 52,83 Q^{-0,30}$	0	$C = 8876 HP^{0,72}$
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobteich - Unbelüfteter Teich)	0	0	0
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)	$P = 15,30 Q^{-0,43}$	$C=473,26 Q^{0,54}$	0
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$P = 52,83 Q^{-0,30}$	$C=473,26 Q^{0,54}$	$C = 8876 HP^{0,72}$
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$P = 52,83 Q^{-0,30}$	$C=473,26 Q^{0,54}$	$C = 8876 HP^{0,72}$
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken	$P = 52,83 Q^{-0,30}$	$C=473,26 Q^{0,54}$	$C = 8876 HP^{0,72}$
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)	$P = 52,83 Q^{-0,30}$	$C=473,26 Q^{0,54}$	$C = 8876(2*HP)^{0,72}$
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken	$P = 34,23 Q^{-0,43}$	$C=473,26 Q^{0,54}$	0
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken	$P = 34,23 Q^{-0,43}$	$C=473,26 Q^{0,54}$	0
15	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	0	0	0
16	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	0	0	0
17	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage (Oberflä.)	0	0	0
18	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage	0	0	0
19	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage	0	0	0
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage	0	0	0
21	Rechen - Reaktor UASB - Nachklärbecken	0	0	0

Q: l/s, P: % der Baukosten, HP: "Horse Power", C: Kosten (US\$)

**Tabelle 5.4 Kostenfunktionen zur Berechnung von Mengen an Rohrleitungen und Abwasserleitungen**

Code des Systems	Systeme	Bauleitungsschlüssel		
		Sammelschacht (Stck)	Beton- Leitungsrohre 6" (m)	PVC- Leitungsrohre 6" (m)
1	Rechen - Vorklärbecken - Rieselfelder	$C = 0,98 a^{0,30}$	$C = 302 a^{0,48}$	$C = 9,36 a^{0,10}$
3	Rechen - Mehrkammergrube - Rieselfelder	$C = 0,98 a^{0,30}$	$C = 2,73 a^{0,48}$	$C = 12,43 a^{0,08}$
2	Rechen - Vorklärbecken - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	$C = 1,20 a^{0,28}$	$C = 0,44 a^{0,72}$	$C = 10,99 a^{0,10}$
4	Rechen - Mehrkammergrube - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	$C = 2,47 a^{0,19}$	$C = 0,51 a^{0,70}$	$C = 14,91 a^{0,07}$
5	Rechen - Unbelüfteter Teich	$C = 6,82 a^{0,05}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 15,85 a^{0,03}$
6	Rechen - Belüfteter Teich	$C = 6,82 a^{0,05}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 15,85 a^{0,03}$
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobteich - Unbelüfteter Teich)	$C = 10,69 a^{0,07}$	$C = 6,84 a^{0,47}$	$C = 25,76 a^{0,04}$
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)	$C = 12,26 a^{0,05}$	$C = 10,49 a^{0,33}$	$C = 25,76 a^{0,04}$
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$C = 13,04 V^{0,04}$	$C = 31,63 V^{0,16}$	$C = 24,44 V^{0,14}$
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$C = 10,10 V^{0,04}$	$C = 14,56 V^{0,23}$	$C = 19,65 V^{0,16}$
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken	$C = 10,10 V^{0,04}$	$C = 14,56 V^{0,23}$	$C = 19,65 V^{0,16}$
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)	$C = 11,56 V^{0,04}$	$C = 7,14 V^{0,29}$	$C = 14,19 V^{0,26}$
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken	$C = 15,59 V^{0,02}$	$C = 18,91 V^{0,25}$	$C = 26,08 V^{0,23}$
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken	$C = 13,53 V^{0,02}$	$C = 10,55 V^{0,42}$	$C = 23,44 V^{0,28}$
15	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	$C = 12,68 a^{0,07}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 25,82 a^{0,03}$
16	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	$C = 12,68 a^{0,07}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 25,82 a^{0,03}$
19	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage (Oberflä.)	$C = 12,68 a^{0,07}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 25,82 a^{0,03}$
17	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage	$C = 12,68 a^{0,07}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 25,82 a^{0,03}$
18	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage	$C = 12,68 a^{0,07}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 25,82 a^{0,03}$
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage	$C = 12,68 a^{0,07}$	$C = 3,29 a^{0,46}$	$C = 25,82 a^{0,03}$
21	Rechen - Reaktor UASB - Nachklärbecken	$C = 11,21 V^{0,05}$	$C = 8,44 V^{0,30}$	$C = 27,75 V^{0,11}$

a/V: Fläche oder Volumen des wichtigen Verfahrens des System, C: Menge des BLS

**Tabelle 5.5 Kostenfunktionen zur Berechnung der Menge an Außenbauarbeiten**

Code des Systems	Systeme	Bauleitungsschlüssel		
		Zaun (m)	Wassergraben (m)	Gehweg (m)
1	Rechen - Vorklärbecken - Rieselfelder	$C = 5,96 a^{0,47}$	$C = 4,60 a^{0,49}$	$C = 9,19 a^{0,50}$
3	Rechen - Mehrkammergrube - Rieselfelder	$C = 6,41 a^{0,47}$	$C = 4,57 a^{0,50}$	$C = 9,13 a^{0,50}$
2	Rechen - Vorklärbecken - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	$C = 1,30 a^{0,69}$	$C = 0,63 a^{0,75}$	$C = 1,27 a^{0,75}$
4	Rechen - Mehrkammergrube - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	$C = 1,27 a^{0,69}$	$C = 0,79 a^{0,73}$	$C = 1,59 a^{0,73}$
5	Rechen - Unbelüfteter Teich	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,24 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
6	Rechen - Belüfteter Teich	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,24 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobteich - Unbelüfteter Teich)	$C = 8,92 a^{0,46}$	$C = 7,56 a^{0,48}$	$C = 14,72 a^{0,48}$
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)	$C = 10,23 a^{0,39}$	$C = 7,56 a^{0,48}$	$C = 14,72 a^{0,48}$
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$C = 36,02 V^{0,31}$	$C = 8,56 V^{0,40}$	$C = 14,63 V^{0,41}$
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$C = 29,87 V^{0,33}$	$C = 6,13 V^{0,43}$	$C = 12,25 V^{0,43}$
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken	$C = 29,87 V^{0,33}$	$C = 6,13 V^{0,43}$	$C = 12,25 V^{0,43}$
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)	$C = 39,89 V^{0,23}$	$C = 5,12 V^{0,46}$	$C = 10,25 V^{0,46}$
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken	$C = 27,40 V^{0,39}$	$C = 13,76 V^{0,41}$	$C = 27,52 V^{0,41}$
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken	$C = 13,47 V^{0,47}$	$C = 1,25 V^{0,78}$	$C = 4,09 V^{0,78}$
15	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,23 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
16	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,23 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
19	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage (Oberflä.)	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,23 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
17	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,23 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
18	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,23 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage	$C = 7,25 a^{0,45}$	$C = 5,23 a^{0,48}$	$C = 10,47 a^{0,48}$
21	Rechen - Reaktor UASB - Nachklärbecken	$C = 21,14 V^{0,48}$	$C = 9,09 V^{0,38}$	$C = 18,18 V^{0,38}$

a/V: Fläche oder Volumen des wichtigen Verfahrens des System, C: Menge des BLS

**Tabelle 5.6 Kostenfunktionen zur Berechnung von gesamter benötigter Fläche**

Code des Systems	Systeme	Fläche (m <sup>2</sup> )
1	Rechen - Vorklärbecken - Rieselfelder	$A = 12003 a^{0,98}$
3	Rechen - Mehrkammergrube - Rieselfelder	$A = 12024 a^{0,98}$
2	Rechen - Vorklärbecken - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	$A = 12014 a^{0,98}$
4	Rechen - Mehrkammergrube - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	$A = 12111 a^{0,98}$
5	Rechen - Unbelüfteter Teich	$A = 12000 a^{0,99}$
6	Rechen - Belüfteter Teich	$A = 12003 a^{0,99}$
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobteich - Unbelüfteter Teich)	$A = 13200 a^{0,99}$
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)	$A = 15230 a^{0,99}$
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$A = 6,64 V^{0,98}$
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken	$A = 6,48 V^{0,95}$
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken	$A = 2,22 V^{0,97}$
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)	$A = 2,16 V^{0,99}$
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken	$A = 6,16 V^{0,99}$
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken	$A = 0,92 N^{0,99}$
15	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	$A = 12000 a^{0,99}$
16	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	$A = 11500 a^{0,99}$
19	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage (Oberflä.)	$A = 11500 a^{0,99}$
17	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage	$A = 12000 a^{0,99}$
18	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage	$A = 11500 a^{0,99}$
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage	$A = 11500 a^{0,99}$
21	Rechen - Reaktor UASB - Nachklärbecken	$A = 2,05 V^{0,98}$

A: Bedarfsfläche für das System, a/V: Fläche oder Volumen des wichtigen Verfahrens, N: Zahl der Scheiben

Es gibt noch weitere Kosten bei der Anfangsinvestition, die die Strukturen und/oder gemeinsame Geräte der Behandlungssysteme mit einbeziehen, und die vom Volumenstrom und von der Behandlungskapazität abhängen, z. B. Abwasserpumpwerke, Rechen und Sandfang, Strukturen zur Überwachung (Labor), Wartung, Messgeräte und Kanalausmündung. Die Kosten dieser Strukturen einschließlich der Geräten kann man durch die von der EPA entwickelten folgenden Modelle berechnen:

**Tabelle 5.7 Strukturkosten und/oder Gerätekosten der unterschiedlichen Systeme**

	<b>Kosten (US \$) (2001)</b>
Abwasserpumpwerk	$27834 Q^{0,63}$
Rechen und Sandfang	$8356 Q^{0,76}$
Labor	$49542 Q^{0,58}$
Wartung Messgeräte	$73779 Q^{0,17}$
Kanalausmündung	$9374 Q^{0,78}$

Q (l/s)

Die Kosten der Behandlungseinheiten und der Schlammbehandlung müssen für jede Technologie analysiert werden, da diese nicht lediglich von der jeweiligen Schlammproduktion, sondern auch von dessen Beschaffenheit, insbesondere dessen Schlammstabilität abhängen. Da dies eine ergänzende Analyse zu dieser Arbeit ist, werden die Schätzungen von SEYFRIED und BECKEREIT (1989) angenommen. Gemäß dieser Schätzungen betragen die Kosten der Schlammbehandlung einer Kläranlage ca. 50% der Gesamtkosten bei technischer Behandlung und ca. 20% bei naturnaher Behandlung.

#### **5.2.2.4 Analyse von BSL**

Im Anhang B werden die BSL- Kosten, die in Tabelle 5.1 gezeigt werden, aufgestellt. Falls der Benutzer des Modells über Informationen zu den Kosten pro Einheit verfügt, braucht man nicht die gezeigte Vorlage zu benutzen, sondern kann die Berechnung gemäß der lokalen Situation durchführen.

### **5.2.3 Berechnung der Investitionskosten**

Die Investitionskosten werden mit folgender Gleichung berechnet:

$$CT_{li} = CD + CI$$

CT<sub>li</sub>: Gesamtkosten der Investition

CD: Baukosten

CI: Kosten der Vorarbeiten

### 5.2.3.1 Baukosten (CD)

Für die Berechnung von Baukosten muss die Dimensionierung der Behandlungssysteme abgeschlossen sein (Kapitel 2: Datenbank). Die Baukosten werden gemäß dem Modell für die Menge an Bauarbeiten folgendermaßen berechnet:

$$CD = OC + CIEE + CTD + COE + CA + OT + CML$$

- **Gesamtkosten der Bauarbeiten (OC):** Dieser Wert bezieht sich auf die Summe der nötigen Bauarbeiten bei jeder Behandlungstechnologie.

Um die BSL berechnen zu können, muss die Menge an Bauarbeiten, die durch die Modelle für die Menge an Bauarbeiten berechnet wurden (Tabelle 5.2), mit der BSL der Aktivität (BSL Anhang B) multipliziert werden, d. h.:

$$OC = \sum (Coi * Ci)$$

Coi: Menge an Bauarbeiten des BLS i

Ci: Kosten des BLS i

- **Kosten der elektrischen und maschinellen Installationen und Geräte (CIEE):** Diese Kosten beziehen sich auf die Summe der Kosten der elektrischen Installationen, Laborgeräte, Pumpen und Zubehör und der Belüfter. Diese Kosten werden folgendermaßen berechnet:

$$CIEE = CIE + CEL + CB + CA$$

Die Kosten der Laborgeräte (CEL), die Kosten für Pumpen und Zubehör (CEL) und die Kosten der Belüfter (CA) werden direkt aus der Tabelle 5.3 berechnet.

Die Kosten der elektrischen Installationen (CIE) werden als ein Prozentsatz der Gesamtkosten CD berechnet. Der Prozentsatz wird gemäß der in Tabelle 5.3 aufgestellten Modelle berechnet.

- **Kosten der Rohrleitungen und der Abwasserleitungen (CTD):** Diese

Kosten beziehen sich auf die Kosten der BLS: Sammelschächte, Lieferung und Installation von Rohrleitungen aus Beton und Lieferung und Installation von Rohrleitungen aus PVC .

In der Tabelle 5.4 werden die Modelle zur Berechnung von Mengen an Bauarbeiten gezeigt. Die Kosten werden durch Multiplikation dieser Mengen mit den entsprechenden Kosten der BLS kalkuliert.

- **Kosten der Außenbauarbeiten (COE):** Diese Kosten beziehen sich auf die Kosten der BLS: Zaun, Wassergraben zur Ableitung von Regen und Gehweg.

In der Tabelle 5.5 werden die Modelle zur Berechnung der Mengen an Außenbauarbeiten gezeigt. Die Kosten werden durch Multiplikation dieser Mengen mit den entsprechenden Kosten der BLS kalkuliert.

- **Kosten des Kläranlagengrundstücks (CAP):** Diese Kosten werden gemäß der Modelle, die in Tabelle 5.6 gezeigt wurden, berechnet.
- **Andere Strukturen und Geräte (OT):** Diese Kosten beziehen sich auf Strukturen, die die verschiedenen Systeme gemeinsam haben. Diese Kosten werden gemäß der Modelle, die in Tabelle 5.7 gezeigt wurden, berechnet.
- **Schlammbehandlung:** Diese Kosten betragen 50% der Gesamtbaukosten bei konventionellen Systemen (Technische Behandlung), oder 20% der Gesamtbaukosten bei naturnahen Systemen (Landbehandlung, Teiche und Pflanzenkläranlage).

### 5.2.3.2 Kosten der Vorarbeiten (CI)

Die Kosten der Vorarbeiten werden als Prozentsatz der Baukosten berechnet. Dies wird im Folgenden gezeigt:

$$CI = CP + IN + AIU$$

CP: Vorinvestitionskosten = 7% CD

IN: Beaufsichtigungskosten = 10% CD

AIU: Verwaltung, Unwägbarkeiten und Gewinn = 20% CD

## 5.3 Betriebs- und Wartungskosten

Betriebs- und Wartungskosten entstehen, um einen guten Betrieb der Prozesse und Abwasserreinigungsverfahren zu sichern, und um zu gewährleisten, dass die Anlage effizient betrieben und gewartet wird.

Die Faktoren, die die Betriebs- und Wartungskosten der Anlagen zur Abwasserbehandlung beeinflussen, hängen von der Komplexität der angewendeten Technologie, von der Größe der Kläranlage, und von der lokalen Fähigkeit der Gemeinde, diese komplexen Systeme zu betreiben, ab.

Bei Abwasserbehandlungssystemen hängen die Betriebs- und Wartungskosten hauptsächlich von den Erfordernissen der Technologien ab. Diese Erfordernisse beziehen sich auf:

- Elektrischen Strom
- Chemische Zusätze
- Wasserqualitätskontrolle
- Wartung und Reparatur von Geräten
- Personal für Betrieb und Wartung der Anlage
- Verwaltungskosten

Wie bei den Investitionskosten werden die Betriebs- und Wartungskosten für die unterschiedlichen Technologien geschätzt. Die Modelle wurden unter der Vermutung entwickelt, dass das Betriebspersonal keine Tätigkeiten zum Betrieb der Pumpstationen zur Wasserförderung übernimmt.

Das Personal der Kläranlage kann sich gemäß der Bedürfnisse des Systems wie folgt zusammensetzen.

- **Verwaltung**
  - Verwalter
  - Verwaltungshilfskraft

- **Betriebstätigkeiten**

Betreiber

Hilfskraft beim Betrieb

- **Wartungstätigkeiten**

Mechaniker

Elektriker

Wartungshilfskräfte

Aufseher

- **Labor**

Chemiker

Chemisch- Technischer Assistent

### **5.3.1 Elektrischer Strom**

Der elektrische Stromverbrauch einer Kläranlage besteht grundsätzlich aus zwei Komponenten: Einerseits wird Strom beim Betrieb von elektrischen Geräten innerhalb der Anlage verbraucht und andererseits wird Energie für die Außenbeleuchtung der Anlage benötigt.

Im Fall der elektrischen Geräte verbrauchen die Technologien, die eine Belüftung betreiben (belüfteter Teich und Belebungsverfahren), die meiste Energie. Bei Technologien, die lediglich Pumpen verwenden, z. B. beim Tropfkörper- bzw. Tauchkörperverfahren, wird weniger Energie als bei anderen Technologien verbraucht.

Der elektrische Stromverbrauch durch die Außenbeleuchtung wird von der Außenfläche der Anlage, die aufgrund der nächtlichen Aktivitäten zum Anlagenbetrieb bzw. zur Anlagenüberwachung beleuchtet werden muss, bestimmt. Das Modell wurde gemäß der Informationen der Trinkwasseraufbereitung (VARGAS & GALVIS 2000) entwickelt.

Die Modelle zur Berechnung des Energieverbrauchs der Pumpen und Belüfter wurden gemäß der folgenden Betrachtungen entwickelt:

- **Energieverbrauch der Pumpen**

$$E = (\gamma Q H) / (102 \eta)$$

$E$ : Energie (kW h)

$\gamma$ : Dichte von Wasser (1.000 kg/m<sup>3</sup>)

$Q$ : Volumenstrom der Anlage (m<sup>3</sup>/s)

$H$ : Förderhöhe (angenommenen Wert 15 m)

$\eta$ : Pumpeneffizienz (0,80)

- **Energieverbrauch der Belüfter**

Bei der Analyse werden die technischen Spezifikationen der Belüfter eingesetzt. Dazu muss der tägliche Sauerstoffbedarf jedes Systems ( $AOR$ ) bekannt sein (Anhang A). Mit diesem Wert wird der effektive Sauerstoffsbedarf ( $SOR$ ) gemäß der lokalen Bedingungen ( $SOR$ ) bezüglich Temperatur und Sättigungskonzentration von O<sub>2</sub> (Anhang A) berechnet.

Laut Herstellern von Belüftern verbrauchen diese Geräte zwischen 1,2 und 1,8 kW/kg O<sub>2</sub>. Es wird in dieser Arbeit 1,2 kW/kg O<sub>2</sub> angenommen. Daher wird das Modell für den Energieverbrauch von der folgenden Gleichung dargestellt.

$$E = (SOR / 1,2)$$

$E$ : Energie (kW)

$SOR$ : Effektiver Sauerstoffsbedarf des Systems (kg O<sub>2</sub>/h)

Tabelle 5.8 zeigt die Kostenfunktionen zur Berechnung des Energieverbrauchs von Pumpen und Belüftern der unterschiedlichen Systeme gemäß ihrer Bedürfnisse und gemäß des Energieverbrauchs zur Außenbeleuchtung.

**Tabelle 5.8 Kostenfunktionen Energieverbrauch von Pumpen und Belüftern**

Code des Systems	Systeme	Pumpen (kW h/Woche)	Belüfter (kW h/Woche)	Beleuchtung (kW h/Woche)
1	Rechen - Vorklärbecken - Rieselfelder	0	0	0
2	Rechen - Mehrkammergrube - Rieselfelder	0	0	0
3	Rechen - Vorklärbecken - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	0	0	0
4	Rechen - Mehrkammergrube - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	0	0	0
5	Rechen - Unbelüfteter Teich	0	0	0
6	Rechen - Belüfteter Teich	0	E = 29,50 SOR	E = 75 Q
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobteich - Unbelüfteter Teich)	0	0	0
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)	E = 30,87 Q	0	E = 75 Q
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken	E = 30,87 Q	E = 29,50 SOR	E = 47 Q
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken	E = 30,87 Q	E = 29,50 SOR	E = 47 Q
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken	E = 30,87 Q	E = 29,50 SOR	E = 47 Q
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)	0	E = 29,50 SOR	E = 47 Q
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken	E = 30,87 Q	0	E = 47 Q
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken	E = 30,87 Q	0	E = 47 Q
15	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	0	0	0
16	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	0	0	0
17	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage (Oberflä.)	0	0	0
18	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage	0	0	0
19	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage	0	0	0
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage	0	0	0
21	Rechen - Reaktor UASB - Nachklärbecken	0	0	0

E: Strom (kW h), Q: l/s, SOR: Sauerstoffbedarf (kg O<sub>2</sub> / Woche)

### 5.3.2 Chemische Zusätze

Die in einer Kläranlage angewendeten chemischen Zusätze hängen von der Art der Technologie, die eingesetzt wird, ab. Die ausgewählten und in der Datenbank mit berücksichtigten Technologien benutzen keine Chemikalien bei der Abwasserbehandlung, da diese Prozesse auf physikalischen und biologischen Verfahren beruhen.

### 5.3.3 Wasserqualitätskontrolle und Kontrolle der Behandlungsprozesse

#### 5.3.3.1 Wasserqualitätskontrolle

Laut der gültigen Gesetzesvorschriften, Regelung 1595 von 1984, muss jedes Abwasserbehandlungssystem zumindest ein Mal im Jahr bei der zuständigen Umweltbehörde eine komplette Charakterisierung des Abflusses einreichen, um die Effizienz der Behandlungsanlage zu verifizieren. Diese Überprüfung muss während eines Werktages erfolgen.

Diese Tätigkeit muss von den Systembetreibern in Zusammenarbeit mit den chemisch-technischen Assistenten der Kläranlage durchgeführt werden. Die dafür nötigen Zeiten werden in Tabelle 5.9 gezeigt.

