



TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DISSERTATION

**ENTWICKLUNG EINER METHODE FÜR DEN TECHNISCH  
WIRTSCHAFTLICHEN VERGLEICH VON ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN  
ALS GRUNDLAGE FÜR EINE KOSTENOPTIMIERUNG**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der  
technischen Wissenschaften unter der Leitung von

o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Helmut Kroiß

Institutsnummer: 2261

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Stefan Lindtner

Matr.Nr.: 9140637

Obere Augartenstraße 18/10/32, 1020 Wien

Wien, im Oktober 2003

## KURZFASSUNG

Benchmarking für Abwasserreinigungsanlagen stellt ein Controllinginstrument dar, bei dem mehrere Anlagen kontinuierlich verglichen werden, um die besten der Branche zu eruieren. Das Wissen, welche Leistung zu welchen Kosten und in welcher Art und Weise erbracht werden kann (best practice), ermöglicht eine zielgerichtete Vorgangsweise bei der Optimierung einer Kläranlage.

In der vorliegenden Arbeit erfolgt der Vergleich von Kläranlagen mit Hilfe definierter Prozesse. Vor dem Hintergrund, dass die vorgestellte Methode für eine große Anzahl von Kläranlagen (z.B. für alle österreichischen Kläranlagen) gelten soll, wurde die für einen Vergleich erforderliche Einteilung der Kläranlagen in Größengruppen, entsprechend den gesetzlichen, verfahrenstechnischen und kostenrechnerischen Gegebenheiten, vorgenommen. Auch der Detaillierungsgrad des jeweils verwendeten Prozessmodells wurde der Größengruppe angepasst. Um eine einheitliche Basis der kaufmännischen Daten garantieren zu können, muss die Kostenrechnung dem jeweiligen Prozessmodell angepasst werden. Da die Berechnung von spezifischen Kosten mit möglichst sensitiven Bezugsgrößen durchzuführen ist, wurden mehrere mögliche Bezugsgrößen mit Hilfe einer Bezugsgrößenanalyse statistisch untersucht. Eine dreistufige Plausibilitätsprüfung und die Entwicklung einer Benchmarking-Kennzahlensystematik, die in der vorliegenden Arbeit beschrieben werden, stellen wesentliche Elemente der Kläranlagen Benchmarkingmethode dar. Die vorgestellte Plausibilitätsprüfung soll eine möglichst rasche und wirksame Datenprüfung ermöglichen. Mit Hilfe des entwickelten Kennzahlensystems soll der Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen auf eine rationale Basis gestellt werden und den fachlichen Diskurs in Form klar beschriebener Kennzahlen unterstützen. Die Definition der Begriffe Benchmarkanlage, Benchmark und Benchmarkbereich schließt die Arbeit ab.

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b><u>1</u></b>	<b><u>EINLEITUNG</u></b> .....	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>CONTROLLINGKONZEPTIONEN</u></b> .....	<b><u>5</u></b>
2.1	<b>OPERATIVES UND STRATEGISCHES CONTROLLING</b> .....	5
2.2	<b>VOM DENKEN IN FUNKTIONEN ZUM DENKEN IN PROZESSEN</b> .....	7
2.3	<b>REENGINEERING VERSUS PROZESSMANAGEMENT</b> .....	7
2.4	<b>CONTROLLING IN DER ÖFFENTLICHEN VERWALTUNG</b> .....	8
2.5	<b>BALANCED SCORECARD</b> .....	9
2.6	<b>BENCHMARKING</b> .....	10
<b><u>3</u></b>	<b><u>BENCHMARKING IN DER ABWASSERWIRTSCHAFT</u></b> .....	<b><u>11</u></b>
<b><u>4</u></b>	<b><u>BENCHMARKING VON ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN</u></b> .....	<b><u>16</u></b>
4.1	<b>ORGANISATORISCHER ABLAUF EINES BENCHMARKING</b> .....	18
4.2	<b>VERGLEICH DER ANLAGEN MIT HILFE VON PROZESSEN</b> .....	21
4.2.1	<b>Zuordnung von Pump- und Hebewerken</b> .....	24
4.2.2	<b>Gesamtprozess – Abwasserreinigung</b> .....	25
4.2.3	<b>Prozess 1 – Mechanische Vorreinigung</b> .....	26
4.2.4	<b>Prozess 2 – Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b> .....	28
4.2.5	<b>Prozess 3 – Eindickung und Stabilisierung</b> .....	30
4.2.6	<b>Prozess 3.1 - Überschussschlammeindickung</b> .....	31
4.2.7	<b>Prozess 3.2 - Schlammstabilisierung</b> .....	32
4.2.8	<b>Prozess 4 – Weitergehende Schlammbehandlung</b> .....	32
4.2.9	<b>Prozess 4.1 - Schlammmentwässerung</b> .....	34
4.2.10	<b>Prozess 4.2 – Schlammverwertung / Schlamm Entsorgung</b> .....	35
4.2.11	<b>Hilfsprozesse</b> .....	36
4.2.12	<b>Hilfsprozess I - obligatorische Hilfsprozesse</b> .....	36
4.2.13	<b>Hilfsprozess II - fakultative Hilfsprozesse</b> .....	37
4.3	<b>PROZESSORIENTIERTE KOSTENRECHNUNG</b> .....	38
4.3.1	<b>Normierte Kapitalkosten</b> .....	40
4.3.2	<b>Betriebskosten</b> .....	44
4.3.3	<b>Kalkulatorische Zusatzkosten</b> .....	45
4.4	<b>DATENLAGE UND DATENVERFÜGBARKEIT</b> .....	48
4.5	<b>PLAUSIBILITÄTSKONTROLLE</b> .....	49
4.5.1	<b>Grobe Plausibilitätsprüfung der Kläranlagenzulaufdaten</b> .....	51

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>4.6</b>	<b>BEZUGSGRÖßEN</b> .....	<b>58</b>
4.6.1	Bezugsgrößenanalyse der Betriebskosten .....	60
4.6.2	Bezugsgrößenanalyse der Kapitalkosten .....	65
4.6.3	Bezugsgrößenanalyse der Jahreskosten .....	67
4.6.4	Weitergehende statistische Auswertungen .....	69
4.6.5	Besonderheiten bei der Verwendung der ausgewählten Bezugsgrößen .....	75
<b>4.7</b>	<b>VERGLEICH DER ANLAGEN IN GRÖßENGRUPPEN</b> .....	<b>77</b>
4.7.1	Gesetzliche Vorgaben .....	78
4.7.2	Verfahrenskonzeption .....	80
4.7.3	Degressive Entwicklung der spezifischen Kosten mit der Anlagengröße ..	82
4.7.4	Größengruppeneinteilung und Prozessmodell .....	83
<b>4.8</b>	<b>ENTWICKLUNG EINER BENCHMARKING-KENNZAHLENSYSTEMATIK</b> .....	<b>85</b>
4.8.1	Technische Grundzahlen in Form von Input- und Outputgütern.....	86
4.8.2	Effizienzkennzahlen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Prozesse	88
4.8.3	Effektivitätskennzahlen zur Beurteilung der Wirksamkeit der Prozesse...	92
4.8.4	Schlüsselkennzahlen .....	95
4.8.5	Benchmark-Kennzahlen und das Kennzahlensystem der IWA .....	98
<b>4.9</b>	<b>DEFINITION VON BENCHMARKBEREICH, -ANLAGEN UND BENCHMARKS</b> .....	<b>104</b>
4.9.1	Festlegung des Benchmarkbereiches .....	104
4.9.2	Voraussetzungen für Benchmarkanlagen .....	107
4.9.3	Festlegung von Benchmarks .....	109
4.9.4	Darstellung der Ergebnisse von Benchmarkbereich, -anlagen und Benchmarks.....	110
<b>4.10</b>	<b>PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN BEIM BENCHMARKING-FORSCHUNGSPROJEKT</b> .....	<b>113</b>
<b>4.11</b>	<b>KOSTEN UND NUTZEN BEIM BENCHMARKING</b> .....	<b>115</b>
4.11.1	Kosten-Nutzen-Verhältnis des Benchmarking .....	115
4.11.2	Kosten-Nutzen-Verhältnis der Abwasserreinigung .....	117
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>120</b>
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>125</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1:	Einflussfaktoren auf die Betriebskosten von Kläranlagen (nach Scheer, 1999).....	2
Abbildung 2:	Hierarchie der Managementebenen (Dyckhoff, 2000).....	3
Abbildung 3:	Verknüpfung von operativem und strategischem Controlling (nach Gabler, 1997).....	6
Abbildung 4:	Ablauf eines Benchmarkingprojektes (vergleiche Schulz, 2000).....	18
Abbildung 5:	Die Haupt- und Teilprozesse des Abwasserreinigung .....	23
Abbildung 6:	Gesamtprozess - Abwasserreinigung .....	26
Abbildung 7:	Prozess 1 – mechanische Vorreinigung .....	27
Abbildung 8:	Prozess 2 – mechanisch-biologische Abwasserreinigung.....	29
Abbildung 9:	Prozess 3 – Schlammindickung und Stabilisierung .....	30
Abbildung 10:	Prozess 4 – weitergehende Schlammbehandlung.....	33
Abbildung 11:	Korrelation von belastungsspezifischen Betriebskosten mit belastungsspezifischen Kapitalkosten.....	39
Abbildung 12:	Darstellung der Kostenrechnungsstruktur.....	40
Abbildung 13:	Vergleich der relativen Indices, bezogen auf das Jahr 2000.....	43
Abbildung 14:	Kennzahlenbildung und abgestufte Plausibilitätsprüfung.....	50
Abbildung 15:	Phosphorfrachten je Einwohnerwert (EW-BSB <sub>5-60</sub> ) in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert.....	52
Abbildung 16:	Stickstofffrachten je Einwohnerwert (EW-BSB <sub>5-60</sub> ) in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert.....	52
Abbildung 17:	Phosphor und Stickstofffrachten je Einwohnerwert (EW-BSB <sub>5-60</sub> ) in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert .....	53
Abbildung 18:	Häufigkeitsverteilung der Verhältnisse von Einwohner zu EW- Belastung und von EW-Belastung zu EW-Ausbau.....	55
Abbildung 19:	Plausible spezifische Phosphor- und Stickstoffzulauffrachten einer Kläranlage und Abgrenzung der erwarteten E/EW-Bereiche in Abhängigkeit der Ausbaugröße.....	56

Abbildung 20:	Unplausible spezifische Phosphor- und Stickstoffzulaufmengen einer Kläranlage und Abgrenzung der erwarteten E/EW-Bereiche in Abhängigkeit der Ausbaugröße.....	56
Abbildung 21:	Korrelation der Gesamtbetriebskosten mit möglichen Bezugsgrößen....	62
Abbildung 22:	Korrelation der Kapitalkosten mit EW-Ausbau und Ewnorm-Ausbau...	66
Abbildung 23:	Korrelation der Jahreskosten mit möglichen Bezugsgrößen.....	68
Abbildung 24:	Lineare Korrelation der Betriebs- und Jahreskosten mit EW-CSB110 und der Kapitalkosten mit Ewnorm-Ausbau nach erfolgter doppel-log-Transformation .....	70
Abbildung 25:	Korrelation der Kosten mit den jeweiligen Bezugsgrößen und Darstellung des berechneten mittleren Fehlerbereiches der Kosten .....	74
Abbildung 26:	Anzahl an Kläranlagen in Abhängigkeit der Ausbaugröße in Österreich und der Kläranlagen, die an den Kläranlagennachbarschaften (=KAN) des ÖWAV teilnehmen .....	79
Abbildung 27:	Anteil der Anlagen mit Faulung, aerober Stabilisierung sowie simultaner bzw. anderer Stabilisierung in Abhängigkeit der Größen.....	81
Abbildung 28:	Degressive Entwicklung der Betriebskostenkurve, welche im Zuge der Studie Abwasserentsorgung Lainsitztal entwickelt wurde, verglichen mit den ermittelten spezifischen Betriebskosten beim Benchmarking-Forschungsprojekt 2001 .....	82
Abbildung 29:	Größengruppeneinteilung beim Benchmarking und angepasste Prozessmodelle.....	84
Abbildung 30:	Kennzahlensystematik (abgeändert nach Zerres 2000) .....	85
Abbildung 31:	Input- und Outputgüter der Prozesse am Beispiel einer Kläranlage mit Schlammfaulung.....	87
Abbildung 32:	ABC-Analyse der Kostenpositionen einer Kläranlage .....	96
Abbildung 33:	Darstellung der relevantesten Kostenpositionen (= Gruppe A der ABC-Analyse) .....	97
Abbildung 34:	Korrelation der Kosten mit den jeweiligen Bezugsgrößen und Darstellung der Benchmarkanlagen in Bezug zur Ausgleichsgerade ...	105

Abbildung 35: Benchmarkbereich der Jahres und Betriebskosten auf Basis der Gruppeneinteilung nach EW-Ausbau .....	112
Abbildung 36: spezifische Betriebskosten in Abhängigkeit des Leistungskennwertes	118
Abbildung 37: Haupt- und Teilprozesse der Abwasserreinigung .....	121
Abbildung 38: Benchmarking-Größengruppen und angepasste Prozessmodelle .....	122

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1:	Prozessdefinition (nach Schmelzer & Sesselmann, 2001).....	24
Tabelle 2:	Vergleich des Bestimmtheitsmaßes unterschiedlicher Regressionsfunktionen .....	59
Tabelle 3:	Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion von Prozessbetriebskosten mit möglichen Bezugsgrößen .....	63
Tabelle 4:	Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktionen der Prozesskapitalkosten mit möglichen Bezugsgrößen .....	67
Tabelle 5:	Ergebnis der Prüfung der Regressionsfunktion.....	72
Tabelle 6:	Auszug aus der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser 1996 .....	78
Tabelle 7:	Effizienzkennzahlen der Prozesse.....	88
Tabelle 8:	Effektivitätskennzahlen der Prozesse und zugehörige Prozesskennzahlen .....	93
Tabelle 9:	Struktur der Performance Indikatoren und Beispiele.....	99
Tabelle 10:	Matrix der IWA Performance Indicators Datenzuverlässigkeit und - ungenauigkeit .....	99
Tabelle 11:	Performance Indicators, die direkt aus Input- und Outputgütern beziehungsweise dem Benchmarking Kennzahlensystem abgeleitet werden können .....	101
Tabelle 12:	Prozentsätze zur Berechnung des Benchmarkbereiches .....	106
Tabelle 13:	Berechnete Benchmarkbereiche für die Benchmarkinggrößengruppen 3 bis 6 auf Basis der Gruppeneinteilung nach EW-Ausbau.....	111
Tabelle 14:	Absolute und relative theoretische Betriebskostenminderung je Anlage .....	116

## 1 EINLEITUNG

Aufgabe der Abwasserreinigung ist es, zuverlässig unerwünschte Schmutzstoffe aus dem Abwasser zu entfernen und soweit zu reinigen, dass es in die Gewässer eingeleitet werden kann. Die Anforderungen an Gewässerschutz und Abwasserreinigung sind naturwissenschaftlich nicht eindeutig ableitbar, sondern müssen politisch ausgehandelt werden. Dabei geht es auch um die Frage, wie viel die Gesellschaft bereit ist, für den Schutz der Gewässer auszugeben (Gujer, 1999).

Geht man davon aus, dass die gesetzlichen Anforderungen das derzeit gültige Wertesystem repräsentieren, so leitet sich aus dem Wasserrechtsgesetz (WRG 1959) und den dazugehörigen Emissionsverordnungen und Immissionsregelungen die Bereitschaft der Gesellschaft in Bezug auf den Gewässerschutz in Österreich ab.

Die Mindestanforderungen an die kommunale Abwasserreinigung in Österreich sind in der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1. AEVka, Bundesgesetzblatt, 1996) beschrieben. Darin enthalten sind die Forderungen nach Stickstoff- und Phosphorentfernung bei Anlagen über 5.000 EW bzw. über 1.000 EW, die dem Schutz der lokalen Gewässer und auch der Binnenmeere (Nordsee und Schwarzes Meer) dient. Die Stickstoffentfernung von 70 % im Jahresmittel wurde so gewählt, dass einerseits die Vielfalt der biologischen Reinigungsverfahren kaum eingeschränkt wurde, und sie andererseits ohne Zusatzkosten erreicht werden kann. Die aktuellen Mindestanforderungen sind ökologisch und ökonomisch gut begründbar (Kroiss, 2002).

Sobald die österreichischen Großkläranlagen von Wien und Graz sowie eine Reihe anderer Kläranlagen an den Stand der Technik angepasst sind und noch eine größere Anzahl von kleinen Kläranlagen im abflussarmen Osten und Südosten des Bundesgebietes in Betrieb gegangen sein werden, werden die Werterhaltung und die laufende Modernisierung der bestehenden Infrastruktur gegenüber einer Neuerrichtung in den Vordergrund treten. Einen weiteren Schwerpunkt in der Zukunft der österreichischen Abwasserwirtschaft stellt die kontinuierliche Optimierung des laufenden Betriebes der Abwasserentsorgungsanlagen dar. Eine große Zahl sehr unterschiedlicher Faktoren, die die Betriebskosten einer Abwasserreinigungsanlage beeinflussen (siehe Abbildung 1), muss dabei berücksichtigt werden.

Entsprechend dieser Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Betriebskosten von Abwasserreinigungsanlagen, liegt ein möglicher Ansatz der Optimierung darin, Anlagen, die die geforderten Leistungen sehr effizient und effektiv erfüllen, zu identifizieren. Das Wissen, welche Leistungen zu welchen Kosten im besten Fall erbracht werden können, ermöglicht

ein zielgerichtetes Vorgehen bei der Optimierung einer Abwasserreinigungsanlage.

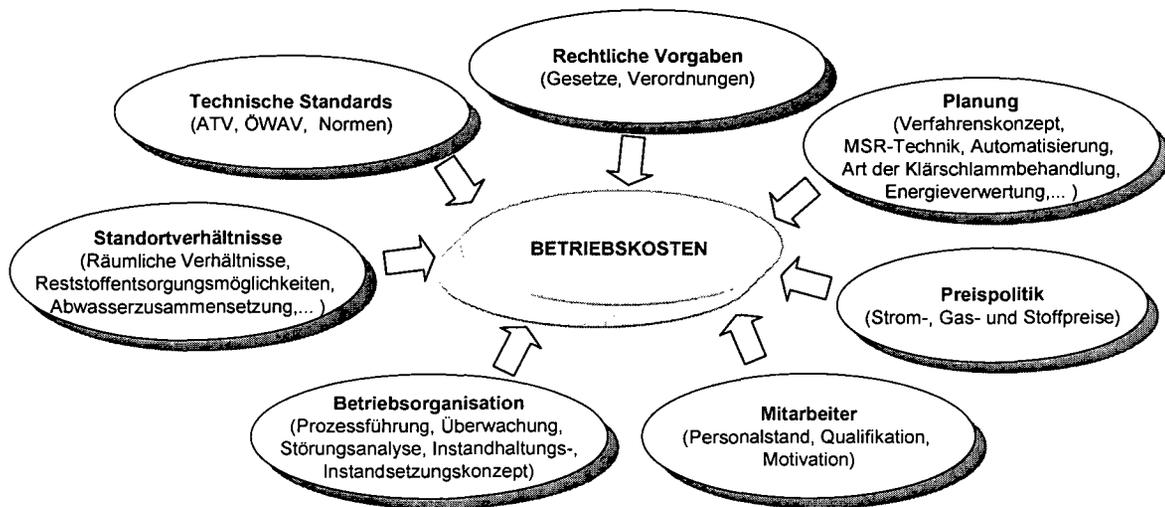


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf die Betriebskosten von Kläranlagen (nach Scheer, 1999)

Eine derartige Vorgehensweise wird als Benchmarking bezeichnet und stellt eines der so genannten „New Public Management (NPM) orientierten Controllingkonzepte“ dar. Unter NPM versteht man die Implementierung eines neuen Managementverständnisses in der öffentlichen Verwaltung. Dabei können auch Abwasserreinigungsanlagen als Leistungserbringer öffentlicher Aufgaben verstanden werden. Benchmarking stellt ein Steuerungswerkzeug dar, mit dem der Betrieb optimiert werden kann, bei dem aber auch im Hinblick auf die Werterhaltung der Infrastruktur von jenen Kläranlagen gelernt werden kann, die als beste in den jeweiligen Bereichen identifiziert werden.

Für die Einordnung von Benchmarking als Controllingkonzept eines (Abwasser)-Unternehmens kann in Anlehnung an Dyckhoff (2000) das Führungs- und Managementsystem in verschiedene Ebenen untergliedert werden (siehe Abbildung 2).

Auf der normativen Ebene muss überprüft werden, inwieweit das Unternehmen legal und legitim handelt. Die strategische Managementebene legt die grundsätzliche Richtung der Unternehmensführung fest. Die taktische Ebene legt fest, welche Wege zur Umsetzung beschritten werden, und das operative Management bestimmt die einzelnen Schritte auf diesem Weg. Während sich die normative und strategische Ebene auf das Unternehmen als Ganzes beziehen, werden in der taktischen und operativen Ebene konkrete Teilentscheidungen und Maßnahmenbündel umgesetzt, was durch horizontal verlaufende Segmente in der Abbildung 2 dargestellt ist. Mit der Hierarchie der Managementebenen geht von oben nach unten ein abnehmender Planungshorizont einher, verbunden mit einer wachsenden Vollständigkeit, Detailliertheit und Sicherheit der Informationen (Dyckhoff, 2000).

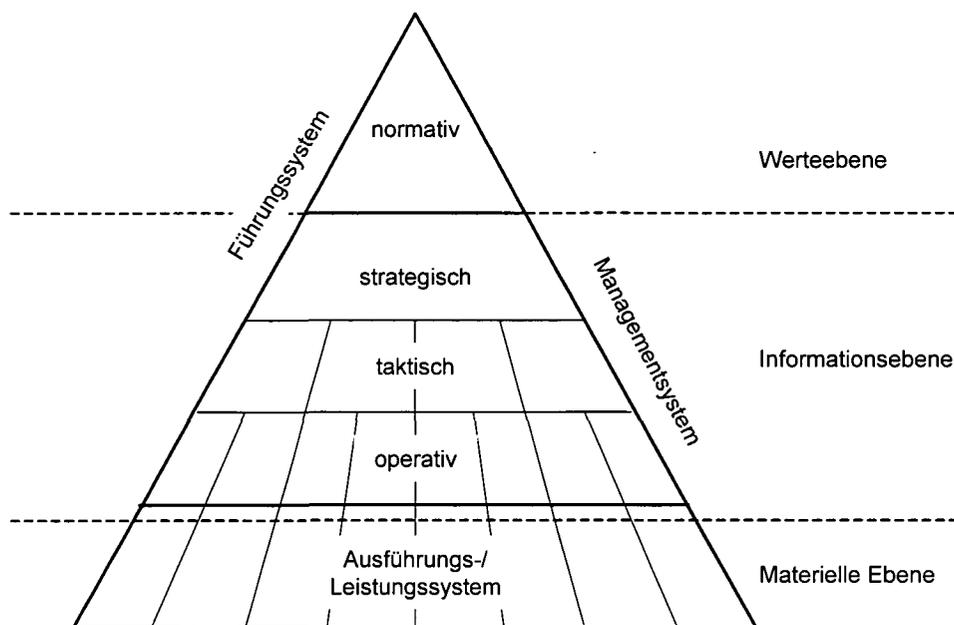


Abbildung 2: Hierarchie der Managementebenen (Dyckhoff, 2000)

Wendet man die vorgestellte Hierarchie der Managementebenen auf die Abwasserwirtschaft an, bedeutet dies, dass jedes Abwasserunternehmen, unabhängig von der Unternehmens- oder Betriebsform, die bereits erwähnten gesetzlichen Anforderungen erfüllen muss. Die Entscheidungen über Privatisierung, Betreibermodelle und dergleichen werden als grundsätzliche Richtungsentscheidung dem strategischen Management zugerechnet. Benchmarking hingegen stellt ein Instrument des operativen Managements dar, das bei der Umsetzung von Teilschritten angewendet werden kann.

Benchmarking wird in der Privatindustrie seit mehr als 20 Jahren erfolgreich eingesetzt. Für die Anwendung von Benchmarking im öffentlichen Sektor sprechen mehrere Gründe: Einerseits wird durch den Ehrgeiz und den Versuch, die Benchmark zu erreichen, eine Wettbewerbssituation geschaffen, die dem privaten Marktmechanismus entspricht und sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der öffentlichen Unternehmung auswirkt. Andererseits ist Benchmarking für den öffentlichen Sektor allgemein und für Abwasserreinigungsanlagen im Speziellen prädestiniert, da die Unternehmungen nicht im Wettbewerb zueinander stehen. Dadurch ist es möglich, dass die verschiedenen Anlagenbetreiber, die das Gleiche tun (produzieren), nicht Konkurrenten zueinander sind und somit der gegenseitige Wissensaustausch und die Versorgung mit Primärinformationen nicht zu Wettbewerbsnachteilen einzelner Anlagen führen kann.

Da die öffentliche Verwaltung in Österreich erkannt hat, dass Benchmarking zur Steigerung der Effizienz und Effektivität von Abwasseranlagen verwendet werden kann (vergleiche BMLF, 2003), wurde in Zusammenarbeit von Ministerium für Land- und

Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, acht Bundesländern und 71 Abwasserverbänden bzw. Gemeinden ein Benchmarking Forschungsprojekt initiiert. Dieses hatte die Entwicklung einer Benchmarkingmethode für Abwasseranlagen zum Ziel. Das Benchmarking-Forschungsprojekt (BM-Forschungsprojekt) umfasste den gesamten Leistungsbereich der Abwasserentsorgung, d.h. sowohl die Kanalisation als auch die Abwasserreinigung, wobei aus technischer Sicht einige Einschränkungen (Kläranlagengröße zwischen 5.000 und 100.000 Einwohnerwerte, einstufiges Belebungsverfahren, ...) für die Teilnahme am Forschungsprojekt gemacht wurden. Die entwickelte Methode und auch die Ergebnisse des Projektes wurden in einem Endbericht veröffentlicht (Kroiss et al., 2001), beziehungsweise erhielten die am Forschungsprojekt beteiligten Anlagenbetreiber einen Individualbericht mit den Ergebnissen ihrer Anlage ausgehändigt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird auf den für den Bereich Abwasserreinigung gewonnenen Erfahrungen, Ergebnissen und entwickelten Methoden aufgebaut und eine Benchmarkingmethode vorgestellt, die für alle österreichischen Kläranlagen anwendbar ist. Als Methode wird dabei nicht nur der systematische Vergleich von Prozessen verstanden, sondern die Vorgehensweise von der Einteilung der Kläranlagen in Gruppen über die Erhebung und Prüfung von Daten bis hin zur Festlegung von Kennzahlen, an hand derer die Effektivität und Effizienz einer Kläranlage gemessen werden kann.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode stellt eine Weiterentwicklung jener Methode dar, die beim Benchmarking-Forschungsprojekt angewendet wurde. Eine geänderte Methodik, vor allem die Änderung der Gruppeneinteilung kann zu anderen Ergebnissen führen. Da die Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes bereits veröffentlicht wurden, beschränkt sich diese Arbeit auf die Beschreibung der weiterentwickelten Methode und verzichtet weitgehend auf die Darstellung konkreter Ergebnisse. Um dem Leser jedoch die Möglichkeit zu geben, einerseits die Darstellungsform, und andererseits einen Auszug der konkreten Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes kennen zu lernen, wird im Anhang jener Ausschnitt eines Individualberichtes zusammengestellt, der die Ergebnisse des Bereiches Abwasserreinigungsanlage umfasst.

## 2 CONTROLLINGKONZEPTIONEN

Da Benchmarking als Controllingwerkzeug in der Abwasserwirtschaft eine relativ neue Erscheinung darstellt, wird in diesem Kapitel der Versuch unternommen, die Begriffe Controlling im Allgemeinen und Benchmarking als spezielles Controlling-Werkzeug einzuordnen und anderen Managementtools gegenüber zu stellen. Ausgehend vom rein operativen Controlling der sechziger Jahre, über den Wandel vom Denken in Funktionen, hin zum Denken in Prozessen bis zu den New Public Management orientierten Controllingkonzepten (= NPM) der neunziger Jahre, werden die Entwicklungsschritte des Controllings im Allgemeinen und deren Anwendung im öffentlichen Sektor aufgezeigt.

Controlling ist ein funktionsübergreifendes Steuerungsinstrument, das den unternehmerischen Entscheidungs- und Steuerungsprozess durch zielgerichtete Informationener- und -verarbeitung unterstützt. Der Controller sorgt dafür, dass ein wirtschaftliches Instrumentarium zur Verfügung steht, das vor allem durch systematische Planung und der damit notwendigen Kontrolle hilft, die aufgestellten Unternehmensziele zu erreichen (Preißler, 1995). Controlling hat sich, wirtschaftshistorisch betrachtet, aus dem Rechnungswesen heraus als Konzept der Gewinnsteuerung entwickelt und stellt ein Konzept zur gewinnorientierten Steuerung der unternehmerischen Wertschöpfung dar (Gabler, 1997).

Zur Klarstellung des englischen Begriffes „Control“ sei noch auf Horváth (1998) verwiesen, der ausdrücklich darauf hinweist, dass „Control“ nicht mit „Kontrolle“ übersetzt werden darf. In sinngemäßer Übersetzung könnte man von Unternehmenssteuerung sprechen. Controlling im Sinne von Steuerung ist eine zentrale Managementaufgabe. Jeder Manager übt auch Controlling aus.

### 2.1 Operatives und Strategisches Controlling

Bis Ende der sechziger Jahre dominierte die so genannte Langfristplanung, die mit Hilfe von Trendextrapolationen das operative Geschehen in die Zukunft projizierte (Horváth, 1998). Die stetige Notwendigkeit, sich einer sich schnell verändernden Umwelt immer rechtzeitig anzupassen, erforderte auch eine Ergänzung des operativen Controllings durch ein strategisches Controlling. Gabler (1997) schreibt dazu, dass das strategische Controlling eine Fortentwicklung des operativen Controllings ist und eine unverzichtbare Voraussetzung für eine moderne, strategisch orientierte Unternehmensführung darstellt. Strategisches Controlling ist ein Führungskonzept, das die Aufgabe hat, die nachhaltige

Unternehmensexistenz vorausschauend durch systematische Erschließung bestehender und Schaffung neuer Erfolgspotenziale in einer sich ständig wandelnden Umwelt zu sichern. Operatives Controlling ermittelt den Engpass mit Hilfe von rückschauenden Soll-Ist-Analysen. Strategisches Controlling löst sich von dieser rückschauenden Analyse und untersucht die absehbaren Wirkungen alternativer Strategien auf eine prognostizierte Entwicklung. (Gabler, 1997).

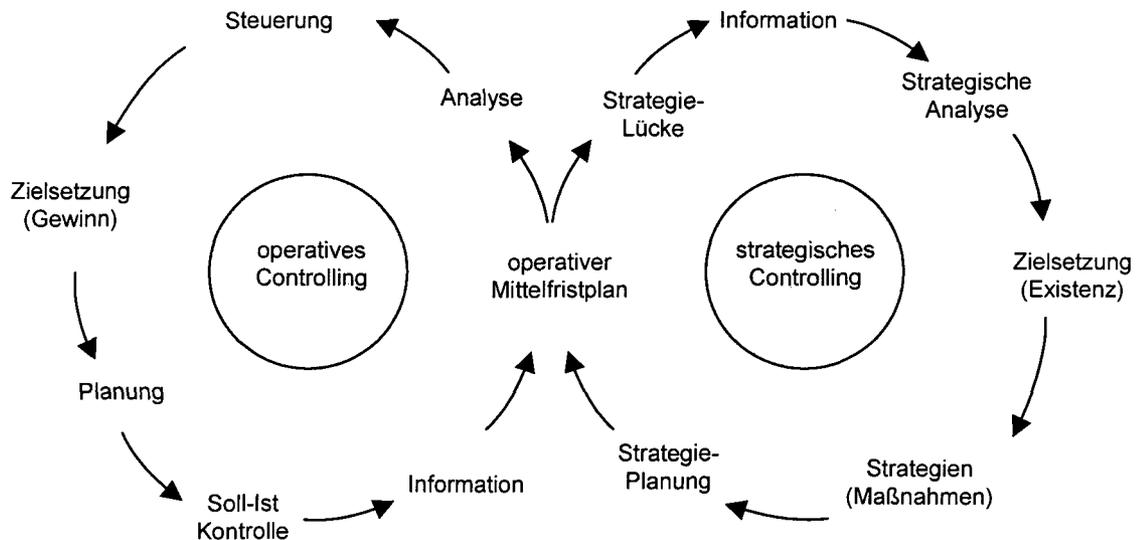


Abbildung 3: Verknüpfung von operativem und strategischem Controlling (nach Gabler, 1997)

In Abbildung 3 ist der Zusammenhang zwischen operativem und strategischem Controlling dargestellt. Der operative Mittelfristplan eines Unternehmens stellt die Verknüpfung vom Controlling der grundsätzlichen strategischen Zielsetzungen zur Unternehmenssicherung einerseits, und des Controllings der operativen Einzelschritte auf diesem Weg andererseits dar. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Einführung neuer Managementsysteme wie Reengineering oder Prozessmanagement als Maßnahmen des strategischen Controllings angesehen werden können, wohingegen Balanced-Scorecard und Benchmarking Werkzeuge des operativen Controllings darstellen.

## **2.2 Vom Denken in Funktionen zum Denken in Prozessen**

Eine der größten Innovationen der 90er Jahre war der Übergang von den traditionellen Strukturen und der konsolidierten Ablauforganisation zur Prozessorganisation. Der entscheidende Durchbruch für die Steigerung des Erfolges wurde in der Meisterung des Überganges von der funktionalen zur prozessorientierten Organisation gesehen. Prozessmanagement ist radikales funktions- und hierarchieübergreifendes Denken und Handeln aller Führungskräfte und Mitarbeiter und zielt auf eine Neugestaltung der Geschäftsprozesse ab (Hinterhuber, 1994). Ein Prozess ist eine Folge von Aktivitäten, deren Ergebnis eine Leistung für einen (internen oder externen) Kunden darstellt. Somit weist ein Prozess folgende Merkmale auf: Es besteht eine Kunden-Lieferanten-Beziehung, der Prozess hat einen Input, der Prozess hat einen festgelegten Output, es sind mehrere Stellen beteiligt und der Prozess wird von mindestens einer Stelle verantwortet. Für die Gestaltung des Controllings hat dies in einer prozessorientierten Organisation zur Folge, dass das Controlling selbst prozessorientiert sein muss, um seine Aufgaben auf Prozesse und nicht auf Funktionen auszurichten (Horváth, 1998). Da in vielen Organisationen die Prozessorientierung erst geschaffen werden muss, gewinnt das Controlling als „Prozessinnovator“ eine neue Aufgabe und regt gemeinsam mit dem Prozessteam Innovationen an, versorgt die Teams mit Informationen und greift koordinierend ein (Fischer, 1996).

## **2.3 Reengineering versus Prozessmanagement**

Prozessmanagement und Reengineering waren Anfang der 90er Jahre die neuesten Trends im strategischen Management (Hinterhuber, 1994). Bei dem von Hammer und Champy (1994) entwickelten Konzept des Reengineerings werden alle Geschäftsprozesse in Frage gestellt und neue Abläufe erarbeitet. Beim Reengineering werden die Prozesse deshalb neu entworfen, um der Gefahr des Festschreibens von suboptimalen Prozessen zu verhindern. Im Vordergrund steht die Frage, ob einzelne Prozesse überhaupt notwendig sind und wie neu erarbeitete Prozesse optimal gestaltet werden können. Auf das Erfahrungswissen der am Prozess Beteiligten wird bewusst verzichtet, da man einen Bruch mit allen Traditionen erreichen will.

Beim Prozessmanagement hingegen werden bestehende Prozesse kontinuierlich verbessert, wobei die Basis jeder Verbesserung Daten sind. Diese Daten werden zu Kennzahlen verdichtet, um den Fortschritt der Verbesserungen zu dokumentieren. Nach dem Prinzip

der Rückkoppelungsschleife ermöglichen diese Kennzahlen den Mitarbeitern ihre Prozesse zu steuern (Kamiske & Fürmann, 1995).

Scheer et al. bezeichnen den Ansatz des Reengineering als revolutionären Ansatz und stellen diesem evolutionäre Ansätze gegenüber, welche die schrittweise Verbesserung der Prozesse im Sinne eines „Continuous Improvement“ anstreben (Scheer et al., 1996). Als Beispiel des Reengineering in der öffentlichen Verwaltung werden von den Autoren Privatisierungen und Dezentralisierungen genannt. Demgegenüber stellten sie Benchmarking als einen evolutionären Ansatz der Prozessoptimierung dar.

## 2.4 Controlling in der öffentlichen Verwaltung

Eine Besonderheit bei der Einführung von Controllinginstrumenten bilden Organisationen des öffentlichen Bereiches, zu denen in Österreich die überwiegende Anzahl an Abwasserentsorgungsbetrieben gezählt werden kann. Für die praktische Vorgehensweise bei der Einführung eines Controllings im öffentlichen Sektor wird das Vorgehen in fünf Phasen vorgeschlagen. Ausgehend von einem *Soll-Ist-Vergleich* werden in einer anschließenden *Diagnosephase* Problembereiche identifiziert, woraus in Phase III *Zielsetzungen* erfolgen. Die anschließende Phase der *Strategieentwicklung* dient der Gestaltung des konkreten Controllingystems, das dann in der *Realisierungsphase* im Unternehmen umgesetzt wird (Becker et al., 1978).

Die Phase I setzt bestimmte Soll-Vorstellungen voraus, welche beispielsweise in Form eines Benchmarking, dem Vergleich mit dem Besten, erarbeitet werden können (vergleiche Kapitel 2.6).

Die Einführung von Controllinginstrumenten in der öffentlichen Verwaltung ist ein wesentlicher Bestandteil eines neuen öffentlichen Managementverständnisses, welches unter dem Begriff New Public Management (NPM) zusammengefasst wird. Beim NPM geht es um eine neue auch ökonomisch definierte Rolle und um ein entsprechendes Funktionsverständnis von Staat und Verwaltung. NPM mit einer geänderten externen Konzeption – Wettbewerbsorientierung, Wahlmöglichkeit der Nutzer, stärkere Finanzierung über Leistungsnutzer - zielt ab auf die Verbesserung von Effektivität, Effizienz und Kostenwirtschaftlichkeit (Gabler, 1997).

Die öffentliche Verwaltung hat den gesetzlichen Auftrag, nach den Grundsätzen der Sparsamkeit, Wirtschaftlichkeit und Zweckmäßigkeit (Bundesgesetzblatt, 1999) zu handeln. Da Effektivität mit Zweckmäßigkeit und Effizienz mit Sparsamkeit gleichgesetzt

werden kann, dient NPM in der Definition nach Gabler „Verbesserung von Effektivität, Effizienz und Kostenwirtschaftlichkeit“ den gesetzlichen Anforderungen an die öffentliche Verwaltung.

Benchmarking und Balanced Scorecard sind die in letzter Zeit am häufigsten diskutierten Instrumente einer New Public Management-orientierten Controllingkonzeption (Stegmann, 2002), weshalb beide Konzepte im Folgenden kurz erläutert werden.

## **2.5 Balanced Scorecard**

Die Balanced Scorecard beinhaltet ein Bündel von Leistungskennzahlen, das dem Management eine schnelle und gleichzeitig umfassende Sicht des Unternehmens vermittelt (Kaplan & Norton, 1997). In der Vergangenheit wurden vorwiegend Finanzgrößen (Umsatz, Gewinn, Renditen, Kosten) zur Steuerung des Unternehmens verwendet. Im Konzept der Balanced Scorecard wird die finanzielle Sicht um drei zusätzliche Perspektiven erweitert: Kunden-, Prozess- und Lern- bzw. Innovationssicht. Aus diesen Sichten wurden keine finanziellen Kennzahlen abgeleitet, die das finanzielle Ergebnis maßgeblich beeinflussen (Schmelzer & Sesselmann, 2001). Die Balanced Scorecard präsentiert sich somit als strukturierte Sammlung von Kennzahlen. Nach ihren „Erfindern“ (Kaplan & Norton, 1992) stellt sie aber in erster Linie nicht ein neues Kennzahlensystem dar, sondern soll als Managementsystem vielmehr Bindeglied zwischen Entwicklung einer Strategie und ihrer Umsetzung sein.

Alle Ziele und Kennzahlen der Balanced Scorecard müssen – so das Konzept – mit einem oder mehreren Zielen der finanzwirtschaftlichen Perspektive verbunden sein. Diese Verknüpfung mit finanzwirtschaftlichen Zielen stellt deutlich heraus, dass alle Strategien, Programme und Initiativen letztlich nur ein Ziel haben: die finanzwirtschaftlichen Ziele für die Geschäftseinheit zu erreichen. Jede für eine Scorecard ausgewählte Kennzahl sollte Teil einer Ursache-Wirkungskette sein, die ihr Ende in einem finanzwirtschaftlichen Ziel findet, das die Strategie des Unternehmens bildet. Letzten Endes muss es aber einen Kausalzusammenhang aller Kennzahlen auf der Scorecard zu den finanzwirtschaftlichen Zielen des Unternehmens geben. (Schäffer, 2001)

## 2.6 Benchmarking

Benchmarking ist der kontinuierliche Vergleich von Produkten, Dienstleistungen sowie Prozessen und Methoden mit mehreren Unternehmen, um die Leistungslücken zum so genannten „Klassenbesten“ systematisch zu schließen (Gabler, 1997). Benchmarking soll Leistungsunterschiede zur eigenen Organisation aufzeigen, Gründe für Leistungsunterschiede feststellen, Möglichkeiten für Leistungsverbesserungen vorschlagen und wettbewerbsorientierte Zielfestlegungen empfehlen. Die wichtigste Frage des Benchmarking lautet: WARUM machen andere etwas besser? Ziel und Aufgabe des Benchmarking ist es, die Denk- und Arbeitsweisen des eigenen Unternehmens zu überprüfen sowie die besten Praktiken ausfindig zu machen, mit denen überdurchschnittliche Wettbewerbsvorteile erreicht werden können (Schmelzer & Sesselmann, 2001).

In der Privatindustrie wird Benchmarking seit 20 Jahren erfolgreich eingesetzt. Als Benchmarkpionier ist Rank Xerox wohl das meistzitierte Unternehmen in diesem Zusammenhang. Das Unternehmen sah sich der Tatsache gegenübergestellt, dass die japanische Konkurrenz wesentlich billigere Kopiergeräte auf den Markt bringen konnte. Rank Xerox entwickelte daher eine Methode, bei der es jeden Bereich des Unternehmens mit einem vergleichbaren Bereich eines bekannten Marktführers verglich. So wurde beispielsweise die Forschungs- und Entwicklungsabteilung mit jener von Hewlett-Packard verglichen, das Rechnung- und Mahnwesen mit jenem von American Express und die Lagerhaltung mit L.L.Bean. Rank Xerox konnte aus den Erfahrungen, die es beim Vergleich mit den anderen Unternehmen gewonnen hat, wesentliche Einsparungen im eigenen Betrieb erzielen (Horváth, 1998; Liner et al., 1998).

Für die Einführung eines Benchmarking im öffentlichen Bereich schlägt Schedler (1996) folgende fünf Schritte vor: Projekt definieren und abgrenzen, Produkt bzw. Tätigkeit definieren, Daten sammeln, den Besten bestimmen, vom Besten lernen.

### 3 BENCHMARKING IN DER ABWASSERWIRTSCHAFT

Wichtigstes Ziel einer zuverlässigen Kostenplanung und -steuerung ist es, dass unter Einhaltung der technischen, funktionalen und ggf. auch gestalterischen Anforderungen, die wirtschaftlichste Lösung zur Ausführung gelangt. Dies betrifft neben den Investitionskosten sinngemäß auch die Betriebs- und Instandhaltungskosten, da sich nur bei Berücksichtigung der Jahreskosten zutreffende Aussagen über die Wirtschaftlichkeit eines Projektes treffen lassen (Bohn, 1997).

Controllingkonzepte für die Abwasserwirtschaft bezogen sich in den 90er Jahren vor allem auf Steuerungskonzepte zur Einsparung von Investitionskosten, dem so genannten Projektcontrolling (Bohn, 1997; Schröder et al., 1998). Controlling umfasst jedoch wesentlich mehr als nur reine Kontrollfunktionen bei einer Projektabwicklung. Der Begriff *Controlling* ist im Abwasserbereich zur Zeit in aller Munde. Leider wird er jedoch allzu oft nur mit der deutschen Bezeichnung *Kontrolle* übersetzt. (Bohn, 1998).

Aufgrund neuer Technologien, insbesondere im Bereich der Abwasserreinigung, haben sich die Anforderungen an die Klärwerks- und Kanalbetriebe in den letzten Jahren grundlegend verändert. Die komplexere Anlagentechnik moderner Abwasseranlagen und ein gestiegenes Kostenbewusstsein in der Öffentlichkeit erfordern heute neue Lösungen für die Betriebsführung und -organisation. Dies reicht von der Personalorganisation bis zur konkreten Handlungsanweisung im täglichen Betriebsablauf (Pinnekamp & Ries, 1999).

Die International Water Association (=IWA) kam bezüglich Benchmarking vorerst den Bedürfnissen des Bereiches Wasserversorgung nach und hat durch die Herausgabe eines Kennzahlensystems „Performance indicators for water supply services“ die Grundlage für international einheitliche Vergleichskennzahlen geschaffen (Alegre, 2000; Naismith, 2001b; Parena & Smeets, 2000). Ein analoges Kennzahlensystem für Abwasserentsorgungsbetriebe wurde von der IWA 2003 entwickelt und veröffentlicht, worauf in Kapitel 1.1 noch näher eingegangen wird (Matos et al., 2003).

Eine Benchmarkinginitiative in **Afrika** stellt die Water Utilities Partnership (WUP) dar, welche 1996 mit Unterstützung der Weltbank von der Vereinigung Afrikanischer Wasserversorgungsunternehmen initiiert wurde. WUP entwickelte ein Kennzahlensystem für Wasserversorger und sanitäre Einrichtungen und stellte eine Internetplattform für den Vergleich dieser Kennzahlen zur Verfügung. Zur Verbreitung der best practice ist WUP bemüht, Partnerschaften zwischen den teilnehmenden Organisationen zu bilden (Naismith, 2000; Naismith, 2001a).

In den USA wurde Benchmarking Clearinghouse als gemeinsame Aktivität von American Water Works Association (AWWA), eine der weltweit größten Vereinigung von Wasserversorgern, und Water Environment Federation (WEF), eine der weltweit größten Vereinigung von Abwasserentsorgern, gegründet (Naismith, 2000). Den Teilnehmern dieser Benchmarking-Initiative wird ein jährlicher Bericht der erhobenen Kennzahlen geboten, welcher Informationen über die Betriebsführung der Benchmark enthält. Weiters werden die Teilnehmer zur Teilnahme an Workshops eingeladen. Insgesamt werden 22 Benchmarks folgender fünf Geschäftsfelder ermittelt: Organisationsentwicklung, Management, Kundenzufriedenheit, Betrieb der Wasserversorgung und Betrieb der Abwasserentsorgung (American Water Works, 2003).

In der privatisierten Wasser- und Abwasserwirtschaft von **England und Wales** führt die Regulierungsbehörde Ofwat (The economic regulator for the water and sewerage industry in England and Wales) schon seit mehr als 10 Jahren Kennzahlenvergleiche durch, wobei das ursprüngliche Ziel die Steuerung der Tarifentwicklung war. Aufgrund einer Anordnung von Ofwat, demzufolge sich ineffiziente Unternehmungen einem Benchmarking unterziehen müssen, ergriff Water UK die Initiative und ließ in einem Forschungsprojekt eine Methode für ein flächendeckendes Benchmarking ausarbeiten. Als Ergebnis können sich nun Mitglieder von Water UK mit Nichtmitgliedern innerhalb von Großbritannien vergleichen (Naismith, 2000).

In den **Niederlanden** wurde ein sehr umfassendes, nationales Projekt gestartet, an dem auch die Wasserbehörden seit dem Jahr 1998 beteiligt sind. Zur leichteren Verständlichkeit der Situation in den Niederlanden kann darauf hingewiesen werden, dass die mehr als 400 Abwasserreinigungsanlagen des Landes im Auftrag von etwa 25 verschiedenen Wasserbehörden betrieben werden. Das Projekt in den Niederlanden gliederte sich in eine Definitions- und Methodikentwicklungsphase, eine Phase, in der Angaben gesammelt wurden, sowie eine Phase der Verarbeitung und der Analyse dieser wasserbehördlichen Angaben. Im Gegensatz zur Ausarbeitung von Empfehlungen, die noch Teil des Projektes waren, fiel die Implementierung in die Verantwortung der jeweiligen Wasserbehörde. Der betriebliche Vergleich wurde ausdrücklich nicht auf finanzielle Aspekte beschränkt, sondern es wurde auch auf qualitative Aspekte Wert gelegt. Hinsichtlich der Rangordnung der betrachteten Aspekte wurde eine Methode entwickelt, die nach dem Balanced Scorecard Verfahren die Ausgewogenheit der folgenden fünf Aspekte berücksichtigt: Finanzen, Funktionieren der Einrichtungen, externe Perspektiven, Umwelt, Innovationsfreudigkeit der Unternehmen. Der betriebliche Vergleich des Klärmanagements erstreckt sich dabei auf das gesamte Verfahren der Abwasserentsorgung vom Transport des Abwassers über die Abwasserreinigung bis hin zur Klärschlamm Entsorgung (vergleiche Admiraal & Heemst, 2000; Heemst, 1999).

In der **Schweiz** wurde einerseits bei einem Kennzahlenvergleichsprojekt die Kostensituation der Abwasserentsorgung untersucht, und andererseits wurden bei einem Benchmarkingprojekt 24 Schweizer Kläranlagen miteinander verglichen. Beim Kennzahlenvergleichsprojekt wurden ausschließlich vorhandene Daten verwendet und statistisch ausgewertet. Bei dem Projekt wurde der Frage nachgegangen, wie hoch die Kosten der Abwasserentsorgung in der Schweiz tatsächlich sind und ob die verrechneten Gebühren in einem rechtfertigbaren Ausmaß dazu stehen (Chaix, 2003). Das in der Schweiz durchgeführte Benchmarkingprojekt orientierte sich sowohl im Hinblick auf die Einteilung der Größengruppen als auch der Untergliederung in Prozesse sehr stark am österreichischen Benchmarking Forschungsprojekt, wodurch sehr interessante Vergleichsmöglichkeiten gegeben sind. Im Rahmen des Schweizer Projektes wurden auch verschiedene Einflussfaktoren bezüglich der Kosten auf Abwasserentsorgungsunternehmen untersucht. Dabei zeigte sich, dass neben der Größe der Kläranlage unter anderem auch ein hoher Anteil an Industrieabwasser sowie das Alter der Anlage einen maßgebenden Einfluss auf die jährlichen Kosten haben (Kappeler, 2003).