**Tabelle 5.9 Kostenfunktionen zur Schätzung von Personal zur Wasserqualitätskontrolle und Kontrolle der Behandlungsprozesse**

Code des Systems	Systeme	Q < 4 l/s		Q > 4 l/s	
		Chemiker	Chemischer Technischer	Chemiker	Chemischer Technischer
1	Rechen - Vorklärbecken - Rieselfelder	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
2	Rechen - Mehrkammergrube - Rieselfelder	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
3	Rechen - Vorklärbecken - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
4	Rechen - Mehrkammergrube - Landbehandlung (Oberflächenabfluss)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
5	Rechen - Unbelüfteter Teich	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
6	Rechen - Belüfteter Teich	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobeteich - Unbelüfteter Teich)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
15	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
16	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
17	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage (Oberflä.)	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
18	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
19	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>
21	Rechen - Reaktor UASB - Nachklärbecken	0	TS=26,57 Q <sup>0,15</sup>	TS=8,86 Q <sup>0,15</sup>	TS=17,71 Q <sup>0,15</sup>

TS: Zeit (h/woche), Q: l/s

### 5.3.3.2 Kontrolle der Behandlungsprozesse

Bei jedem Abwasserbehandlungssystem muss eine Kontrolle der angewendeten Prozesse durchgeführt werden, um zu gewährleisten, dass die ausgewählte Technologie die Wasserverunreinigungen effizient und in der geplanten Menge entfernt. Die Kontrolle des Prozesses muss mit Hilfe von Parametern, deren Werte unverzüglich bestimmt werden können, durchgeführt werden, da eine schnelle Reaktion des Betreibers im Fall eines Notfalls möglich sein muss.

Diese Analysen müssen vom Laborpersonal der Kläranlage durchgeführt werden. Die dies bezüglichen Kosten werden gemäß der nötigen Zeit, die das Personal braucht, um die Analysen durchzuführen, berechnet. Die nötigen Zeiten werden in Tabelle 5.10 gemäß der von ATV (1998) und COE & EPA (1982) erstellten Informationen gezeigt.

### 5.3.4 Wartung von Geräten

Die Wartung besteht aus einer Gruppe von internen Tätigkeiten, die an der Anlage und den Geräten durchgeführt werden, um die Anlage in betriebsfähigem Zustand zu halten und um Reparaturen durchzuführen. Damit wird ein guter Betrieb des Systems gewährleistet.

Die Gesamtkosten der Wartung kann man in zwei Aspekte teilen: Kosten für das

Wartungspersonal und Kosten von Ersatzteilen. Die ersten Kosten werden gemäß dem Geräteinventar der Technologie, gemäß der Literaturrecherche und gemäß der Informationen aus technischen Broschüren berechnet. Die Ersatzteilkosten werden gemäß der in der Anlage vorhandenen Geräte (COE & EPA 1982) bestimmt.

Tabelle 5.10 zeigt die Erfordernisse an Personal bei Wartungstätigkeiten von Geräten und die Kostenfunktionen zur Kostenschätzung der in den jeweiligen Fällen nötigen Ersatzteile und Materialien.

### **5.3.5 Personal für Betrieb und Wartung des Systems**

Jedes Behandlungsverfahren benötigt für Betrieb und Wartung geeignetes Personal, das einen effizienten Betrieb der Anlage gewährleistet. Die Gesamtkosten an Personal für Betrieb und Wartung ergibt sich grundsätzlich aus der Zahl an nötigen Personen und aus ihren beruflichen Fähigkeiten.

Die Mindestzahl an Personen, um die Tätigkeiten Betrieb und Wartung durchzuführen, hängt von folgenden Faktoren ab:

- Komplexität der Behandlungstechnologie
- Größe der Anlage

Die Modelle, um das nötige Personal für Betrieb und Wartung der technologischen Alternativen zu bestimmen, wurden gemäß der Modelle von COE & EPA (1982) und ATV (1998a) entwickelt und werden in der Tabelle 5.10 gezeigt.

### **5.3.6 Verwaltungskosten**

Diese Kosten sind für einen guten Betrieb der Kläranlage miteinzubeziehen. Dazu müssen die Tätigkeiten des Personals, der Einkauf von Ersatzteilen, die Kundenberatung, die Annahme von Beschwerden, die Buchhaltung und die Einnahme der Tarife oder Gebühren effizient organisiert werden. Verwaltungskosten bestehen aus: Kosten des Verwaltungspersonals und Allgemeinkosten.

**Tabelle 5.10 Kostenfunktionen zur Personalbestimmung und zur Feststellung von nötigen Materialien für Betrieb und Wartung**

Verfahren	Q < 4 l/s			Q > 4 l/s		
	Wartung (h/Woche)	Betrieb (h/Woche)	Ersatzteile für die Wartung	Wartung (h/Woche)	Betrieb (h/Woche)	Ersatzteile für die Wartung
Abwaspumpwerk, Rechen und Sandfang	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 3,21 Q <sup>0,34</sup>	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 3,21 Q <sup>0,34</sup>	MOM = 0,043
Vorklärbecken	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 1,54 a <sup>0,32</sup>	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 1,54 a <sup>0,32</sup>	MOM = 0,017
Sieb	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 2,8 Q	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 2,8 Q	MOM = 0,26
Mehrkammergrube	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 0,5	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 1	MOM = 0,008
Filterkörper	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 4,6 Q	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 4,6 Q	MOM = 0,017
Reaktor UASB	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 0,89 V <sup>0,32</sup>	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 0,89 V <sup>0,32</sup>	MOM = 0,017
Nachklärbecken	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 1,54 a <sup>0,32</sup>	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 1,54 a <sup>0,32</sup>	MOM = 0,017
Rieselfelder	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 6,66 ha <sup>0,42</sup>	MOM = 0,24 ha <sup>-0,11</sup>	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 6,66 Hc <sup>0,42</sup>	MOM = 0,24 ha <sup>-0,11</sup>
Landbehandlung (Oberflächenabfluß)	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 3,10 ha <sup>0,50</sup>	MOM = 0,40 ha <sup>-0,14</sup>	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 3,10 Hc <sup>0,50</sup>	MOM = 0,40 ha <sup>-0,14</sup>
Anerober Teich	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 2,8	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 1,82 Q <sup>0,29</sup>	MOM = 0,017
Unbelüfteter Teich	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 2,8	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 1,82 Q <sup>0,29</sup>	MOM = 0,017
Belüfteter Teich	HM <sub>4</sub> = 2,97 ha <sup>0,29</sup>	HM <sub>2</sub> = 15,39 ha <sup>0,26</sup>	MOME = 0,08 HP <sup>-0,18</sup>	HM <sub>3</sub> = 2,97 ha <sup>0,29</sup>	HM <sub>1</sub> = 15,39 ha <sup>0,26</sup>	MOME = 0,08 HP <sup>-0,18</sup>
Belebungsbecken	HM <sub>4</sub> = 1,86 HP <sup>0,40</sup>	HM <sub>2</sub> = 4,25 HP <sup>0,37</sup>	MOME = 0,07-0,01log(HP)	HM <sub>3</sub> = 1,86 HP <sup>0,40</sup>	HM <sub>1</sub> = 4,25 HP <sup>0,37</sup>	MOME = 0,07-0,01log(HP)
Belebungsbecken- SBR	HM <sub>4</sub> = 1,86 HP <sup>0,40</sup>	HM <sub>2</sub> = 4,25 HP <sup>0,37</sup>	MOME = 0,07-0,01log(HP)	HM <sub>3</sub> = 1,86 HP <sup>0,40</sup>	HM <sub>1</sub> = 4,25 HP <sup>0,37</sup>	MOME = 0,07-0,01log(HP)
Tropfkörper	HM <sub>4</sub> = 0,78 Q <sup>0,24</sup>	HM <sub>2</sub> = 0,71 Q <sup>0,30</sup>	MOME = 0	HM <sub>3</sub> = 0,78 Q <sup>0,24</sup>	HM <sub>1</sub> = 0,71 Q <sup>0,30</sup>	MOME = 0,017
Tauchkörper	HM <sub>4</sub> = 0,79Np-0,01Np	HM <sub>2</sub> = 0,34 Np-0,007Np	MOME = 0	HM <sub>3</sub> = 0,79Np-0,01Np	HM <sub>1</sub> = 0,34 Np-0,007Np	MOME = 0,035
Oberflächenabflusspflanzenanlage	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 3,10 ha <sup>0,50</sup>	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 3,10 ha <sup>0,50</sup>	MOM = 0,40 ha <sup>-0,14</sup>
Pflanzenbett	HM <sub>4</sub> = 0	HM <sub>2</sub> = 3,10 ha <sup>0,50</sup>	MOM = 0	HM <sub>3</sub> = 0	HM <sub>1</sub> = 3,10 ha <sup>0,50</sup>	MOM = 0,24 ha <sup>-0,11</sup>

HM<sub>1</sub>: Betreiber, HM<sub>2</sub>: Hilfskraft beim Betrieb, HM<sub>3</sub>: Verwalter, HM<sub>4</sub>: Verwaltungshilfskraft

MOM: Zusätze und Materialien für die Wartung (% Baukosten)

MOME: Zusätze und Materialien für die Wartung (% Kosten der Geräte)

a: Fläche (m<sup>2</sup>) oder (ha), V: Volumen (m<sup>3</sup>)

### 5.3.6.1 Verwaltungspersonal

Bei Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von unter 2.000 ( $Q < 4$  l/s) ist es notwendig, dass die Planungs-, Leitungs- und Verwaltungsaktivitäten gemeinsam von einem Verwaltungsrat und einem Verwalter durchgeführt werden, der außer der Beaufsichtigung und Kontrolle der Tätigkeiten bezüglich Wartung und Betrieb des Systems auch für Tätigkeiten in kommerziellen, finanziellen und Verwaltungsgebieten zuständig ist. Diese Arbeiten werden von einer Verwaltungshilfskraft durchgeführt. Die Arbeitsstunden, die die Verwaltungshilfskraft bei diesen Tätigkeiten benötigt, werden mit folgendem Modell CAPDET (COE & EPA1998) bestimmt:

$$HM_{aa} = 6,29 Q^{0,78}$$

Dabei steht  $HM_{aa}$  für die Arbeitszeit in Stunden pro Woche, die die Verwaltungskraft in diesen Tätigkeiten arbeiten sollte.

$Q$ : Volumenstrom der Anlage (l/s)

Wenn die Gemeinde eine Einwohnerzahl von über 2.000 aufweist, muss man eine Person mit höherer beruflicher Qualifizierung zum Verwalter benennen ( $HM_a$ ). Der Verwalter ist für die kommerziellen, finanziellen und Verwaltungsgebiete verantwortlich. Die nötige Arbeitszeit dieser Person wird gemäß desselben Modells berechnet. Wenn die Arbeitszeit über 40 Stunden pro Woche beträgt, bekommt der Verwalter eine ganze Stelle, und für die übrige Zeit wird eine Verwaltungshilfskraft eingestellt.

### 5.3.6.2 Allgemeinkosten

Die Allgemeinkosten beziehen sich auf Bürobedarf, Telefon und nötige Arbeitsausstattung für das Betriebspersonal. Diese Kosten betragen ca. 20% der Gesamtkosten des Verwaltungspersonals (FINDETER 1998).

### 5.3.7 Berechnung der Betriebs- und Wartungskosten

Die wöchentlichen Betriebs- und Wartungskosten werden folgendermaßen berechnet:

$$COT_{O\&M} = CT_E + CT_{CCP} + CT_{PO} + CT_{PM} + CT_{IM} + CT_A$$

$COT_{O\&M}$ : Gesamtbetriebs- und Wartungskosten pro Woche (\$)

- $CT_E$ : Gesamtkosten an elektrischem Strom (\$)
- $CT_{CCP}$ : Gesamtkosten der Wasserqualitätskontrolle und Kontrolle der Behandlungsprozesse (\$)
- $CT_{PO}$ : Gesamtkosten des Betriebspersonals (\$)
- $CT_{PM}$ : Gesamtkosten des Wartungspersonals (\$)
- $CT_{IM}$ : Gesamtkosten an Zusätzen und Materialien für die Wartung (\$)
- $CT_A$ : Gesamtverwaltungskosten (\$)

### 5.3.7.1 Kosten an elektrischem Strom ( $CT_E$ )

Die Kosten an elektrischem Strom einer Technologie kann mit Hilfe der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$CT_E = Cu + \sum(E1 + E2)$$

- $Cu$ : Kosten der kWh in der Gemeinde (\$)
- $E1$ : Energieverbrauch der Geräte (Tabelle 5.7) (kWh/Woche)
- $E2$ : Energieverbrauch der Beleuchtung (Tabelle 5.7) (kWh/Woche)

### 5.3.7.2 Gesamtkosten der Wasserqualitätskontrolle und der Kontrolle der Behandlungsprozesse ( $CT_{CCP}$ )

Diese Kosten unterscheiden sich zwischen Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von unter 2.000 ( $Q < 4$  l/s) und Gemeinden mit Einwohnerzahl von über 2.000 ( $Q > 4$  l/s).

- **Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von unter 2.000**

$$CT_{CCP} = TS_{TE} \times C_{TE}$$

- $TS_{TE}$ : Wöchentlicher Zeitraum, den der chemisch- technische Assistent im Labor benötigt (Tabelle 5.9) (h/Woche).
- $C_{TE}$ : Kosten der Arbeitsstunde des Technikers (\$/h)

- **Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von über 2.000**

$$CT_{CCP} = TS_{TE} \times C_{TE} + T_q \times C_q$$

$T_q$ : Wöchentlicher Zeitraum, den der Chemiker in Labor benötigt (Tabelle 5.9) (h/Woche)

$C_q$ : Kosten der Arbeitsstunde des Chemikers (\$/h)

### 5.3.7.3 Gesamtkosten des Betriebs- ( $CT_{PO}$ ) und Wartungspersonals ( $CT_{PM}$ )

Die Kosten des Betriebs- und Wartungspersonals werden gemäß der folgenden Gleichung kalkuliert.

- **Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von unter 2.000**

$$CT_{PO} = CHM_2 \times \sum (HM_2)_i$$

$CHM_2$ : Kosten der wöchentlichen Arbeitsstunde der Hilfskraft beim Betrieb (\$/h)

$HM_2$ : Wöchentlicher Zeitraum, den die Hilfskraft beim Betrieb der Behandlungseinheit  $i$  benötigt (Tabelle 5.10) (h/Woche)

$$CT_{PM} = CHM_4 \times \sum (HM_4)_i$$

$CHM_4$ : Kosten der wöchentlichen Arbeitsstunde des Mechanikers oder des Elektrikers (\$/h)

$HM_4$ : Wöchentlicher Zeitraum, den die Hilfskraft bei der Wartung der Behandlungseinheit  $i$  benötigt (Tabelle 5.10) (h/Woche)

- **Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von über 2.000**

$$CT_{PO} = CHM_1 \times \sum (HM_1)_i$$

$CHM_1$ : Kosten der wöchentlichen Arbeitsstunde des Anlagenbetreibers (\$/h)

$HM_1$ : Wöchentlicher Zeitraum, den der Anlagenbetreiber beim Betrieb der Behandlungseinheit  $i$  benötigt (Tabelle 5.10) (h/Woche)

$$CT_{PM} = CHM_3 \times \sum (HM_3)_i$$

$CHM_3$ : Kosten der wöchentlichen Arbeitsstunde des Mechanikers oder des Elektrikers (\$/h)

$HM_3$ : Wöchentlicher Zeitraum, den der Mechaniker oder Elektriker bei der Wartung der Behandlungseinheit  $i$  benötigt (Tabelle 5.10) (h/Woche).

#### 5.3.7.4 Gesamtkosten an Zusätzen und Materialien bei der Wartung ( $CT_{IM}$ )

Diese Kosten können gemäß der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$CT_{IM} = \sum(MOM_i * OC_i) \text{ oder } CT_{IM} = \sum(MOME_i * CB_i + MOME_i * CA_i)$$

$MOM_i$ : Prozentzahl der Baukosten der Behandlungseinheit  $i$  (Tabelle 5.10)(%)

$MOME_i$ : Prozentzahl der Gerätekosten der Behandlungseinheit  $i$  (Tabelle 5.10)(%)

$CB_i$ : Kosten der Pumpen der Behandlungseinheit  $i$  (\$)

$CA_i$ : Kosten der Belüfter der Behandlungseinheit  $i$  (\$)

#### 5.3.7.5 Gesamtverwaltungskosten ( $CT_A$ )

Die Verwaltungskosten werden gemäß der folgenden Gleichung berechnet:

$$CT_A = CTP_A \times CTI_A$$

$CTP_A$ : Gesamtkosten des Verwaltungspersonals (\$)

$CTI_A$ : Gesamtkosten an Materialien und Zusätzen (h)

Man kann diese Kosten zwischen Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von unter 2.000 ( $Q < 4$  l/s) und Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von über 2.000 ( $Q > 4$  l/s).

- **Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von unter 2.000**

$$CTP_A = CHM_{aa} \times HM_{aa}$$

$CHM_{aa}$ : Kosten der Arbeitsstunde der Verwaltungshilfskraft (\$/h)

$HM_{aa}$ : Wöchentlicher Zeitraum, den die Verwaltungshilfskraft benötigt (h/Woche).

$$CTI_A = CTP_A \times 0,20$$

- **Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von über 2.000**

$$CTP_A = CHM_a \times HM_a$$

$CHM_a$ : Kosten der Arbeitsstunde des Verwalters (\$/h)

$HM_a$ : Wöchentlicher Zeitraum, den der Verwalter benötigt (h/Woche)

$$CTI_A = CTP_A \times 0,20$$

## **6 Prüfung des Modells**

Um das Modell prüfen zu können, wurde es beim Projekt „Plan zur Sanierung des mittleren und oberen Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun“ angewendet. Diese Studie befasst sich mit der Auswahl der Technologie und der Auslegung der Systeme zur Entwässerung, Beförderung und Behandlung der Abwässer von ländlichen Gemeinden, die im Wassereinzugsgebiet angesiedelt sind. Dieses Projekt wurde von der Forschungsgruppe „Wasser und Sanierung“ der Fakultät für Umweltwissenschaften der Technischen Universität von Pereira durchgeführt. Das Projekt wurde von dem örtlichen Wasserver- und Entsorger von Pereira (Aguas & Aguas) und von der lokalen Umweltbehörde (des autonomen regionalen Verbands von Risaralda - CARDER) durchgeführt.

Die Aufgabe des Projektes war zunächst, die Entwässerungssysteme der Gemeinden, die über keine Entwässerung verfügen, zu dimensionieren. Danach wurden die Abwasserreinigungssysteme für die am Wassereinzugsgebiet angesiedelten Gemeinden, ausgewählt und ausgelegt. Dabei wurde die strategische Bedeutung dieser Region mit berücksichtigt.

In diesem Kapitel wird zuerst das Wassereinzugsgebiets mit seinen Charakteristiken vorgestellt. Danach wird das Modell zur Technologieauswahl für zwei Gemeinden, die am Wassereinzugsgebiet angesiedelt sind (La Florida und La Bananera), angewendet.

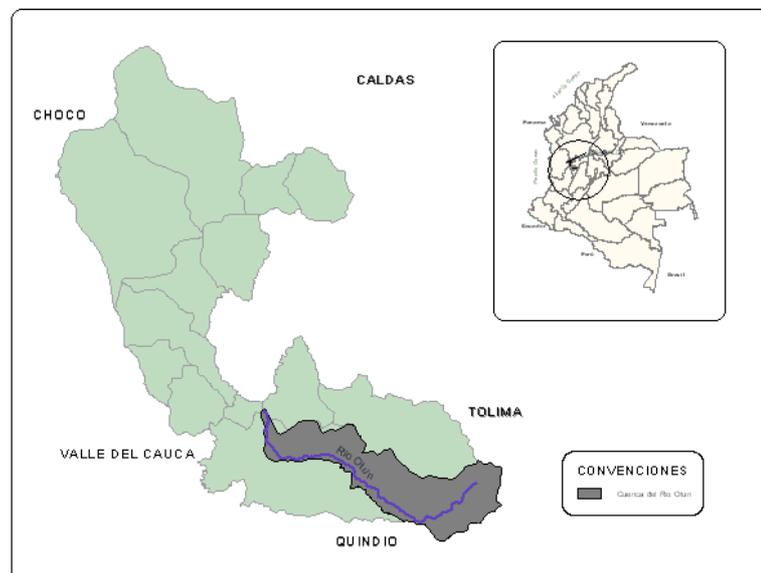
### **6.1 Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun**

#### **6.1.1 Generelle Eigenschaften des Wassereinzugsgebiets**

Der Fluss Otun entspringt in einer Höhe von 5.200 Metern über dem Meeresspiegel an der oberen westlichen Seite der zentralen Gebirgskette, die der Region der schneebedeckten Berge zuzuordnen ist. Der Fluss entsteht aus natürlichen Versickerungen und Bächen der Schneeschmelze von den Bergen Santa Isabel und Quindio und aus dem Hochgebirgsgebiet Santa Rosa. Nach 62 km mündet der Fluss in den Fluss Cauca, an einer Stelle, die als Station von Pereira bekannt ist und auf 920 Metern über dem Meeresspiegel liegt. Das Wassereinzugsgebiet erstreckt sich über eine Dränagenfläche von 469 km<sup>2</sup>. Die Zuflüsse des

Flusses dienen kleinen Siedlungen zur Trinkwasserversorgung und der Fluss selbst stellt die einzige Wasserquelle für die Stadt Pereira und für einen Teil der Stadt Dosquebradas dar. Der Fluss leistet somit die Trinkwasserversorgung von ca. 700.000 Einwohnern, außerdem wird das Wasser zur Stromerzeugung in 3 Wasserkraftanlagen (AGUAS & AGUAS 1998) benutzt.

In dieser Region von Risaralda, die aus den Gemeinden Pereira und Santa Rosa de Cabal besteht, finden sich besondere höchstempfindliche Ökosysteme, wie z. B. das Hochgebirgsgebiet und der Schneewald. Abbildung 6.1 zeigt die Lokalisierung des Wassereinzugsgebiets des Flusses Otun in Bezug auf die kolumbianische Republik und auf die Region von Risaralda.



**Bild 6.1 Region von Risaralda – Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun (CARDER 2000)**

Das Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun wird vom Staat seit Mitte des 20. Jahrhunderts geschützt. Gemäß des noch gültigen 4. Gesetzes von 1951 erklärte der Kongress der Republik das Gebiet zwischen der Region La Florida und der Region El Nevado de Santa Isabel zum öffentlichen Gebiet von sozialem Interesse. Seit der Erklärung dieser ersten gesetzlichen Verordnung wurde die Einwohnerzahl der in diesem Gebiet ansässigen Siedlungen und ihre produktiven Aktivitäten kontrolliert, um die Wasserressourcen des Wassereinzugsgebiets zu schützen. Fast vier Jahrzehnte danach, 1987, machte die autonome regionale Leitversammlung von Risaralda - CARDER - öffentlich das Abkommen Nr. 036 bekannt, mit dem generellen Zweck, Maßnahmen gegen die Beeinträchtigung der

Wasserqualität des Flusses Otun zu ergreifen. Dieses Abkommen stellt das wichtigste Instrument dar, womit die Maßnahmen zur Erhaltung der Wasserqualität für das gesamte Wassereinzugsgebiet und besonders für die flussaufwärts gelegene Wassergewinnung geregelt werden. Damit wird die Eignung des Wassers für den menschlichen Verbrauch gewährleistet. Zu den Normen, die dieses Abkommen beinhaltet, gehört das Verbot jeglicher neuer Bauvorhaben. Zuvor war die Bebauung schon auf maximal ein Haus pro Mindestgrundstücksfläche von 3 ha limitiert.

Um Umweltmanagement zu betreiben und Gebietsbewirtschaftung zu planen, hat CARDER das Wassereinzugsgebiet in drei Sektoren geteilt, nämlich in das obere, mittlere und untere Gebiet.

#### **6.1.1.1 Oberes Wassereinzugsgebiet**

Das obere Gebiet des Wassereinzugsgebiets befindet sich zwischen dem Flussursprung (5.200 Metern über dem Meeresspiegel) und dem Sektor Peña Bonita (2.600 Metern über dem Meeresspiegel) und erstreckt sich über eine Fläche von ca. 15.890 ha. Das gesamte obere Wassereinzugsgebiet befindet sich im Nationalpark „Parque Nacional de los Nevados“, der eine Fläche von 53.000 ha aufweist, die zu den Gebieten von Caldas, Quindio, Tolima und Risaralda gehören. Allein zu Risaralda gehören 20.130 ha. Innerhalb dieses Teils des Wassereinzugsgebiets befinden sich Zonen, die zum Einen aufgrund der großen Vielfalt an Flora und Fauna und zum Anderen besonders aufgrund ihres Beitrags zur Wasserversorgung der Region, die wichtigsten Umweltressourcen des Gebiets von Pereira darstellen. Dieser Sektor wird von der Nationalparkabteilung des Umweltministeriums verwaltet, da er innerhalb des Parks liegt. In der Zone des Hochgebirgsgebiets befinden sich zwei kleine Siedlungen, nämlich die Gemeinden El Bosque und Cortaderal. Diese Gemeinden leben von Kartoffelanbau und Viehzucht.

#### **6.1.1.2 Mittleres Wassereinzugsgebiet – Oberer Teil**

Dieses Gebiet befindet sich zwischen der Zone von La Florida und dem Sektor von Peña Bonita. Es weist eine Fläche von ca. 4.240 ha auf. In diesem Teil des Wassereinzugsgebiets befindet sich der Naturpark Ucumari, der durch das Abkommen 96 von 1984 des Gemeinderats von Pereira geschaffen wurde. Dieser Park wird von der CARDER verwaltet. In diesem Gebiet lebt eine große Vielfalt an Vögeln und wachsen ca. 500 Orchideenarten. In diesem Teil des Wassereinzugsgebiets gibt es keine Siedlungen.

### **6.1.1.3 Mittlers Wassereinzugsgebiet – Unterer Teil**

Dieses Gebiet befindet sich zwischen der Zone von San José und der Zone der La Florida (eingeschlossen). Dieses Gebiet weist eine Fläche von ca. 6.000 ha auf. In diesem Gebiet gibt es die größte soziale und wirtschaftliche Aktivität der Region sowie die größte Bevölkerungsdichte des gesamten Wassereinzugsgebiets. Die vorherrschenden Tätigkeiten dieser Zone stellen der Anbau von Lauch, *Allium fistulosum*, von aromatischen Pflanzen und der Betrieb von Geflügel- und Schweinefarmen dar.

La Florida und La Bananera sind Gemeinden, die im oberen und mittleren Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun angesiedelt sind. Diese Gemeinden sind von besonderem Interesse, da ihre Abwässer in den Fluss Otun oberhalb der Wassergewinnung der Stadt Pereira eingeleitet werden.

### **6.1.1.4 Unteres Wassereinzugsgebiet**

Das untere Wassereinzugsgebiet liegt zwischen der Zone von San José und der Mündung des Flusses Otun in den Fluss Cauca. In diesem Gebiet befinden sich die städtischen Zonen von Pereira und Dosquebradas.

## **6.1.2 Bevölkerung**

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhundert wurde die Bevölkerungsdichte der Region des oberen und des mittleren Wassereinzugsgebiets des Flusses Otun durch die aufgestellten Regelungen zum Schutz von Naturressourcen, insbesondere der Wasserressourcen kontrolliert. Das 4. Gesetz von 1951 und das Abkommen 036 von 1997 von CARDER nutzen die Kontrolle der Bevölkerungsdichte als primäre Maßnahme, um diesen Zweck zu erfüllen. Dabei wurde die Entwicklung der ansässigen Bevölkerung beschränkt und der Zuzug von neuen Siedlern wurde minimiert.

Mit Hilfe von jüngsten Informationen lässt sich schließen, dass die derzeitige Bevölkerung im untersuchten Gebiet 3493 Einwohner beträgt. Davon wohnen 2/3 in den Regionen, die die Gemeinde Pereira umgeben. Die Bevölkerungsverteilung der unterschiedlichen Regionen wird in der Tabelle 6.1 gezeigt.

**Tabelle 6.1 Bevölkerungsverteilung im mittleren und oberen Wassereinzugsgebiet des Flusses Otun (AGUAS & AGUAS 1998)**

Ortschaften		Einwohner	%
Municipio de Pereira	El Bosque	64	1.88
	La Suiza	112	3.30
	La Florida	921	27.16
	Plan El Manzano	733	21.61
	La Bananiera	395	11.65
<b>Gesamte Bevölkerung von Municipio de Pereira</b>		<b>2.225</b>	<b>65.61</b>
Municipio de Santa Rosa de Cabal	Cortaderal	27	0.79
	San Juan San Marcos	86	2.53
	Puente Albán	186	5.48
	Cedralito	378	11.14
	Volcanes	113	3.33
	Las Mangas	376	11.08
<b>Gesamte Bevölkerung von Municipio de Santa Rosa de Cabal</b>		<b>1.166</b>	<b>34.38</b>
<b>Gesamte Bevölkerung des Wassereinzugsgebietes des Flusses Otun</b>		<b>3.391</b>	<b>100</b>

Die Region, die La Florida umgibt, weist die höchste Einwohnerzahl (ca. 30%) auf, da in dieser Region die Dienstleistungen bezüglich Gesundheit, Bildung, Erholung und Organisation besser sind als in den anderen Regionen des Wassereinzugsgebiets. Durch ihre wirtschaftlichen Aktivitäten wie z. B. Handel, Zwiebelproduktion und Geflügelfarmen ist diese Region das soziale und ökonomische Zentrum des mittleren und oberen Wassereinzugsgebiets. Man kann diese Region in zwei Gebiete teilen: einem ländlichen Gebiet und einem städtischen Gebiet.

La Bananera, wo 12% der Bevölkerung wohnen, ist die Region, die am nächsten zum städtischen Sektor von Pereira liegt, und befindet sich am Rand der Autobahn zwischen Pereira und La Florida. Diese Situation begünstigt den Transport der Personen, die in der Stadt arbeiten aber in dieser Region wohnen. Der Abwasserabfluss dieser Region liegt am dichtesten an der Stelle der Wassergewinnung der Stadt Pereira.

## **6.1.3 Soziale Bedingungen**

### **6.1.3.1 Wohnung**

Die sozialen Dienstleistungen konzentrieren sich in der Region von La Florida, wo sich die größten Bildungszentren befinden und das einzige Gymnasium des mittleren und oberen Wassereinzugsgebiets des Flusses Otun liegt. Diese Eigenschaften fördern die soziale und ökonomische Dynamik und dadurch entwickelt sich diese Region zum Zentrum dieser Zone. Andererseits behindert die schwierige Flussüberschreitung den Zugang zur Stadt Santa Rosa de Cabal für Personen, die auf der rechten Seite des Flusses Otun leben.

La Florida besteht aus 167 Wohnungen, und alle Wohnungen verfügen über elektrischen Strom. In 13 dieser Wohnungen wird zur Nahrungszubereitung elektrischer Strom, in 103 Erdgas, in 29 Erdöl und in 29 Brennholz benutzt (SECRETARIA DE PLANEACION DE RISARALDA 1995).

### **6.1.3.2 Gesundheitswesen**

Die Bevölkerung dieser Region besucht das Gesundheitszentrum von La Florida. Dieses Zentrum wird ebenfalls von Einwohnern von San Juan und Puente Alban, die zu der Stadt Santa Rosa de Cabal gehören, benutzt. Dieses Zentrum ist dem Bedarf der Bevölkerung entsprechend ausgerüstet. Dort arbeitet ein Krankenpfleger, der Erste Hilfe leisten kann oder die Patienten zum Krankenhaus Kennedy, welches in Pereira liegt, schickt. In der untersuchten Region gibt es kein medizinisches Labor und keine Zahnklinik. Die Bevölkerung der Regionen Cedralito, Volcanes und Mangas besucht das Gesundheitszentrum des Bezirks San José (Stadt Pereira), das sich flussabwärts von der Wassergewinnungsstelle von Nuevo Libaré befindet. Diese Bevölkerung besucht auch das Krankenhaus Kennedy, das im städtischen Teil von Pereira liegt.

### **6.1.3.3 Bildung**

Die Anzahl der Bildungsanstalten in dieser Region beträgt 12. Vier davon befinden sich in der Region der Stadt Santa Rosa de Cabal (Schulen) und acht, nämlich 7 Schulen und ein Gymnasium, befinden sich in der Region, die die Stadt Pereira umgibt.

Aufgrund der Bedeutung der Region durch ihre besondere Umwelt und der Vielfältigkeit der natürlichen Ressourcen, und aufgrund ihrer bedeutenden Landwirtschaft beabsichtigt die

Hauptschule, sich an ökologischer Landwirtschaft zu orientieren. Man hat vor, das heutige traditionelle Studienprogramm des Gymnasiums durch ein neues ökologisches Programm zu ersetzen. Bei dem traditionellen Programm wird die Zuneigung der Jugend zum ländlichen Milieu und zu den landwirtschaftlichen Aktivitäten nicht gefördert. Dies ist einer der Gründe dafür, dass die Jugendlichen nach dem Schulabschluss in die Stadt einwandern wollen, um dort Arbeitsmöglichkeiten zu suchen, bzw. eine Hochschulausbildung zu erlangen.

#### **6.1.3.4 Straßeninfrastruktur**

Die Autobahn, die ab Pereira durch La Florida bis El Cedral führt, stellt die wichtigste Autobahn und den einzigen Kommunikationsweg zwischen dem Inneren des mittleren und oberen Wassereinzugsgebiet und den äußeren Regionen dar. Die Regionen El Bosque und Cortaderal sind lediglich über Fußwege erreichbar.

Zwischen Pereira und La Florida gehört die Autobahn den Städten, und ab dieser Stelle bis El Cedral gehört sie der Provinz. Anfang 1997 begann die Stadtverwaltung von Risaralda den Bau der Autobahn zwischen La Florida und La Bananera. Ab dieser Stelle bis zur Stadt Pereira muss noch gebaut werden.

Im Inneren des Gebiets von Santa Rosa de Cabal verfügen die Regionen lediglich über nicht asphaltierte Zugangsstrassen, die im Winter zerstört werden. Dadurch wird der Autoverkehr beeinträchtigt. Eine ähnliche Situation weist die Region El Manzano auf.

#### **6.1.3.5 Ökonomische Merkmale**

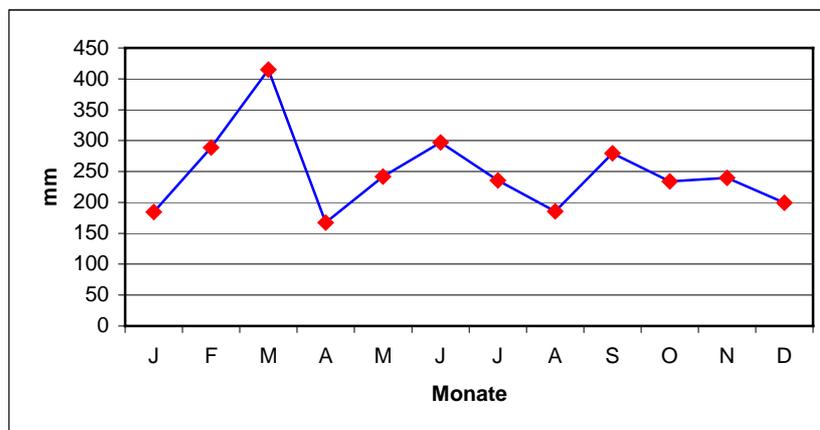
Die wichtigste Produktionszweig des mittleren Wassereinzugsgebiets und des oberen Teils des mittleren Wassereinzugsgebiets ist die Landwirtschaft. Die angebaute Fläche beträgt ca. 98,46 ha (57,9% der Fläche der Region). Zwiebel werden auf 55,29 ha angebaut, das entspricht 57,9% des bestellten Fläche und sind das wichtigste Produkt der Region. Kaffeeanbauten betragen 36,14 ha (36,7% der angebauten Fläche). Von geringerer Bedeutung sind (gemäß ihre Wichtigkeit genannt): Erbsen, Bananen, Bohnen, Mais, Zitrusfrüchte und Himbeeren.

Das durchschnittliche familiäre Einkommen im Wassereinzugsgebiet beträgt 1 bis 2 Mindestlöhne (120 US\$ pro Lohn). Im bewohnten Zentrum der Region finden sich unterschiedliche Geschäfte wie Gemischtwarenläden, Eisenwarenhandlungen, Läden mit elektrischen Waren, Gasthäuser, Bäckereien, Drogerien, usw.

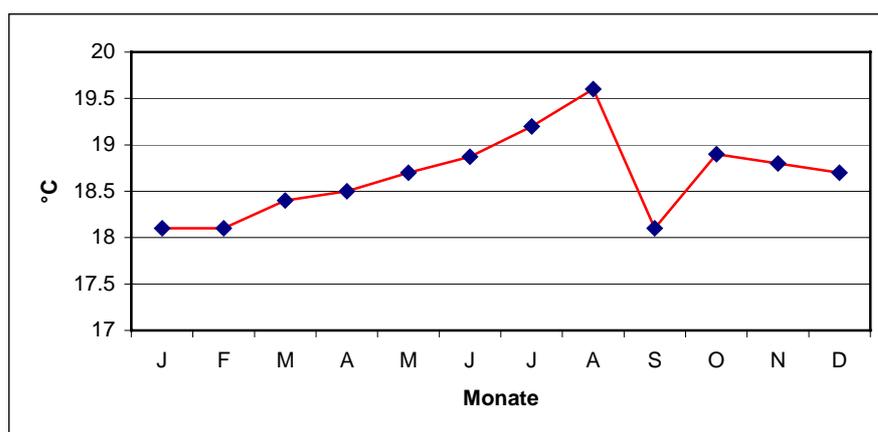
## 6.1.4 Wetterbedingungen

Gemäß hydrologischer Daten der Wetterstation, die sich in El Cedral (oberer Teil des mittleren Wassereinzugsgebiet) befindet, betragen der jährliche durchschnittliche Niederschlag ca. 2.969 mm und die mittlere Temperatur 18,6 °C. Die relative Luftfeuchtigkeit liegt zwischen 70 und 80%. Das jährliche Verhalten des Niederschlages und der Temperatur wird in den Bildern 6.2 und 6.3 gezeigt.

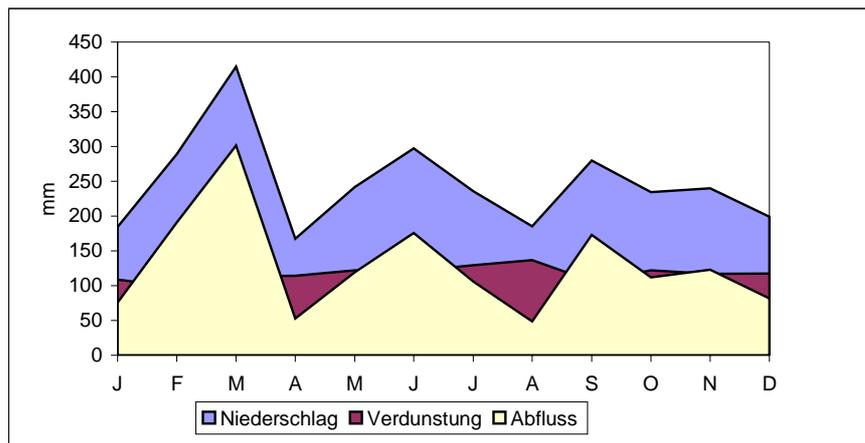
Die hydrologische Bilanz zeigt eine gute Wasserverfügbarkeit während des ganzen Jahres. Jedoch ist die Niederschlagsmenge zwischen April und August geringer. Es herrscht jedoch in keinem Monat Wassermangel (Bild 6.4).



**Bild 6.2** Durchschnittlicher Niederschlag im Monat – Mittleres Wassereinzugsgebiet La Florida (CENICAFE 2000)



**Bild 6.3** Durchschnittliche Temperatur im Monat – Mittleres Wassereinzugsgebiet La Florida (CENICAFE 2000)



**Bild 6.4 Hydrologische Bilanz – Mittleres Wassereinzugsgebiet La Florida (CENICAFE 2000)**

Der Fluss Otun stellt die wichtigste Wasserquelle der Zone dar, da dieser Fluss der Wasserversorger von Pereira ist. Der Fluss zeigt in El Cedral (2.130 Meter über dem Meeresspiegel) BSB<sub>5</sub> von unter 3 mg/l und CSB von unter 5 mg/l. Die Qualität vermindert sich jedoch hinter La Florida als Folge der kommunalen Abwassereinleitungen (BSB<sub>5</sub> von unter 6 mg/l und CSB von unter 8mg/l). Ab diesem Punkt nimmt die Wasserqualität drastisch ab und kurz bevor der Fluss in den städtischen Teil von Pereira einfließt, zeigt er BSB<sub>5</sub> von 24 mg/l und CSB von 46 mg/l. (SANABRIA 1999).

## 6.1.5 Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung

### 6.1.5.1 Region La Florida

- **Trinkwasserversorgung:** Die Trinkwasserversorgung für La Florida bezieht ihr Wasser von der Bergschlucht El Manzano. Dabei beträgt der Wasserfluss ca. 1.4 l/s und versorgt 155 Verbraucher mit einer Deckung von 100%.

Die Trinkwasseraufbereitung besteht aus einem Sandfang und einem Verweilbehälter, der einen guten Zustand aufweist. Vor der Wasserverteilung zur Bevölkerung wird eine Desinfektion durch Chlorung durchgeführt.

Aufgrund des hohen Wasserangebots und der guten Wasserqualität deckt das System die Nachfrage der Bevölkerung gemäß der Erfordernisse an Trinkwasser der Regelung 2105 von 1985.

Die Trinkwasserversorgung wird von einem Verwaltungsrat verwaltet, der einen

Wasserleitungsinstallateur mit Betrieb und Wartung des Systems beauftragt. Die Kosten der Wasserversorgung betragen 1.6 US\$/(30 m<sup>3</sup> Monat). Bei höheren Wasserverbräuchen erhöht sich der Tarif entsprechend dem zusätzlichen Verbrauch.

- **Abfallbeseitigung und Mülldeponie:** Die Abfallbeseitigung beträgt 100% im städtischen Teil der Region La Florida. Die Abfallsammlung erfolgt zwei Mal pro Woche und wird von dem Stadtreinigungsbetrieb von Pereira durchgeführt.

Die Abfälle werden in die Mülldeponie „Galicia“ transportiert und dort gemeinsam mit den Abfällen der Stadt Pereira gelagert.

- **Siedlungsentwässerung und Abwasserbehandlung:** Die vorhandene Kanalisation entwässert die östliche Zone des städtischen Teils der Region, die sich am rechten Rand der Bergschlucht El Manzano befindet. Damit sind 53% der Bevölkerung von La Florida an ein Mischsystem angeschlossen. Dieses System wurde 1991 von CARDER gebaut. Die Kanalisation besteht aus Rohrleitungen mit einem Durchmesser von 15,2 cm (6 Zoll) und 20,3 cm (8 Zoll).

Die Kanalisation transportiert das Abwasser in ein Behandlungssystem, das aus einem septischen Tank und einem anaeroben Filter besteht. Nach der Behandlung wird das gereinigte Abwasser in den Fluss Otun eingeleitet.

Die Häuser, die sich am linken Rand der Bergschlucht El Manzano befinden, verfügen nicht über ein Kanalisationssystem (47% der Bevölkerung). Diese Häuser leiten ihre Abwässer über Gräben, die die Bewohner selbst gebaut haben, oder über die Drainage am Strassenrand direkt in den Fluss Otun ein.

Um die Menge und Qualität des Abwassers, das durch die Kanalisation eingeleitet wird, festzustellen, wurde eine Beprobung und Charakterisierung des Wassers am Eingang der Kläranlage während drei aufeinander folgenden Tagen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in Tabelle 6.2 gezeigt.

**Tabelle 6.2 Durchschnittliche Eigenschaften des Abwassers – Region La Florida**

<b>Parameter</b>	<b>Zulauf (l/s)</b>	<b>CSB (mg/l)</b>	<b>BSB<sub>5</sub> (mg/l)</b>	<b>TS (mg/l)</b>	<b>Escherichia coli (in 100 ml n. n.)</b>
Durchschnitt	1,17	327	221	119	260x10E8

Dies bedeutet, dass die Bevölkerung von La Florida, die über kein

Kanalisationssystem verfügt, täglich ca. 93 m<sup>3</sup> Abwasser in den Fluss Otun (1.07 l/s) mit einer CSB-Belastung von 30 kg und eine BSB<sub>5</sub>-Belastung von 20 kg einleitet.