Bei einem weiteren internationalen Benchmarkingprojekt wurden die Betriebskosten von jeweils 20 Kläranlagen aus **Italien, Dänemark und Schweden** näher betrachtet. Da die Kapitalkosten unterschiedlicher Staaten nur sehr schwer vergleichbar gemacht werden können, beschränkte man sich bei diesem Projekt auf die Betriebskosten. Für den internationalen Vergleich wurde der Fokus auf die vier Teilbereiche Energie, Chemikalien, Klärschlamm und Betriebspersonal gelegt. Diese vier Bereiche wurden sowohl auf monetärer als auch nicht monetärer Basis verglichen. Beim Vergleich der Anlagen wurden die Menge an gereinigtem Abwasser, die Ausbaugröße, die Reinigungsleistung sowie die an die Anlage angeschlossenen Einwohnergleichwerte berücksichtigt. Als Bezugsgröße für die spezifischen Kosten von Energie, Chemikalien und Klärschlamm wurde die aktuelle mittlere Belastung der Anlagen herangezogen. Die Personalkosten wurden sowohl auf die aktuelle als auch auf die Bemessungsbelastung bezogen. (Breschi & Lubello, 2000)

Anhand von zwei Benchmarkingprojekten, die Ende der 90er Jahre im deutschsprachigen Raum gestartet wurden, können zwei grundsätzlich unterschiedliche Wege bei der Umsetzung von Benchmarkingprojekten aufgezeigt werden (Schulz, 1999):

- 1) Entwicklung eines kombinierten technisch-wirtschaftlichen Kennzahlensystems und Vergleich von definierten Prozessen anhand der entwickelten Kennzahlen (weitgehend analytischer Ansatz)
- 2) Aufstellen von Hypothesen über die Auswirkung von Randbedingungen bzw. Einflussfaktoren (Hypothesenansatz)

Die Emschergenossenschaft und der Lippeverband begannen 1996 in **Deutschland** mit vier Kläranlagen ein Pilotprojekt, bei dem der weitgehend analytische Ansatz gewählt wurde. In der Phase I wurden die Rahmenbedingungen und Inhalte des Benchmarkingprojektes festgelegt. So einigte man sich beispielsweise darauf, nicht alle denkbaren Schwierigkeiten unterschiedlicher Anlagen bereits im ersten Schritt lösen zu wollen, sondern an die teilnehmenden Anlagen gewisse Kriterien zu stellen. Bei der Festlegung der kaufmännischen und technischen Kenngrößen wurde, unter Bedachtnahme des Aufwandes zum sich ergebenden Nutzen, ein Detaillierungsgrad gewählt, der fünf bis sechs Verfahrensstufen der Kläranlagen voneinander unterscheidet. Bei den Kosten wurde in 15 Kostenarten und ebenfalls in fünf bis sechs Kostengruppen untergliedert. Außerdem wurden in der Phase I gewisse Normierungsschritte und die Bildung kaufmännischer und technischer Kennzahlen festgelegt. Gegenstand der zweiten Projektphase war eigentliche Datenerhebung und deren Plausibilitätsprüfung. Im dritten Projektabschnitt wurden die Daten der zuvor festgelegten Benchmarkbreite/-tiefe getestet und überprüft, ob eine weitergehende Datenerhebung sinnvoll und notwendig erscheint. In der vierten Projektphase wurden schließlich Benchmarks gebildet, Ursachen für Abweichungen analysiert und daraus Maßnahmenpläne erarbeitet. In einem Anschlussprojekt wurden die Erfahrungen der Emschergenossenschaft gemeinsam mit der Stadtentwässerung München auf Großkläranlagen übertragen und beispielsweise im Hinblick auf die Eigenstromerzeugung verfeinert (Schulz et al., 1998; Stemplewski et al., 2000).

Ein Benchmarkingprojekt wurde mit Hilfe des Hypothesenansatzes Anfang 1998 im Bereich der Abwasserableitung von insgesamt 18 großen Abwasserentsorgungsunternehmen aus **Österreich**, der **Schweiz** und **Deutschland** in Angriff genommen. Die am Projekt beteiligten Unternehmen einigten sich darauf, zwei Prozesse zu definieren und diese mit Hilfe des bereits erwähnten Hypothesenansatzes näher zu untersuchen. Man einigte sich auf folgende zwei Prozesse, die einer näheren Untersuchung zugeführt wurden: auf den Prozess *Kanalnetz renovieren, erneuern und erweitern* sowie den Prozess

*Material beschaffen, verwalten und entsorgen.* Um sicher zu stellen, dass am Ende des Projektes auch jene Ergebnisse vorliegen, an denen die beteiligten Unternehmen maßgeblich interessiert waren, wurden gemeinsam Hypothesen formuliert. Eine Hypothese enthält eine Vermutung über einen Zusammenhang zwischen einer Outputgröße und einem Einflussfaktor. Für jeden Prozess wurden rund 80 mögliche Einflussfaktoren mit den Outputgrößen in Form von Hypothesen verknüpft. Ein Beispiel für eine dieser Hypothesen lautet: „Der Anteil der Fremdleistungen bei einer Kanalbaumaßnahme beeinflusst die Prozessdauer.“ Die aufgestellten Hypothesen wurden dann anhand von statistischen Methoden auf deren Richtigkeit geprüft und daraus die entsprechenden Schlüsse gezogen. (Neuhold, 1999; Wibbe, 1999; Wiesmann, 1999)

#### 4 BENCHMARKING VON ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN

Bei der Umsetzung von Benchmarkingprojekten kann, wie bereits vorgestellt (siehe Kapitel 3) mit Hilfe folgender Ansätze vorgegangen werden:

- 1) Entwicklung eines kombinierten technisch-wirtschaftlichen Kennzahlensystems und Vergleich von definierten Prozessen anhand der entwickelten Kennzahlen
- 2) Aufstellen von Hypothesen über die Auswirkung von Randbedingungen bzw. Einflussfaktoren

Ein dritter Ansatz wird für die Testung und Optimierung von Regelstrategien der Sauerstoffzufuhr bei Abwasserreinigungsanlagen mit Hilfe der dynamischen Simulation verwendet. In diesem Fall können an Hand einer Musterkläranlage, die als Computermodell abgebildet wurde, Regelstrategien der Sauerstoffzufuhr getestet werden. Als Benchmark wird in diesem Fall jene Regelstrategie, die aufgrund von festgelegten Kriterien die besten Resultate erzielt, festgelegt.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode ist für ein Benchmarking entwickelt worden, welches mit Hilfe eines Kennzahlensystems den technisch wirtschaftlichen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen und deren Prozesse ermöglicht. Ziel ist es, eine Grundlage zu schaffen, mit deren Hilfe eine Kostenoptimierung erreicht werden kann.

Die Kostenoptimierung von Abwasserreinigungsanlagen in Bezug auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis kann sowohl bei den Kosten als auch beim Nutzen, also beim Gewässerschutz, ansetzen. Das Optimum kann dort gesehen werden, wo die gesetzlichen Anforderungen mit minimalen Kosten erreicht werden, oder man definiert Optimum so, dass mit der bestehenden Infrastruktur ein Maximum für den Gewässerschutz - möglicherweise auch mit geringen Mehrkosten - erreicht wird.

Ziel der hier entwickelten Methode ist, die Kosten von Abwasserreinigungsanlagen zu minimieren, und zwar unter der Voraussetzung, dass die (gesetzlichen) Anforderungen an die Reinigungsleistung eingehalten werden.

Die im Folgenden vorgestellte Methode verfolgt demnach folgende Ziele:

- 1) Entwicklung einer Kennzahlensystematik, die den technisch wirtschaftlichen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen im Expertenkreis ermöglicht
- 2) Identifikation von „Klassenbesten“ beziehungsweise Benchmarks unter Anwendung der Kennzahlensystematik
- 3) Kostenreduktion durch den Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen untereinander und mit der Benchmark

Um diese Ziele erreichen zu können, sind folgende Schritte erforderlich:

Um den Vergleich unterschiedlicher Abwasserreinigungsanlagen zu ermöglichen, ist die Unterteilung in definierte Prozesse erforderlich. Diesen Prozessen angepasst, müssen auch die Kosten erhoben werden, weshalb die Einführung einer prozessorientierten Kostenrechnung eine wesentliche Voraussetzung darstellt. Die spezifischen Betriebskosten verändern sich mit der Anlagengröße degressiv, aber auch die gesetzlichen Anforderungen und die Bedürfnisse der Detailliertheit des Prozessmodells sind von der Kläranlagengröße abhängig. Für den Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen werden daher Größengruppen gebildet, innerhalb derer Bestmarken identifiziert werden. Die Entwicklung einer Benchmarking-Kennzahlensystematik für die Beurteilung der Effektivität und Effizienz der definierten Prozesse sowie die vorgelagerte Plausibilitätskontrolle der Eingangsdaten stellen wesentliche Elemente für die Erreichung der Ziele dar.

Die entwickelte Methode stellt somit die Grundlage für ein Kläranlagen-Benchmarking dar. Die Identifizierung von Benchmarks und die entwickelte Kennzahlensystematik erlauben einen technisch wirtschaftlichen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen im Expertenkreis. Die Ausarbeitung von Empfehlungen, die Ableitung von konkreten Maßnahmen und deren Implementierung sind durch die vorgestellte Methode nicht abgedeckt. Die Kontrolle von Umsetzungsmaßnahmen ist jedoch anhand der Kennzahlensystematik möglich.

### 4.1 Organisatorischer Ablauf eines Benchmarking

Der organisatorische Ablauf und die Vorgehensweise bei einem Benchmarkingprojekt werden in Abbildung 4 dargestellt. Auch in der Literatur (Admiraal & Heemst, 2000; Schulz & Leuenberger, 2002) werden ähnliche Phasen oder Module eines Benchmarkingprojektes beschrieben.

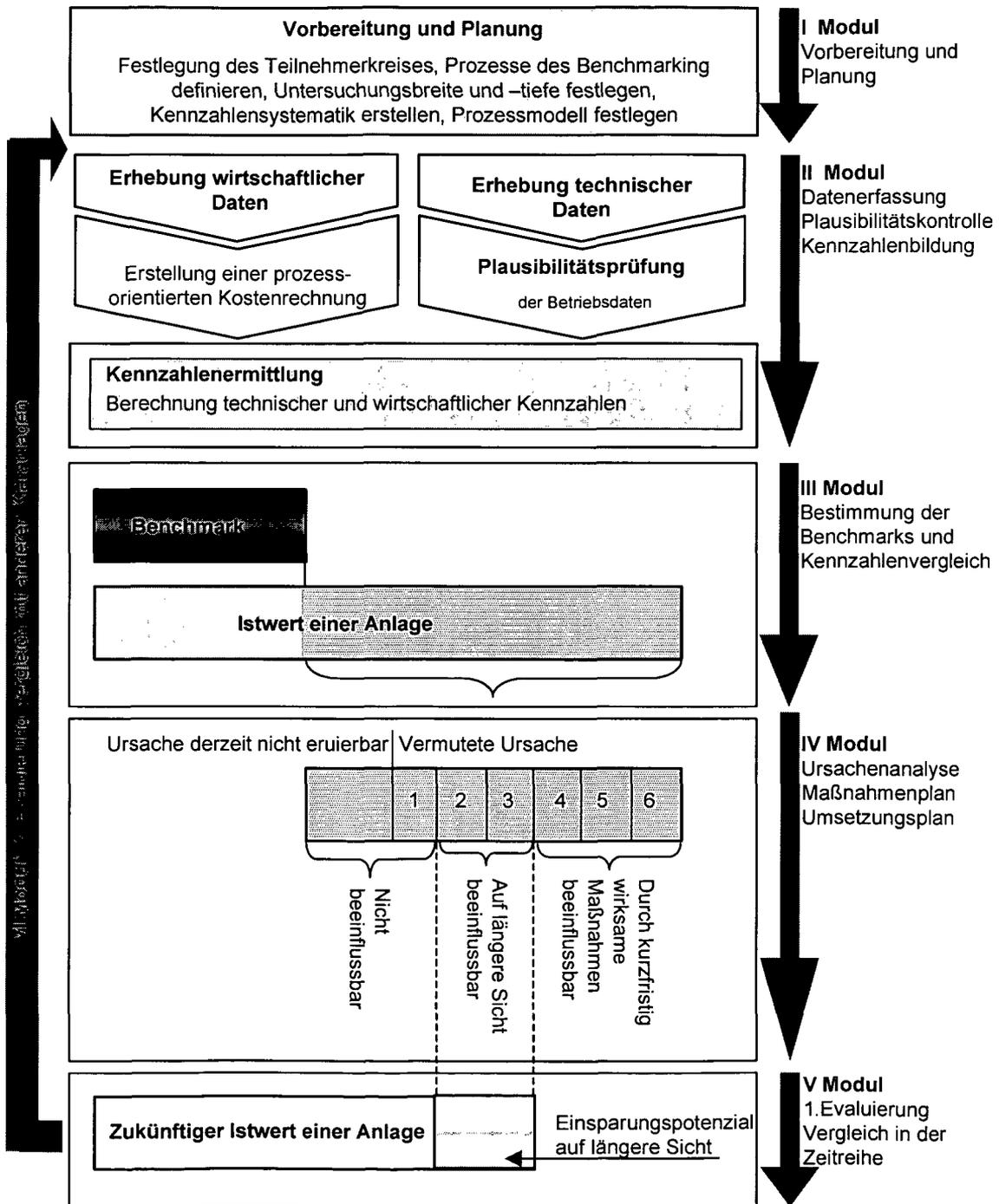


Abbildung 4: Ablauf eines Benchmarkingprojektes (vergleiche Schulz, 2000)

Es wird dabei meist in ein Vorbereitungs- und Planungsmodul, in ein Modul für die Datenerhebung, die Plausibilitätsprüfung und Kennzahlenbildung, in ein Modul für die Bestimmung der Benchmarks sowie die Berechnung der Kennzahlen unterschieden. Im anschließenden IV. Modul werden die Ursachen der Abweichungen analysiert, wobei ein Teil der Abweichungen zur Benchmark nicht erklärbar sein kann. Für den anderen Teil werden vermutete Ursachen der Abweichung aufgelistet. Auf Basis der vermuteten Ursachen können Maßnahmen- und Umsetzungspläne erarbeitet werden, wobei zwischen kurzfristig umsetzbaren und auf lange Sicht umsetzbaren Maßnahmen unterschieden werden kann (vergleiche Stemplewski et al., 2000).

Im Modul V und Modul VI werden dann die gesetzten Maßnahmen evaluiert. Einerseits ist eine Evaluierung der gleichen Anlage in der Zeitreihe möglich, d.h. man berechnet für die entsprechende Anlage nach erfolgter Umsetzung der Maßnahmen das festgelegte Kennzahlenpool und vergleicht diese mit den historischen Zahlen. Andererseits ist Benchmarking dadurch charakterisiert, dass nach erfolgter Umsetzung von Maßnahmen ein Vergleich des gesamten Teilnehmerkreises erfolgt, um so einen kontinuierlichen Prozess der Verbesserung in Gang zu setzen bzw. zu halten. In weiterer Folge wird dies als kontinuierliches Benchmarking bezeichnet.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode umfasst die Module I bis III und kann auch für das Evaluierungsmodul angewendet werden. Die Ursachenanalyse, die Erarbeitung von Maßnahmen- und Umsetzungsplänen sind vorwiegend Leistungen, die von den Anlagenbetreibern selbst erbracht werden müssen. Zur Sicherstellung des Informationsflusses und zur Schaffung der Möglichkeit, vom *Besten* zu lernen, hat sich die Durchführung von Workshops mit den Teilnehmern als fixer Bestandteil des Benchmarking-Prozesses etabliert.

Neben der Sicherstellung des Informationsflusses spielt die Sicherstellung des Datenflusses eine wesentliche organisatorische Frage. Ein Benchmarking kann nur dann erfolgreich sein, wenn das Vertrauen der Teilnehmer zueinander und zu den Bearbeitern der Daten sicher gestellt ist. Aus den Erfahrungen beim Benchmarking-Forschungsprojekt kann abgeleitet werden, dass das Bedürfnis nach Geheimhaltung, vor allem der kaufmännischen Daten, in großem Umfang gegeben ist. Auf der anderen Seite steht das Verlangen nach Kostentransparenz (gläserne Kläranlage) in der öffentlichen Verwaltung. Beim Benchmarking-Forschungsprojekt wurde daher die Vereinbarung getroffen, dass Daten nur in anonymisierter und aggregierter Form veröffentlicht werden. Die individuell berechneten Kennzahlen jeder Kläranlage erhielten ausschließlich die Kläranlagenbetreiber in Form eines Individualberichtes. Welche dieser Daten dann an Dritte weitergegeben wurden, lag damit in der Verantwortung des jeweiligen Kläranlagenbetreibers. Die Benchmarks müssen jedoch zumindest innerhalb des

Teilnehmerkreises bekannt gegeben werden, da nur so mit dem jeweils Besten in Kontakt getreten und von ihm gelernt werden kann.

In diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass öffentliche Anlagenbetreiber zueinander nicht in Konkurrenz stehen, positiv zu bewerten. Der gegenseitige Daten- und Wissensaustausch sowie die Versorgung mit Primärinformationen führt zu keinem Wettbewerbsnachteil einzelner Anlagenbetreiber, sondern wirkt sich aufgrund des Erkennens von Leistungsdefiziten und des Ausgleichs dieser positiv auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Anlage aus. Auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis beim Benchmarking wird in Kapitel 4.11.2 noch eingegangen.

Bei der Teilnahme von privaten Betreibern an einem Benchmarkingprojekt von Abwasserreinigungsanlagen ist die Aussage, dass Anlagenbetreiber nicht zueinander in Konkurrenz stehen, nur mehr eingeschränkt gültig. Für die Vergrößerung ihres „Marktanteils“ ist die Übernahme des Anlagenbetriebes von Verbänden bzw. Gemeinden erforderlich, wodurch Konkurrenz zwischen privaten und öffentlichen Betreibern entstehen wird. Bei der organisatorischen Planung eines Benchmarkingprojektes muss in Bezug auf Daten- und Informationsfluss darauf Rücksicht genommen werden, ob die Benchmarkingteilnehmer zueinander in Konkurrenz stehen (= wettbewerbsorientiertes Benchmarking) oder nicht. Der vorliegenden Arbeit liegt der Grundgedanke eines wettbewerbsfreien Benchmarking zugrunde, wobei die entwickelte Methode grundsätzlich auch im wettbewerbsorientierten Benchmarking angewendet werden kann.

## 4.2 Vergleich der Anlagen mit Hilfe von Prozessen

Bevor auf die Prozesse der Abwasserreinigung im Detail eingegangen wird, muss noch definiert werden, was unter einem PROZESS verstanden wird. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, setzte sich Anfang der 90er Jahre ein prozessorientiertes Denken in den Betrieben durch, was sich in der Literatur in einer Fülle von Definitionen des Begriffes Prozess niederschlägt:

Ein Unternehmensprozess ist ein Bündel von Aktivitäten, für das ein oder mehrere unterschiedliche Inputs benötigt werden und das für den Kunden ein Ergebnis von Wert erzeugt (Hammer & Champy, 1996).

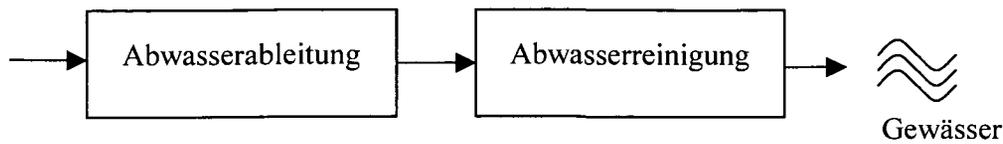
Ein Prozess entsteht aus einer Folge von einzelnen Funktionen und weist einen definierten Anfangspunkt, Auslöser des Prozesses sowie Endpunkt (Endzustand) auf (Mertens, 1995).

”Ein Prozess ist eine Menge strukturierter Aktivitäten, die dazu dient, ein definiertes Ergebnis für einen Kunden zu erbringen. Er hat einen Anfang, ein Ende und klar definierte Eingangs- und Ausgangsgrößen. Ein Prozess ist damit eine Struktur, die beschreibt, wie eine Arbeit (Tätigkeit, Vorgang) verrichtet wird.” (aus: ”Managing in the New World of Processes” zitiert von Wiesmann 1999)

Als Gemeinsamkeiten aller Definitionen fasst Staud (2001) folgende Punkte zusammen:

- Geschäftsprozesse haben ein Ziel, das sich aus dem Unternehmensziel ableitet.
- Die Gesamtaufgabe eines Geschäftsprozesses kann in Teilaufgaben zerlegt werden.
- Die Aufgaben werden von Aufgabenträgern wahrgenommen, die Inhaber von Stellen sind, die wiederum in Organisationseinheiten gruppiert sind.
- Die Aufgaben werden manuell, teilautomatisiert oder automatisiert erfüllt.
- Ein Geschäftsprozess liegt quer zur klassischen Aufbauorganisation, d.h. er tangiert mehrere Abteilungen.
- Für die Erfüllung der Aufgaben werden die Unternehmensressourcen benötigt.
- Geschäftsprozesse benötigen zu ihrer Realisierung Informationsträger aller Art.

Ein "Prozess" ist demnach eine Tätigkeit im Rahmen eines (Produktions-)Betriebes mit klar umrissenen Grenzen. Nur durch klare Festlegungen können Tätigkeiten ("Prozesse") von unterschiedlichen Betrieben miteinander verglichen werden. Im Bereich der Abwasserentsorgung können beispielsweise die Abwasserableitung, die Abwasserreinigung und das empfangende Gewässer als Prozesskette betrachtet werden.



In der vorliegenden Arbeit wird der Prozess Abwasserreinigung näher betrachtet und ein Prozessmodell für Abwasserreinigungsanlagen entwickelt, das es erlaubt, Anlagen unterschiedlicher Verfahrensweisen miteinander zu vergleichen. So unterschiedlich einzelne Anlagen und deren Betriebsweise sein können, so sind einzelne Prozesse immer ähnlich und damit vergleichbar. Durch die definierte und eindeutige Abgrenzung in Teilprozesse der Abwasserreinigung können entweder alle, einzelne oder die Summe einzelner Prozesse miteinander verglichen werden. In Abbildung 5 ist ein Prozessmodell für Abwasserreinigungsanlagen dargestellt, welches einen Detaillierungsgrad aufweist, der eine Analyse auch von großen österreichischen Kläranlagen zulässt. Da bei kleineren Kläranlagen einerseits manche Verfahrensschritte (z.B.: Überschussschlammeindickung) nicht vorhanden sind, und andererseits die Daten nicht in der erforderlichen Dichte zur Verfügung stehen, müssen je nach Kläranlagengröße einzelne Prozesse zusammengefasst werden.

Die Festlegung des Detaillierungsgrades in Teilprozesse hängt von zwei sich widersprechenden Interessenslagen ab. Detailliertere Daten ermöglichen bis zu einem gewissen Grad genauere Erkenntnisse. Die Kostenrechnung des Unternehmens muss jedoch dementsprechend eingeteilt sein, dies bedeutet, dass in der gewünschten Detaillierung auch gebucht werden kann. Andererseits muss der Aufwand, der aufgrund der Kostenrechnung entsteht, noch in einem angemessenen Verhältnis zur gewonnenen Kenntnis stehen. (Schulz et al., 1998)

Auf die Frage, wie Kläranlagen zu vergleichbaren Gruppen zusammengefasst werden können und welcher Detaillierungsgrad in den einzelnen Gruppen angestrebt werden soll/kann, wird in Kapitel 4.7 noch näher eingegangen.

Abwasserreinigung										
mechanische Vorreinigung	mechanisch-biologische Abwasserreinigung	Eindickung Stabilisierung		weitergehende Schlammbehandlung		obligatorische Hilfsprozesse			fakultative Hilfsprozesse	
		Überschussschlammeindickung	Schlammstabilisierung	Schlammwässerung	Schlammverwertung Schlamm Entsorgung	Labor	Verwaltung	Betriebsgebäude/-gelände und sonstige Infrastruktur	Werkstätte	Fuhrpark
Prozess 1	Prozess 2	3.1	3.2	4.1	4.2	I.1	I.2	I.3	II.1	II.2
		Prozess 3		Prozess 4		Hilfsprozess I			Hilfsprozess II	

Abbildung 5: Die Haupt- und Teilprozesse des Abwasserreinigung

Bei dem in Abbildung 5 dargestellten Prozessmodell wird die Abwasserreinigungsanlage in die vier Hauptprozesse *mechanische Vorreinigung*, *mechanisch-biologische Reinigung*, *Schlammeindickung und Stabilisierung* und *weitergehende Schlammbehandlung* untergliedert. Der Hauptprozess 3 *Schlammeindickung und Stabilisierung* sowie der Hauptprozess 4 *weitergehende Schlammbehandlung* werden jeweils in zwei Detailprozesse 3.1 *Überschussschlammeindickung* und 3.2 *Schlammstabilisierung* sowie 4.1 *Schlammwässerung* und 4.2 *Schlammverwertung/Schlamm Entsorgung* unterteilt.

Zusätzlich zu den Hauptprozessen wird die Einführung von zwei Hilfsprozessen vorgenommen. Der Hilfsprozess I umfasst jene Teilhilfsprozesse, die auf jeder Kläranlage benötigt werden, und untergliedert sich in *Labor*, *Verwaltung* sowie *Betriebsgebäude/-gelände und sonstige Infrastruktur*. Der Hilfsprozess II umfasst fakultative Hilfsprozesse, also solche Prozesse, welche nicht zwingend auf jeder Kläranlage vorhanden sein müssen, jedoch vor allem bei größeren Anlagen üblich sind.

Eine wesentliche Voraussetzung für den Vergleich von Prozessen besteht in ihrer eindeutigen Definition. Um bei der Abgrenzung und Beschreibung der Prozesse möglichst einheitlich und verständlich vorzugehen, werden die Prozesse mit Hilfe der in Tabelle 1 zusammengestellten Kriterien beschrieben. Zusätzlich werden für jeden Prozess typische bauliche und verfahrenstechnische Gegebenheiten angeführt, die auch als Stammdaten bezeichnet werden können.