#### 6.1.5.2 Region La Bananera

- **Trinkwasserversorgung:** Die Trinkwasserversorgung, die La Bananera versorgt, wird von der Bergschlucht El Chical mit Wasser versorgt. Dabei beträgt der Wasserfluss ca. 1 l/s und versorgt 63 Verbraucher. Dies bedeutet eine Deckung von 100%.

Die Trinkwasseraufbereitung besteht wie das System in La Florida aus einem Sandfang und einem Verweilbehälter. Auch hier wird das Wasser gechlort, bevor es über die Wasserleitungen an die Bevölkerung verteilt wird.

Aufgrund des hohen Wasserangebots und der guten Wasserqualität deckt das System die Nachfrage der Bevölkerung gemäß den Erfordernissen an Trinkwasser der Regelung 2105 von 1985.

Die Trinkwasserversorgung wird von einem Verwaltungsrat verwaltet, der einen Wasserleitungsinstallateur mit dem Betrieb und die Wartung des Systems beauftragt. Die Kosten der Wasserversorgung betragen US\$ 1,0/Monat als einziger Tarif, da bei diesem System keine Messung des Wasserverbrauchs stattfindet.

- **Abfallbeseitigung und Mülldeponie:** Der Abfall wird zu 100% beseitigt. Die Abfallbeseitigung erfolgt zwei Mal pro Woche und wird vom Stadtreinigungsbetrieb von Pereira durchgeführt.

Die Abfälle werden in die Mülldeponie „Galicia“ transportiert und dort gemeinsam mit den Abfällen der Stadt Pereira gelagert.

- **Siedlungsentwässerung und Abwasserbehandlung:** An das Kanalisationssystem sind 95% der Bevölkerung angeschlossen. Das Abwasser wird ohne Behandlung in den Fluss Otun eingeleitet. 200 Meter flussabwärts befindet sich die Stelle zur Wassergewinnung für die Stadt Pererira.

Wenn man annimmt, dass die Abwasserqualität der Region La Bananera ähnlich der Abwasserqualität der Region La Florida ist, kann man schätzen, dass täglich 79 m<sup>3</sup> Abwasser ohne Behandlung mit einer CSB-Belastung von 25 kg und einer BSB<sub>5</sub>-

Belastung von 17 kg eingeleitet werden.

## 6.2 Plan zur Umweltsanierung der Region La Florida

Um die schädlichen Folgen der Abwasserbelastung auf die Bevölkerung von La Florida (Potentiellen Gesundheitsrisiken, Geruch und Schädlingsentstehung) und die potentiellen Risiken für die Trinkwasserversorgung der Stadt Pereira zu mindern, wurde mit Zustimmung der Gemeinde der Bau von dem Rest des Kanalisationssystems geplant. Dabei muss das Abwasser der Gebiete, die über keine Kanalisation verfügen, gesammelt und in ein zusätzliches Behandlungssystem eingeleitet werden.

Es wurde ebenso geplant, dass für das Abwasser der Sektoren, die über keinen Abwasseranschluss verfügen, eine Kanalisation und eine Kläranlage gebaut wird. Ein Grundstück (Santa Maria, 4.500 m<sup>2</sup>) für die Kläranlage steht bereits zur Verfügung.

Die Auslegungsparameter des Behandlungssystems werden in der Tabelle 6.3 gezeigt.

**Tabelle 6.3 Auslegungsparameter des Abwasserbehandlungssystems – La Florida**

Parameter	Einheit	Wert
Bevölkerung (2000)	E	440
Zeitraum	a	20
Bevölkerungsentwicklung (2020)	E	520
Wasserverbrauch	l/(E d)	260
Rückkehrkoeffizient	%	80
Zulauf	l/s	1,25
BSB <sub>5</sub>	mg/l	221
CSB	mg/l	327
Schwebstoffe	mg/l	119

### 6.2.1 Technologieauswahl

Um eine geeignete Technologie für die Region La Florida auszuwählen, wird das vorgeschlagene theoretische Modell Schritt für Schritt eingesetzt. Dazu wird zunächst eine vorläufige Auslegung der 21 Technologien verwendet (Anhang C).

#### 6.2.1.1 Annäherungsphase

In dieser Phase werden die Etappen des Algorithmus in einer Checkliste verifiziert. Diese Checkliste wird in der Tabelle 6.4 gezeigt.

**Tabelle 6.4 Checkliste – Annäherungsphase, Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung der Region La Florida**

<b>Etappe 1</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Deckung der Trinkwasserversorgung unter 95%	Nein	
Rückstand der Deckung der Entwässerung in Bezug auf die Trinkwasserversorgung über 10%	Ja	Der Bau der fehlenden Kanalisation ist vorrangig im Vergleich zum Abwasserbehandlungssystem (*)
Der Abfluss der Kanalisation bewirkt großen Schaden auf eine Wasserquelle	Ja	Dies ist gemäß des Algorithmus Grund genug, um in die nächste Etappe zu gelangen
Deckung der Abfallbeseitigung unter 95%	Nein	
Der Ort zur Lagerung der Abfälle ist geeignet und wird kontrolliert	Ja	
Die Kläranlage wird beim Entwicklungsplan der Gemeinde berücksichtigt	Ja	
<b>Etappe 2</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Das Grundstück für die Kläranlage ist verfügbar	Ja	Das Grundstück gehört Herrn John Zapata, der bereit ist, das Grundstück zu verkaufen
Für das Grundstück besteht ein hohes Naturalrisiko	Nein	
Verfügbare Fläche (m <sup>2</sup> )	4.500	
<p><b>Erste Auswahl:</b> Wenn man die Fläche des verfügbaren Grundstücks mit den Erfordernissen jeder Technologie vergleicht (Anhang C), kann man die Systeme Landbehandlung (Rieselfelder) ausschließen (Code 1 und 2).</p> <p>(*) Obwohl gemäß des Modells das Kanalisationssystem wichtiger ist als die Abwasserbehandlung, wird die nächste Etappe analysiert, da es sich um ein gemeinsames Projekt handelt.</p>		

**Tabelle 6.4 Checkliste – Annäherungsphase, Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung der Region La Florida – Fortsetzung**

<b>Etappe 3</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Neigung des Grundstücks	1,00%	Dieser Parameter wurde im Grundstück gemessen
Permeabilität des Bodens	1,23 cm/h	Dieser Parameter wurde im Grundstück gemessen
Grundwasserspiegel	3,10 m	Dieser Parameter wurde im Grundstück gemessen
<b>Zweite und dritte Auswahl:</b> Wenn man die Erfordernisse bezüglich der Neigung für die unterschiedlichen Technologien (Anhang A) analysiert, kann man feststellen, dass die Systeme Landbehandlung – oberflächlicher Fluss (Code 3 und 4) Neigungen zwischen 2% und 8% erfordern. Daher kann man diese Technologien ausschließen.		
<b>Etappe 4</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Das Grundstück verfügt über Stromanschluss	Ja	
Das Grundstück verfügt über Wasseranschluss	Ja	
Das Grundstück verfügt über Abfallbeseitigung	Ja	
<b>Vierte Auswahl:</b> Gemäß der Verfügbarkeit der Dienstleistungen im Grundstück sind alle Technologien durchführbar.		

### 6.2.1.2 Synthesephase

In dieser Phase wird das Entscheidungshilfsmodell (analytisches Rangordnungsmodell AHP), das in Kapitel 4 erläutert wurde, eingesetzt. Im Folgenden wird das AHP-Modell Schritt für Schritt gemäß des Abschnitts 4.2 der vorliegenden Arbeit eingesetzt.

- **Etappe 1: Alternativenliste**

In der Annäherungsphase werden die Alternativen, die für die Abwasserbehandlung der Region La Florida durchführbar sind, festgestellt. Dabei ergibt sich eine Liste von 17 Alternativen, die in der Tabelle 6.5 gezeigt werden.

**Tabelle 6.5 Durchführbare Abwasserbehandlungssysteme für die Region La Florida**

Code	Systeme
5	Rechen - Unbelüfteter Teich
6	Rechen - Belüfteter Teich
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobteich - Unbelüfteter Teich)
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken
15	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)
16	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage (Oberflächenabfluss)
17	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage (Oberflä.)
18	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenkläranlage
19	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenkläranlage
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenkläranlage
21	Rechen - Reaktor UASB - Nachklärbecken

- **Etappe 2: Kriterienfeststellung und Entscheidungsrangordnung**

Die Kriterien und die Entscheidungsrangordnung wurden im Abschnitt 4.2.2 der Kapitel 4 gezeigt und sind in allen Fällen für die Region La Florida einsetzbar.

- **Etappe 3: Paarweiser technologischer Alternativenvergleich**

Im Abschnitt 4.2.3 wurden die Vergleichsmatrizen zwischen Paaren für die 21 technologischen Systeme gezeigt. Da in der Annäherungsphase für diese Gemeinde vier Technologien ausgeschlossen wurden, muss man bei der Synthesephase lediglich die restlichen 17 Technologien bewerten. Die Prioritätsvektoren jeder Alternative in Bezug auf die Unterkriterien werden in der Tabelle 6.6 gezeigt. Jedoch wurden dabei die Unterkriterien bezüglich der Investitionskosten, Betriebs- und Wartungskosten nicht berücksichtigt. Dafür wird das Kostenhilfsmodell (Kapitel 5) verwendet. Diese Bewertung wird im Folgenden gezeigt.

Um den Prioritätsvektor bezüglich der Kosten zu ermitteln muss zunächst das Hilfsmodell Schritt für Schritt bei den Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten eingesetzt werden. Dies wurde in Kapitel 5, Abschnitt 5.2, ausführlich erläutert.

Das Ergebnis der Analyse bezüglich der Investitionskosten des Systems wird in Tabelle 6.7 gezeigt.



**Tabelle 6.7 Investitionskosten – La Florida**

Code	CA (US\$)	CTD (US\$)	COE (US\$)	CIEE (US\$)	OC (US\$)	CML (US\$)	CD (US\$)	CI (US\$)	Gesamt (US\$)
5	9.316	1.775	7.063	0	37.477	5.563	61.194	22.642	83.836
6	2.206	1.263	3.588	62.326	12.651	20.508	102.542	37.941	140.483
7	5.670	3.062	7.367	0	29.884	4.598	50.581	18.715	69.296
8	6.171	2.276	6.095	5.262	34.173	5.398	59.376	21.969	81.345
9	615	1.801	1.924	16.919	11.485	16.372	49.115	18.173	67.288
10	574	1.398	1.741	16.515	8.958	14.593	43.780	16.199	59.979
11	819	1.625	2.678	25.494	17.712	24.163	72.490	26.821	99.312
12	736	1.744	2.283	42.150	30.192	38.552	115.657	42.793	158.451
13	1.024	2.336	2.955	4.860	13.912	12.544	37.631	13.923	51.554
14	1.826	2.318	1.726	7.198	21.429	17.249	51.746	19.146	70.891
15	5.135	2.371	5.777	0	26.483	9.941	49.707	18.391	68.098
16	4.911	2.335	5.565	0	27.877	10.172	50.861	18.818	69.679
17	2.961	2.133	4.388	0	22.651	8.033	40.167	14.862	55.028
18	4.325	2.263	5.139	0	33.434	11.290	56.451	20.887	77.338
19	3.829	2.231	4.951	0	32.812	10.956	54.778	20.268	75.046
20	2.309	2.046	3.903	0	26.492	8.688	43.439	16.072	59.511
21	230	1.544	2.307	0	13.495	4.394	21.969	8.128	30.097

Die Betriebs- und Wartungskosten wurden gemäß des Kostenhilfsmodells, Kapitel 5 Abschnitt 5.3, bewertet. Die Ergebnisse beider Systeme werden in Tabelle 6.8 gezeigt.

Unter Einsatz der Vergleichsmatrizen zwischen Paaren und der wahren Kostenunterschiede kann man die Prioritätsvektoren der Unterkriterien feststellen: Investitionskosten und Betriebs- und Wartungskosten.

**Tabelle 6.8 Betriebs- und Wartungskosten – La Florida**

Code des Systems	Energie (US\$/W)	Wasserqualität-Behandlungsprozesskontrolle	Personal für Betrieb (US\$/W)	Wartung		Verwaltung (US\$/W)	Gesamt (US\$/a)
				Personal (US\$/W)	Materialien (US\$/W)		
5	0,00	43,26	6,57	0,00	0,00	0,86	2.433,30
6	23,30	43,26	12,00	3,15	37,41	0,86	5.759,20
7	0,00	43,26	11,51	0,00	0,00	0,86	2.670,06
8	0,00	43,26	9,68	1,59	4,65	0,86	2.882,11
9	6,03	43,26	14,23	5,18	14,50	0,86	4.035,01
10	6,16	43,26	15,74	5,40	14,00	0,86	4.100,03
11	6,93	43,26	13,03	6,51	20,56	0,86	4.375,75
12	6,93	43,26	15,79	6,51	20,56	0,86	4.508,05
13	4,87	43,26	10,11	1,73	1,72	0,86	3.002,49
14	4,87	43,26	11,42	1,73	3,00	0,86	3.126,33
15	0,00	43,26	7,53	0,00	0,00	0,86	2.479,18
16	0,00	43,26	5,63	0,00	0,00	0,86	2.388,11
17	0,00	43,26	11,33	0,00	0,00	0,86	2.661,84
18	0,00	43,26	7,35	0,00	0,00	0,86	2.470,49
19	0,00	43,26	5,46	0,00	0,00	0,86	2.379,76
20	0,00	43,26	11,20	0,00	0,00	0,86	2.655,38
21	0,00	43,26	9,10	0,00	0,00	0,86	2.554,80

- **Etappe 3: Kriterien- und Unterkriterienvergleich zwischen Paaren**

Wie in Kapitel 4 schon erwähnt wurde, ist die Gemeinde in den vorherigen Etappen nicht beteiligt. Die Gemeinde nimmt aber ab dieser Etappe teil. Dabei werden die Kriterien und Unterkriterien gemäß der lokalen Zustände der Gemeinde und gemäß ihrer Wünsche bezüglich des Projekts bewertet.

Dazu trafen sich die Gemeindevertreter, die institutionellen Vertreter und Vertreter der Umweltbehörde, um die Werte (Bewertungen) der Vergleichsmatrizen festzustellen, zunächst für die Kriterien und danach für die Unterkriterien.

Die sich ergebenden Matrizen werden in den Tabellen 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 und 6.13 gezeigt.

**Tabelle 6.9 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Umweltbezogene Unterkriterien – La Florida**

Unter kriterien	1	2	3	4
1	1,00	5,00	0,20	5,00
2	0,20	1,00	0,17	2,00
3	5,00	6,00	1,00	9,00
4	0,20	0,50	0,11	1,00

- 1: Geruch
- 2: Lärm
- 3: Schädlingsentstehung
- 4: Optische Beeinträchtigung

**Tabelle 6.10 Vergleichsmatrix zwischen Paaren – Soziokulturelle Unterkriterien – La Florida**

Unter kriterien	1	2	3	4
1	1,00	1,00	3,00	0,13
2	1,00	1,00	3,00	0,17
3	0,33	0,33	1,00	0,17
4	7,69	5,88	5,88	1,00

- 1: Ausbildungsniveau
- 2: Verfügbare Arbeitskraft
- 3: Möglichkeiten zur lokalen Durchführung
- 4: Institutionelle Präsenz

**Tabelle 6.11 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Technologische Unterkriterien – La Florida**

Unter kriterien	1	2	3	4
1	1,00	1,00	4,00	0,14
2	1,00	1,00	5,00	0,17
3	0,25	0,20	1,00	0,11
4	7,00	6,00	9,00	1,00

- 1: Zusätze und Ausrüstung
- 2: Instandhaltung
- 3: Wiederverwendung
- 4: Schlammproduktion

**Tabelle 6.12 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Unterkriterien bezüglich der Kosten– La Florida**

Unter kriterien	1	2
1	1,00	0,33
2	3,00	1,00

- 1: Baukosten
- 2: Betriebskosten

**Tabelle 6.13 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Allgemeine Kriterien – La Florida**

Kriterien	1	2	3	4
1	1,00	1,00	0,17	0,13
2	1,00	1,00	0,20	0,11
3	6,00	5,00	1,00	0,17
4	8,00	9,00	6,00	1,00

- 1: Umweltaspekte
- 2: Soziokulturelle Aspekte
- 3: Technische Aspekte
- 4: Ökonomische Aspekte

Mit diesen Matrizen und mit der Durchführung des Verfahrens zur Synthesebeurteilung (Abschnitt 4.3.3.2) werden die Prioritätsvektoren für jedes Unterkriterium und für jedes allgemeine Kriterium festgestellt. Die Prioritätsvektoren werden in Tabelle 6.14 gezeigt.

- **Etappe 4: Berechnung der Prioritätsbewertung jeder Alternative**

Die Berechnung der Priorität jeder Alternative wird mit der im Abschnitt 4.2.5 beschriebenen Vorgehensweise festgestellt. Die Ergebnisse werden in der Tabelle 6.14 gezeigt.

Tabelle 6.14 Endeinordnung der Prioritäten – La Florida

Code des Sytems	Umweltaspekte						Soziokulturelle Aspekte					Technische Aspekte					Ökonomische Aspekte			Ergebnis
	0,06						0,06					0,24					0,64			
	1	2	3	4	5	Ges.	1	2	3	4	Ges.	1	2	3	4	Ges.	1	2	Ges.	
	0,25	0,09	0,62	0,05	0,00		0,14	0,14	0,07	0,66		0,14	0,15	0,05	0,67		0,25	0,75		
5	0,025	0,100	0,015	0,051	0,000	<b>0,002</b>	0,076	0,113	0,090	0,090	<b>0,006</b>	0,094	0,037	0,071	0,252	<b>0,046</b>	0,048	0,072	<b>0,042</b>	9,5
6	0,113	0,010	0,015	0,049	0,000	<b>0,002</b>	0,022	0,020	0,022	0,023	<b>0,001</b>	0,014	0,030	0,071	0,050	<b>0,010</b>	0,029	0,031	<b>0,019</b>	3,4
7	0,025	0,100	0,017	0,049	0,000	<b>0,002</b>	0,067	0,113	0,090	0,090	<b>0,005</b>	0,094	0,037	0,071	0,168	<b>0,032</b>	0,058	0,066	<b>0,041</b>	8,0
8	0,025	0,028	0,017	0,049	0,000	<b>0,001</b>	0,035	0,038	0,044	0,046	<b>0,003</b>	0,037	0,037	0,071	0,053	<b>0,012</b>	0,050	0,061	<b>0,037</b>	5,3
9	0,118	0,012	0,149	0,019	0,000	<b>0,007</b>	0,017	0,018	0,011	0,011	<b>0,001</b>	0,013	0,017	0,025	0,021	<b>0,005</b>	0,060	0,044	<b>0,031</b>	4,4
10	0,118	0,012	0,149	0,019	0,000	<b>0,007</b>	0,017	0,018	0,011	0,011	<b>0,001</b>	0,013	0,017	0,025	0,021	<b>0,005</b>	0,067	0,043	<b>0,031</b>	4,4
11	0,118	0,012	0,149	0,019	0,000	<b>0,007</b>	0,024	0,018	0,011	0,011	<b>0,001</b>	0,013	0,023	0,025	0,050	<b>0,010</b>	0,041	0,040	<b>0,026</b>	4,4
12	0,118	0,012	0,149	0,019	0,000	<b>0,007</b>	0,017	0,018	0,011	0,011	<b>0,001</b>	0,013	0,015	0,025	0,050	<b>0,009</b>	0,026	0,039	<b>0,023</b>	4,0
13	0,056	0,029	0,029	0,028	0,000	<b>0,002</b>	0,026	0,035	0,046	0,046	<b>0,003</b>	0,031	0,029	0,023	0,022	<b>0,006</b>	0,078	0,059	<b>0,041</b>	5,1
14	0,056	0,029	0,027	0,028	0,000	<b>0,002</b>	0,025	0,034	0,032	0,030	<b>0,002</b>	0,020	0,029	0,023	0,022	<b>0,006</b>	0,057	0,056	<b>0,036</b>	4,6
15	0,028	0,094	0,016	0,048	0,000	<b>0,002</b>	0,130	0,107	0,090	0,090	<b>0,006</b>	0,094	0,088	0,079	0,034	<b>0,013</b>	0,059	0,071	<b>0,044</b>	6,4
16	0,023	0,094	0,016	0,048	0,000	<b>0,002</b>	0,130	0,107	0,090	0,090	<b>0,006</b>	0,094	0,161	0,094	0,048	<b>0,018</b>	0,058	0,074	<b>0,045</b>	7,0
17	0,022	0,094	0,018	0,048	0,000	<b>0,002</b>	0,064	0,055	0,090	0,090	<b>0,005</b>	0,094	0,106	0,094	0,040	<b>0,015</b>	0,074	0,066	<b>0,043</b>	6,5
18	0,058	0,094	0,034	0,163	0,000	<b>0,003</b>	0,130	0,107	0,090	0,090	<b>0,006</b>	0,094	0,089	0,094	0,034	<b>0,013</b>	0,052	0,071	<b>0,043</b>	6,4
19	0,045	0,094	0,034	0,163	0,000	<b>0,003</b>	0,130	0,107	0,090	0,090	<b>0,006</b>	0,094	0,161	0,094	0,048	<b>0,018</b>	0,054	0,074	<b>0,044</b>	7,1
20	0,044	0,094	0,034	0,163	0,000	<b>0,003</b>	0,064	0,056	0,090	0,090	<b>0,005</b>	0,094	0,106	0,094	0,040	<b>0,015</b>	0,054	0,066	<b>0,040</b>	6,3
21	0,008	0,094	0,132	0,035	0,000	<b>0,006</b>	0,024	0,035	0,090	0,090	<b>0,004</b>	0,090	0,019	0,021	0,044	<b>0,011</b>	0,134	0,069	<b>0,055</b>	7,6
	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	<b>0,061</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,061</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,242</b>	1,000	1,000	<b>0,640</b>	100

## 6.3 Plan zur Umweltsanierung der Region La Bananera

Da der Abfluss der Kanalisation von La Bananera in den Fluss Otun kurz vor der Stelle zur Wassergewinnung der Stadt Pereira eingeleitet wird, ist es erforderlich, eine hohe Reinigungsleistung der Abwässer zu erzielen. In diesem Sinne muss das System zwei Voraussetzungen erfüllen: Einerseits muss eine Reinigungsleistung bezüglich der CSB- und der BSB-Belastung von mindestens 90% und andererseits eine hohe Eliminierung der pathogenen Mikroorganismen gewährleistet werden.

Unter Berücksichtigung des Zustands des vorhandenen Kanalisationssystems ist es möglich, vor der Einmündung der Kanalisation in den Fluss ein Behandlungssystem auf dem Grundstück von Herrn Gonzalo León, das eine Fläche von 3.000 m<sup>2</sup> aufweist, auszubauen. Die Auslegungsparameter werden in der Tabelle 6.15 gezeigt.

**Tabelle 6.15 Auslegungsparameter der Abwasserbehandlungssysteme – La Bananera**

Parameter	Einheit	Wert
Bevölkerung (2000)	E	395
Zeitraum	a	20
Bevölkerungsentwicklung (2020)	E	463
Wasserverbrauch	l/(E d)	260
Rückkehrkoeffizient	%	80
Zulauf	l/s	1,11
BSB <sub>5</sub>	mg/l	221
CSB	mg/l	327
Schwebstoffe	mg/l	119

### 6.3.1 Technologieauswahl

Um eine geeignete Technologie für die Region La Bananera auszuwählen, wird das vorgeschlagene theoretische Modell Schritt für Schritt eingesetzt. Dazu wird zunächst eine vorläufige Auslegung der 21 Technologien verwendet (Anhang C).

#### 6.3.1.1 Annäherungsphase

In dieser Phase werden die Etappen des Algorithmus in einer Checkliste, ähnlich wie bei der Region La Florida, verifiziert. Diese Checkliste wird in der Tabelle 6.16 gezeigt.

**Tabelle 6.16 Checkliste – Annäherungsphase, Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung der Region La Bananera**

<b>Etappe 1</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Deckung der Trinkwasserversorgung unter 95%	Nein	
Rückstand der Deckung der Entwässerung in Bezug auf die Trinkwasserversorgung über 10%	Nein	
Der Abfluss der Kanalisation bewirkt großen Schaden auf eine Wasserquelle	Ja	Dies ist gemäß des Algorithmus Grund genug, um in die nächste Etappe zu gelangen
Deckung der Abfallbeseitigung unter 95%	Nein	
Der Ort zur Lagerung der Abfälle ist geeignet und wird kontrolliert	Ja	
Die Kläranlage wird beim Entwicklungsplan der Gemeinde berücksichtigt	Ja	
<b>Etappe 2</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Das Grundstück für die Kläranlage ist verfügbar	Ja	Das Grundstück gehört Herrn Gonzalo León, der bereit ist, es zu verkaufen
Für das Grundstück besteht ein hohes Naturalrisiko	Nein	
Verfügbare Fläche (m <sup>2</sup> )	3.000	
<b>Erste Auswahl:</b> Wenn man die Fläche des verfügbaren Grundstücks mit den Erfordernissen jeder Technologie vergleicht (Anhang C), kann man die Technologien der Landbehandlung mit niedriger Belastungsrate ausschließen (Code 1, 2, 3 4 und 5).		

**Tabelle 6.16** Checkliste – Annäherungsphase, Technologieauswahl bei der Abwasserbehandlung der Region La Bananera – Fortsetzung

<b>Etappe 3</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Neigung des Grundstücks	1,00%	Dieser Parameter wurde im Grundstück gemessen
Permeabilität des Bodens	0,90 cm/h	Dieser Parameter wurde im Grundstück gemessen
Grundwasserspiegel	2,50 m	Dieser Parameter wurde im Grundstück gemessen
<p><b>Zweite und dritte Auswahl:</b> Wenn man die Erfordernisse bezüglich der Neigung für die unterschiedlichen Technologien (Anhang A) analysiert, kann man feststellen, dass die Systeme Landbehandlung – oberflächlicher Fluss (Code 3 und 4) Neigungen zwischen 2% und 8% erfordern. Daher kann man diese Technologien ausschließen.</p>		
<b>Etappe 4</b>		
<b>Argument</b>	<b>Antwort</b>	<b>Bemerkungen</b>
Das Grundstück verfügt über Stromanschluss	Ja	
Das Grundstück verfügt über Wasseranschluss	Ja	
Das Grundstück verfügt über Abfallbeseitigung	Ja	
<p><b>Vierte Auswahl:</b> Gemäß der Verfügbarkeit der Dienstleistungen im Grundstück sind alle Technologien durchführbar.</p> <p>Aufgrund der besonderen Situation des Abflusses, das heißt, dass das Abwasser wenige Meter vor der Stelle zur Wassergewinnung der Stadt Pereira eingeleitet wird, muss man die Technologien auswählen, die eine hohe Reinigungsleistung (von über 90%) gewährleisten können. Daher werden die Technologien 15, 16 und 21 ausgeschlossen.</p>		

### 6.3.1.2 Synthesephase

Diese Phase erfolgt ähnlich wie bei der Region La Florida. Die durchführbaren Alternativen werden in der Annäherungsphase festgestellt und werden in der Tabelle 6.17 gezeigt.

Tabelle 6.18 und 6.19 zeigen die Investitionskosten und die Betriebs- und Wartungskosten dieser Technologien.

**Tabelle 6.17 Durchführbare Abwasserbehandlungssysteme für die Region La Bananera**

Code des Systems	Systeme
6	Rechen - Belüfteter Teich
7	Rechen - Teichkaskade (Anerobteich - Unbelüfteter Teich)
8	Rechen - Teichanlage mit Zwischenstufe (Tropfkörper)
9	Rechen - Vorklärbecken - Belebungsbecken - Nachklärbecken
10	Rechen - Siebe - Belebungsbecken - Nachklärbecken
11	Rechen - Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung - Nachklärbecken
12	Rechen - Belebungsbecken (SBR)
13	Rechen - Vorklärbecken - Tropfkörper - Nachklärbecken
14	Rechen - Vorklärbecken - Tauchkörper - Nachklärbecken
17	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenanlage (Oberflä.)
18	Rechen - Vorklärbecken - Pflanzenanlage (Vertikalbeet)
19	Rechen - Mehrkammergrube - Pflanzenanlage (Vertikalbeet)
20	Rechen - Mehrkammergrube - Filterkörper - Pflanzenanlage (Vertikalbeet)

**Tabelle 6.18 Investitionskosten – La Bananera**

Code des Systems	CA (US\$)	CTD (US\$)	COE (US\$)	CIEE (US\$)	OC (US\$)	CML (US\$)	CD (US\$)	CI (US\$)	Gesamt (US\$)
6	1.961	1.233	3.395	57.237	11.248	18.769	93.843	34.722	128.564
7	5.041	2.964	6.966	0	27.023	4.199	46.194	17.092	63.285
8	5.487	2.236	5.780	10.682	31.110	5.530	60.825	22.505	83.330
9	547	1.779	1.848	15.791	10.659	15.312	45.937	16.997	62.934
10	513	1.378	1.669	15.348	8.279	13.593	40.780	15.089	55.869
11	730	1.601	2.566	23.728	16.302	22.463	67.389	24.934	92.323
12	654	1.709	2.202	39.193	27.699	35.729	107.186	39.659	146.844
13	910	2.293	2.818	4.710	12.860	11.796	35.387	13.093	48.481
14	1.623	2.275	1.644	6.996	19.848	16.193	48.579	17.974	66.554
17	2.633	2.091	4.152	0	21.047	7.481	37.403	13.839	51.242
18	3.845	2.216	4.862	0	30.025	10.237	51.185	18.938	70.123
19	3.404	2.185	4.685	0	31.297	10.393	51.963	19.226	71.189
20	2.053	2.008	3.694	0	24.455	8.052	40.262	14.897	55.159

**Tabelle 6.19 Betriebs- und Wartungskosten – La Bananera**

Code des Systems	Energie (US\$)	Wasserqualität Behandlungs prozesskontrolle	Personal für Betrieb (US\$)	Wartung		Verwaltung (US\$)	Gesamt (US\$/a)
				Personal (US\$)	Materialien (US\$)		
6	20,69	42,49	11,60	3,06	35,11	0,79	5.459,47
7	0,00	42,49	11,36	0,00	0,00	0,79	2.622,83
8	5,88	42,49	9,51	1,53	4,45	0,79	3.102,86
9	5,35	42,49	13,66	4,94	13,83	0,79	3.891,22
10	5,47	42,49	14,84	5,15	13,30	0,79	3.937,73
11	6,16	42,49	12,51	6,21	19,38	0,79	4.201,81
12	6,16	42,49	15,12	5,98	32,02	0,79	4.922,96
13	4,32	42,49	9,73	1,68	1,67	0,79	2.912,68
14	4,32	42,49	11,06	1,68	2,92	0,79	3.036,39
17	0,00	42,49	10,45	0,00	0,00	0,79	2.579,00
18	0,00	42,49	7,04	0,00	0,00	0,79	2.415,29
19	0,00	42,49	5,24	0,00	0,00	0,79	2.328,93
20	0,00	42,49	10,32	0,00	0,00	0,79	2.572,91

Die Vergleichsmatrizen zwischen den Paaren bezüglich der Unterkriterien und Kriterien, die mit Hilfe der Repräsentanten der Gemeinde festgestellt wurden, werden in Tabellen 6.20, 6.22, 6.23 und 6.24 gezeigt.

**Tabelle 6.20 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Umweltbezogene Unterkriterien – La Bananera**

Unter kriterien	1	2	3	4
1	1,00	1,00	0,20	5,00
2	1,00	1,00	0,17	2,00
3	5,00	6,00	1,00	9,00
4	0,20	0,50	0,11	1,00

- 1: Geruch
- 2: Lärm
- 3: Schädlingsentstehung
- 4: Optische Beeinträchtigung

**Tabelle 6.21 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Vergleichsmatrix zwischen Paaren – Soziokulturelle Unterkriterien –La Bananera**

Unter kriterien	1	2	3	4
1	1,00	1,00	1,00	1,00
2	1,00	1,00	1,00	1,00
3	1,00	1,00	1,00	1,00
4	1,00	1,00	1,00	1,00

- 1: Ausbildungsniveau
- 2: Verfügbare Arbeitskraft
- 3: Möglichkeiten zur lokalen Durchführung
- 4: Institutionelle Präsenz

**Tabelle 6.22 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Technologische Unterkriterien – La Bananera**

Unter kriterien	1	2	3	4
1	1,00	1,00	9,00	1,00
2	1,00	1,00	9,00	1,00
3	0,11	0,11	1,00	0,11
4	1,00	1,00	9,00	1,00

- 1: Zusätze und Ausrüstung
- 2: Instandhaltung
- 3: Wiederverwendung
- 4: Schlammproduktion

**Tabelle 6.23 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Unterkriterien bezüglich der Kosten-  
La Bananera**

Unter kriterien	1	2
1	1,00	1,00
2	1,00	1,00

1: Baukosten

2: Betriebskosten

**Tabelle 6.24 Vergleichsmatrix zwischen Paaren - Allgemeine Kriterien – La Bananera**

Kriterien	1	2	3	4
1	1,00	6,00	5,00	2,00
2	0,17	1,00	1,00	0,17
3	0,20	1,00	1,00	0,25
4	0,50	5,88	4,00	1,00

1: Umweltaspekte

2: Soziokulturelle Aspekte

3: Technische Aspekte

4: Ökonomische Aspekte

Mit Hilfe dieser Matrizen ist es möglich, eine generelle Einordnung gemäß der vorher beschriebenen Prozedur zu berechnen. Die Ergebnisse der generellen Einordnung der Alternativen und die Prioritätsvektoren bezüglich der Unterkriterien und Kriterien werden in Tabelle 6.25 gezeigt.

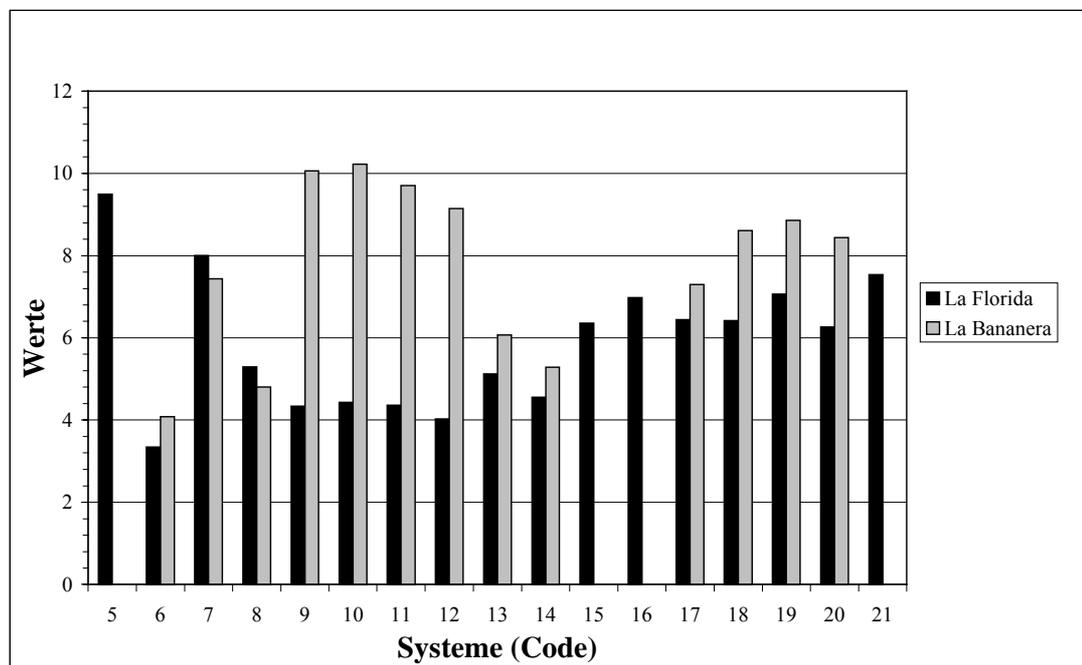
Tabelle 6.25 Endeinordnung der Prioritäten – La Bananera

Code des Systems	Umweltaspekte						Soziokulturelle Aspekte					Technische Aspekte					Ökonomische Aspekte			Ergebnis
	0,50						0,08					0,09					0,34			
	1	2	3	4	5	Ges.	1	2	3	4	Ges.	1	2	3	4	Ges.	1	2	Ges.	
	0,17	0,12	0,65	0,06	0,00		0,25	0,25	0,25	0,25		0,32	0,32	0,04	0,32		0,50	0,50		
6	0,134	0,014	0,017	0,059	0,000	<b>0,020</b>	0,035	0,031	0,034	0,036	<b>0,003</b>	0,023	0,041	0,097	0,081	<b>0,004</b>	0,041	0,044	<b>0,014</b>	<b>4,1</b>
7	0,025	0,163	0,021	0,059	0,000	<b>0,021</b>	0,106	0,181	0,141	0,141	<b>0,011</b>	0,151	0,054	0,097	0,270	<b>0,013</b>	0,084	0,092	<b>0,030</b>	<b>7,4</b>
8	0,025	0,048	0,021	0,059	0,000	<b>0,014</b>	0,056	0,061	0,069	0,072	<b>0,005</b>	0,055	0,054	0,097	0,085	<b>0,006</b>	0,064	0,078	<b>0,024</b>	<b>4,8</b>
9	0,134	0,020	0,180	0,023	0,000	<b>0,072</b>	0,026	0,028	0,017	0,017	<b>0,002</b>	0,021	0,022	0,028	0,034	<b>0,002</b>	0,084	0,062	<b>0,025</b>	<b>10,1</b>
10	0,134	0,020	0,180	0,023	0,000	<b>0,072</b>	0,026	0,028	0,017	0,017	<b>0,002</b>	0,021	0,022	0,028	0,034	<b>0,002</b>	0,095	0,061	<b>0,026</b>	<b>10,2</b>
11	0,134	0,020	0,180	0,023	0,000	<b>0,072</b>	0,039	0,028	0,017	0,017	<b>0,002</b>	0,021	0,034	0,028	0,081	<b>0,004</b>	0,057	0,058	<b>0,019</b>	<b>9,7</b>
12	0,134	0,020	0,180	0,023	0,000	<b>0,072</b>	0,026	0,028	0,017	0,017	<b>0,002</b>	0,021	0,022	0,028	0,081	<b>0,004</b>	0,036	0,049	<b>0,014</b>	<b>9,2</b>
13	0,057	0,046	0,034	0,036	0,000	<b>0,020</b>	0,042	0,055	0,072	0,072	<b>0,005</b>	0,048	0,044	0,030	0,036	<b>0,004</b>	0,109	0,083	<b>0,032</b>	<b>6,0</b>
14	0,057	0,046	0,031	0,036	0,000	<b>0,019</b>	0,041	0,054	0,052	0,046	<b>0,004</b>	0,033	0,044	0,030	0,036	<b>0,003</b>	0,080	0,080	<b>0,027</b>	<b>5,3</b>
17	0,022	0,151	0,023	0,057	0,000	<b>0,020</b>	0,100	0,084	0,141	0,141	<b>0,009</b>	0,151	0,151	0,134	0,065	<b>0,011</b>	0,103	0,094	<b>0,033</b>	<b>7,3</b>
18	0,057	0,151	0,045	0,201	0,000	<b>0,034</b>	0,202	0,168	0,141	0,141	<b>0,012</b>	0,151	0,130	0,134	0,054	<b>0,010</b>	0,076	0,100	<b>0,030</b>	<b>8,6</b>
19	0,044	0,151	0,045	0,201	0,000	<b>0,033</b>	0,202	0,168	0,141	0,141	<b>0,012</b>	0,151	0,231	0,134	0,078	<b>0,013</b>	0,074	0,104	<b>0,030</b>	<b>8,9</b>
20	0,042	0,151	0,045	0,201	0,000	<b>0,033</b>	0,100	0,086	0,141	0,141	<b>0,009</b>	0,151	0,151	0,134	0,065	<b>0,011</b>	0,096	0,094	<b>0,032</b>	<b>8,4</b>
	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	<b>0,502</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,075</b>	1,000	1,000	1,000	1,000	<b>0,086</b>	1,000	1,000	<b>0,337</b>	<b>100</b>

## 6.4 Analyse und Diskussion

### 6.4.1 Technologieauswahl

In den Tabellen 6.14 und 6.25 werden die Ergebnisse der Prozedur zur Technologieauswahl für die zwei Gemeinden gezeigt. In Bild 6.5 wird eine Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse aufgestellt. Dabei haben die Technologien Vorrang, die zur Situation der jeweiligen Gemeinde passen und bei denen eine hohe Akzeptanz der Bevölkerung vorliegt.

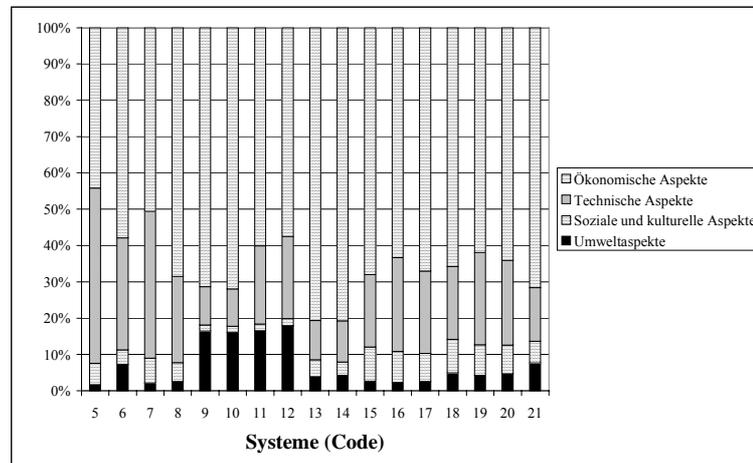


**Bild 6.5 Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse bei der Technologieauswahl für La Florida und La Bananera.**

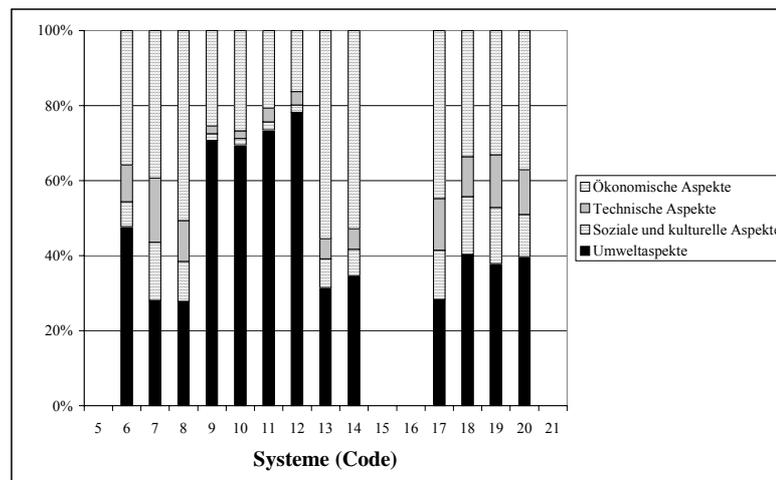
Zunächst kann man feststellen, dass in La Florida die Technologien 1, 2, 3 und 4 ausgeschlossen wurden. In La Bananera wurden die Technologien 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16 und 21 ausgeschlossen. Dies geschah, da bei der Bewertung in der Annäherungsphase bestimmt wurde, dass die verfügbare Stelle für den Bau der Kläranlage nicht die ausreichenden Eigenschaften für diese Technologien erfüllt, oder dass diese Technologien nicht die gewünschten Ziele der Reinigung gemäß jeder Situation erfüllen.

Die Bild zeigt die unterschiedlichen Tendenzen in ihrer Struktur. Während in La Florida nicht technische Verfahren sondern naturnahe Verfahren, wie zum die Beispiel Teichanlage

oder die Pflanzenkläranlage, höher bewertet wurden, erzielte in La Bananera das technische Verfahren (Belebungsanlage), das allerdings eine intensivere Nutzung von mechanischen und elektrischen Komponenten erfordert, bessere Werte. Man kann die Gründe dafür aus den Bildern 6.6 und 6.7 erkennen.



**Bild 6.6 Relative Bedeutungen der Auswahlvariablen bei der Alternativenbewertung – La Florida**



**Bild 6.7 Relative Bedeutungen der Auswahlvariablen bei der Alternativenbewertung – La Bananera**

Man kann sehen, dass im Fall von La Florida sich die bedeutendsten Faktoren auf die technologischen und wirtschaftlichen Aspekte beziehen, während im Fall von La Bananera die bedeutendsten Faktoren die umweltbezogenen Aspekte sind. Dies ergibt eine unterschiedliche Bewertung der Alternativen und daher eine unterschiedliche Vorrangigkeit.