Tabelle 1: Prozessdefinition (nach Schmelzer & Sesselmann, 2001)

Name	Wie heißt der Prozess?
Ziel, Zweck	Welche Aufgabe hat der Prozess?
Input	Welche Güter stellen den Input des Prozesses dar?
Produkt, Output	Was erzeugt der Prozess, was ist sein Output?
Effektivitätskennzahlen	Woran erkennt man, dass der Prozess seinen Zweck erfüllt?
Effizienzkennzahlen	Woran erkennt man, dass der Prozess seinen Zweck wirtschaftlich erfüllt?

Folgende Begriffsdefinitionen des Qualitätsmanagementsystem ISO 9000:2000 helfen die verwendeten Begriffe **Effektivität** und **Effizienz** besser zu verstehen(ISO9000, 2000):

**Effektivität** (= Wirksamkeit) ist das Ausmaß, in dem geplante Tätigkeiten verwirklicht und geplante Ergebnisse erreicht werden

**Effizienz** (= Wirtschaftlichkeit) ist das Verhältnis zwischen dem erzielten Ergebnis und den eingesetzten Mitteln

Ergänzend muss hinzugefügt werden, dass manche Anlagenteile einem Prozess zugeordnet werden, die nicht unmittelbar für die Erfüllung der Aufgabe dieses Prozesses dienen. Dies geschieht deshalb, damit die Summe der spezifischen Kosten der Teilprozesse gleich den spezifischen Gesamtkosten der Anlage ist. Dies trifft vor allem auf Pump- und Hebewerke zu, deren Zuordnung im Kapitel 4.2.1 deshalb gesondert beschrieben wird.

#### 4.2.1 Zuordnung von Pump- und Hebewerken

Sieht man vom Rücklaufschlamm und Rezirkulationspumpwerken ab, muss eine Abwasserreinigungsanlage nicht zwingend ein Pump- oder Hebewerk aufweisen, weshalb Pump- oder Hebewerk nicht eindeutig einem der in Abbildung 5 dargestellten Prozesse zugeordnet werden können. Das Zulaufpumpwerk kann beispielsweise auch der Abwasserableitung zugeordnet werden, wie dies beim Forschungsprojekt „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“ gemacht wurde. Wie eine Auswertung der Daten des Forschungsprojektes gezeigt hat, haben rund 30 % der untersuchten Anlagen kein Zulaufpumpwerk, ebenso viele Kläranlagen weisen ein Pump- bzw. Hebewerk im weiteren

Verlauf der Kläranlage (vor dem VKB, zwischen VKB und BB, zwischen BB und NKB bzw. im Kläranlagenablauf) auf. Es gibt daher zwei Möglichkeiten zur Lösung der Zuordnungsproblematik bei Pumpwerken:

- 1) Man rechnet alle Pump- und Hebewerke, mit Ausnahme des Rücklaufschlammumpwerkes, aus dem Gesamtprozess der Abwasserreinigung heraus und ordnet sie dem Prozess der Abwasserableitung zu.
- 2) Da Pumpwerke sowohl bei der Energieerfassung als auch in personeller Hinsicht mit der Kläranlage assoziiert sind, werden sie jenem Prozess zugeordnet, dem sie verfahrenstechnisch am nächsten sind. Die Zulaufpumpwerke sowie Pumpwerke vor der Vorklärung werden demnach dem Prozess 1 zugeordnet und Pumpwerke zwischen Vorklärung und Belebungsbecken sowie Pumpwerke in oder nach der biologischen Stufe dem Prozess 2.

Bei großen Kläranlagen, bei denen sichergestellt werden kann, dass die Kosten der Pumpwerke auch tatsächlich getrennt erfasst werden können, bietet sich Punkt 1 an, da dadurch die Vergleichbarkeit von Anlagen mit und ohne Pumpwerke gegeben ist. Berücksichtigt werden muss dabei, dass Rezirkulationspumpwerke Bestandteil des Verfahrenskonzeptes der biologischen Stufe sind und somit dem Prozess 2 zugeordnet werden müssen.

Der in Punkt 2 beschriebene Ansatz wird dann zielführend sein, wenn die Kosten - insbesondere für Personal und Energie - nicht pumpenspezifisch erfasst werden.

Wichtig ist, dass innerhalb der Vergleichsgruppe eine einheitliche Vorgehensweise gewählt wird.

#### **4.2.2 Gesamtprozess – Abwasserreinigung**

Bevor die vier Haupt- inklusive Teilprozesse mit Hilfe der in Tabelle 1 angegebenen Kriterien definiert werden, soll der Gesamtprozess Abwasserreinigung an Hand dieser Systematik charakterisiert werden.

**Ziel und Zweck** der Abwasserreinigung ist der Gewässerschutz. Es soll der natürliche Zustand und die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer erhalten bzw. wiederhergestellt werden. In Österreich stellen das Wasserrechtsgesetz (WRG 1959) und die dazugehörigen Emissions- und Immissionsregelungen die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Erreichung dieser Ziele dar.

Die **Inputgüter** des Prozesses Abwasserreinigung sind Rohabwasser, Energie und Senkgruben- bzw. Kanalräumgut, Fällmittel, Konditionierungsmittel und Kofermentationssubstrate.

Die **Outputgüter** des Prozesses sind gereinigtes Abwasser, Rechen- und Sandfanggut sowie Klärschlamm, die entsorgt werden müssen, und gegebenenfalls elektrische Energie.

Die **Effektivität** (= Wirksamkeit) des Prozesses Abwasserreinigung kann in die Effektivität der mechanischen Reinigung und die Wirksamkeit der biologischen Abwasserreinigung geteilt werden. Die mechanische Reinigung lässt sich anhand der Menge an Rechen- und Sandfanggut verifizieren. Die Wirksamkeit der biologischen Reinigung spiegelt sich in der Güte des gereinigten Abwassers wider und drückt sich beispielsweise in der Leistungskennzahl, den Entfernungsgraden beziehungsweise in der Restverschmutzung des gereinigten Abwassers aus.

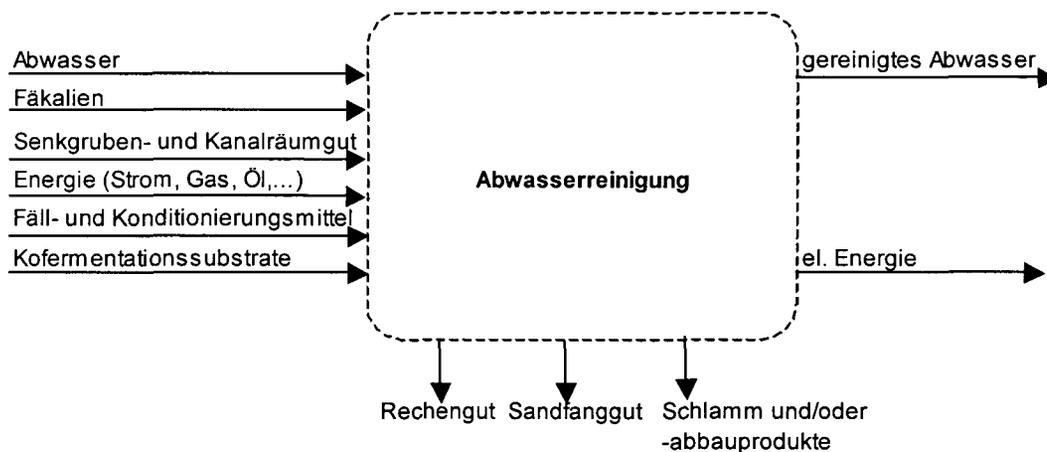


Abbildung 6: Gesamtprozess - Abwasserreinigung

Die **Effizienz** (= Wirtschaftlichkeit) des Gesamtprozesses Abwasserreinigung drückt sich in den spezifischen Gesamtkosten aus. Die in der Folge beschriebenen wesentlichen Effizienzkenzahlen der einzelnen Prozesse spielen natürlich auch für die Effizienz des Gesamtprozesses eine entsprechende Rolle.

#### 4.2.3 Prozess 1 – Mechanische Vorreinigung

**Ziel und Zweck** des Prozesses 1 ist die Abtrennung von Sand, Fett und Grobstoffen sowie die Übernahme von Fäkalien und Kanalräumgut.

Die **Inputgüter** des Prozesses 1 sind Rohabwasser, Energie und Senkgruben- bzw. Kanalräumgut.

Die **Outputgüter** dieses Prozesses stellen mechanisch vorgereinigtes Abwasser und je nach Art der Einrichtung Rechen- und Sandfanggut sowie Fett dar. Rechen- und Sandfanggut sind nicht nur Outputgüter des Prozesses 1, sondern auch des Prozesses Abwasserreinigung. Bei Kläranlagen mit Faulung wird üblicherweise das abgeschiedene Fett in die Faulung übernommen und ist in diesem Fall Inputgut des Prozesses 3.2. Ist dies nicht der Fall, verlässt das abgeschiedene Fett ebenfalls den Prozess Abwasserreinigung. Das mechanisch vorgereinigte Abwasser ist Inputgut des Prozesses 2 (siehe Abbildung 7).

Die **Effektivität** des Prozesses kann am spezifischen Rechen- bzw. Sandfanggutanteil und am spezifischen Fetttanteil gemessen werden. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass ein hoher spezifischer Anfall der genannten Stoffe auch mit einem erhöhten Eintrag ins Kanalsystem verbunden sein kann. Höhere als üblich zu erwartende Werte an Rechen- bzw. Sandfanggut sollten daher zu Vermeidungsmaßnahmen Anlass geben.

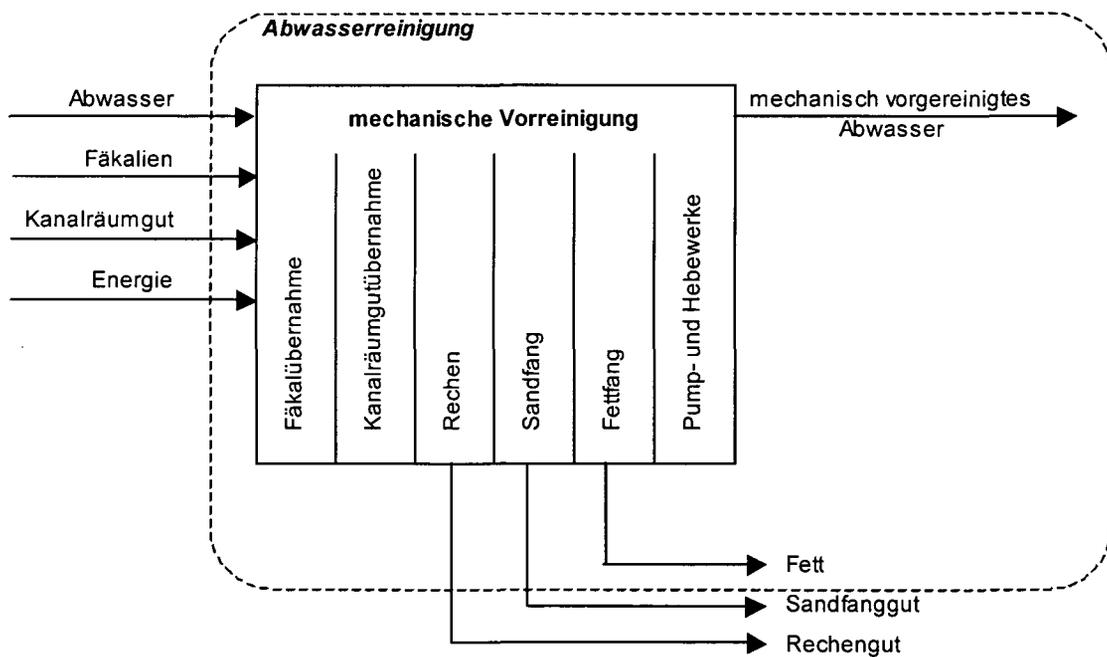


Abbildung 7: Prozess 1 – mechanische Vorreinigung

Die **Effizienz** des Prozesses drückt sich in erster Linie in den spezifischen Prozesskosten aus. Teil dieser Prozesskosten sind die Entsorgungskosten für Rechen- und Sandfanggut, die als Effizienzkennzahlen in Euro je Tonne entsorgtem Gut ausgedrückt werden können. Eine weitere wesentliche Effizienzkennzahl stellt der spezifische Energieverbrauch der mechanischen Vorreinigung dar. Auch wenn die Hebung des Abwassers kein primäres Ziel des Prozesses darstellt, trägt die Effizienz der Pump- bzw. Hebewerke zur Wirtschaftlichkeit des Prozesses bei. Als Maß für die Effizienz von Pump- und Hebewerk

wird der Energieverbrauch je Kubikmeter Abwasser und Meter Förderhöhe herangezogen.

Für die Beurteilung der **baulichen und verfahrenstechnischen Gegebenheiten** (= Stammdaten) der mechanischen Vorreinigung einer Kläranlage müssen folgende Faktoren bekannt sein:

- Rechen (Art, Rechengutwäsche, ...)
- Sandfang (Art, belüftet/unbelüftet, Sandfanggutwäsche, ...)
- Fettfang (ja/nein)
- Fäkalübernahmestation (ja/nein)
- Kanalräumgutübernahmestation (ja/nein)
- Pump- und Hebewerke (ja/nein, Pumphöhe, Art, Anschlussleistung der Pumpe)

#### 4.2.4 Prozess 2 – Mechanisch-biologische Abwasserreinigung

**Ziel und Zweck** des Prozesses 2 ist je nach Verfahrenskonzept eine weitere mechanische Reinigung des vorgereinigten Abwassers in der Vorklärung und in jedem Fall die anschließende biologische Reinigung des Abwassers. Die Vorklärung wurde in den beschriebenen Prozess integriert, weil die dort abgeschiedenen Schmutzfrachten einerseits die Faulung (erhöhte Gasproduktion), und andererseits die biologische Abwasserreinigung beeinflussen. Bei der biologischen Reinigung unterscheidet man zwei Hauptgruppen von Verfahren. Das Belebungsverfahren mit Mikroorganismen, die im zu reinigenden Abwasser suspendiert sind (schweben), und die Biofilmverfahren mit Mikroorganismen, die auf Bewuchsflächen fixiert sind, an denen das zu reinigende Abwasser vorbeifließt (Gujer, 1999).

**Inputgüter** des Prozesses mechanisch-biologische Abwasserreinigung sind durch Rechen und Sandfang mechanisch vorgereinigtes Abwasser, Energie und Fällmittel.

Die **Outputgüter** stellen biologisch gereinigtes Abwasser, Primärschlamm und Überschussschlamm dar. Bei Anlagen, die in das elektrische Stromnetz eines Energieversorgungsunternehmens (EVU) einspeisen, zählt auch diese elektrische Energie zu den Outputgütern.

Die **Effektivität** des Prozesses kann einerseits an der Güte des gereinigten Abwassers (= Reinigungsleistung) und am spezifischen Primär- und Überschussschlammanfall gemessen werden. Zusätzlich ist der Entfernungsgrad der Kohlenstoffverbindungen und der Nährstoffe sowohl in der Vorklärung als auch in der Biologie ein Maß für die Wirksamkeit des Prozesses 2.

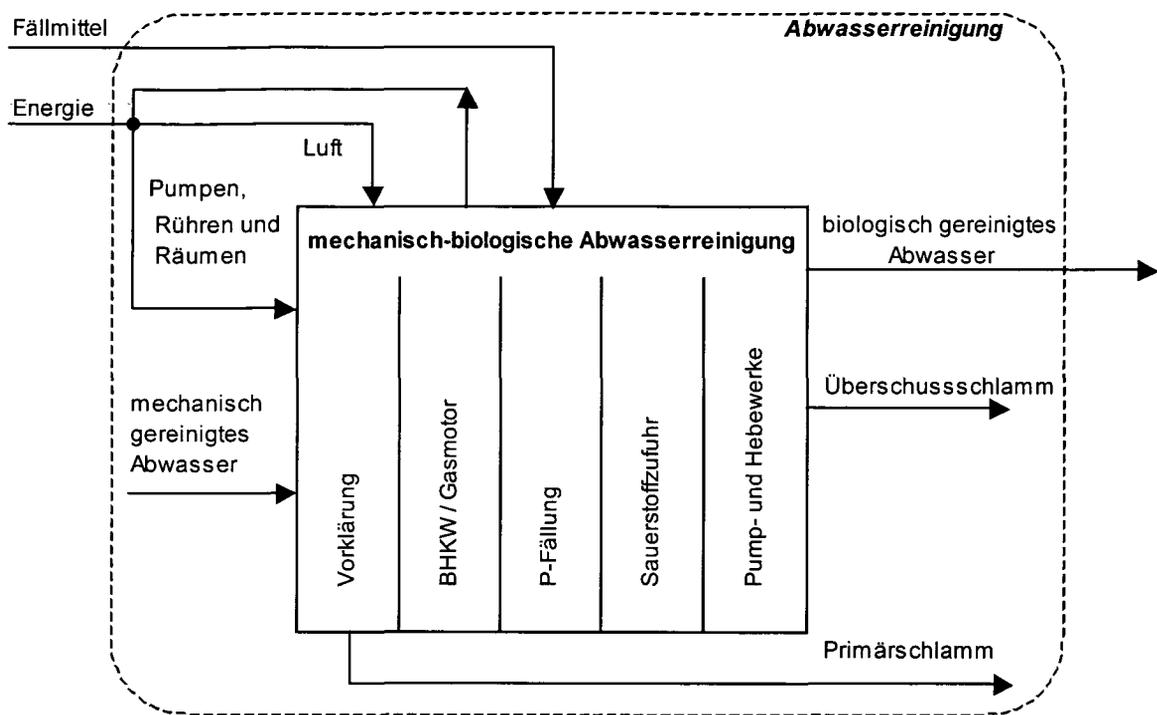


Abbildung 8: Prozess 2 – mechanisch-biologische Abwasserreinigung

Die **Effizienz** des Prozesses drückt sich in erster Linie in den spezifischen Prozesskosten aus. Eine weitere wesentliche Effizienz Kennzahl stellt der spezifische Energieverbrauch des Prozesses dar, der sich vor allem aus dem Energieverbrauch für die Belüftung und für die Umwälzung zusammensetzt. Bei Anlagen, die im Prozess 2 Pump- und Hebewerke aufweisen, ist ebenfalls, wie bereits beschrieben, der Energieverbrauch je Kubikmeter befördertem Abwasser und Meter Förderhöhe ein Maß für deren Effizienz.

Für die Beurteilung der **baulichen und verfahrenstechnischen Gegebenheiten** (= Stammdaten) des Prozesses 2 sind folgende Daten erforderlich:

- Größe, Typ, Anzahl und Ausstattung von Vorklärung, Belebungsbecken, Nachklärbecken oder/und anderer Reaktoren (beispielsweise SBR, Tropfkörper udgl.)
- Art der Belüfter und Verdichter
- Art der Umwälzung
- Fällungsart, Fällungsort und Fällmittelart
- Pump- und Hebewerke (ja/nein, Pumphöhe, Art, Anschlussleistung der Pumpe)
- Reinigungsziel (Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung, maximaler Zulauf bei Regen)
- Verfahrenskonzept
- Regelungskonzept (Art der Messwertnehmer)

#### 4.2.5 Prozess 3 – Eindickung und Stabilisierung

Wie die Ergebnisse des Forschungsprojektes „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“ (Kroiss et al., 2001) gezeigt haben, wird ein wesentlicher Kostenanteil des Prozesses Eindickung und Stabilisierung von der so genannten MÜSE, der maschinellen Überschussschlammeindickung, verursacht.

Der Prozess 3 wird daher bei Anlagen, die einerseits eine MÜSE betreiben, und andererseits die Daten (vor allem die Kostendaten) in der entsprechenden Detaillierung vorliegen haben, in folgende Teilprozesse aufgeteilt:

Prozess 3.1 Überschussschlammeindickung (in Abbildung 9 grau hinterlegt)

Prozess 3.2 Schlammstabilisierung

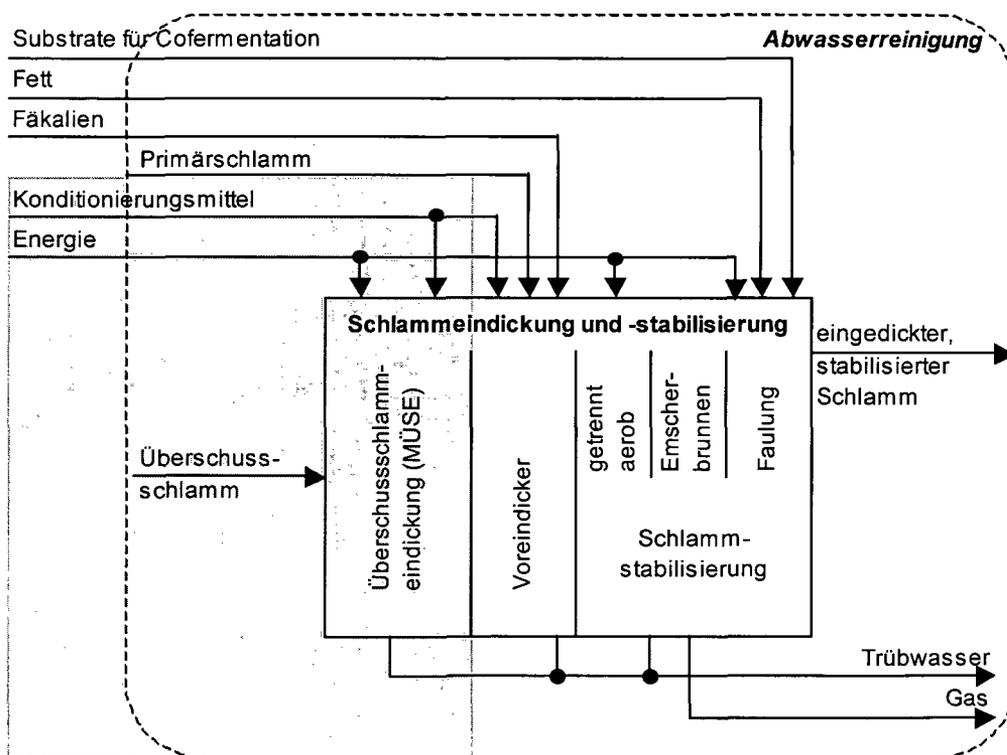


Abbildung 9: Prozess 3 – Schlammereindickung und Stabilisierung (grau hinterlegt der Teilprozess 3.1 Überschussschlammeindickung; nicht grau hinterlegt der Teilprozess 3.2 Schlammstabilisierung)

Dem Prozess 3.1 werden ausschließlich die Anlagen der maschinellen Überschussschlammeindickung, inklusive Dosierstationen für Konditionierungsmittel, Gebäude für die MÜSE und dergleichen mehr zugerechnet. Alle anderen Einrichtungen des Prozesses 3 (ab Primär- bzw. Überschussschlamm bis hin zum stabilisierten Schlamm) werden dem Prozess 3.2 Stabilisierung zugerechnet. Dazu zählen auch statische Eindicker

für Fäkal- und Primärschlamm. Die Isolierung des Prozesses 3.1 ist vorwiegend deshalb vorgenommen worden, um nähere Auskünfte über die Kosten der maschinellen Überschussschlammeindickung zu gewinnen.

Die Prozessabgrenzung zum Prozess 4 ist dort gegeben, wo ein stabilisierter Schlamm vorliegt, der ohne weitere Behandlung einer Verwertung oder Entsorgung zugeführt werden kann.

Bei einem Verfahren mit simultaner aerober Schlammstabilisierung überlagern sich die Prozesse der *mechanisch-biologischen Abwasserreinigung* und der *Schlammeindickung und Stabilisierung*. In diesem Fall werden alle Kosten dem Prozess der *mechanisch-biologischen Abwasserreinigung* zugerechnet, wobei für einen Vergleich von Anlagen mit simultaner bzw. getrennter Stabilisierung die Summe der Prozesse 2 und 3 gebildet werden muss.

#### 4.2.6 Prozess 3.1 - Überschussschlammeindickung

**Ziel und Zweck** des Prozesses 3.1 ist es, dem Überschussschlamm so weit wie möglich Wasser zu entziehen und somit das Volumen des Schlammes zu verringern.

Die **Inputgüter** des Prozesses 3.1 sind Überschussschlamm, Energie und Konditionierungsmittel.

Die **Outputgüter** des Prozesses 3.1 sind einerseits eingedickter Überschussschlamm, und andererseits Trübwasser.

Die **Effektivität** des Prozesses spiegelt sich in der Verringerung des Volumens des Schlammes wider und kann beispielsweise mit Hilfe der Trockensubstanz des eingedickten Überschussschlammes kontrolliert werden.

Die **Effizienz** des Prozesses drückt sich in den spezifischen Prozesskosten aus. Weitere wesentliche Effizienzkenzahlen stellen der spezifische Energieverbrauch sowie der spezifische Konditionierungsmittelverbrauch des Prozesses dar. Neben den Kennzahlen für den spezifischen Verbrauch beeinflussen natürlich auch der Preis von Energie und Fällmittel sehr wesentlich die Wirtschaftlichkeit des Prozesses. Auch die Auslastung der Anlagen (Laufzeit je Tag) kann als Maß der Wirtschaftlichkeit betrachtet werden.

Für die Beurteilung der **baulichen und verfahrenstechnischen Gegebenheiten** des Prozesses 3.1 ist die

- Art der maschinellen Überschussschlammeindickung von Interesse.

#### 4.2.7 Prozess 3.2 - Schlammstabilisierung

**Ziel und Zweck:** Bei der Schlammstabilisierung werden die organischen Stoffe, die sich schnell zersetzen und daher Geruchsprobleme verursachen können, in einem technischen Verfahren unter kontrollierten Bedingungen abgebaut.