Für den Fall von La Bananera waren die umweltbezogenen Aspekte wichtiger, da das Grundstück sehr nah an der Siedlung liegt. Andererseits haben die soziokulturellen Aspekte

und die technologischen Aspekte keine entscheidende Bedeutung, da aufgrund ihrer geographischen Lage (vorstädtische Zone der Stadt Pereira) und aufgrund des Risikos der Abwassereinleitung in der Nähe der Stelle zur Wassergewinnung der Stadt ein Übereinkommen mit den institutionellen Vertretern des Wasser- und Kanalisationsbetriebes von Pereira (Aguas & Aguas) getroffen wurde, um eine institutionelle Unterstützung und ein mögliches ökonomisches Abkommen für Betrieb und Wartung des Systems zu sichern.

Jedoch können manche Eigenschaften, die bei der Auswahl eine geringere Bedeutung haben, eine enorme Wichtigkeit annehmen, da sie gegebenenfalls die Nachhaltigkeit der Technologie in der Gemeinde sehr beeinträchtigen können. Ein Beispiel dafür ist der Fall von La Bananera. Obwohl diese Region nicht über eine soziale, kulturelle und technologische Infrastruktur verfügt, um das technische Verfahren einzusetzen, wurde dieses Verfahren ausgewählt. Allerdings hängt der Einsatz dieser Technologie von der Einhaltung des Übereinkommens des Wasser- und Kanalisationsbetriebes der Stadt (Aguas & Aguas) ab.

Für den Fall von La Florida waren die umweltbezogenen Aspekte von geringer Bedeutung. Dabei können die für das Projekt zuständigen Akteure die geeigneten Maßnahmen ergreifen, um die Beeinträchtigungen auf die Umwelt zu mindern (Geruchs- und/oder Schädlingsentstehung), wenn die Bewertung der Unterkriterien tiefer analysiert werden.

Diese Ergebnisse dienen, um eine Entscheidung bezüglich der Technologieauswahl zur Abwasserbehandlung dieser Gemeinde zu treffen. Gemäß der in dieser Arbeit gefundenen Ergebnisse muss eine unbelüftete Teichanlage für die Region La Florida und ein Belebungsverfahren für die Region La Bananera ausgewählt werden. Wenn man jedoch die Situation der jeweiligen Regionen analysiert, könnte die zweite oder dritte Alternative unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen die geeignete Alternative sein.

Außerdem kann man gemäß der erzielten Ergebnisse feststellen, dass die billigste Technologie hinsichtlich der Investitionskosten und der Betriebs- und Wartungskosten nicht immer die geeignetste Technologie für die Gemeinde ist.

Die Tatsache, dass bei der Bewertung von Unterkriterien und Kriterien die Repräsentanten der Gemeinde und der Institutionen teilgenommen haben, führt dazu, dass die Problematik auf eine lokale Ebene verlagert wird. Dies begünstigt die Teilnahme der Gemeinde am Projekt von Anfang an. Auf diese Art und Weise übernimmt die Gemeinde Kompromisse

und die Verantwortung bei der Abwicklung des Projekts. Man darf nicht vergessen, dass die Annahme der Bewertungen der Unterkriterien und Kriterien von ihrer Tauglichkeit abhängen (Kapitel 4, Abschnitt 4.1.3.3).

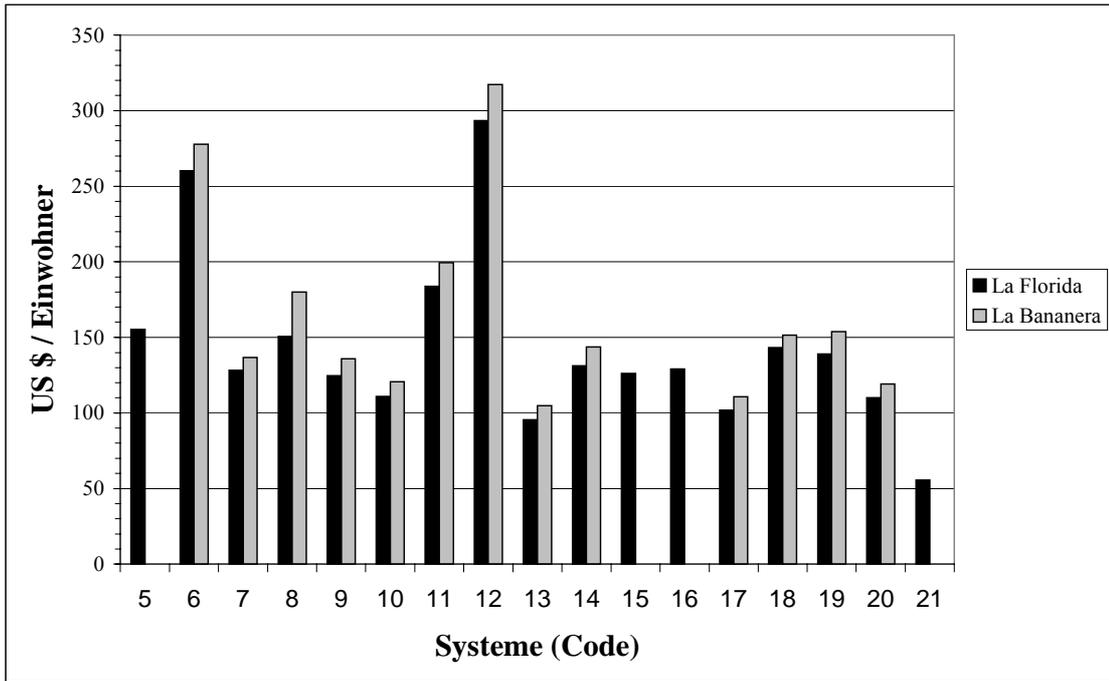
## **6.4.2 Baukosten**

Die Kosten stellen einen wichtigen Faktor bei der Auswahl des Systems dar. Darüber hinaus sind sie eine Information, die auf der Ebene der Planung die Bestimmung der benötigten ökonomischen Ressourcen ermöglicht. Obwohl Abweichungen der durch das Modell kalkulierten Kosten im Vergleich zu den tatsächlichen Endkosten für die Konstruktion auftreten können, vermitteln uns diese Ergebnisse ein angenähertes Maß der Kosten des Projekts.

Die Tabellen 6.7 und 6.18 zeigen die Kosten der unterschiedlichen Alternativen und den Wert jeder ihrer Komponenten. Die Gemeinkosten aller Alternativen, nämlich die Kosten in Bezug auf die Pumpenstation des Zuflusses in die Kläranlage, die Kosten der Kanaleinmündung, die Kosten der Ausrüstungen für Betrieb und Wartung und die Kosten für Laborgeräte, wurden in diesen Tabellen nicht als Gesamtkosten berechnet, da diese Kosten von der Größe der Kläranlage (vom in die Kläranlage eingeleiteten Wasserstrom) abhängen.

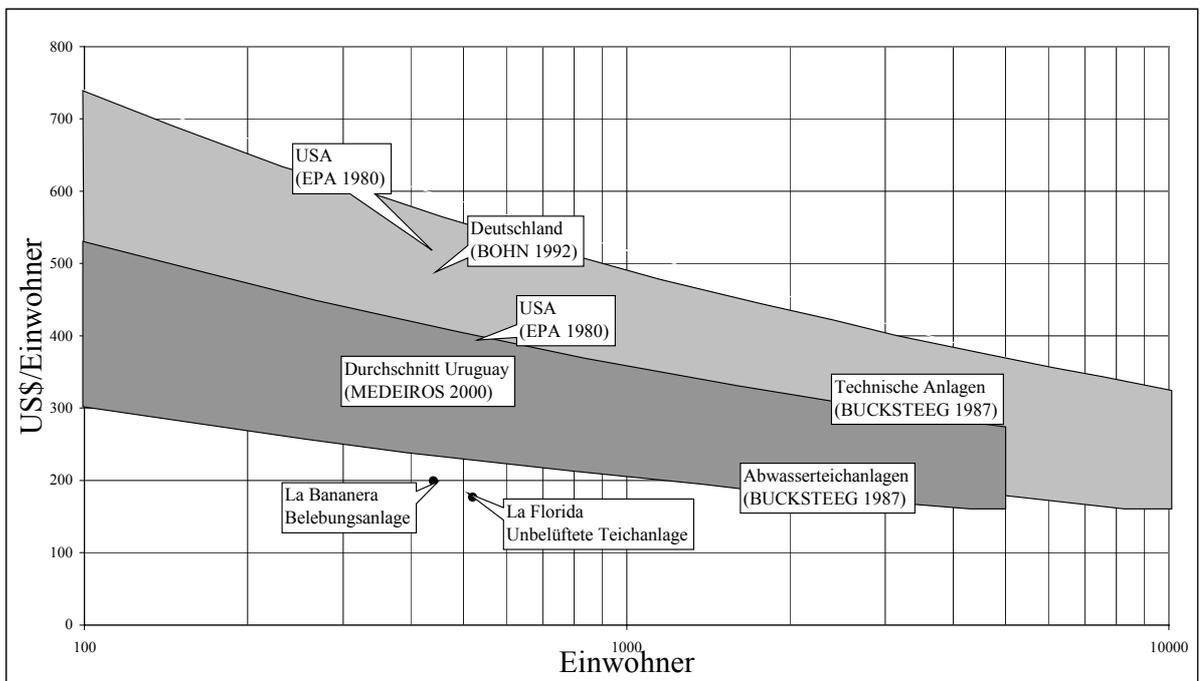
Bild 6.8 zeigt die Kosten pro Person an Investitionskosten der unterschiedlichen technologischen Alternativen für das Jahr 2000. Diese Kosten spiegeln den lokalen Zustand wieder, da sie die Kosten der grundlegenden BSL berücksichtigen, die gemäß der Daten der Gemeinden berechnet wurden.

Der Durchschnitt der Kosten pro Person beträgt 154 US\$ für La Florida und 174 US\$ für La Bananera. Dabei wurden nicht die Gemeinkosten, die im vorherigen Absatz erwähnt wurden, berücksichtigt. Wenn man die Kosten gemäß des von der EPA (1987) vorgeschlagenen Modells berechnet und gemäß des Baukostenindex (ICC) aktualisiert (Kapitel 5, Abschnitt 5.2.2.3), betragen die Kosten pro Person für diese Gemeinden durchschnittlich 403 US\$ bzw. 467 US\$.



**Bild 6.8** Investitionskosten pro Person in La Florida und La Bananera (2000)

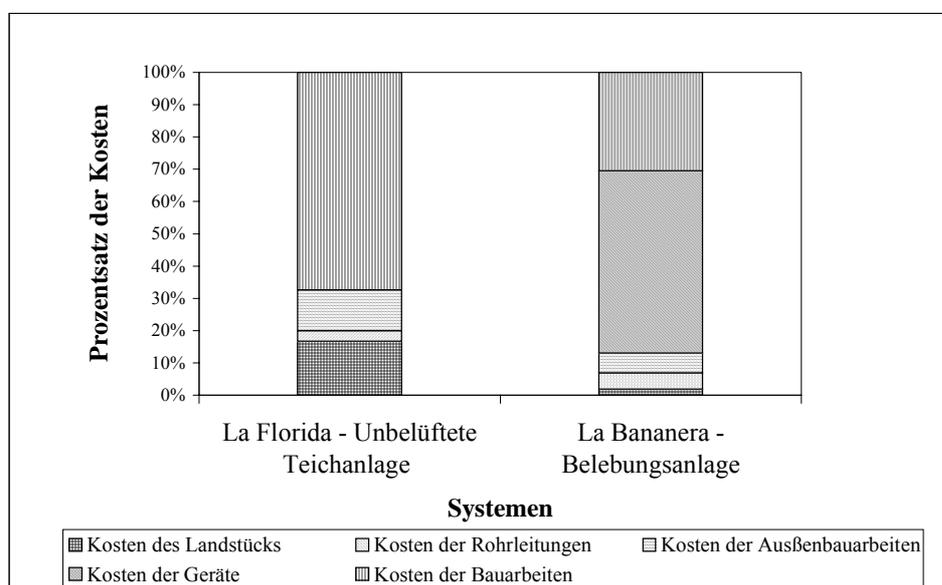
Bild 6.9 zeigt einen Vergleich zwischen den unterschiedlichen Modellen zur Investitionskostenberechnung, die auf dem Modell von BUCKSTEEG (1987) basiert. Die Kosten wurden auf das Jahr 2000 aktualisiert.



**Bild 6.9** Investitionskosten in La Florida und La Bananera – Vergleich der unterschiedlichen Modelle

Die Baukosten der Systeme für La Florida und La Bananera können allerdings höher sein, da das Labors, das Abwasserpumpwerks, die Wartung der Messgeräte und der Kanalausmündung nicht berücksichtigt wurden. Um eine präzisere Annäherung der Kosten festzustellen, muss man die exakte Berechnung dieser zusätzlichen Bauarbeiten mit den lokalen Preisen bestimmen.

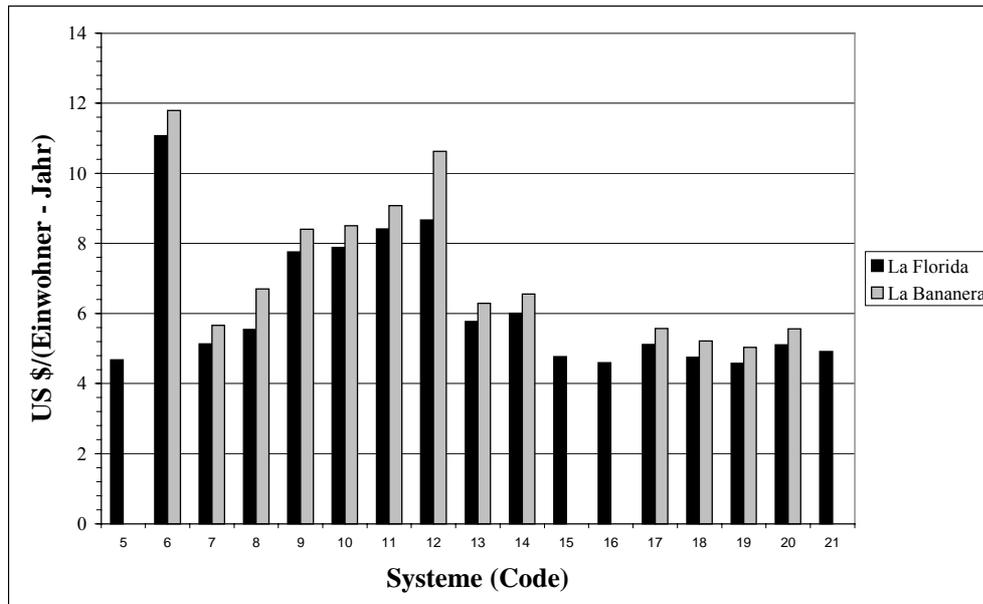
Schließlich kann man in Bild 6.10 die unterschiedlichen Kostenstrukturen der ausgewählten Systeme in den Gemeinden sehen. Während die Hauptkosten in La Florida die Bauarbeiten des Behandlungssystems, die Außenbauarbeiten und die Fläche darstellen, stellen die Hauptkosten in La Bananera die mechanischen elektrischen Ausrüstungen und die Bauarbeiten dar.



**Bild 6.10 Kostenstruktur der ausgewählten Systeme**

### 6.4.3 Betriebs- und Wartungskosten

Die Betriebs- und Wartungskosten werden in den Tabellen 6.8 und 6.19 gezeigt. Die Betriebs- und Wartungskosten betragen durchschnittlich 6,4 US\$/(E a) für La Florida und 7,5 US\$/(E a) für La Bananera. Bild 6.11 zeigt die Kosten pro Person der zwei ausgewählten Alternativen für beide Gemeinden.

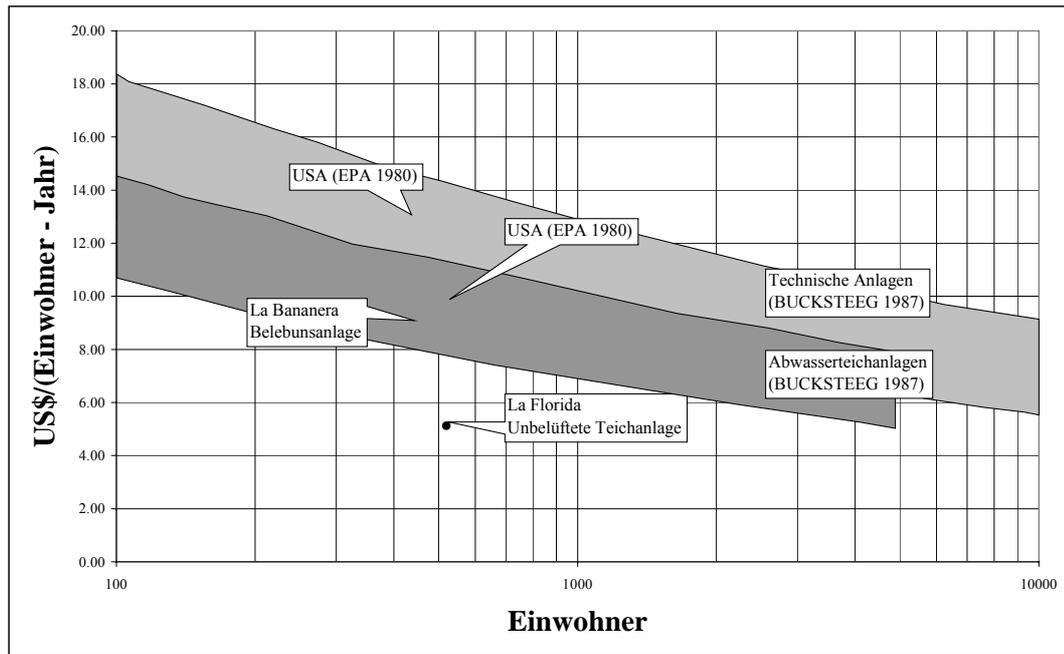


**Bild 6.11 Zusammenfassung der Ergebnisse der Technologieauswahlprozedur in La Florida und in La Bananera. Betriebs- und Wartungskosten**

Der Kostenunterschied für dasselbe System, sowohl bei den Investitionskosten (Bild 6.8) als auch bei den Betriebs- und Wartungskosten (Bild 6.11), ergibt sich aufgrund des Skaleneffekts der Wirtschaft, der als Folge der Größe der Bevölkerung entsteht und der bei kleinen Gemeinden intensiver ist.

Bild 6.12 zeigt einen Vergleich der Betriebs- und Wartungskosten, die sich aus dem vorgeschlagenen Modell für die ausgewählten Systeme und aus den Modellen von BUCKSTEEG (1987) und EPA (1980) mit den auf das Jahr 2000 aktualisierten Preisen ergeben. Man kann sehen, dass die Kosten des vorgeschlagenen Modells sowohl in La Florida als auch in La Bananera geringer sind, als die Kosten der anderen Modelle. Dies liegt an der lokalen Wirtschaft, da in Deutschland oder in den USA eine Person, die als Hilfskraft in einer Kläranlage arbeitet, zwischen 10 und 15 US\$/Stunde verdient, während in Kolumbien für diese Arbeit lediglich 1,5 bis 5 US\$ bezahlt wird.

Die Betriebs- und Wartungskosten haben eine große Bedeutung nicht nur für das Modell zur Technologieauswahl, sondern auch für die Bewertung der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit des Projekts während der Betriebsphase. Dazu werden diese Kosten mit den in der Gemeinde verfügbaren ökonomischen Ressourcen hinsichtlich Tarifeinkommen und Finanzierung durch externe Institutionen verglichen.



**Bild 6.12 Betriebs- und Wartungskosten der ausgewählten Systeme in La Florida und in La Bananera – Vergleich der unterschiedlichen Modelle**

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

### **7.1 Theoretisches Modell zur Technologieauswahl**

Der Einsatz eines derartigen Modells erlaubt, dass die Entscheidungsträger ein genaues Wissen über die Ziele haben, die mit dem Einsatz der Technologie erreicht werden sollen. Außerdem wird so ein besseres Verständnis des Auswahlprozesses ermöglicht.

Bei der Anwendung des Modells werden nicht zu viele Informationen gebraucht, jedoch erfordert das Modell genügend Auskunft z. B. über den Zustand des Trinkwasserversorgungssystems und der Kanalisation, die grundlegenden sozialen und kulturellen Merkmale der Gemeinde, Eigenschaften des Abwassers der Gemeinde und die Eigenschaften des verfügbaren Grundstücks und seiner morphologischen Merkmale.

Wenn mehr als ein Grundstück für den Kläranlagebau geeignet ist, ist es erforderlich, eine individuelle Analyse für jedes Grundstück durchzuführen. Es ist möglich, dass manche Technologien, die an einem Ort durchführbar sind, an einem anderen Ort der Gemeinde nicht durchführbar sind. Danach muss eine komparative Analyse der erzielten Ergebnisse durchgeführt werden, und letztlich werden Grundstück und Technologie passend ausgewählt.

Im theoretischen Modell, das in dieser Arbeit entwickelt wurde, werden 21 Systeme mit berücksichtigt, die sich aus einer Kombination unterschiedlicher Prozesse ergibt. Allerdings kann man noch weitere Verfahrenskombinationen mit einschließen oder einige Verfahrenskombinationen sofort ausschließen. Um neue Verfahrenskombinationen zu berücksichtigen, muss man über die Information verfügen, die die Feststellung der Vergleichsmatrizen zwischen Paaren erlaubt.

Die unterschiedlichen Kriterien, die vom Modell berücksichtigt werden, werden gemäß der lokalen Situation gewichtet. Man kann alle vorgeschlagene Kriterien einsetzen, oder einige nicht relevante Kriterien ausschließen. Auf diese Art und Weise werden die ökonomischen Aspekte bei der Technologieauswahl mit berücksichtigt, jedoch sind sie nicht die einzigen Faktoren und haben eine relative Bedeutung, die allerdings von der lokalen Situation abhängt. Wie schon erwähnt wurde, ist die billigste Technologie nicht immer die

geeigneteste Alternative für eine bestimmte Gemeinde.

Eine der Schwierigkeiten bei der Formulierung und Abwicklung von Projekten bezüglich Trinkwasserversorgung und Abwasserreinigung in Südamerika stellt die Teilnahme und/oder die Leitung des Projekts durch die Gemeinde dar. Das vorgeschlagene Modell erlaubt die Teilnahme der Gemeinde an der Formulierung des Projekts. Dies ermöglicht, dass die Bewohner der Gemeinde die Bedeutung der unterschiedlichen Aspekte, die im Projekt berücksichtigt werden, gewichten. Damit wird das Auswahlverfahren visualisiert.

Mit der Beendigung des Auswahlverfahrens wird die Gemeinde die Technologie kennen und verstehen, die in den folgenden Phasen des Projekts ausgelegt wird. Außerdem werden sie über die Stärken und Schwächen, die diese Technologie in der Betriebsphase aufweisen kann, informiert sein.

Die Variablen, die im Modell berücksichtigt werden, können quantifizierbar oder nicht quantifizierbar sein. Einige dieser Variablen, die als nicht quantifizierbar eingestuft wurden, wie z. B. Lärm- oder Geruchsentstehung, können in quantifizierbare Variablen umgewandelt werden, wenn einige Studien über die Emissionen der unterschiedlichen Behandlungssysteme vervollständigt werden. Für einige dieser Technologien wurden ihre Emissionen schon in Studien quantifiziert. Man kann diese Information aus der einschlägigen Literatur entnehmen (ATV 1997 und SCHMIDT 1993).

Das analytische Rangordnungshilfsmodell, das für das Problem der Technologieauswahl für die Abwasserreinigung angepasst wurde, gewichtet die Alternativen gemäß ihrer relativen Bedeutung hinsichtlich jedes Kriteriums. Dies ermöglicht eine Visualisierung der Kriterien, die eine bestimmte Technologie positiv oder negativ bewerten. Die Kriterien, die eine Technologie negativ bewerten, haben eine große Bedeutung, um vorläufige Maßnahmen gegen mögliche Probleme, die die ausgewählte Technologie aufweisen kann, zu ergreifen. Die Bewertung der Technologien jedes Unterkriteriums wurde gemäß der Literaturrecherche und der Kriterien, die aus der persönlichen Erfahrung des Autors entstanden sind, durchgeführt. Obwohl diese Ergebnisse eine Tauglichkeit bezüglich der Gewichtung besitzen, sind sie abhängig von den Kriterien des Autors. Um standardisierte Matrizen für die Technologien zu erstellen, kann man unterschiedliche Experten zu den Unterkriterien befragen.

## 7.2 Kostenhilfsmodell

Wie schon in Abschnitt 6.4 analysiert wurde, man kann verschiedene Analysen mit den erzielten Ergebnissen des entwickelten Kostenhilfsmodells durchführen, wie z. B. die Erstellung der Kostenstruktur jeder Technologie, die Feststellung der Investitionskosten pro Person, die Feststellung der Betriebs- und Wartungskosten pro Person, die Erstellung eines Vergleichs zwischen den unterschiedlichen Alternativen oder die Erstellung einer Bewertung des wirtschaftlichen Skaleneffekts.

Die Ergebnisse des Modells weisen eine Übereinstimmung mit den Merkmalen der lokalen Wirtschaft auf, da sie auf Preisen der grundlegenden Zusätze und der Arbeitskraft basieren. Dies ist ein sehr wichtiger Aspekt, da man zwar die zeitliche Veränderung der Kosten mit Hilfe des Baukostenindex (ICC) kalkulieren könnte, jedoch dieser Index in Entwicklungsländern nicht die reale Situation von kleinen Gemeinden wiedergibt.

Die Modelle der Menge an Bauarbeiten für die unterschiedlichen Technologien wurden gemäß der theoretischen Basis mit vorläufigen Auslegungen (Annäherungen) entwickelt. Man kann dabei Abweichungen feststellen, wenn man diese vorläufigen Auslegungen mit den endgültigen Auslegungen vergleicht. Man könnte jedoch eine Anpassung der Kostenfunktionen mit Hilfe von Informationen der unterschiedlichen real ausgelegten Systeme durchführen.

Da das Modell für den Technologievergleich (für Abwasserbehandlung) entwickelt wurde, wurden keine Modelle für die Feststellung der Menge an Strukturen, die für alle Systeme gemeinsam sind (Vorbehandlung, Pumpenstation, Labor und Messgeräte), entwickelt. Ebenfalls wurden keine Systeme zur Behandlung von Schlämmen bearbeitet.

## Literaturverzeichnis

- AGUAS & AGUAS (EMPRESA DE ACUEDUCTO A ALCANTARILLADO DE PEREIRA S. A. E.S.P.) (1998): Diagnostico Socioeconómico de la Cuenca Media y Alta del Río Otún, Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y Diseños definitivos para la Optimización, Rehabilitación y Ampliación del Sistema Integral de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Pereira. Pereira, Kolumbien
- ARAPE, J. (2000): Programa de Prospectiva Tecnológica para Latinoamérica y el Caribe, Manual de Metodologías, Tomo V: La Técnica AHP. ONUDI, Venezuela
- ARNOLD, C. (1982): Microcomputer-Assisted Planning Model for Selection of Appropriate Technology in Water and Waste Treatment, Ph.D. Dissertation. University of Oklahoma, USA
- ASHEY, R., SOUTER, N., BUTLER, D., DAVIES, J., DUNKERLEY, J., HENDRY, S. (1999): Assessment of the Sustainability of Alternatives for the Disposal of Domestic Sanitary Waste. *Water Science and Technology*, 39, 5, 251 – 258
- ATV (ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG e. V.) (1997): Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. 4. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, Deutschland
- ATV (1985): A123- Behandlung und Beseitigungen von Schlamm aus Kleinkläranlagen. St. Augustin, Deutschland
- ATV (1987): H258- Einsatz von Feinstrechen und Sieben auf kleinen kommunalen Kläranlagen. St. Augustin, Deutschland
- ATV (1989): A135- Grundsätze für die Bemessung von Tropfkörpern und Tauchkörpern mit Anschlusswerten über 500 Einwohnergleichwerten. St. Augustin, Deutschland
- ATV (1989a): A201- Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichen für kommunalen Abwasser. St. Augustin, Deutschland
- ATV (1989b): A257- Grundsätze für die Bemessung von Abwasserteichen und zwischengeschalteten Tropf- oder Tauchkörpern. St. Augustin, Deutschland
- ATV (1992): A122- Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von klein Kläranlagen mit

- aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlusswerte zwischen 50 und 500 Einwohnerwerten. St. Augustin, Deutschland
- ATV (1992a): A126- Grundsätze für die Abwasserbehandlung in Kläranlagen nach dem Belebungsverfahren mit gemeinsamer Schlammstabilisierung bei Anschlusswerte zwischen 500 und 5000 Einwohnerwerten. St. Augustin, Deutschland
- ATV (1994): Abluftemissionen aus kommunalen Abwasseranlagen, Erfassung, Vermeidung und Verminderung. Hennef, Deutschland
- ATV (1997a): A200- Grundsätze für die Abwasserentsorgung in ländlich strukturierten Gebieten. Hennef, Deutschland
- ATV (1997b): M210- Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb. Hennef, Deutschland
- ATV (1998): A262- Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1000 Einwohnerwerte. Hennef, Deutschland
- ATV (1998a): M271- Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlage. Merkblatt, Hennef, Deutschland
- BENAYOUN, R., ROY, B., SUSSMAN, B. (1966): ELECTRE: Une Méthode pour Guider le Choix en Presence de Points de Vau Multiples. SEMA, (METRA INTERNATIONAL), Paris, Frankreich
- BISCHOFBERGER, W., HEGEMANN, W. (2000): Lexikon der Abwassertechnik. 6. Auflage. Vulkan- Verlag, Essen, Deutschland
- BOHN, T. (1992): Wirtschaftlichkeit und Kostenplanung von Kommunalen Abwasserreinigungsanlagen, Schriftenreihe des Institutes für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland
- BOLLER, M. (1997): Small Wastewater Treatment Plants – A Change to Wastewater Engineers. Water Science and Technology, 35, 6, 1 – 12
- BUARQUE, C. (1983): Tecnología Apropiada: Una Política para la Banca de Desarrollo de America Latina. ALIDE, Peru
- BUCKSTEEG, K. (1987): Wahl des Abwasserreinigungsverfahrens im Zusammenwirken mit

dem Entwässerungsverfahren. ATV – Fortbildungskurs E/5, Fulda, Deutschland

- CAMARA, A. S. (1982): Societally Optimal Design of Wastewater Treatment Plants, Ph.D. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, USA
- CARDER (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA) (1995): Hacia una Propuesta Socioambiental en la Cuenca Media del Río Otún. Documento CARDER, Pereira, Kolumbien
- CARNEIRO, A., MOREIRA, R., SOUZA, M. A. A. (2000): Tecnologia Apropriada em Saneamiento: uma nova Abordagem com o Emprego de Análise Multiobjetivo e Multicritério. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Brasil
- CHEN, J. & BECK, M. B. (1997): Towards Designing Sustainable Urban Wastewater Infrastructures: a Screaming Analysis. *Water Science and Technology*, 35, 9, 99-112
- CHERNICHARO, C. & CARDOSO, M. (1999): Development and Evaluation of a Partitioned Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor for the Treatment of Domestic Sewage from Small Villages. *Water Science and Technology*, 40, 8, 107 – 113
- CONTRALORÍA GENERAL DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA (1997): Informe Ambiental 1997, Departamento de Risaralda. Pereira, Kolumbien
- DANE (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA) (2000): <http://www.dane.gov.co/>
- DUCKSTEIN, L., TREICHEL, W., MAGNOUNI S. (1994): Ranking Ground-water Management by Multicriterio Analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120, 4, 546-565
- DURÁN, C., HABERL, R., KREINER, I., KRISHNAN, R., LUNA, V. (1999): Humedales Artificiales, una Alternativa Viable para el Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Rurales, Suburbanas y Urbanas. Caso de Estudio: Humedal de Flujo Horizontal en Viveros de Cayoacán, Ciudad de México, México
- EL-GOHARY, F. & NASAR, F. (1999): Cost- Effective Pre- Treatment of Wastewater. *Water Science and Technology*, 39, 5, 97 – 103
- EPA (1980): Construction Cost for Municipal Wastewater Treatment Plants. EPA/430/9-80-

003, Washington, USA

EPA (1999): Decentralized Systems Technology Fact Sheet. EPA 832/F/99/068, Washington, USA

FINDETER (1998): Servicios Sostenibles de Agua y Saneamiento. Ministerio de Desarrollo Económico, Santafé de Bogotá, Kolumbien

GALVIS, G., NAVARRO, F. VARGAS, V. (1998). Programa de Computador para la Selección de Tecnología Sel Tec. Memorias, en: Seminario AGUA 2000, Cali, Kolumbien

GELLER, G., KLEYN, K., LENZ, A., NETTER, R., RETTINGER S., HEGEMANN, W. (1992): Erprobung der Leistungsfähigkeit Bewachsener Bodenfilter zur Abwasserreinigung. Ermittlung von Bemessungsgrundlage. Endbericht des BMFT – Forschungsvorhabens 02 WA 162/85153/88407. Freunde der Landschaftsökologie Weihenstephan (Hrsg.), Helf 7. München, Deutschland

GOICOECHEA, A., HANSEN, D. R., DUCKSTEIN, L. (1982): Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications. John Wiley & Sons, USA

GOPAL, B. (1999): Natural and constructed wetlands wastewater treatment potential problems. Water Science and Technology, 40, 27-35

GRAU, P. (1996): Low Cost Wastewater Treatment. Water Science and Technology, 33, 8, 39 – 46

GÜNTHERT, F. W. & REICHERTER E. (1998): Spezifische Investitionskosten bei abwassertechnischen Anlagen. Kostenanalyse und Kostensteuerung in der Abwasserwirtschaft. ATV- Fortbildungskurs für Wassergütewirtschaft und Abwassertechnik. Fulda, Deutschland

HABERL, R. (1997): Constructed Wetlands in Europe with Emphasis to Austria. In: Memorias Tercer Seminario Internacional de Expertos en Tratamiento de Efluentes Industriales y residuos. Ciudad de México, México

HARADA, A., & CORDEIRO, O. M. (1999): Análise Multicritério Aplicada a Sistemas de Esgotamento Sanitário no Distrito Federal. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Brasil

HEGEMANN, W. (1991): Entwässerungssysteme für den ländlichen Raum, Manuskript zum

- HU, K. (1991): Overview: Design of Subsurface Flow Constructed Wetland Systems. Shanghai Environmental Science, 8, 9, 7-12
- HUIZINGH, E., ELKO K., VROLIJK, H. (1999): Decision Support for Information Systems Management: Applying Analytic Hierarchy Process (AHP). <http://www.ub.rug.nl/eldoc/som/95B26/95B26.pdf>
- INSTITUTO MUNICIPAL DE SALUD PEREIRA, SECRETARIA DE PLANEACIÓN MUNICIPAL PEREIRA, UMATA SANTA ROSA DE CABAL (1998): Censo Rural Municipio de Pereira, Pereira, Kolumbien
- JACQUET-LEGRÈZE, E. & SISKOS, J. (1982): Assessing a Set of Additive Utility Functions for Multicriteria Decisionmaking, the UTA Method. European Journal of Operations Research, 10, 2, 151-164
- JEWELL, W. J. & SAABROOK, B. L. (1979): History of Land Application as a Treatment Alternative. EPA 430/9-79-012, Washington, USA
- JOUBERT, A., LEIMAN, A., KLEL, H., KATUA, S., COENRAD, J. (1997): Analysis Fynbos Vegetation and Supply of Water: a Comparison of Multi-criteria Decision Analysis and Cost-benefit Analysis. Ecological Economics, 22, 123 – 140
- KAMIYAMA, H. (1993): Revisao a Aperfeicoamento do Sistema Tanque Septico - Filtro Anaeróbico para Tratamento de Esgoto Sanitario. Revista DAE-SABESP. No. 169. Brasil
- KIELY, G. (2000): Ingeniería ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill, Inc. Santafé de Bogotá, Kolumbien
- LARSEN, T. & GUJER, W. (1997): The Concept of Sustainable Urban Water Management. Water Science and Technology, 35, 9, 3 – 10
- MARTTUNEN, M., & HÄMÄLÄINEN R. (1995): Decision Analysis Interviews in Environmental Impact Assessment. European Journal of Operational Research, 87, 551 – 563
- MEDEIROS, P., CAPELUTO, A., SPANGENBERG, A., FIERRO, E., RUIZ, M., AZURIZ, K. (2000): Función para Evaluación Preliminar de Costos de Construcción de Plantas de

- Tratamiento de Efluentes. In: 27° Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Brasil
- MELS, A., VAN NIEUWENHUIZEN, A., VAN DER GRAAF, J., KLAPWIJK, J., DE KONING, J., RULKENS, W. (1999): Sustainability Criteria as a Tool in the Development of New Swage Treatment Methods. *Water Science and Technology*, 39, 5, 243 – 250
- METCALF & EDDY (1996): *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Third ed., McGraw-Hill, Inc. New York, USA
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (2000): Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Santafé de Bogotá, Kolumbien
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (1998): Diagnóstico e Inventario de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Santafé de Bogotá, Kolumbien
- NACRI-GÖTTLICH, A. (1994): Klein Kläranlagen – Verfahrensvergleich. Abwasserbeileistung im ländlichen Raum, Teil 1. Manuskript zum Übungskurs Siedlungswasserwirtschaft an der TU Berlin, Deutschland
- NENOV, V. (1995): TSS/BOD Removal Efficiency and Cost Comparison of Chemical and Biological Wastewater Treatment. *Water Science and Technology*, 32, 7, 207 – 214
- NOYOLA, A. & MORGAN, F. (1997): Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales – Proceso de Digestión Anaerobia. In: Foro Internacional Comparación y Complementación de Tecnologías en Aguas Residuales Domesticas para comunidades, Universidad del Valle, Cali, Kolumbien
- ODEGAARD, H. & SKROVSETH, A. (1997): An Evaluation of Performance and Process Stability of Different Processes for Small Wastewater Treatment Plants. *Water Science and Technology*, 35, 6, 119 – 127
- OMS (ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD), OPS (ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD) (2000): Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento 2000 en las Americas. <http://www.cepis.ops-oms.org/>
- OPS (1997): Análisis del Sector de Agua Potable Saneamiento Básico para Kolumbien. <http://www.cepis.ops-oms.org/>
- ORON, G., CAMPOS, C., GUILLERMAN, L., SALGOT, M. (1999): *Wastewater Treatment*,

- Renovation and Reuse for Agricultural Irrigation in Small Communities. *Agricultural Water Management*, 38, 223-234
- PEREZ, J. M. (1998): Tecnología Apropriada en Tratamiento de Agua. Hojas de divulgación técnica. <http://www.cepis.org.pe/>
- PLATZER, CHR. (1996): Erfahrung mit Pflanzenkläranlage. Naturnahe Abwasserreinigungsverfahren für ländlichen Raum. Übungskurs Siedlungswasserwirtschaft, TU Berlin, Deutschland
- PLATZER, CHR. & HEGEMANN, W. (1997): Endbericht zum Forschungsvorhaben „Weitergehende Abwasserreinigung im ländlichen Raum“. Unveröffentlicht. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, TU Berlin, Deutschland
- PLATZER, CHR. (1997): Entwicklung eines Bemessungsansatzes zur Stickstoffelimination in Pflanzenkläranlage. Dissertation an der Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, TU Berlin, Deutschland
- POUBD, C. & CRITES, R. (1973): *Wastewater Treatment and Reuse by Land Application*, EPA 660/2-73-0066, Washington, USA
- REED, S. C. (1992): *Constructed Wetland Designs-The first Generation*. *Water Environmental Research*, 64, 6, 776-782
- REED, S., CRITES, R., MIDDLEBROOKS, E. (1995): *Natural systems for waste management and treatment*. Second ed. McGraw-Hill, Inc. New York, USA
- RIED, G. W. & DISCENZA, R. (1976): *Prediction Methodology for Suitable Water and Wastewater Processes*, Technical Papers Series N. 8. International Reference Center for Community Water Supply (WHO), USA
- ROMERO ROJAS, J.A. (1999): *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá, Kolumbien
- ROSSMAN, L. A. (1979): *Computer-aided Synthesis of Wastewater Treatment and Sludge Disposal Systems*, Report N. EPA 600/2-79-158, Washington, USA
- ROY B. (1991): The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods. *Theory and Decision*, 31, 49-73

- SAATY, T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, Inc. New York, USA
- SALAZAR, A. & OROZCO, A. (1995): Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia (AINSA), Medellín, Kolumbien
- SALAZAR, A. A. (1998):. Instrumentos para la Planeación de un Sistema de Colección y Tratamiento de Aguas Residuales. Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia, (AINSA). Medellín, Kolumbien
- SANABRIA, M (1999): Monitoreo limnológico del río Otún. AGUAS & AGUAS, Pereira, Kolumbien.
- SANTILLO, L. & MELI, R. (1998): Early Function Points: Some Practical Experiences of Use. ESCOM-ENCRESS98, Rome, Italien
- SANTILLO, L. (2000): Early Estimation and the Analitic Hierarchy Process. <http://www.Escom.co.uk/conference2000/santillo.pdf>
- SARMIENTO, G. (1997): Manejo de Aguas Residuales Urbanas y Tasas Retributivas. Ministerio de Desarrollo Económico, Santafé de Bogotá, Kolumbien
- SCHMIDT A. (1993): Auflagen und Anforderungen zur Geruchsminderung bei der Genehmigung und Überwachung von Kläranlagen. In: 29° Darmstädter Seminar, Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der TH Darmstadt, Darmstadt, Deutschland
- SECRETARÍA DE PLANEACIÓN DE RISARALDA (1995): Anuario estadístico del Departamento de Risaralda. Pereira, Kolumbien
- SECRETARIA DE PLANEACIÓN MUNICIPAL PEREIRA, AREA METROPOLITANA CENTRO OCCIDENTE (1995): Censo Socioeconómico Rural del Municipio de Pereira. Pereira, Kolumbien
- SEYFRIED, C. (1985): Kosten der Abwasserreinigung und Schlammhandlung, Betriebstechnik, Kosten und Rechtsgrundlagen der Abwassertechnik. ATV – Handbuch, 4. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, Deutschland
- SEYFRIED, C., & BECKEREIT, M. (1989): Kosten der Schlammbehandlung. ATV – Fortbildungskurs F/3, Fulda, Deutschland

- SIAS (SISTEMA DE INFORMACIÓN DE AGUA Y SANEAMIENTO PARA COLOMBIA) (1999): Inventario nacional de aguas - 1998. <http://www.sias.gov.co>
- SOUZA, M. A. A. (1992): Methodology for Selection of Wastewater Treatment Processes, Ph.D. Dissertation. University of Birmingham, UK
- SOUZA, M. A. A. (1997): Metodología de Análisis de Decisiones para Seleccionar Alternativas de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales. Hojas de divulgación técnica, <http://www.cepis.ops-oms.org/>
- STIER, E., BAUMGART, H. UND FISCHER, M. (1994): Handbuch für Ver- und Entsorger. Band 3, Fachrichtung Abwasser. 5. Überarbeitete Auflage. F. Hirthammer Verlag, München, Deutschland
- STIER, E., & FISCHER, M. (1993): Klärwärter- Taschenbuch. 11. Auflage. F. Hithammer Verlag, München, Deutschland
- SUCHER, C. & HOLZER, T. (1999): Proyecto Biomasa Austria – Nicaragua, .Biofiltro, Una alternativa viable para el Tratamiento de Aguas Residuales en Países Tropicales. Nicaragua
- SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS (1999): Supercifras. Ministerio de Desarrollo Económico, Santafé de Bogotá, Kolumbien
- SZIDAROVSKY, F., DUCKSTEIN, L., BOGARDI, Y. (1984): Multiobjective Management of Mining under Water Hazard by Games Theory. European Journal of Operations Research, 15, 2, 251-258
- TCHOBANOGLIOUS, G., CRITER, R., (1998): Small and Decentralized Wastewater Management Systems. McGraw Hill, Inc. Singapore
- TESCHNER, K. (1999): Untersuchungen über Prozesse der Kolmation von vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen. Forschungsplan. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und Wasserhaushalt und Kulturtechnik, TU Berlin, Deutschland
- TECLE, A., FOGEL, M., DUCKSTEIN, L. (1988): Multicriterion Selection of Wastewater Management Alternatives. Journal of Water Resources Planning and Management Division, 114, 4, 383-398