Zu den **Inputgütern** dieses Prozesses zählen eingedickter Schlamm und Energie. Zusätzlich können je nach Verfahren Primärschlamm, Konditionierungsmittel, Senkgrubenräumgut, Fett und andere Stoffe für die Kofermentation hinzukommen.

**Outputgüter** sind stabilisierter Schlamm und Trübwasser, bei Anlagen mit Faulung zusätzlich Faulgas.

Die **Effektivität** des Prozesses spiegelt sich in der Verringerung der organischen Stoffe und bei Anlagen mit Faulung in der damit in Zusammenhang stehenden Gasausbeute wider. Der Grad der Stabilisierung kann beispielsweise in Gramm organischer Trockensubstanz (oTS), bezogen auf den Einwohnerwert, ausgedrückt werden.

Die **Effizienz** des Prozesses drückt sich in den spezifischen Prozesskosten aus. Zusätzlich ist auch der spezifische Energieverbrauch ein Maß für die Wirtschaftlichkeit des Prozesses.

Für die Beurteilung der **baulichen und verfahrenstechnischen Gegebenheiten** des Prozesses 3.2 müssen folgende Faktoren bekannt sein:

- Größe, Typ, Anzahl und Ausstattung von beheizten Faulanlagen, Aerobreaktoren oder Kaltfaulbehälter
- Art der Belüfter und Verdichter bei aerober Stabilisierung
- Art der Umwälzung
- Nacheindicker

#### 4.2.8 Prozess 4 – Weitergehende Schlammbehandlung

Der Prozess *weitergehende Schlammbehandlung* fasst jene Verfahrensschritte zusammen, die der weiteren Behandlung des eingedickten, stabilisierten Schlammes dienen. Dieser Prozess schließt auch die Verwertung bzw. Entsorgung des Klärschlammes auf der Anlage bzw. durch den Anlagenbetreiber mit ein. Wird der Klärschlamm in die Landwirtschaft, an eine Deponie oder an einen Entsorger abgegeben, so werden die Kosten für die Entsorgung ebenfalls dem Prozess 4 zugerechnet.

Da beim Prozess *weitergehende Schlammbehandlung* die prozesstechnisch relevanten Trübwasser anfallen, wird eine separate Trübwasserbehandlung diesem Prozess zugeordnet.

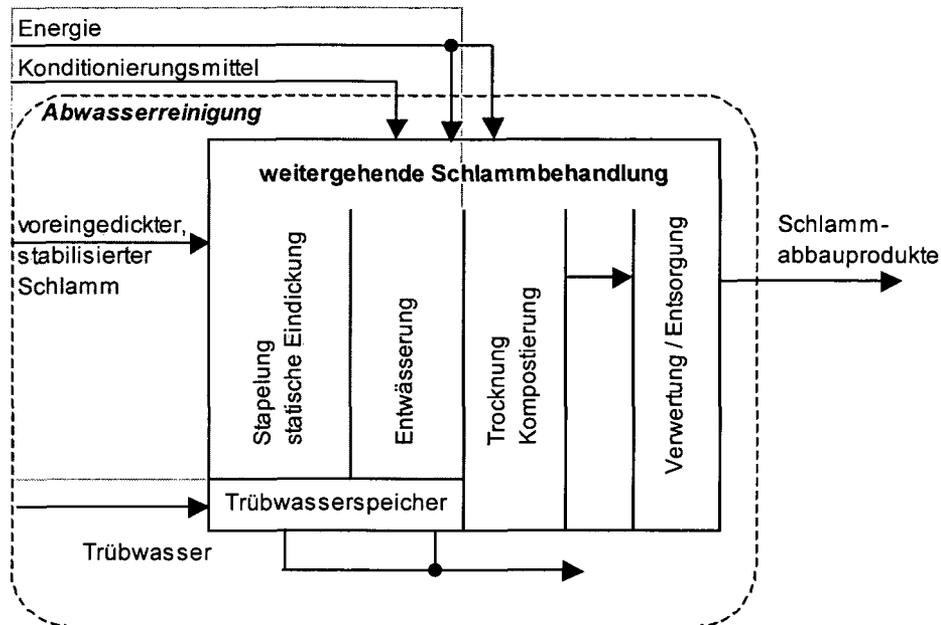


Abbildung 10: Prozess 4 – weitergehende Schlammbehandlung (grau hinterlegt der Teilprozess 4.1 Schlammmentwässerung; nicht hinterlegt Teilprozess 4.2 Schlammverwertung/-entsorgung)

Analog zum Prozess 3 werden für Anlagen, deren Datenverfügbarkeit dies zulässt, folgende Teilprozesse unterschieden:

Prozess 4.1 Schlammmentwässerung (in Abbildung 10 grau hinterlegt)

Prozess 4.2 Schlammverwertung / Schlammmentsorgung

Wie das Forschungsprojekt „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“ (Kroiss et al., 2001) gezeigt hat, belaufen sich die Kosten des Prozesses 4 auf rund 40 Prozent der Gesamtbetriebskosten der Kläranlage. Um hier ein differenzierteres Bild zu erhalten, werden dem Prozess Schlammmentwässerung nur jene Anlagenteile zugerechnet, die unmittelbar der Entwässerung dienen. Im Prozess 4.2 werden alle übrigen Komponenten der weitergehenden Schlammbehandlung auf der Kläranlage wie Trocknung, Kompostierung oder Trübwasserbehandlung zugeordnet. Die anfallenden externen Kosten für Verwertungs- und Entsorgungsmaßnahmen sind ebenfalls dem Prozess 4.2 zuzuordnen. Diese können jedoch aufgrund der Erfassung als eigene Kostenart (siehe Kapitel 4.3) gesondert ausgewertet werden.

#### 4.2.9 Prozess 4.1 - Schlamm entwässerung

**Ziel und Zweck** des Prozesses 4.1 ist es, dem stabilisierten Schlamm so weit wie möglich Wasser zu entziehen und somit das Volumen des Schlammes zu verringern.

Die **Inputgüter** des Prozesses 4.1 sind voreingedickter, stabilisierter Schlamm, Energie und Konditionierungsmittel.

Die **Outputgüter** des Prozesses 4.1 sind einerseits entwässerter Schlamm, und andererseits Trübwasser.

Die **Effektivität** des Prozesses spiegelt sich in der Verringerung des Volumens des Schlammes wider und kann beispielsweise mit Hilfe der Trockensubstanz des entwässerten Schlammes verifiziert werden.

Die **Effizienz** des Prozesses drückt sich in den spezifischen Prozesskosten aus. Weitere wesentliche Effizienz Kennzahlen stellen der spezifische Energieverbrauch sowie der auf die Trockensubstanz bezogene Konditionierungsmittelverbrauch des Prozesses dar. Neben den Kennzahlen für den spezifischen Verbrauch beeinflussen natürlich auch die Kosten von Energie und Fällmittel sehr wesentlich die Wirtschaftlichkeit des Prozesses. Auch die Auslastung der Anlagen (Laufzeit je Tag) kann als Maß der Wirtschaftlichkeit betrachtet werden.

Für die Beurteilung der **baulichen und verfahrenstechnischen Gegebenheiten** des Prozesses 4.1 ist die

- Art der Entwässerungseinrichtung von Interesse.

#### 4.2.10 Prozess 4.2 – Schlammverwertung / Schlamm Entsorgung

**Ziel und Zweck** des Prozesses 4.2 ist es, den entwässerten Schlamm zu entsorgen. Dies kann entweder auf der Anlage selbst oder extern erfolgen. Da auch die Behandlung von Trübwässern diesem Prozess zugeordnet wird, ist auch die Vergleichmäßigung beziehungsweise Verringerung der Trübwasserfrachten (Ammonium) als Ziel zu nennen.

Die **Inputgüter** des Prozesses 4.1 sind entwässerter Schlamm und je nach Verfahrenswahl Energie und Trübwasser.

Die **Outputgüter** des Prozesses 4.2 sind ausschließlich das in den Prozess 2 rückgeführte Trübwasser, Klärschlamm beziehungsweise Schlammabbauprodukte.

Die **Effektivität** des Prozesses ist mit Hilfe von Kennzahlen nur schwer zu erfassen. Geht man davon aus, dass das Ziel des Prozesses dann effektiv erreicht wird, wenn die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden, so muss bei der Beurteilung der Wirksamkeit der Schlammverwertung/-entsorgung die Gesetzeskonformität Berücksichtigung finden. Für Österreich kann an dieser Stelle hinzugefügt werden, dass die gesetzliche Anforderung an die Schlammverwertung und -entsorgung je Bundesland unterschiedlich geregelt ist.

Für die Effektivität der Trübwasserbehandlung kann der Grad der Vergleichmäßigung bzw. der Verringerung der Ammoniumfracht herangezogen werden, die den Prozess 2 belasten.

Die **Effizienz** des Prozesses drückt sich in den spezifischen Prozesskosten aus. Weitere wesentliche Effizienz Kennzahlen stellen der spezifische Energieverbrauch sowie die spezifischen Entsorgungskosten des Prozesses dar. Neben den Kennzahlen für den spezifischen Verbrauch beeinflussen natürlich auch die Preise von Energie und Fällmittel sehr wesentlich die Wirtschaftlichkeit des Prozesses. Auch die Auslastung der Anlagen (Laufzeit je Tag) kann als Maß der Wirtschaftlichkeit betrachtet werden.

Für die Beurteilung der **baulichen und verfahrenstechnischen Gegebenheiten** des Prozesses 4.2 sind folgende Anlagenteile von Interesse:

- Art der Verwertung/Entsorgung auf der Anlage
- Art der Trübwasserbehandlung (erforderliche Volumina, Belüftung udgl.)

#### 4.2.11 Hilfsprozesse

Bei den Hilfsprozessen handelt es sich um Prozesse, die nicht direkt dem betrieblichen Ablauf zugeordnet werden können, sondern für diese Leistungen, „quer“ über den gesamten Bereich der Abwasserreinigungsanlage, erbringen. Der Hilfsprozess Labor beispielsweise erbringt Leistungen im Rahmen der Eigenüberwachung für den Gesamtprozess Abwasserreinigung, kann aber auch für einzelne Prozesse, beispielsweise der *Schlammwässerung*, Leistungen erbringen, wenn Schlammanalytik durchgeführt wird.

Beim Forschungsprojekt „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“ (Kroiss et al., 2001) wurden für den Prozess Abwasserreinigung die beiden Hilfskostenstellen *Labor* und *Sonstiges* eingerichtet. Diese beiden Hilfskostenstellen wurden dann, ebenso wie die Hilfskostenstellen des Verbandes (Werkstätte, Fuhrpark und Verwaltung), proportional auf die vier Hauptprozesse der Kläranlage beziehungsweise der Kanalisationsanlagen umgelegt. War eine direkte Zuordnung von großen Kostenpositionen, wie beispielsweise eines LKWs, für den Prozess *weitergehende Schlammbehandlung* möglich, so wurden diese direkt dem jeweiligen Prozess zugeordnet. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Kosten für das *Labor* zwischen 8 und 15 Prozent und die *Sonstigen* Kosten der Kläranlage zwischen 13 und 24 Prozent, je nach Gruppenzugehörigkeit, betragen. Demnach wurde rund ein Drittel der Kläranlagenkosten den Hilfskostenstellen zugerechnet, wobei dieser Anteil mit der Kläranlagengröße abnimmt. Da eine pauschale Zurechnung der Hilfskosten auf die Hauptprozesse nur dann akzeptabel ist, wenn die Hilfskosten deutlich niedriger sind als die Einzelkosten der Prozesse (Schmelzer & Sesselmann, 2001), werden die Kosten der Hilfsprozesse zukünftig nicht auf die Kosten der Hauptprozesse umgelegt. Dies hat den Vorteil, dass auch die Hilfskosten der einzelnen Anlagen miteinander verglichen werden können und auch der Vergleich der Hauptprozesse repräsentativer ist. Außerdem erscheint es zweckmäßig, die Hilfsprozesse detaillierter zu gestalten und in obligatorische und fakultative Hilfsprozesse zu trennen. Damit ist auch die Vergleichbarkeit der Hilfsprozesse, die auf jeder Kläranlage anfallen, gegeben

#### 4.2.12 Hilfsprozess I - obligatorische Hilfsprozesse

Für Teilhilfsprozess I.1 – Labor werden auf jeder Kläranlage Kosten entstehen, unabhängig davon, ob ein eigenes Labor vorhanden ist oder dies als Leistung von Dritten zugekauft wird. Der Teilhilfsprozess I.1 – Labor erfüllt einerseits die Aufgaben, die

aufgrund der gesetzlichen Vorgaben im Rahmen der Eigenüberwachung zu erfüllen sind, und liefert andererseits mit Hilfe der Analyseergebnisse Hilfestellung bei der Betriebsführung. Zu diesem Prozess zählen alle Laborräumlichkeiten, Laboreinrichtungsgegenstände sowie alle Verbrauchsmaterialien, die für die Erfüllung der Labortätigkeiten erforderlich sind. Als Effizienzkennzahl des Prozesses kann die Anzahl an erstellten Analyseergebnissen herangezogen werden (Matos et al., 2003). Da bei Analyseergebnissen vor allem die Qualität im Vordergrund steht, kann die Auswertung einer Quantitätsmaßzahl kontraproduktive Folgen haben. Dennoch werden die gesetzlichen Vorgaben bezüglich Probenumfang einen Einfluss auf die Kosten des Prozesses haben.

Der Teilhilfsprozess I.2 - Verwaltung setzt sich aus zwei Teilbereichen zusammen: Einerseits aus dem Verwaltungskostenanteil, der direkt auf der Kläranlage anfällt (Betriebsleitung, Sekretariat,...). Die Vollkostenrechnung erfordert andererseits zusätzlich die Berücksichtigung der anteiligen Verwaltungskosten des Verbandes, der Gemeinde oder des privaten Betreibers (Bsp.: Gebührenvorschreibung und -einhebung).

Der Teilhilfsprozess I.3 - Betriebsgebäude/-gelände und sonstige Infrastruktur soll nicht als „Sammelbecken“ für schwierig zuzuordnende Kostenpositionen dienen, sondern ist für jene Infrastruktur- und Anlagenteile gedacht, die der gesamten Kläranlage zugute kommen. Als Beispiele können hier die Schaltwarte, Schulungs- und Umkleideräumlichkeiten sowie Außenanlagen (Beleuchtung, Straßen, Umzäunung) und dergleichen mehr angeführt werden.

#### **4.2.13 Hilfsprozess II - fakultative Hilfsprozesse**

Zum Teilhilfsprozess II.1 - Werkstätte zählen alle Werkstättengebäude und Werkzeuge, die keinem der Hauptprozesse direkt zugeordnet werden können, sondern für Reparatur- und Instandhaltungsmaßnahmen aller Kläranlagenteile Verwendung finden. Gibt es eine gemeinsame Werkstätte für den gesamten Verband, die Gemeinde oder den Konzern, so müssen die Kosten entsprechend der Verwendung für die Kläranlage aufgeteilt werden.

Für den Teilhilfsprozess II.2 - Fuhrpark gilt sinngemäß das Gleiche. Fahrzeuge, die nur einem Prozess zugeordnet werden können, wie dies beispielsweise für LKWs beim Prozess 4 – der *weitergehenden Schlammbehandlung* der Fall sein kann, werden nicht dem Teilhilfsprozess Fuhrpark zugeordnet, sondern dem entsprechenden Hauptprozess der Kläranlage.

### 4.3 Prozessorientierte Kostenrechnung

Die prozessorientierte Kostenrechnung ermöglicht es, indirekte Bereiche (Gemeinkostenbereiche) besser zu steuern und Produkte/Leistungen verursachergerechter zu kalkulieren. Die prozessorientierte Kostenrechnung liefert nicht nur verursachergerechte Ergebnisse, sondern unterstützt auch das prozessuale Vorgehen, indem sie die Verbindung zwischen Prozessleistungen, Ressourcenverbrauch und wirtschaftlichem Ergebnis herstellt (Schmelzer & Sesselmann, 2001).

Da die Planung und Ermittlung der prozessbezogenen Kosten in der Kostenarten- und Kostenstellenrechnung eine Voraussetzung für die prozessorientierte Wirtschaftlichkeitskontrolle und Gebührenrechnung darstellt (Zimmermann, 1992), muss jeder Prozess in einer eigenen Kostenstelle abgebildet werden. Die prozessorientierte Kostenrechnung ist somit sehr eng mit dem gewählten Prozessmodell verknüpft. Ausdrücklich darauf hingewiesen wird auf den Umstand, dass sich ein zu detailliertes Prozessmodell ad absurdum führt, wenn die Datenverfügbarkeit für das gewählte Modell nicht gegeben ist.

Das in Kapitel 4.2 (Abbildung 5) dargestellte Prozessmodell stellt einen Detaillierungsgrad dar, der für große Abwasserreinigungsanlagen (größer 50.000 EW-Ausbau) geeignet ist. Für kleinere Anlagen ist das Zusammenfassen von Prozessen und somit auch eine Vereinfachung der prozessorientierten Kostenrechnung möglich bzw. notwendig. Welches Prozessmodell für die jeweilige Kläranlagengröße angestrebt werden soll, wird im Kapitel 4.7 näher behandelt. In den folgenden Ausführungen zur prozessorientierten Kostenrechnung wird von einem Prozessmodell mit vier Hauptprozessen und drei Hilfsprozessen ausgegangen.

Ziel der prozessorientierten Kostenrechnung ist es, sowohl Betriebs- als auch Kapitalkosten verursachungsgerecht den Prozessen zuzuordnen, um letztlich Prozesskosten errechnen zu können. Um die Vergleichbarkeit in einem Benchmarkingprojekt zu wahren, ist es notwendig, dass bei allen Teilnehmern das gleiche Kostenrechnungsschema zur Anwendung kommt (siehe Abbildung 12). Insbesondere ist es für den Vergleich von Anlagen unterschiedlichen Alters erforderlich, die Kapitalkosten durch einen „Normierungsschritt“ in normierte Kapitalkosten umzuwandeln (siehe Kapitel 4.3.1). Dabei wird ein einheitliches fiktives Anschaffungsjahr unterstellt.

Für die Benchmarkingteilnehmer sind die Betriebsprozesskosten sowie der Vergleich dieser mit den anderen Teilnehmern von vorrangiger Bedeutung, da diese Kosten, im Gegensatz zu den Kapitalkosten, noch beeinflusst werden können. Die Ermittlung der Kapitalprozesskosten ist dennoch auch für die Anlagenbetreiber von Interesse, vor allem

für die Beantwortung von Fragen, die sich mit der Wechselwirkung von Kapital- und Betriebskosten befassen:

- 1) Stehen *Instandsetzungskosten* (= Kapitalkosten) und *Reparatur- und Instandhaltungskosten* (= Betriebskosten) in einer Wechselwirkung und wenn ja in welcher?
- 2) Können durch erhöhten Kapitaleaufwand, vor allem in maschinellen und elektrischen Anlagen, laufende Betriebskosten eingespart werden?

Als Beispiel für die Beantwortung der zweiten Frage wurden in Abbildung 11 die belastungsspezifischen Betriebskosten der Kläranlagen des Benchmarking-Forschungsprojektes den belastungsspezifischen Kapitalkosten (beide in Euro je EW-CSB110) gegenübergestellt. Zusätzlich wurden die Datenpunkte je nachdem, ob die Anlagen im Untersuchungsjahr über bzw. unter 100 % ausgelastet waren, unterschiedlich markiert.

Es zeigt sich dabei sehr deutlich, dass bei Kläranlagen mit einer Auslastung über 100 % kein Zusammenhang von Betriebs- und Kapitalkosten erkennbar ist. Anlagen mit einer Auslastung unter 100 % weisen zum Teil sowohl höhere Betriebs- als auch höhere Kapitalkosten auf, wobei natürlich der Grad der Auslastung eine Rolle spielt. Die Auslastung einer Anlage wurde dabei nicht anhand der mittleren Belastung berechnet, sondern es wurde die maßgebende Belastung des Untersuchungsjahres zur Bemessungsbelastung ins Verhältnis gesetzt (vergleiche Kapitel 4.8.2).

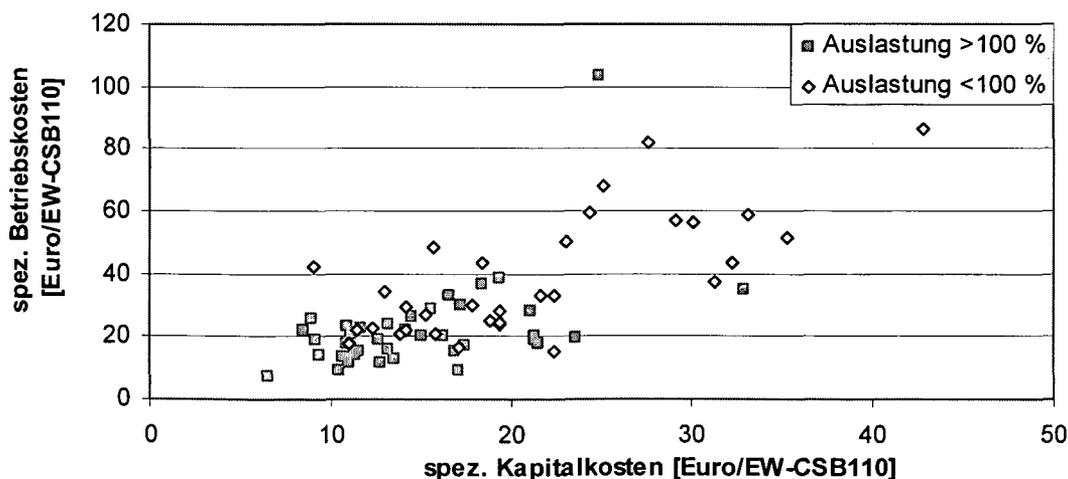


Abbildung 11: Korrelation von belastungsspezifischen Betriebskosten mit belastungsspezifischen Kapitalkosten

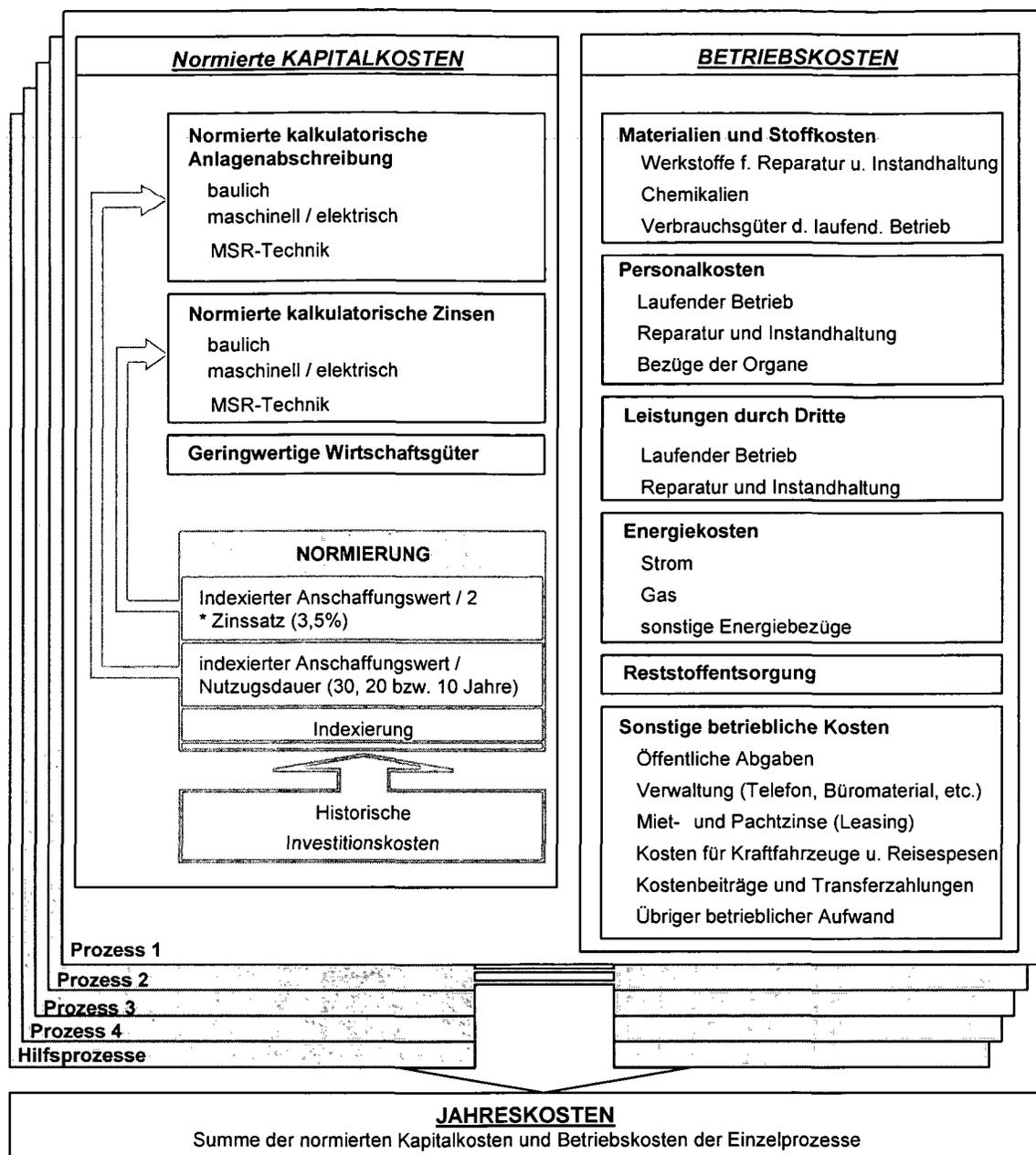


Abbildung 12: Darstellung der Kostenrechnungsstruktur

Aus der Summe der normierten Kapitalprozesskosten und der Betriebsprozesskosten können Jahreskosten auf Basis normierter Kosten berechnet werden (Abbildung 12).

#### 4.3.1 Normierte Kapitalkosten

Die normierten Kapitalkosten setzen sich primär aus der kalkulatorischen Anlagenabschreibung und den kalkulatorischen Zinsen zusammen. Wie bereits beschrieben, müssen für einen Vergleich der Investitionskosten von Anlagen mit unterschiedlichen Inbetriebnahmezeitpunkten Normierungen vorgenommen werden. Die Berechnung, sowohl der Anlagenabschreibung als auch der kalkulatorischen Zinsen,

erfolgt nicht anhand der historischen Investitionskosten, sondern auf Basis des indexierten Anschaffungswertes. Auf den für die Berechnung der Kapitalkosten verwendeten Index wird im folgenden Kapitel näher eingegangen. Neben den kalkulatorischen Abschreibungen und Zinsen werden geringwertige Wirtschaftsgüter zu den normierten Kapitalkosten gezählt, die aufgrund ihres Anfalls im Untersuchungsjahr keinem Normierungsschritt unterzogen werden.

Wichtig zu erwähnen ist noch, dass die im Zuge der Normierung berechneten Anlagenabschreibungen und Zinsen ausschließlich dem Vergleich von mehreren Anlagen untereinander dienen. Für die einzelnen Teilnehmer haben diese Werte und die daraus berechneten normierten Jahreskosten keinerlei kostenrechnerische Relevanz und können daher nicht für die Gebührenkalkulation herangezogen werden (Habich, 2003).

Da bei der Ermittlung der Kapitalkosten einerseits die historischen Investitionskosten, und andererseits der Anschaffungszeitpunkt ausschlaggebend sind, bleiben Förderungen durch Bund und Länder unberücksichtigt, was beim Vergleich der Kapitalkosten sinnvoll und erwünscht ist.

#### **Kalkulatorische Anlagenabschreibung**

Die Anlagenabschreibung erfasst die Wertverminderung des Anlagevermögens, die aufgrund der Nutzung während der Nutzungsdauer auftritt (Gabler, 1997). Für die Ermittlung der jährlichen Anlagenabschreibung wird die lineare Abschreibung gewählt, dies bedeutet, dass die Anschaffungskosten gleichmäßig auf die erwartete Nutzungsdauer aufgeteilt werden. Bei der Ermittlung der kalkulatorischen Anlagenabschreibung werden bauliche Anlagenteile, maschinell/elektrische Anlagenteile und Anlagenteile für die Steuerungs-, Mess- und Regelungstechnik (= MSR-Technik), soweit dies möglich ist, getrennt berechnet und ausgewiesen. Für die baulichen Anlagenteile der Abwasserreinigungsanlagen werden im Zuge der Normierung 30 Jahre als Nutzungsdauer unterstellt, für die maschinell/elektrischen Anlagenteile eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und für die MSR-Technik 10 Jahre.

#### **Kalkulatorische Zinsen**

Die kalkulatorischen Zinsen werden, soweit dies möglich ist, ebenfalls getrennt für bauliche, maschinell/elektrische Anlagenteile und MSR-Technik ausgewiesen. Bei der Berechnung der Zinsen wird das durchschnittlich gebundene Kapital zugrunde gelegt und

ein einheitlicher Zinssatz von 3,5 Prozent verwendet. Das durchschnittlich gebundene Kapital der einzelnen Anlagenteile kann näherungsweise wie folgt berechnet werden (Lechner et al., 1990):

durchschnittlich gebundenes Kapital = (Anschaffungswert + Restwert) / 2

Da bei Kläranlagen davon ausgegangen werden kann, dass für die Mehrzahl der Anlagenteile kein Restwert erzielbar ist, wird der Restwert gleich Null angesetzt. Demnach entspricht das durchschnittlich gebundene Kapital der Hälfte des Anschaffungswertes. Für die Gewährleistung der Vergleichbarkeit muss der Anschaffungswert, wie bereits erläutert, indexiert werden. (Murnig, 2003)

### Indexanpassung der Kapitalkosten

Mit Hilfe der Indexanpassung sollen Investitionen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten getätigt wurden, inflationsbereinigt und somit ein fiktiver einheitlicher Errichtungszeitpunkt simuliert werden. Für die Indexierung von Kapitalkosten bei (Benchmarking-)Projekten der Siedlungswasserwirtschaft bietet sich der vom Wirtschaftsministerium seit 1975 erhobene und herausgegebene Index der Baukostenveränderungen für den Siedlungswasserbau an. Für Investitionen vor 1975 kann der vom Statistischen Zentralamt veröffentlichte Baupreisindex für den sonstigen Tiefbau angewendet werden.

Vom Statistischen Zentralamt wurde der Baupreisindex von 1968 bis 1974, vorerst ein Index für Baumeisterarbeiten, ein Index für sonstige Bauarbeiten sowie ein Gesamtbaupreisindex ausgewiesen. Ab 1974 wurde ein eigener Preisindex für Straßenbau ausgewiesen, ab 1977 einer für Brückenbau sowie ein gemeinsamer Preisindex für Straßen- und Brückenbau und seit 1984 wird zusätzlich ein Preisindex für den sonstigen Tiefbau angegeben. Da der Siedlungswasserbau zum Tiefbau gezählt werden kann, kann für die Indexierung von Anlagenteilen vor Einführung des Index für Baukostenveränderungen in der Siedlungswasserwirtschaft der Preisindex für den sonstigen Tiefbau Anwendung finden (Fleckseder & Mayer, 1995).

Die Baukostenveränderungen in der Siedlungswasserwirtschaft werden, wie beschrieben, seit 1975 vom Wirtschaftsministerium bekannt gegeben. Es wird dabei ein Index für die Lohnkosten angegeben und die sonstigen Kosten werden als Einzelindices (Erdarbeiten, Wasserhaltung, Rohrkanäle, Wasserleitungen, Ortbetonkanäle usw.) erhoben. Seit 1998 werden die sonstigen Kosten gewichtet zu einem Index zusammengeführt. Eine

Zusammenführung zu einem Gesamtindex wird vom Wirtschaftsministerium nicht durchgeführt. Die Berechnung des Gesamtindex für die Siedlungswasserwirtschaft wurde in Anlehnung an die Berechnungsmodalität des Statistischen Zentralamtes aus dem Mittelwert der beiden Teilindices gebildet.

Zur Information sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Index für die Siedlungswasserwirtschaft seit Jänner 2003 nicht mehr als eigenes Indexblatt veröffentlicht wird, sondern im Indexblatt für den Hochbau (inklusive Siedlungswasserwirtschaft) als eigene Kategorie ausgewiesen wird. (<http://www.bmwa.gv.at/BMWA/Service/Bauservice/>)

In der Abbildung 13 können die relativen Indices des Baukostenindex, des Baupreisindex sowie des Index für den Siedlungswasserbau, bezogen auf das Jahr 2000, miteinander verglichen werden. Als Referenzwert wird auch der Verbraucherpreisindex in die Grafik aufgenommen.

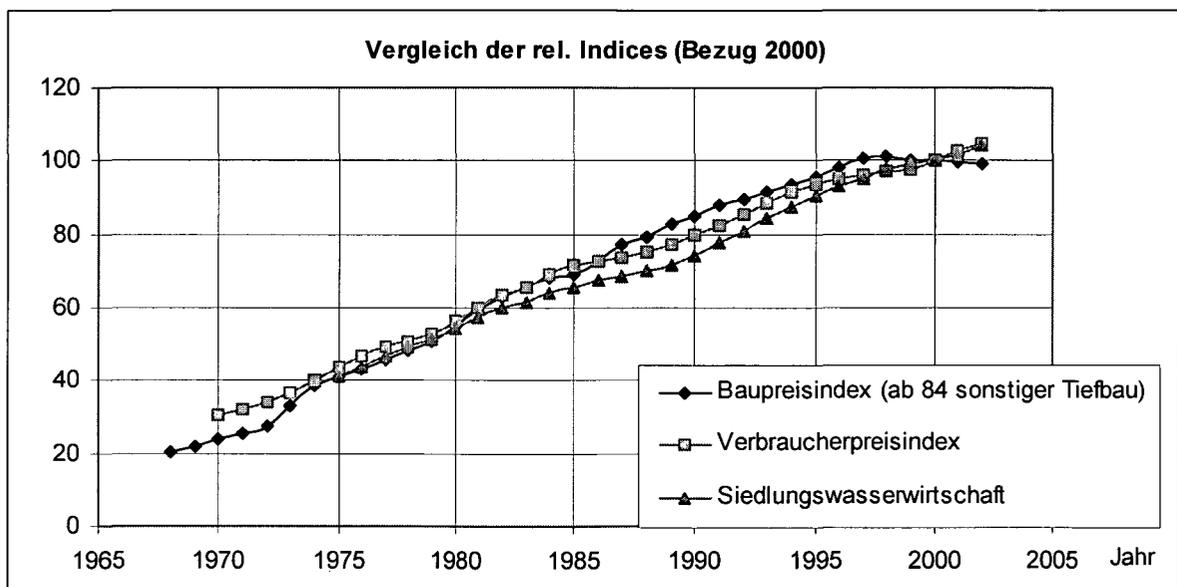


Abbildung 13: Vergleich der relativen Indices, bezogen auf das Jahr 2000

Als konkretes Beispiel für die Indexierung kann aus der Abbildung 13 abgeleitet werden, dass die historischen Investitionskosten des Jahres 1975 (Index Siedlungswasserwirtschaft = 40) mit 2,5 multipliziert werden müssen, um den fiktiven = indexierten Anschaffungswert des Jahres 2000 zu erhalten. Außerdem kann aus der Abbildung 13 abgelesen werden, dass die Preissteigerung aller drei Indices in etwa gleich hoch ist, jedoch der sonstige Tiefbau seit dem Jahr 1997 stagniert bzw. eine leicht negative Preissteigerung aufweist. Die Preissteigerung ist dabei nicht nur von der Konjunkturlage

abhängig, sondern auch von historischen Bedingungen. Ist ein Verfahren wie beispielsweise die Abwasserreinigung noch in Entwicklung, so wird die Preissteigerung größer sein als zu Zeiten, in denen der Stand der Technik erreicht wurde.

#### 4.3.2 Betriebskosten

Benchmarking als kontinuierlicher Prozess hat einerseits die Optimierung des Prozesses, aber andererseits auch ganz klar das Auffinden von Einsparungspotenzialen zum Ziel. Werden Einsparungspotenziale genutzt, so hat dies eine Reduktion der Betriebskosten zur Folge. Die Betriebskostenrechnung spielt daher eine zentrale Rolle in der prozessorientierten Kostenrechnung.

Für einen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen ist es erforderlich, dass jeder Betrieb seine Kosten nicht nur auf die bereits beschriebenen prozessorientierten Kostenstellen aufteilt, sondern auch ein Kostenartenschema verwendet wird, das auf die in Abbildung 12 dargestellte Kostenstruktur aggregierbar ist. Folgende Hauptkostenarten können den Erfordernissen für einen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen Rechnung tragen: Material und Stoffkosten, Personalkosten, Leistungen durch Dritte, Energie, Reststoffentsorgung sowie sonstige betriebliche Kosten (Bogensberger et al., 2002).

Für die Auswertung und den Vergleich unterschiedlicher Betriebsstrategien ist es erforderlich, sowohl bei der Kostenart *Personalkosten* als auch bei der Kostenart *Leistungen durch Dritte* jeweils in *Laufender Betrieb* und in *Reparatur und Instandhaltung* zu unterscheiden (vergleiche Abbildung 12). Durch diese Untergliederung sollte es letztlich möglich sein, eine Aussage treffen zu können, ob sich die Effizienz von Anlagen unterscheidet, wenn tendenziell mehr Eigenpersonal eingesetzt wird bzw. wenn sowohl der laufende Betrieb als auch Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten von Dritten durchgeführt werden.

Neben der grundsätzlich gleichen Struktur des Kostenartenschemas ist es natürlich von wesentlicher Bedeutung, dass bei der Kostenzuordnung (Buchung) einheitlich vorgegangen wird. Vor allem bei den Begriffen *Laufender Betrieb*, *Reparatur und Instandhaltung* sowie *Instandsetzung* kann es sehr leicht zu falschen Zuordnungen kommen, weshalb diese Begriffe im Folgenden definiert werden:

**Laufender Betrieb:** Hier werden sämtliche Personalkosten erfasst, welche dem laufenden Betrieb der Abwasserreinigung (routinemäßige Kontrollen, Pflege, Wartungsarbeiten,

Personalaufwand für die Schlammpresse, Messungen etc.) zuzuordnen sind.

**Reparatur und Instandhaltung:** Unter dieser Kostenart werden ereignisbezogene Personalkosten erfasst, welche nicht vorhersehbar und zum überwiegenden Teil Reparaturaufwendungen zuzuordnen sind. Instandhaltungsaufwand liegt vor, wenn es sich um laufende Reparaturarbeiten handelt, die nicht zu einem Austausch von wesentlichen Teilen einer Anlage führen und somit die Nutzungsdauer nicht wesentlich verlängern. Kosten zur Erhaltung der Betriebsanlage in einsatzfähigem Zustand sind Instandhaltungskosten (Gabler, 1997). Reparatur und Instandhaltungskosten dienen dem Funktionserhalt.

Im Gegensatz dazu stehen Instandsetzungsarbeiten. Bei Instandsetzungsarbeiten wird der Nutzungswert der Anlage erhöht und/oder die Nutzungsdauer wesentlich verlängert. Kosten für werterhöhende Instandsetzungsmaßnahmen sind zu aktivieren (Gabler, 1997) und zählen damit zu den Kapitalkosten. Instandsetzungskosten dienen dem Werterhalt.

#### 4.3.3 Kalkulatorische Zusatzkosten

Kalkulatorische Zusatzkosten stellen Kostenpositionen dar, die nicht tatsächlich als Betriebskosten anfallen, jedoch aus Gründen der Vergleichbarkeit angesetzt werden. Im Folgenden sind einige Beispiele angeführt, bei denen aufgrund standörtlicher Besonderheiten ein Vergleich von einzelnen Prozessen nicht zulässig ist, jedoch mit Hilfe von kalkulatorischen Kosten die Vergleichbarkeit hergestellt werden kann.

**Übernahme von Kofermentationsprodukten:** Werden Fett, Pilzgeflechte oder andere Kofermentationsprodukte direkt in die Faulung übernommen, hat dies neben dem positiven Effekt, dass sie zumeist kostenpflichtig übernommen werden, eine erhöhte Gasausbeute und damit verbunden eine höhere Energiegewinnung der Anlage zur Folge. Da die Einnahmen in der Kostenrechnung nicht berücksichtigt werden, entsteht in Folge der Einnahmen noch keine Beeinträchtigung der Vergleichbarkeit zu Anlagen, die keine Produkte in die Faulung übernehmen. Aufgrund des zusätzlichen Nutzens, dass bei Verstromung des Faulgases zusätzliche elektrische Energie gewonnen wird, die ansonsten eingekauft hätte werden müssen, ist die Vergleichbarkeit je nach übernommener Menge jedoch nicht mehr gegeben. Die Vergleichbarkeit kann dadurch wieder hergestellt werden, dass für jenen Anteil an elektrischem Strom, der aufgrund des übernommenen Produktes erzeugt wurde, kalkulatorische Kosten festgelegt werden.

### **Übernahme von Deponiegas und Verstromung auf der Kläranlage:**

Übernimmt eine Kläranlage Deponiegas, um dieses gemeinsam mit dem Klärgas zu verstromen, so ist der Nutzen daraus der gewonnene Strom. Die damit verbundenen Kosten sind in den erhöhten Wartungs- und Reparaturkosten des Blockheizkraftwerkes (BHKW) zu sehen. In diesem Fall muss das übernommene Deponiegas mit kalkulatorischen Kosten belegt werden, um die Vergleichbarkeit zu wahren. Wird das Deponiegas in einem eigenen BHKW verstromt, dessen Kosten separat bekannt sind, so kann auch der daraus gewonnene Strom mit kalkulatorischen Kosten beaufschlagt werden. In diesem Fall dürfen jedoch die Kosten des BHKW nicht der Kläranlage zugerechnet werden.

### **Einspeisung des durch Klärgas gewonnenen Biostroms ins Netz des EVUs:**

Wie im Kapitel 4.2.4 beschrieben wurde, wird das BHKW zum Prozess 2 gerechnet. Der Grund dieser Zuordnung ist in der Idee begründet, dass der durch das BHKW erzeugte elektrische Strom dem Prozess 2 gutgeschrieben wird und dafür auch die Aufwendungen für die Wartung und Reparatur des BHKWs diesem Prozess zugeordnet werden. Somit ist auch die Vergleichbarkeit zu Kläranlagen gegeben, bei denen das Faulgas für den Antrieb von Gasmotoren genutzt wird, die direkt gekoppelte Luftverdichter antreiben. Wird jedoch der eine Teil, beziehungsweise aufgrund der neuen gesetzlichen Lage und des damit verbundenen höheren Tarifes der gesamte erzeugte elektrische Strom, ins Netz eingespeist, so ist die Vergleichbarkeit zu einer Anlage, die diese Möglichkeit nicht hat oder nützt, nicht im vollen Umfang gegeben. Auch in diesem Fall muss wieder mit kalkulatorischen Kosten gerechnet werden, wobei folgende zwei Wege denkbar sind.

Entweder es werden die Stromkosten nur für jenen Teil des elektrischen Stromes angesetzt, der tatsächlich zugekauft werden muss. Das heißt Energieverbrauch der Anlage minus Eigenstromerzeugung mal dem kWh-Preis, den der Anlagenbetreiber bezahlen muss.

Oder es werden von den Kosten, die der Anlagenbetreiber für den entnommenen elektrischen Strom ans Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen (EVU) bezahlt, die Einnahmen abgezogen, die er für die eingespeiste Strommenge vom EVU erhält.

Gegen die erste Variante spricht, dass Kilowattstunde (kWh) nicht gleich kWh ist, da es vor allem davon abhängt, ob es sich um Spitzenstrom handelt oder nicht. Gegen die zweite Variante spricht, dass es sich beim Preis, der je kWh eingespeistem Strom bezahlt wird, um einen politisch festgelegten („geförderten“) Preis handelt, der in keiner Relation zum tatsächlichen Strompreis steht.

**Betriebskosten, deren Anfall nicht jährlich ist:**

Werden beispielsweise Konditionierungsmittel nicht jährlich in etwa der gleichen Menge eingekauft oder das Rechengut in manchen Jahren nicht entsorgt, so müssen die Kosten, die bekanntermaßen in einem anderen Rhythmus anfallen, auf jährliche Kosten umgelegt werden. Einen Spezialfall in dieser Hinsicht stellen die Reinigungskosten für Belüftermembranen dar. Bei einem Reinigungsintervall von fünf Jahren muss demnach jährlich ein Fünftel der Gesamtreinigungskosten dem Prozess 2 zugerechnet werden.

#### 4.4 Datenlage und Datenverfügbarkeit

Als Grundvoraussetzung für die Datenlage nennt Schedler (1996) drei wesentliche Punkte:

- 1) Es müssen sowohl Kosten als auch Leistungsdaten vorhanden sein.
- 2) Die Verfügbarkeit der Daten muss gewährleistet sein.
- 3) Die Daten müssen hinreichend genau sein.

Die Verfügbarkeit der Kostendaten ist, abgesehen von den Teilnehmern am Forschungsprojekt „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“, in aller Regel nicht in der beschriebenen Detaillierung vorhanden. Es ist daher für fast alle Anlagenbetreiber mit einem zumindest einmaligen Aufwand verbunden, die Kostendaten entsprechend der beschriebenen prozessorientierten Kostenrechnung (vergleiche Kapitel 1.1) aufzubereiten.

Die Verfügbarkeit der Leistungsdaten, im Falle des hier beschriebenen Kläranlagenbenchmarking als technische Daten bezeichnet, stellt aufgrund der gesetzlichen Vorgaben der Eigenüberwachung in aller Regel keine Schwierigkeit dar. Außerdem werden sehr viele der erforderlichen Daten für den Kläranlagenzustandsbericht des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes von einer sehr großen Anzahl an Kläranlagen im Zuge der Kläranlagen Nachbarschaften erhoben (ÖWAV, 1999).

Bei der Genauigkeit der wirtschaftlichen Daten steht mehr die Frage der Zuordnung als die Genauigkeit der Daten selbst im Vordergrund. Es wurden daher sowohl die Prozesse als auch die prozessorientierte Kostenrechnung sehr umfangreich beschrieben.

Aufgrund der Vielzahl an technischen Daten unterschiedlichster Herkunft und Bearbeitung sowie unterschiedlichster Einheiten stellt die Prüfung deren Richtigkeit eine besondere Herausforderung dar. Wie im Kapitel 4.5 beschrieben wird, dient letztlich ausschließlich die CSB-Zulauffracht als Bezugsgröße für die Berechnung der spezifischen Betriebskosten. Neben den spezifischen Kosten stellen jedoch auch die zusätzlichen Informationen (Input, Output, Effektivitätskennzahlen, etc.) einen wesentlichen Bestandteil des Benchmarkings dar, weshalb die Vorgangsweise zur Prüfung der technischen Daten in einem eigenen Kapitel beschrieben wird.

#### 4.5 Plausibilitätskontrolle

Die Vollständigkeit und Qualität der erhobenen Daten einerseits, sowie die Transparenz und Zuverlässigkeit der Berechnung andererseits sind letztlich ausschlaggebend für die Güte und damit verbunden für die Akzeptanz der Ergebnisse. Vor allem gilt dies für die veröffentlichten Richtwerte und Benchmarks.

Allzu übereilte Schlussfolgerungen aus Daten, die nicht hinterfragt werden, führen erfahrungsgemäß zu zwei negativen Folgen (Schedler, 1996):

- Die Schlüsse können falsch sein.
- Die Glaubwürdigkeit der Methodik nimmt Schaden.

Beim mehrfach zitierten Forschungsprojekt „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“ wurden daher die von den Anlagenbetreibern gelieferten technischen Daten mit Hilfe der Methode der Massenbilanz mittels Stoffflussanalyse auf deren Plausibilität geprüft. Als Ergebnis der Plausibilitätsprüfung wurde dann die Datenqualität der einzelnen Anlagen getrennt für den CSB (= Chemischer Sauerstoffbedarf), Stickstoff (N), Phosphor (P) und die Trockensubstanz (TS) als hoch, mittel oder niedrig eingestuft. Die sehr genaue Prüfung der Daten war einerseits im Hinblick auf die Bezugsgrößenanalyse, und andererseits für die Absicherung der Benchmarks erforderlich. Werden bei einem zukünftigen kontinuierlichen Benchmarking die bereits definierten Bezugsgrößen verwendet, ist die Berechnung einer Massenbilanz der genannten Parameter (CSB, N, P und TS) für jede Anlage nicht mehr erforderlich.

Es wird vielmehr darum gehen, dass jene Kennzahlen, die als Richtwerte und Benchmarks veröffentlicht werden, möglichst weitgehend abgesichert sind.

Dennoch ist die Berechnung von spezifischen Kosten ohne Plausibilitätsprüfung aller Benchmarkingteilnehmer im Sinne der Glaubwürdigkeit und Akzeptanz der Methode nicht zielführend. Es sollten daher zumindest jene Eingangsdaten einer Kontrolle unterzogen werden, die als Bezugsgröße herangezogen werden (siehe Kapitel 4.6) und somit direkte Auswirkungen auf die errechneten spezifischen Kosten haben.

Wesentlich ist natürlich nicht, ob die Daten plausibel sind oder nicht, sondern es geht darum, richtige von unrichtigen Daten zu unterscheiden. Die Plausibilitätsprüfung ist eine Methode, der man sich bei der Unterscheidung bedient.