- UNITED STATES CORPS OF ENGINEERS (COE), UNITED STATES PROTECTION AGENCY (EPA) (1982): Computer-Assisted Procedure for the Design and Evaluation of Wastewater Treatment Systems (CAPDET): Program Users Guide, Washington, USA
- VANROLLEGHEM, P., JEPSSON, U., CARSTENSEN, J., CARLSSON, B., OLSSON, G. (1996): Integration of Wastewater Treatment Plant Design and Approach Using Cost Functions. *Water Science and Technology*, 34, 3, 159 – 171
- VARGAS, V. & GALVIS, A. (2000): Selección de Tecnología para el Tratamiento de Agua, Validación del Modelo Conceptual. Memorias, en: Seminario AGUA 2000, Cali, Kolumbien
- VON SPERLING, M. (1996): Comparison Among the most frequently used Systems for Wastewater Treatment in Developing Countries. *Water Science and Technology*, 33, 3, 59-72
- WEN, C. & LEE, C. (1999): Development of a Cost Function for Wastewater Treatment Systems with Fuzzy Regression. *Fuzzy Sets and Systems*, 106, 143 – 153
- WILLOUGHBY, K. W. (1990): Technology Choice: A Critique of the Appropriate Technology Movement. Intermediate Technology Publications, UK
- WOLF, P. (1987): Auswahl- und Bewertungskriterien für Kleine Kläranlagen. *Abwassertechnik*, 38, 2, 5-7
- XIAN-WEN, L. (1995): Technical Economic Analysis of Stabilization Ponds. *Water Science and Technology*, 31, 12, 103 – 110
- YANG, C., & KAO, J. (1996): An Expert System for Selecting and Sequencing Wastewater Treatment Processes. *Water Science and Technology*, 34, 4, 347-353
- YU, H., TAY, J., WILSON, F. (1997): A Sustainable Municipal Wastewater Treatment Process for Tropical and Subtropical Regions in Developing Countries. *Water Science and Technology*, 35, 9, 191 – 198
- ZAMBRANO, D. 1997. Tratamiento de Aguas Residuales del Lavado del Café. Boletín Técnico No. 20 CENICAFE, Chinchina, Kolumbien
- ZELENY, M. (1982): Multiple Criteria Decision Making. McGraw-Hill, Inc. New York, USA

# **Anhang**

## **Inhalt des Anhangs**

**Anhang A:** Die wichtigsten Bemessungsgrößen der Verfahren für Abwasserreinigung und Bindung der Systeme

**Abhang B:** Kosten des Bauleistungsschlüssels

**Abhang C:** Bemessung des Verfahrens für La Florida und La Bananera

## Anhang A

**Tabelle A1 Die wichtigsten Bemessungsgrößen des Vor- und Nachklärbeckens (STIER et al. 1994 ; ATV 1997 ; ATV 1989)**

	Vorklärbecken	Nachklärbecken
Ziel des Verfahrens	Vorbehandlung	Behandlung
Flächenbeschickung (m/d)	20 - 72	16 - 24
Durchflusszeit (h)	1,0 - 2,5	2,5 - 4,0
Tiefe (m)	2,0 - 2,5	3,0 - 5,0
Beckenlänge (m)	> 4,0	N/A

**Tabelle A2 Die wichtigsten Bemessungsgrößen von Mehrkammergrube, Filterkörper und UASB (TCHOBANOGLIOUS & CRITERS 1998, ROMERO 1999, STIER et al. 1994 )**

	Mehrkammergrube	Filterkörper	UASB
Ziel des Verfahrens	Vorbehandlung	Vorbehandlung	Behandlung
Flächenbeschickung (m/d)			4,0 - 12,0
Durchflusszeit (h)	12,0 - 24,0	3,0 - 8,0	12,0 - 18,0
Tiefe (m)	1,2 - 2,8	1,8	4,0 - 5,0
Beckenlänge (m)	L > 2H	L > 3H	

**Tabelle A3 Die wichtigsten Bemessungsgrößen der Landbehandlung (TCHOBANOGLIOUS & CRITERS 1998; ROMERO 1999)**

	Rieselfelder	Oberflächenabfluss
Ziel des Verfahrens	Vorbehandlung	Behandlung
Vorbehandlungsbedarf	Ja	Ja
Flächenbeschickung (m/a)	0,61 - 5,5	3,05 - 21
Fläche für 1 m <sup>3</sup> /d (ha)	0,024	0,004
Verbleib des gereinigten Abwassers	Verdunsten und Grundwasser	Gewässer
Pflanzenbedarf	Ja	Ja
Tiefe des Bodens (m)	> 0,61	> 0,15
Permeabilität des Bodens (cm/h)	> 0,15 - 51	< 0,5
Tiefe des Grundwasser (m)	0,60 - 0,90 (Minimal)	Nicht kritisch
Neigung des Bodens	< 20%	> 2 - 8%

**Tabelle A4 Die wichtigsten Bemessungsgrößen des Abwasserteiches (ATV 1989b; TCHOBANOGLIOUS & CRITERS 1998, ROMERO 1999; SALAZAR 1995; STIER et al. 1994)**

	Anaerober Teich	Unbelüfteter Teich	Belüfteter Teich
Ziel des Verfahrens	Vorbehandlung	Behandlung	Behandlung
Durchflusszeit (d)	10 - 50	25 - 180	5 - 20,
Tiefe (m)	2,50 - 3,00	1,50 - 2,50	3,0 - 6,0
Teichoberfläche je Einwohnerwerte (m <sup>2</sup> /E)		> 10	
Flächenbeschickung (m/d)	-	0,05 - 0,15	0,25 - 0,40
BSB5-Flächenbelastung (kg/ha d)	375 - 700	25 - 70	375 - 875
Verbleib des gereinigten Abwassers	-	Gewässer	Gewässer
Tiefe des Bodens (m)	Nicht kritisch	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Permeabilität des Bodens (cm/h)	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Tiefe des Grundwasser (m)	> 4,0	> 4,0	> 4,0
Neigung des Bodens	< 30%	< 30%	< 30%

**Tabelle A5 Die wichtigsten Bemessungsgrößen des Belebungsverfahrens (ATV 1997 ; ATV 1992 ; ATV 1997b ; STIER et al. 1994)**

	Belebungsverfahren	mit Schlammstabilisierung	SBR
Ziel des Verfahrens	Behandlung	Behandlung	Behandlung
Schlammbelastung BTS (kg/kg d)	0,2 - 1,0	< 0,05	< 0,05
Raumbelastung BR (kg/m <sup>3</sup> d)	0,3 - 0,6	0,15 - 0,25	0,15 - 0,25
Feststoffgehalt TS <sub>B</sub> (mg/l)	1000 - 3000	3000 - 5000	3000 - 5000
Schlammalter (d)	3 - 15	20 - 40	10 - 30
Durchflusszeit (h)	4 - 8	18 - 36	18 - 36
Verbleib des gereinigten Abwassers	Gewässer	Gewässer	Gewässer
Tiefe des Bodens (m)	Nicht kritisch	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Permeabilität des Bodens (cm/h)	Nicht kritisch	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Tiefe des Grundwasser (m)	Nicht kritisch	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Neigung des Bodens	Nicht kritisch	Nicht kritisch	Nicht kritisch

**Tabelle A6 Die wichtigsten Bemessungsgrößen des Tropfkörpers/Tauchkörpers (ATV 1989 ; STIER et al. 1994)**

	Tropfkörper	Tauchkörper
Ziel des Verfahrens	Behandlung	Behandlung
Füllmaterial	Gesteinsbrocken	Kunststoffkörper
Größe des Füllmaterials (cm)	2,5 - 12,7	1
Spezifische Oberfläche (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	40 - 96	
Hohlraumanteil (%)	40 - 55	
Flächenbeschickung (m/d)	3,74 - 9,30	
BSB5- Scheibenbelastung (g/m <sup>2</sup> d)		6,00 - 8,00
Raumbelastung BR (kg/m <sup>3</sup> d)	0,40 - 0,80	0,45 - 0,70
Tiefe (m)	1,8 - 2,5	1,5 - 2,0
Rücklaufverhältnis	1 + 1	1 + 1
Verbleib des gereinigten Abwassers	Gewässer	Gewässer
Tiefe des Bodens (m)	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Permeabilität des Bodens (cm/h)	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Tiefe des Grundwasser (m)	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Neigung des Bodens	Nicht kritisch	Nicht kritisch

**Tabelle A7 Die wichtigsten Bemessungsgrößen der Pflanzenkläranlagen (ATV 1998 ; TCHOBANOGLOUS & CRITERS 1998; ROMERO 1999)**

	<b>Oberflächenabfluss</b>	<b>Horizontalbeet</b>
Ziel des Verfahrens	Behandlung	Behandlung
Durchflusszeit (d)	6,0 - 10,0	3,0 - 4,0
BSB5-Flächenbelastung (kg/ha d)	< 112	< 112
Beetfläche bei horizontaler Durchströmung (m <sup>2</sup> /E)		5
Beetfläche bei vertikaler Durchströmung (m <sup>2</sup> /E)		2,5
Wassertiefe (m)	0,10 - 0,50	0,30 - 0,60
Beckenlänge/Beckenbreite	4:1	2:1 - 4:1
Fliegenkontrolle	Ja	Nein
Ernte (a)	3,0 - 5,0	Nicht kritisch
Verbleib des gereinigten Abwassers	Gewässer	Gewässer
Tiefe des Bodens (m)	Nicht kritisch	Nicht kritisch
Permeabilität des Bodens (cm/h)	< 0,5	< 0,5
Tiefe des Grundwasser (m)	> 1,0	> 1,0
Neigung des Bodens	< 50%	< 50%

## Anhang B

**Tabelle B1 Kosten des Bauleistungsschlüssels (Quelle: Regierung von Pereira – Risaralda, 2000)**

<b>BLS-Nr.</b>	<b>Bauleistungsschlüssel</b>	<b>Einheit</b>	<b>Kosten (US\$)</b>
A00	Fläche	m <sup>2</sup>	2,25
A10	Bürobaracken auf- und abbauen	m <sup>2</sup>	23,65
A20	Platzbefestigungen herstellen und entfernen	m <sup>2</sup>	0,25
A30	Gelände planieren und wiederherstellen	m <sup>2</sup>	0,38
A40	Aushub für Leitungsgräben, Tiefe 1.5 - 3.0 m	m <sup>3</sup>	3,32
A50	Aushub für Tanks, Tiefe 1.5 - 3.0 m	m <sup>3</sup>	3,38
A60	Bettung	m <sup>3</sup>	7,50
A70	Bettung aus Kies und Kiessand	m <sup>3</sup>	14,82
A80	Filterstoffe (Stein 1/2", 1" und 1 1/2")	m <sup>3</sup>	16,24
A90	Planumsschutz mit Kunststoff- Folie	m <sup>2</sup>	2,57
A100	Beton (3.000 psi) für Tanks	m <sup>3</sup>	115,07
A110	Unterbeton	m <sup>3</sup>	51,63
A120	Stahl fy = 37.000	kg	0,62
A130	Stahl fy = 60.000	kg	0,72
A140	PVC- Rohre 4"	m	11,95
A150	PVC- Rohre 4" (Gelocht)	m	14,11
A160	Filterstoffe (Bambus)	Stck	3,28
A170	Scheiben für Tauchkörper	Stck	12,80
A180	Bepflanzungen	m <sup>2</sup>	1,76
A190	Sammelschacht	Stck	50,04
A200	Beton- Leitungsrohre 6"	m	6,83
A210	PVC- Leitungsrohre 6"	m	15,53
A220	Zaun	m	12,00
A230	Wassergraben für Ableitung von Regen	m	7,50
A240	Gehweg aufbauen	m	3,32

<b>BLS-Nr.</b>	<b>Bauleistungsschlüssel</b>	<b>Einheit</b>	<b>Kosten (US\$)</b>
B10	Kilowatt-stunde (kW h)	kW h	0,05
B20	Chemischr Technischer (Assistent)	s	1,57
B30	Hilfskraft beim Betrieb	s	1,05
B40	Elektriker	s	2,10
B50	Verwaltungshilfskraft	s	1,05

# Anhang C

**Tabelle C1 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Vorklärungsbecken</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	119,12	119,12
Flächenbeschickung (m/d)	33,00	33,00
Durchflusszeit (h)	2,18	2,18
Beckenoberfläche (m <sup>2</sup> )	3,27	2,91
Volumen (m <sup>3</sup> )	9,82	8,72
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	51,33	51,33
<b>Mehrkammergrube</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	119,12	119,12
Durchflusszeit (h)	1,00	1,00
Volumen (m <sup>3</sup> )	54,00	47,95
Volumen für Schlamm (m <sup>3</sup> )	34,80	31,10
Gesamte Volumen (m <sup>3</sup> )	88,80	79,05
Fülltiefe (m)	2,50	2,50
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	132,75	132,75
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	51,33	51,33
<b>Nachklärbecken</b>		
Vorhergehende Verfahren	Belebungsverfahren, Tropfkörper, Tauchkörper oder UASB	Belebungsverfahren, Tropfkörper, Tauchkörper oder UASB
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	3.000,00	3.000,00
Flächenbeschickung (m/d)	11,37	11,37
Beckenoberfläche (m <sup>2</sup> )	9,50	8,43
Volumen (m <sup>3</sup> )	42,74	37,96
Fülltiefe (m)	4,50	4,50
Durchmesser (m)	3,48	3,28
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82

**Tabelle C2 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Landbehandlung - Rieselfelder</b>		
Vorhergehende Verfahren	Vorklärung oder Mehrkammergrube	Vorklärung oder Mehrkammergrube
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
Flächenbeschickung (m/a)	1,50	1,50
Beckenoberfläche (Ha)	2,63	2,33
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	4,42	4,42
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	2,38	2,38
<b>Landbehandlung - Oberflächenabfluss</b>		
Vorhergehende Verfahren	Vorklärung oder Mehrkammergrube	Vorklärung oder Mehrkammergrube
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
Flächenbeschickung (m/a)	11,00	11,00
Beckenoberfläche (Ha)	0,36	0,32
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Unbelüfteter Teich</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	119,12	119,12
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	70,00	70,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,03	0,03
Durchflusszeit (h)	63,21	63,21
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	3.413,57	3.031,25
Volumen (m <sup>3</sup> )	6.827,14	6.062,50
Fülltiefe (m)	2,00	2,00
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82

**Tabelle C3 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Anaerober Teich</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	119,12	119,12
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	500,00	500,00
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	477,90	424,38
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.433,70	1.273,13
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
Durchflusszeit (d)	13,28	13,28
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	121,69	121,69
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	18,84	18,84
<b>Unbelüfteter Teich</b>		
Vorhergehende Verfahren	Anaerobe Teich	Anaerobe Teich
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	121,69	121,69
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	18,84	18,84
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	70,00	70,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,06	0,06
Durchflusszeit (d)	34,77	34,77
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	1.877,50	1.667,22
Volumen (m <sup>3</sup> )	3.755,01	3.334,45
Fülltiefe (m)	2,00	2,00
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Belüfteter Teich</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	119,12	119,12
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	300,00	300,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,14	0,14
Durchflusszeit (d)	22,13	22,13
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	796,50	707,29
Volumen (m <sup>3</sup> )	2.389,50	2.121,88
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
Leistung (Horstpower)	18,92	16,81
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82

**Tabelle C4 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Anaerober Teich</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	119,12	119,12
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	500,00	500,00
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	477,90	424,38
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.433,70	1.273,13
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
Durchflusszeit (d)	13,28	13,28
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	121,69	121,69
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	18,84	18,84
<b>Unbelüfteter Teich</b>		
Vorhergehende Verfahren	Anaerobe Teich	Anaerobe Teich
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	121,69	121,69
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	18,84	18,84
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	70,00	70,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,06	0,06
Durchflusszeit (d)	34,77	34,77
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	1.877,50	1.667,22
Volumen (m <sup>3</sup> )	3.755,01	3.334,45
Fülltiefe (m)	2,00	2,00
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Belüfteter Teich</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	119,12	119,12
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	300,00	300,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,14	0,14
Durchflusszeit (d)	22,13	22,13
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	796,50	707,29
Volumen (m <sup>3</sup> )	2.389,50	2.121,88
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
Leistung (Horstpower)	18,92	16,81
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82

**Tabelle C5 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Belebungsbecken</b>		
Vorhergehende Verfahren	Vorklärung	Vorklärung
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
Raumbelastung (kg/m <sup>3</sup> d)	0,45	0,45
Durchflusszeit (h)	7,67	7,67
Volumen (m <sup>3</sup> )	34,51	30,65
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	11,50	10,22
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
Sauerstoffbedarf (kg O <sub>2</sub> /h)	1,18	1,05
Leistung (Horstpower)	1,30	1,15
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Belebungsbecken</b>		
Vorhergehende Verfahren	Sieb	Sieb
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	154,88	154,88
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	83,38	83,38
Raumbelastung (kg/m <sup>3</sup> d)	0,45	0,45
Durchflusszeit (h)	8,26	8,26
Volumen (m <sup>3</sup> )	37,17	33,01
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	12,39	11,00
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
Sauerstoffbedarf (kg O <sub>2</sub> /h)	1,31	1,17
Leistung (Horstpower)	1,44	1,28
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82

**Tabelle C6 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Belebungsbecken mit Schlammstabilisierung</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	327,01	327,01
Raumbelastung (kg/m <sup>3</sup> d)	0,19	0,15
Durchflusszeit (h)	27,95	35,40
Volumen (m <sup>3</sup> )	125,76	141,46
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	41,92	47,15
Fülltiefe (m)	3,00	3,00
Sauerstoffbedarf (kg O <sub>2</sub> /h)	2,10	1,87
Leistung (Horstpower)	2,31	2,05
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Tropfkörper</b>		
Vorhergehende Verfahren	Vorklärung	Vorklärung
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
Raumbelastung (kg/m <sup>3</sup> d)	0,40	0,40
Flächenbeschickung (m/d)	3,48	6,95
Volumen (m <sup>3</sup> )	77,66	34,48
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	31,06	13,79
Fülltiefe (m)	2,50	2,50
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	28,76	28,76
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Tauchkörper</b>		
Vorhergehende Verfahren	Vorklärung	Vorklärung
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (g/m <sup>2</sup> d)	6,50	6,50
Raumbelastung (kg/m <sup>3</sup> d)	0,24	0,19
Volumen (m <sup>3</sup> )	64,37	73,21
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	42,92	48,80
Fläche der Scheiben (m <sup>2</sup> )	2.389,46	2.121,84
Zahl der Scheiben	939,47	208,56
Fülltiefe (m)	1,50	1,50
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	28,76	28,76
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82

**Tabelle C7 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Pflanzenkläranlage (Oberflächeabfluss)</b>		
Vorhergehende Verfahren	Vorklärung	Vorklärung
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	70,00	70,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,05	0,05
Durchflusszeit (d)	10,27	9,12
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	2.218,78	1.970,28
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.109,39	985,14
Fülltiefe (m)	0,50	0,50
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Pflanzenkläranlage (Oberflächeabfluss)</b>		
Vorhergehende Verfahren	Mehrkammergrube	Mehrkammergrube
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	132,75	132,75
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	70,00	70,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,05	0,06
Durchflusszeit (d)	9,48	8,42
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	2.048,14	1.818,75
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.024,07	909,38
Fülltiefe (m)	0,50	0,50
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Filterkörper</b>		
Vorhergehende Verfahren	Mehrkammergrube	Mehrkammergrube
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	132,75	132,75
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
Durchflusszeit (d)	2,50	3,50
Volumen (m <sup>3</sup> )	11,25	13,99
Fülltiefe (m)	2,00	3,00
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	79,65	79,65
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	30,80	30,80

**Tabelle C8 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Pflanzenkläranlage (Oberflächeabfluss)</b>		
Vorhergehende Verfahren	Filterkörper	Filterkörper
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	79,65	79,65
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	30,80	30,80
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	70,00	70,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,09	0,10
Durchflusszeit (h)	5,69	5,05
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	1.228,89	1.091,25
Volumen (m <sup>3</sup> )	614,44	545,63
Fülltiefe (m)	0,50	0,50
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Pflanzenkläranlage (Horizontalbett)</b>		
Vorhergehende Verfahren	Vorklärung	Vorklärung
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	143,81	143,81
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	90,00	90,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,06	0,07
Durchflusszeit (d)	6,39	6,39
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	1.725,72	1.532,44
Volumen (m <sup>3</sup> )	690,29	612,98
Fülltiefe (m)	0,40	0,40
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>Pflanzenkläranlage (Horizontalbett)</b>		
Vorhergehende Verfahren	Mehrkammergrube	Mehrkammergrube
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	132,75	132,75
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	51,33	51,33
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	90,00	90,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,07	0,07
Durchflusszeit (d)	5,90	5,24
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	1.593,00	1.414,58
Volumen (m <sup>3</sup> )	637,20	565,83
Fülltiefe (m)	0,40	0,40
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82

**Tabelle C9 Bemessung des Verfahrens**

Bemessung	Dörfer	
	La Florida	La Bananera
<b>Pflanzenkläranlage (Horizontalbett)</b>		
Vorhergehende Verfahren	Filterkörper	Filterkörper
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	79,65	79,65
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	30,80	30,80
BSB <sub>5</sub> -Flächenbelastung (kg/ha d)	90,00	90,00
Flächenbeschickung (m/d)	0,11	0,11
Durchflusszeit (d)	3,54	3,14
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	955,80	848,75
Volumen (m <sup>3</sup> )	382,32	339,50
Fülltiefe (m)	0,40	0,40
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	23,82	23,82
<b>UASB</b>		
Vorhergehende Verfahren	Rechen - Sandfang	Rechen - Sandfang
BSB <sub>5</sub> des Zulaufs (mg/l)	221,25	221,25
Schwebstoffe des Zulaufs (mg/l)	327,01	327,01
Flächenbeschickung (m/d)	8,00	8,00
Durchflusszeit (d)	12,00	10,66
Oberfläche (m <sup>2</sup> )	13,50	11,99
Volumen (m <sup>3</sup> )	54,00	47,95
Fülltiefe (m)	4,00	4,00
BSB <sub>5</sub> des Ablaufs (mg/l)	44,25	44,25
Schwebstoffe des Ablaufs (mg/l)	100,00	100,00