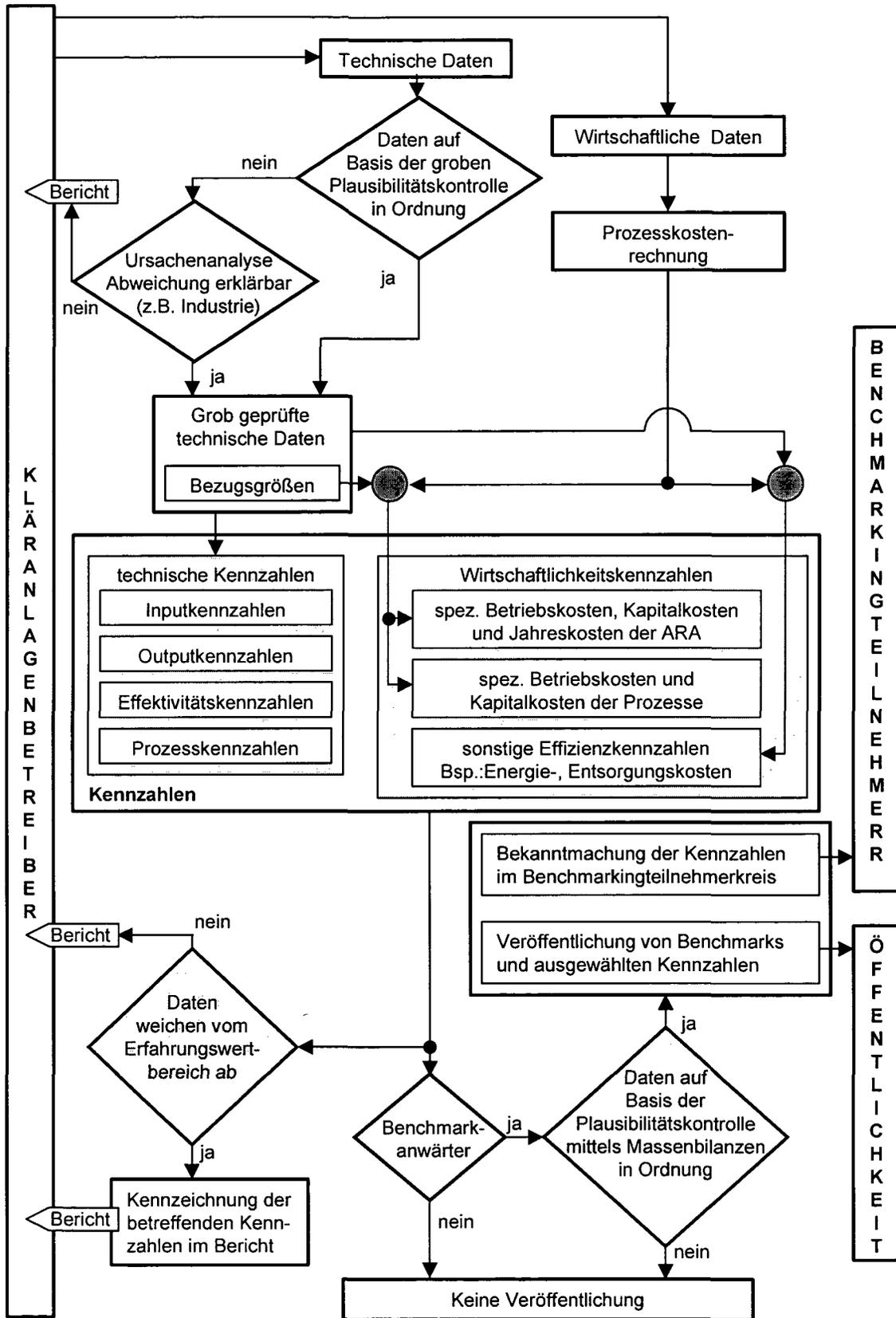


Abbildung 14: Kennzahlenbildung und abgestufte Plausibilitätsprüfung

Für eine möglichst effiziente Prüfung der Daten sollten daher je nach erforderlicher Genauigkeit der Plausibilitätskontrolle unterschiedliche Methoden zur Anwendung kommen (siehe Abbildung 14):

- 1) Für eine grobe Plausibilitätsprüfung der technischen Eingangsdaten, vor allem der Kläranlagenzulaufdaten, wurde die im folgenden Kapitel 4.5.1 vorgestellte Methode entwickelt.
- 2) Für die Überprüfung (= Qualitätskontrolle) der errechneten Kennzahlen jeder Kläranlage ist ein Vergleich der errechneten Werte mit Erfahrungswerten ausreichend.
- 3) Die detaillierteste Plausibilitätskontrolle stellt schließlich die mehrfach erwähnte Methode der Massenbilanzen dar. Diese Methode sollte bei jenen Anlagen angewendet werden, deren Kennzahlen als Benchmarks und Richtwerte in Frage kommen. Selbstverständlich werden Kennzahlen nur dann als Benchmarks und Richtwerte veröffentlicht, wenn deren Daten als plausibel und abgesichert bezeichnet werden können. Für die genaue Beschreibung dieser Methode wird auf die Literatur verwiesen (Müller, 1999; Nowak, 1996; Schweighofer, 1994). Eine Mögliche Darstellungsform der Ergebnisse der Massenbilanzen können dem Anhang entnommen werden.

#### **4.5.1 Grobe Plausibilitätsprüfung der Kläranlagenzulaufdaten**

Für die Entwicklung dieser groben Plausibilitätskontrolle wurden die Zulaufdaten von insgesamt 76 Kläranlagen (Teilnehmer des Forschungsprojektes) mit einer mittleren Belastung zwischen 5.000 und 350.000 Einwohnerwerte näher untersucht. Für die Auswertungen, die in Folge dargestellt sind, wurden jeweils nur jene Daten herangezogen, die bei der Datenprüfung mittels Massenbilanz (CSB-, P- und N-Bilanz) als plausibel angesehen wurden.

Der Ausgangspunkt für eine Plausibilitätsprüfung der Zulauffrachten war die Fragestellung, in welchem Bereich die einwohnerwertspezifischen Frachten an Stickstoff und Phosphor im Kläranlagenzulauf schwanken können. Aufgrund des Verhältnisses von Einwohner zu Einwohnerwert konnte herausgearbeitet werden, welche Schmutzfrachten im Kläranlagenzulauf von einem Einwohner stammen und in welchem Schwankungsbereich die Abwässer von Industrie und Gewerbe üblicherweise liegen.

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Stickstoff- und Phosphorfrachten je Einwohner bzw. je Einwohnergleichwert wurden daher die einwohnerwertspezifischen Stickstoff- und Phosphorfrachten berechnet und in Abhängigkeit vom Verhältnis Einwohner zu

Einwohnerwert (nach Andreottola et al., 1996) in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt.

Legt man eine Ausgleichsgerade durch die Datenpunkte, so zeigt diese bei  $E/EW = 1$  (keine Industrie und Gewerbe und somit keine EGW) die mittlere Stickstoff- bzw. Phosphorfracht je Einwohner. Bei  $E/EW = 0$  (ausschließlich EGW und keine Einwohner  $E=0$ ) erhält man die durchschnittliche Stickstoff- bzw. Phosphorfracht je EGW.

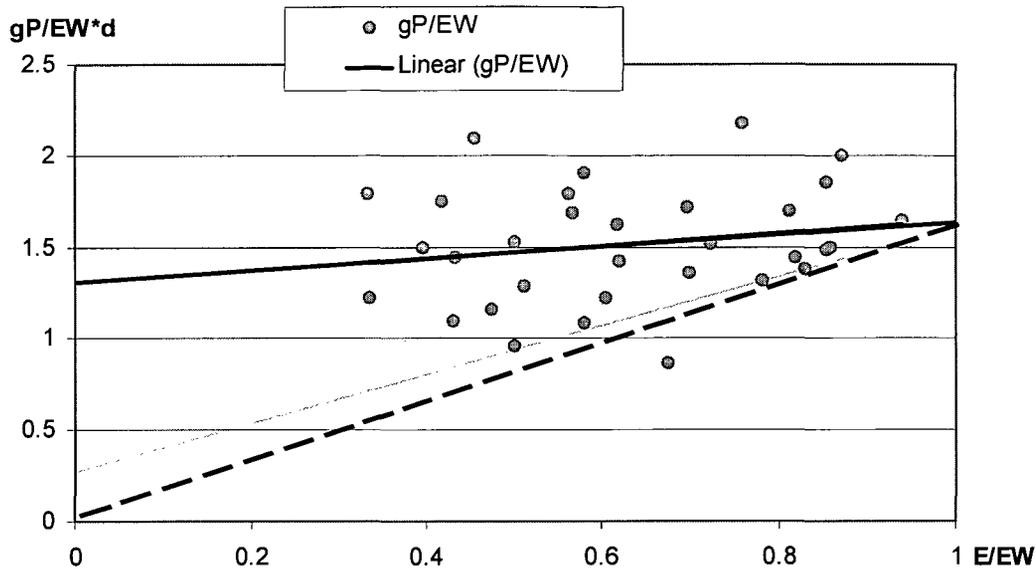


Abbildung 15: Phosphorfrachten je Einwohnerwert ( $EW-BSB_5-60$ ) in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert

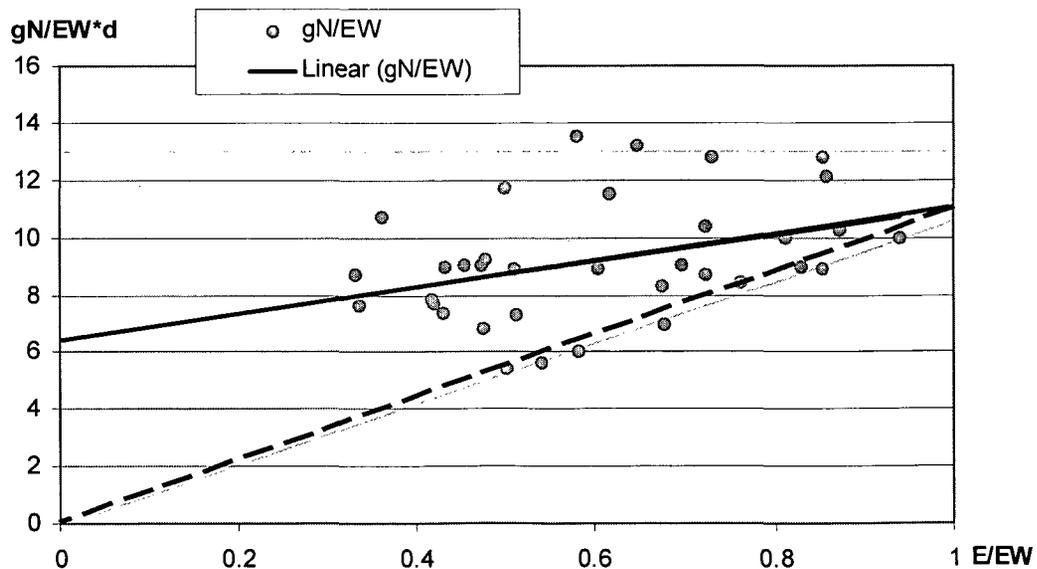


Abbildung 16: Stickstofffrachten je Einwohnerwert ( $EW-BSB_5-60$ ) in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert

Abgesehen von Verlusten im Kanalnetz muss zumindest die je Einwohner produzierte und abgeleitete Schmutzfracht im Kläranlagenzulauf wieder gefunden werden.

Geht man von einer zu erwartenden Schmutzfrachtproduktion eines Einwohners aufgrund des Konsumverhaltens aus, so muss man je Einwohner mit 1,6 – 2,0 g P/E.d und 11 – 13 g N/E.d rechnen (Zessner & Lindtner, 2003). Dies entspricht jenen Frachten, die ohne einen Beitrag von Gewerbe und Industrie zumindest auf der Kläranlage zu erwarten ist. Als unterste Grenze, die für spezifische N- und P-Frachten zu erwarten sind, ergibt sich somit eine Linie, welche bei der Untergrenze dieses Schwankungsbereiches für den Beitrag der Einwohner beginnt und den Koordinatenursprung schneidet (die strichlierten Linien in Abbildung 15 und Abbildung 16).

Zusätzlich wurden in Abbildung 15 und Abbildung 16 jene Bereiche grau hinterlegt eingezeichnet, die ausgehend von der Schmutzfrachtproduktion eines Einwohners 95 Prozent der Datenpunkte einhüllen. Dieser grau hinterlegte Bereich stellt somit jene spezifischen Frachten in Abhängigkeit des E/EW-Verhältnisses dar, die üblicherweise zu erwarten sind.

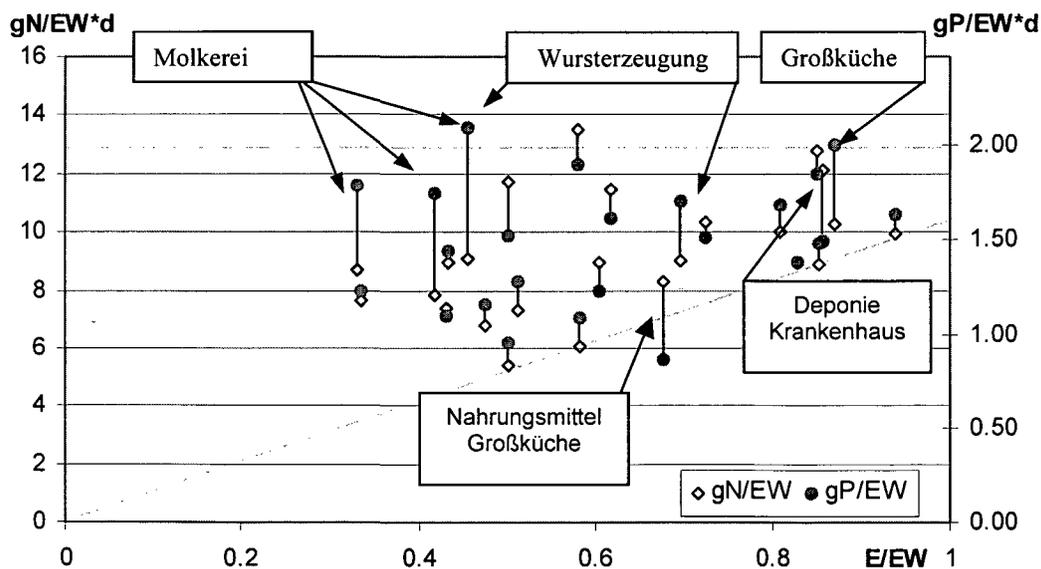


Abbildung 17: Phosphor und Stickstofffrachten je Einwohnerwert (EW-BSB<sub>5</sub>-60) in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert

In Abbildung 17 wurden von den Anlagen die spezifischen Stickstoff- und Phosphorfrachten in Abhängigkeit des Verhältnisses Einwohner zu Einwohnerwert dargestellt, bei denen sowohl die Stickstoff- als auch die Phosphorfrachten als plausibel eingestuft wurden. Die Y-Achsen wurden so skaliert, dass die maximal je Einwohner zu erwartende Fracht an Stickstoff mit 13 g je Tag und an Phosphor mit 2 g je Tag auf einer Linie liegen. Dies bedeutet, dass sich bei Anlagen mit einem Stickstoff zu Phosphor

Verhältnis von 6,5 die Datenpunkte in Abbildung 17 überlappen. Je größer der vertikale Abstand der Datenpunkte der spezifischen Stickstoff- und Phosphorfrachten ist, desto weiter weicht das Verhältnis vom je Einwohner zu erwartenden Verhältnis ab. Weicht das N/P-Verhältnis stark von diesen Verhältnissen ab, kann man darauf schließen, dass entweder die N- oder P-Daten nicht plausibel sind oder dass die Abwässer von speziellen Indirekteinleitern zu diesen N/P-Verhältnissen führen. In der Abbildung 17 wurden daher bei jenen Anlagen mit einem N/P-Verhältnis kleiner 5,5 beziehungsweise größer 7,5 die Indirekteinleiter angegeben.

Dabei zeigt sich, dass Kläranlagen mit Molkereiabwässern, Abwässern aus der Wursterzeugung und aus Großküchen ein N/P-Verhältnis kleiner 5,5 aufweisen. Bei den Molkereiabwässern, Großküchen und der Wursterzeugung kann dies auf die Verwendung von phosphorhaltigen Putzmitteln zurückzuführen sein. Möglicherweise sind die Abwässer der Wursterzeugung auch mit Knochenmehl oder Knochenabschabungen verunreinigt, welche sehr hohe Phosphorfrachten enthalten. Bei jener Kläranlage, deren Zulauf von Deponiesickerwässern beeinflusst ist, kann das N/P-Verhältnis größer als 7,5 mit den erhöhten Ammoniumauswaschungen des Deponiekörpers erklärt werden. Das N/P-Verhältnis von  $> 7,5$  bei jener Anlage mit Nahrungsmittelindustrie und Großküche als Indirekteinleiter kann nicht geklärt werden und ist möglicherweise auch auf einen Mangel bei der bilanzunterstützten Plausibilitätskontrolle zurückzuführen.

In Bezug auf die Plausibilitätsprüfung bedeutet dies, dass ein für kommunales Abwasser untypisches N/P-Verhältnis (kleiner 5,5 bzw. größer 7,5) mit Hilfe der Indirekteinleiter erklärbar sein muss, um die Daten in Bezug auf das N/P-Verhältnis als plausibel einstufen zu können.

Neben dem N/P-Verhältnis sind natürlich auch die spezifischen Frachten von BSB bzw. CSB, Stickstoff und Phosphor für die Plausibilitätsprüfung entscheidend.

Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise bei der Plausibilitätskontrolle der Zulaufdaten wird in der Abbildung 19 ein Beispiel mit plausiblen und in der Abbildung 20 ein Beispiel unplausibler Daten dargestellt.

Zusätzlich wurde in den genannten Abbildungen ein E/EW-Bereich abgegrenzt, innerhalb dessen die berechneten spezifischen Stickstoff- und Phosphorzulauffrachten erwartungsgemäß liegen. Bei der Berechnung des E/EW-Bereiches wird davon ausgegangen, dass bei 70 Prozent der untersuchten Anlagen die EW-Belastung 40 bis 80 Prozent von EW-Ausbau beträgt, wie dies aus der Abbildung 18 abgeleitet werden kann.

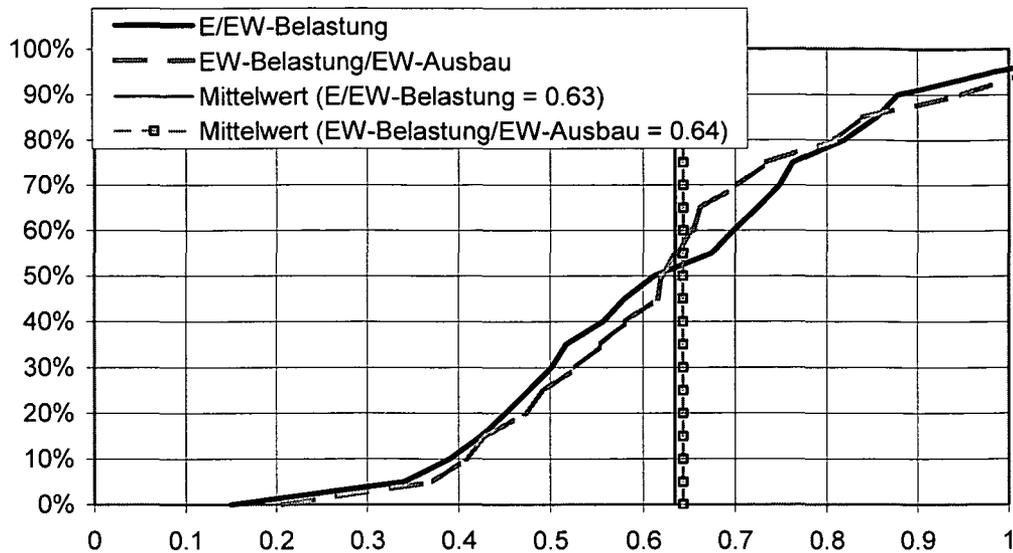


Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der Verhältnisse von Einwohner zu EW-Belastung und von EW-Belastung zu EW-Ausbau

In dem in Abbildung 19 dargestellten Beispiel mit einer Einwohnerzahl von 37.000 und 100.000 EW-Ausbau kann daher  $E/EW\text{-Ausbau}$  von  $0,41 = 37.000/(100.000 \cdot 0,9)$  als untere und  $0,93 = 37.000/(100.000 \cdot 0,4)$  als obere Grenze abgeschätzt werden. Wie der Abbildung 19 entnommen werden kann, liegen die spezifischen Zulauffrachten sehr nahe dem unteren Grenzbereich  $E/EW\text{-Ausbau}$ , was darauf hinweist, dass die durchschnittliche Belastung sehr nahe der Auslastung ist.

Neben den Aussagen in Bezug auf die Plausibilität und die mittlere Belastung der Anlage kann aus der Abbildung 19 abgeleitet werden, wie hoch der Anteil an Indirekteinleitern ist (horizontale Lage der spez. Frachten) und ob diese Indirekteinleiter zusätzlich zur Kohlenstofffracht auch Stickstoff und/oder Phosphor liefern (vertikale Lage der spez. Frachten). Ein  $E/EW\text{-Verhältnis}$  kleiner 0,6 und spezifische Frachten, die am unteren Rand des grau hinterlegten Bereiches liegen, wie dies die Abbildung 19 beispielsweise zeigt, lassen auf einen Kläranlagenzulauf schließen, der sehr stark von Indirekteinleitern geprägt ist, die ausschließlich CSB liefern. Ohne der CSB-Fracht dieser industriellen Indirekteinleiter würden die spezifischen Frachten in Pfeilrichtung nach rechts oben verschoben werden. Die Zulauffrachten können in diesem Fall dann als plausibel bezeichnet werden, wenn auch tatsächlich ein oder mehrere Indirekteinleiter mit hoher CSB-Fracht und niedrigen N- und P-Frachten vorhanden sind.

PLAUSIBILITÄTSKONTROLLE

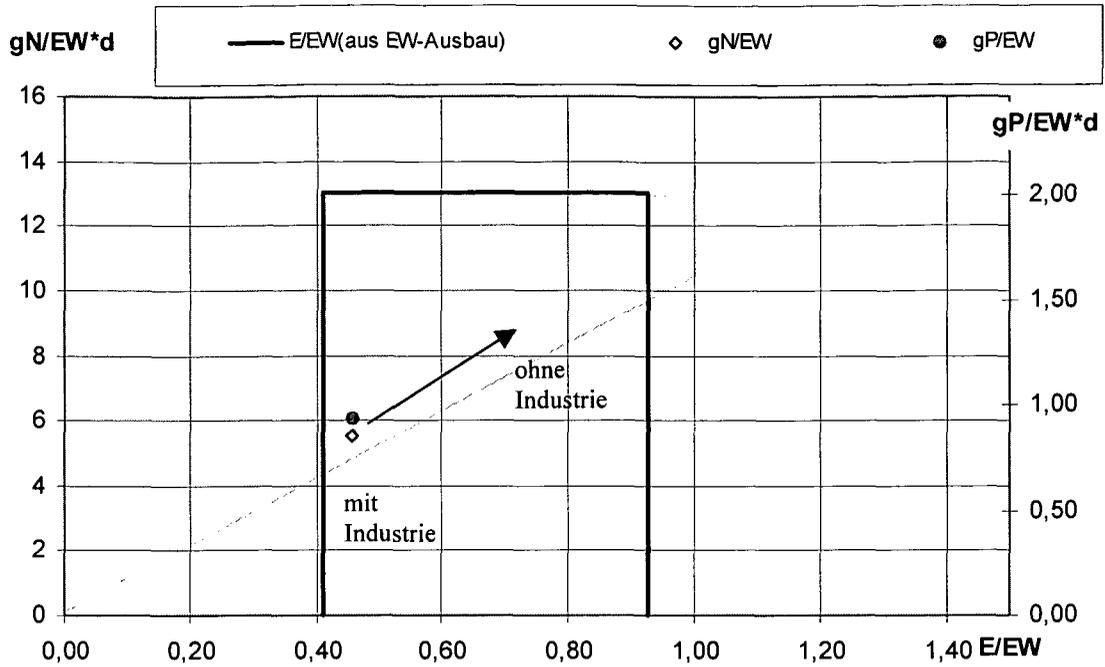


Abbildung 19: Plausible spezifische Phosphor- und Stickstoffzulaufmengen einer Kläranlage und Abgrenzung der erwarteten E/EW-Bereiche in Abhängigkeit der Ausbaugröße

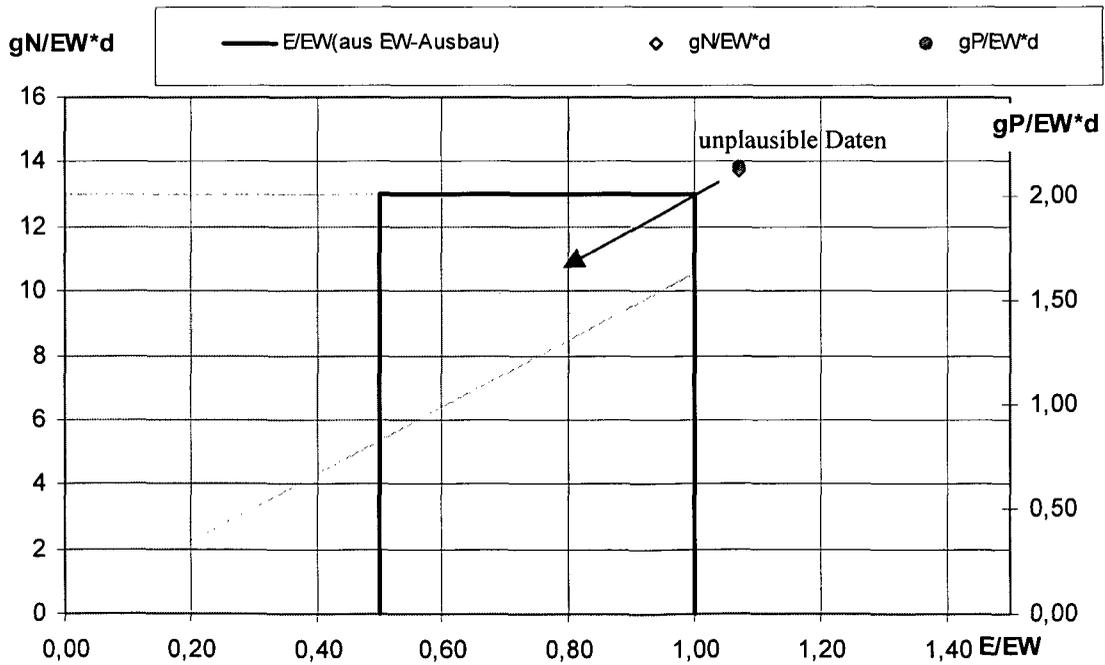


Abbildung 20: Unplausible spezifische Phosphor- und Stickstoffzulaufmengen einer Kläranlage und Abgrenzung der erwarteten E/EW-Bereiche in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Ein Beispiel für unplausible Datenlage kann der Abbildung 20 entnommen werden. In diesem Fall errechnen sich spezifische Zulaufmengen größer als 13 gN/d und größer als

2 gP/d bei einem E/EW-Verhältnis größer als 1. Für den Fall einer Kläranlage mit mehr als 5.000 EW-BSB<sub>5-60</sub> liegt die Vermutung nahe, dass zu niedrige Werte für die Kohlenstofffraktion gemessen werden und damit sowohl zu hohe spezifische Frachten der Nährstoffe als auch ein zu hohes E/EW-Verhältnis ermittelt werden. Eine Erhöhung der Einwohnerwerte hat eine Verschiebung der spezifischen täglichen N- und P-Fracht in Pfeilrichtung nach links unten und somit in einen plausiblen Bereich zur Folge.

Liegen die spezifischen Frachten in einem unplausiblen Bereich, so können eine oder mehrere unrichtige Eingangsgrößen dafür verantwortlich sein. Im Folgenden wird eine Zusammenstellung der Auswirkungen auf die grafische Darstellung bei einer Änderung der jeweiligen Eingangsgrößen angeführt:

- Eine Änderung der aktuell angeschlossenen Einwohnerzahl hat sowohl eine Horizontalverschiebung der spezifischen P- und N-Frachten als auch des zu erwartenden E/EW-Bereiches (errechnet aus EW-Ausbau) zur Folge.
- Eine Änderung der Phosphor- und/oder Stickstoffzulauffracht hat eine Änderung der spezifischen Phosphor- und/oder Stickstofffracht zur Folge (vertikale Verschiebung der Datenpunkte).
- Eine Änderung der BSB<sub>5</sub> bzw. CSB-Fracht und somit der Einwohnerwerte hat sowohl eine horizontale als auch vertikale Verschiebung der spezifischen P- und N-Frachten zur Folge.

## 4.6 Bezugsgrößen

Bezugsgrößen, auch Kosteneinflussfaktoren oder Kostentreiber genannt, stellen eine mengenabhängige Beziehung zwischen Prozessleistung und Kostenentstehung her. An Bezugsgrößen werden folgende Anforderungen gestellt (Schmelzer & Sesselmann, 2001):

- Sie sollen eine reale Prozessgröße sein.
- Sie sollen in direktem Zusammenhang mit der Prozessleistung stehen.
- Ihre Menge soll sich proportional zur Beanspruchung der Prozessressource verhalten.
- Sie sollen über einen längeren Zeitraum Gültigkeit haben.
- Sie sollen eine aussagekräftige Kennzahlenbildung ermöglichen.

Bei der Bezugsgrößenanalyse soll herausgefunden werden, ob sich die Kosten mit der erbrachten Leistung verändern (= leistungsmengeninduziert) oder ob sie mengenunabhängig (= leistungsmengenneutral) sind, d.h. generell anfallen. Für die leistungsmengeninduzierten Prozesse ist die Ermittlung der Kostentreiber notwendig (Zimmermann, 1992).

Auf die spezifischen Verhältnisse von Abwasserreinigungsanlagen bezogen, kann daraus abgeleitet werden, dass bei der Bezugsgrößenanalyse herausgefunden werden muss, ob und wie sich die Kosten eines Prozesses mit den Stoffströmen (Wassermenge, Schmutzfrachten) des jeweiligen Prozesses verändern. In Anlehnung an Zimmermann wird daher von stoffmengeninduzierten Kosten und von stoffmengenneutralen Kosten gesprochen. Stoffmengenneutrale Kosten sind beispielsweise die Kapitalkosten. Für die Kapitalkosten kommen daher nicht die aktuellen Stoffströme als Bezugsgrößen in Frage, sondern vielmehr verschiedene Auslegungsgrößen der Anlage.

Bei der Ermittlung von geeigneten Bezugsgrößen werden daher in Anlehnung an die Vorgehensweise beim Benchmarking-Forschungsprojekt (Kroiss et al., 2001) in einem ersten Schritt mögliche Bezugsgrößen für Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten beschrieben. In einem zweiten Schritt wird der Zusammenhang dieser Bezugsgrößen mit den jeweiligen Prozesskosten mit Hilfe von Regressionsanalysen untersucht und eine Bezugsgröße für die Berechnung der spezifischen Kosten ausgewählt. In einem dritten Schritt wird die ermittelte Regressionsfunktion zwischen Bezugsgrößen und Kosten weiteren Analysen unterzogen, um den Zusammenhang statistisch abzusichern.

Alle in diesem Kapitel dargestellten Korrelationen von Kosten mit möglichen Bezugsgrößen basieren auf Daten des Benchmarking-Forschungsprojekt. Von den insgesamt 76 Kläranlagen entsprachen im Untersuchungs-jahr 61 Anlagen dem Stand der Technik mit Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphorfällung, 10 Anlagen waren auf Nitrifikation und 5 Anlagen auf Kohlenstoffentfernung ausgebaut.

Aufgrund weitergehender Analysen der Daten des Benchmarking-Forschungsprojektes konnte herausgefunden werden, dass sich der Zusammenhang von Bezugsgröße und Kosten verbessert, wenn anstelle eines linearen Zusammenhanges eine Potenzfunktion unterstellt wird. Wie aus der Tabelle 2 entnommen werden kann, verbessert sich das Bestimmtheitsmaß von 0,69 unter Annahme eines linearen Zusammenhanges auf 0,82, wenn eine Potenzfunktion für den Zusammenhang von Einwohnerwerten und Gesamtbetriebskosten unterstellt wird.

Tabelle 2: Vergleich des Bestimmtheitsmaßes unterschiedlicher Regressionsfunktionen

	R <sup>2</sup>
Lineare Funktion	0,69
Potenzfunktion	0,82

Das Bestimmtheitsmaß liefert das Quadrat des Korrelationskoeffizienten und ist ein Maß für die Güte des Zusammenhanges. Das Bestimmtheitsmaß kann zwischen 0 und 1 liegen, wobei 1 das maximal Mögliche ist und in diesem Falle alle Punkte auf der Funktionskurve liegen. Bei einem Bestimmtheitsmaß unter 0,7 muss der Zusammenhang als qualitativ schlecht bezeichnet werden.

Wie die weiteren Ausführungen in diesem Kapitel zeigen werden, hat die Verwendung einer Potenzfunktion anstelle der linearen Regression auf das Ergebnis der Analysen keinen wesentlichen Einfluss. Da jedoch auch die meisten Betriebskostenkurven von einer Abnahme der spezifischen Kosten mit der Kläranlagengröße nach einer Potenzfunktion ausgehen, erscheint es nur konsequent, auch bei der Bezugsgrößenanalyse von einer Potenzfunktion auszugehen.

Die Auswahl, welche Bezugsgrößen schließlich für welche Kosten angewendet wurden, erfolgte unter Anwendung der von Schmelzer und Sesselmann angeführten Anforderungen an Bezugsgrößen. Das berechnete Bestimmtheitsmaß war dabei ein wesentliches Kriterium, welches über den Zusammenhang der möglichen Bezugsgröße und der jeweiligen Kosten Auskunft gibt. Als ein anderes wesentliches Kriterium nennen Schmelzer und Sesselmann die Aussagekräftigkeit der gebildeten Kennzahlen. Da vor allem Kostenkennzahlen auch für abwassertechnische Laien aussagekräftig sein sollen, wurden als mögliche Bezugsgrößen nicht Stofffrachten wie die organische

Verschmutzung, Stickstoff oder Phosphor verwendet, sondern es wurden diese auf Einwohnerwerte umgerechnet. Als weiteres Kriterium für die Auswahl der Bezugsgröße ist neben der statistischen Nachweisbarkeit und Güte des Zusammenhanges zwischen Kosten und möglicher Bezugsgröße auch die Nachvollziehbarkeit dieses Zusammenhanges, vor allem in Hinblick auf die Akzeptanz der damit berechneten Kennzahl, eine wesentliche Rolle. Zusätzlich ist die Verfügbarkeit der Daten für die Beurteilung der Bezugsgröße sowohl in qualitativer wie quantitativer Hinsicht ein Kriterium.

#### 4.6.1 Bezugsgrößenanalyse der Betriebskosten

Da es sich bei den Betriebskosten, abgesehen von Reparatur- und Instandhaltungskosten, vor allem um stoffmengeninduzierte Kosten handelt, kommen für die Berechnung der spezifischen Betriebskosten vor allem Bezugsgrößen in Frage, die mit den Stoffströmen in direktem Zusammenhang stehen. Die grundsätzlich möglichen Bezugsgrößen für die Betriebskosten, sowohl für die Gesamtbetriebskosten der Kläranlage als auch der vier Prozesse, werden in Folge kurz beschrieben.

##### a) Mittlere Belastung, ausgedrückt in Einwohnerwerten, errechnet aus:

- der CSB-Zulaufkraft unter der Annahme, dass ein Einwohnerwert 110 g CSB pro Tag entspricht (EW-CSB110).  
Die Verwendung der CSB-Fracht anstelle der international verbreiteteren BSB<sub>5</sub>-Fracht für die Umrechnung der organischen Schmutzfracht in Einwohnerwerte, ist in der Bilanzierbarkeit der CSB-Fracht und der damit verbundenen zuverlässigeren Möglichkeit der Plausibilitätsprüfung zu sehen. Die Umrechnung der CSB-Fracht unter der Annahme, dass ein Einwohnerwert 110 g CSB je Tag verursacht – anstelle von 120 g je Tag, wie dies auch im ATV-A131 steht - ist darin begründet, dass Auswertungen (Lindtner & Zessner, 2003; Nowak, 2000) einer großen Anzahl an österreichischen Kläranlagenzulaufdaten ein BSB/CSB Verhältnis von 0,55 ergeben haben. Um die internationale Vergleichbarkeit gewährleisten zu können, wobei international von 60 g BSB<sub>5</sub> je Einwohnerwert und Tag ausgegangen wird, wird die einwohnerwertspezifische organische Verschmutzung österreichischer Kläranlagen mit 110 g je Tag angesetzt.
- der Nges-Zulaufkraft unter der Annahme, dass ein Einwohnerwert 11 g Nges pro Tag entspricht (EW-Nges11)
- der Pges-Zulaufkraft unter der Annahme, dass ein Einwohnerwert 1,7 g Pges pro Tag entspricht (EW-Pges1,7)

b) Mittelwert der Zulaufwassermenge (Q-Zulauf):

Da die Zulaufwassermenge sehr häufig als Bezugsgröße für die Kosten der Abwasserreinigung herangezogen auch im internationalen Vergleich angewendet wird, ist bei der Bezugsgrößenanalyse der statistische Zusammenhang der durchschnittlichen Wassermenge und der Prozessbetriebskosten von Interesse.

c) Fracht an stabilisierter Trockensubstanz (TS-Fracht stabilisiert):

Die Menge an stabilisierter Trockensubstanz des zu entsorgenden Schlammes ist möglicherweise ein gutes Maß für die Betriebskosten des Prozesses 3 *Eindickung und Schlammstabilisierung* und wird aus diesem Grund bei der Bezugsgrößenanalyse näher untersucht.

d) Menge an entwässertem Schlamm (Q-Schlamm entwässert):

Da die Menge entwässerten Schlammes einerseits ein Maß für die Kosten des Entwässerungssystems darstellt, und andererseits die Entsorgungskosten zumeist je Kubikmeter entwässerten Schlammes bezahlt werden, ist diese Bezugsgröße in Hinblick auf die Prozesskosten der weitergehenden Schlammbehandlung näher zu untersuchen.

e) Menge an Rohschlamm (Rohschlamm):

Als Rohschlamm wird die Summe aus nicht eingedicktem Primär- und Überschussschlamm verstanden, welche Inputgüter des Prozesses 3 sind und daher vor allem in Hinblick auf die Betriebskosten des Prozesses 3 von Interesse sind.

f) Menge an Trockensubstanz des entsorgten Schlammes (TS-Fracht entsorgt):

Alternativ zur Menge entwässerten stabilisierten Schlammes steht die Menge an Trockensubstanz des entsorgten Schlammes als mögliche Bezugsgröße vor allem des Prozesses 4 zur Diskussion. Beim Prozess 3 kann davon ausgegangen werden, dass die „TS-Fracht entsorgt“ ein ähnliches Verhältnis zu den Kosten aufweist wie die „TS-Fracht stabilisiert“.

**Ergebnis der Bezugsgrößenanalyse der Betriebskosten:**

Die in Abbildung 21 dargestellten Korrelationen der Betriebskosten zeigen den Zusammenhang der Betriebskosten mit der mittleren Belastung, ausgedrückt als EW-CSB110, EW-Nges11 sowie EW-Pges1,7 und mit der durchschnittlichen Zulaufwassermenge. Wie aus dem im jeweiligem Diagramm eingetragenen Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) erkennbar, besteht die höchste Übereinstimmung zwischen Betriebskosten und den EW-CSB110 ( $R^2=0,82$ ).

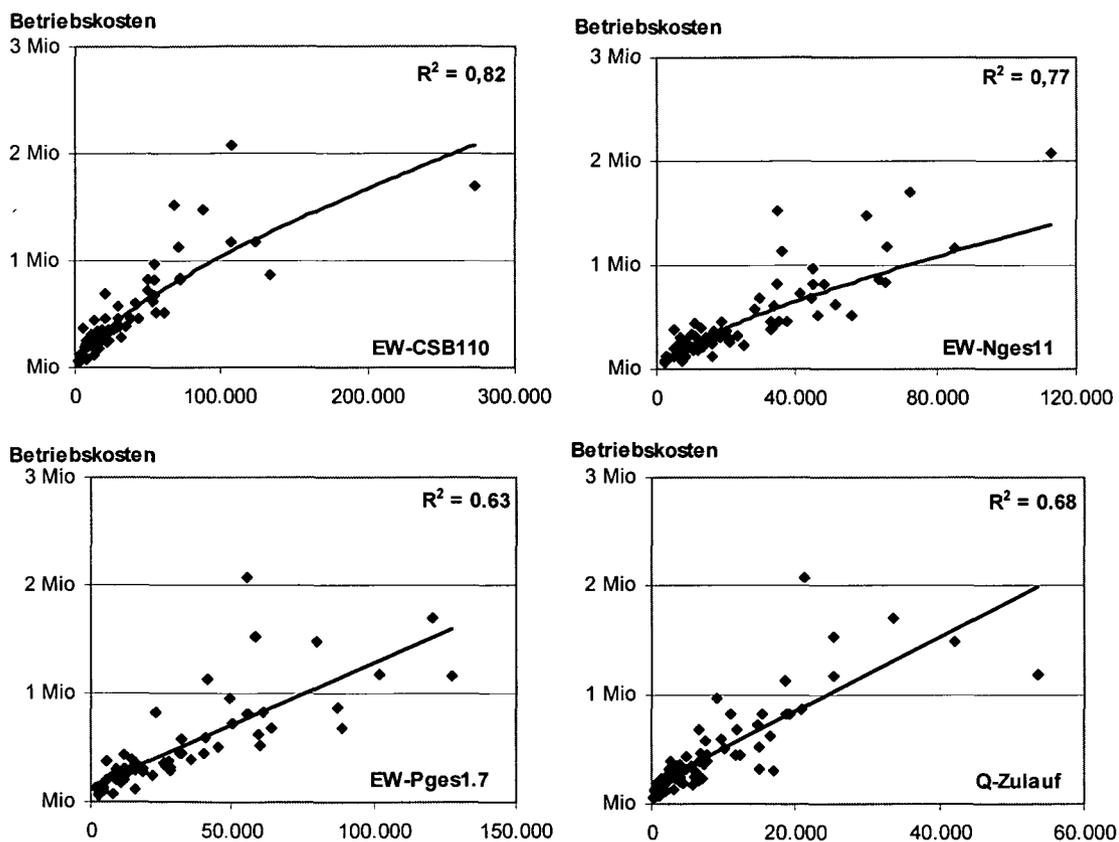


Abbildung 21: Korrelation der Gesamtbetriebskosten mit möglichen Bezugsgrößen

Die Ergebnisse der Bezugsgrößenanalysen der Prozessbetriebskosten wurden in Tabelle 3 zusammengestellt. Neben dem Bestimmtheitsmaß wurde in die Tabelle 3 der prozentuelle Anteil der jeweiligen Prozesskosten an den Gesamtbetriebskosten eingetragen.

Es zeigt sich dabei, dass EW-CSB110 nicht nur mit den Gesamtbetriebskosten, sondern auch mit den Betriebskosten der vier Prozesse einen guten statistischen Zusammenhang liefert. Auffällig ist, dass aufgrund eines Bestimmtheitsmaßes beim Prozess 1 ein geringer und beim Prozess 3 kein direkter Zusammenhang der möglichen Bezugsgrößen mit den

Prozesskosten festzustellen ist. Aufgrund der Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes kann gesagt werden, dass die Personalkosten 50 bis 70 Prozent der Kosten des Prozesses 1 und rund 40 Prozent der Kosten des Prozesses 3 ausmachen. Der schwache statistische Zusammenhang lässt sich mit der weitgehenden Unabhängigkeit der Personalkosten von den verwendeten Bezugsgrößen erklären. Als zusätzliche Erklärungen für den sehr niedrigen statistischen Zusammenhang der Bezugsgrößen des Prozesses 3 und der Kosten dieses Prozesses können die Energiekosten angeführt werden. Die Energiekosten machen laut Forschungsprojekt zwischen 30 und 40 Prozent der Prozessbetriebskosten 3 aus. Da die Energiekostenaufteilung auf die Prozesse 2 und 3, vor allem bei jenen Anlagen mit getrennter aerober Stabilisierung, nicht auf Messwerten beruht, ist die Richtigkeit der Kosten 3 zu hinterfragen. Es wurde daher zusätzlich der statistische Zusammenhang der Summe der Prozesskosten 2 und 3 mit den möglichen Bezugsgrößen berechnet und in der Tabelle 3 dargestellt. Es zeigt sich dabei, dass das Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion der summierten Prozesskosten 2 + 3 jenen der Prozesskosten 2 mit den jeweiligen Bezugsgrößen entspricht. Dies verstärkt die Vermutung, dass die Kostenzuordnung auf den Prozess 3 mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Die Unterscheidung der Prozesse 2 und 3 muss daher hinterfragt werden, was in Kapitel 4.7.4 noch weiter ausgeführt wird.

Die Prozesskosten des Prozesses 4 korrelieren neben dem bereits erwähnten Einwohnerwert (EW-CSB110) auch mit der TS-Fracht des stabilisierten und der TS-Fracht des entsorgten Schlammes.

	Betriebskosten von					
	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 2+3	Prozess 4	Prozess ARA
EW-CSB110	0,53	0,75	0,22	0,75	0,71	0,82
EW-Nges11	0,52	0,71	0,21	0,75	0,50	0,77
EW-Pges1,7	0,56	0,73	0,17	0,76	0,62	0,77
Q-Zulauf	0,49	0,72	0,22	0,72	0,67	0,78
TS-Fracht stabilisiert			0,22		0,68	
Q-Schlamm entwässert			0,22		0,64	
Rohschlamm			0,20		0,65	
TS-Fracht entsorgt			0,22		0,70	
Betriebskostenanteil	10 %	35 %	10 %	45 %	45 %	100 %

Tabelle 3: Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion von Prozessbetriebskosten mit möglichen Bezugsgrößen

Wie aus der Tabelle 3 abgeleitet werden kann, kann anhand des Bestimmtheitsmaßes keine eindeutige Entscheidung für eine der möglichen Bezugsgrößen getroffen werden. Neben dem Bestimmtheitsmaß ist die Aussagekräftigkeit der zu bildenden Kennzahlen ein Kriterium für die zu wählende Bezugsgröße. In Bezug auf möglichst einfache Handhabung der Kostenkennzahlen wird nach Möglichkeit danach getrachtet, für alle vier

Hauptprozesse eine Bezugsgröße zu bestimmen. Damit wäre auch die Addition der spezifischen Prozesskosten möglich. Für die Prozesse 2 und 3 gilt dies im besonderen Maße, weil nur durch die Summenbildung der spezifischen Kosten dieser beiden Prozesse Anlagen mit und ohne getrennter Stabilisierung vergleichbar werden. Eine Addition der spezifischen Kosten wäre beispielsweise nicht möglich, würde für den Prozess 1 die Wassermenge und für den Prozess 2 die EW-CSB110 als Bezugsgröße verwendet werden.

Aus folgenden Gründen wurde der aus der CSB-Fracht errechnete Einwohnerwert (EW-CSB110) sowohl für die Betriebskosten aller vier Prozesse als auch für die Gesamtbetriebskosten gewählt:

- Der EW-CSB110 ist eine allgemein bekannte und übliche Kenngröße in der Abwassertechnik und es können somit aussagekräftige Kennzahlen berechnet werden.
- Der statistische Zusammenhang von EW-CSB110 und den Kosten der Prozesse 2, 2 + 3, 4 und der Gesamtbetriebskosten kann als abgesichert angesehen werden. Eine weitergehende Überprüfung und Bestätigung dieser Aussage in Hinblick auf die Gesamtbetriebskosten folgt in Kapitel 4.6.4. Für die Prozesse 1 und 3 kann aus den oben angeführten Gründen auch mit anderen möglichen Bezugsgrößen kein statistisch besserer Zusammenhang erzielt werden.
- EW-CSB110 kann daher als Bezugsgröße für alle Prozesse angewendet werden und entspricht dem beschriebenen Kriterium einer Bezugsgröße für alle Prozesse.
- Der Zusammenhang von EW-CSB110 als Maß für die organische Verschmutzung und den Kosten ist nicht nur statistisch nachweisbar, sondern sowohl für den Laien als auch für den Fachmann nachvollziehbar.

Von allen anderen Bezugsgrößen erfüllen EW-Nges11, EW-Pges1,7 und Q-Zulauf mehrere der für EW-CSB110 genannten Punkte. Gegen die Verwendung von EW-Nges11 und EW-Pges1,7 für ein Benchmarking in Österreich spricht, dass diese Größen nicht von allen Kläranlagen im Zulauf bestimmt werden und zusätzlich kein Vorteil dieser Bezugsgrößen gegenüber EW-CSB110 gegeben ist. Gegen die Verwendung der Zulaufwassermenge als Bezugsgrößen spricht einerseits der etwas schlechtere statistische Zusammenhang zwischen Zulaufwassermenge und Kosten verglichen mit EW-CSB110. Andererseits besteht aus fachlicher Sicht kein direkter Zusammenhang zwischen der Wassermenge und den Betriebskosten, wenn man von den Pumpkosten absieht. Eine Verringerung der Wassermenge wirkt sich unwesentlich auf die Betriebskosten aus, wohingegen eine Verringerung der Schmutzfracht sowohl den Energieverbrauch der Belüftung als auch den Schlammanfall und dergleichen mehr verringert.

#### 4.6.2 Bezugsgrößenanalyse der Kapitalkosten

Da es sich bei den Kapitalkosten um Kosten handelt, die nicht von der aktuellen Belastung abhängen, kommen für die Berechnung der spezifischen Kapitalkosten nicht die aktuellen Stoffströme als Bezugsgrößen in Frage, sondern verschiedene Auslegungsgrößen der Anlage.

##### a) Ausbaugröße der Kläranlage in Einwohnerwerten (EW-Ausbau):

Einfachste und statistisch gut verfügbare Kennzahl ist der Bemessungs-Einwohnerwert des Bewilligungsbescheides als planerische Anschlussgröße der Kläranlage. Hiermit wird jedoch nicht der unterschiedlichen Belastung der Anlagen Rechnung getragen, die aufgrund betrieblicher Schwankungen, Zuwachsraten und sonstiger Randbedingungen üblicherweise immer vorhanden ist. Allerdings ist mit dieser Größe bereits eine erste gute Annäherung für die fixen Kosten gegeben, insbesondere für die Kapitalkosten (Evers et al., 1999).

Die Ausbaugröße einer Kläranlage wird gegenwärtig häufig als Bezugsgröße für die Investitionskosten verwendet. Sehr viele Kostenangaben werden als Betrag je EW angegeben. Diese Größe hat den Vorteil, dass sie einerseits als allgemein verständlich gilt, und andererseits die Einwohnerwerte kostenrelevant sind. Der Nachteil liegt darin, dass die Ausbaugröße in EW keine Aussage über das angestrebte Reinigungsziel enthält, dieses die Investitionskosten jedoch wesentlich beeinflusst. Eine Kläranlage mit beispielsweise 10.000 EW Ausbaugröße, welche nur auf Kohlenstoffentfernung ausgelegt wurde, bedingt geringere Investitionskosten als eine Anlage derselben Ausbaugröße, welche auch auf Nährstoffentfernung bemessen wurde.

##### b) "Normierte" Ausbaugröße (EWnorm-Ausbau):

Um die Kapitalkosten von Kläranlagen unterschiedlicher Reinigungsziele vergleichen zu können, kann eine normierte Ausbaugröße der biologischen Reinigungsstufe errechnet werden. Dabei werden die vorhandenen Volumina in eine theoretische Leistungsfähigkeit, ausgedrückt als Einwohnerwert umgerechnet, wobei eine einheitliche Reinigungsleistung unterstellt wird. Auf österreichische Verhältnisse angewendet, bedeutet dies, dass für ein Standardabwasser bei einem Schlammalter von 25 Tagen ein Volumen von 670 Liter je Einwohnerwert erforderlich ist und bei einem Schlammalter von 12,5 Tagen das erforderliche Volumen rund 400 Liter je Einwohnerwert beträgt, um laut Stand der Technik (Arbeitsblatt A131) die Grenzwerte nach 1.AEVkA gesichert einhalten zu können.

Bei simultan aerob stabilisierenden Anlagen wurde daher das vorhandene Volumen des Prozesses 2 (Vorklärung, Belebungsbecken und Nachklärung) durch 0,67 m<sup>3</sup> geteilt, um die E<sub>W</sub>norm-Ausbau zu bestimmen. Bei Anlagen mit getrennter Stabilisierung wurden zusätzlich zu den 400 l/E<sub>W</sub> noch 60 l/E<sub>W</sub> als erforderliches Stabilisierungsvolumen angesetzt. Die Annahme der gleichen spezifischen Volumina für Stabilisierungsbecken und Faulraum stellt eine Vereinfachung dar. Die Annahme von 60 Liter als getrenntes Stabilisierungsvolumen je Einwohnerwert stellt sicher, dass man sowohl für eine getrennte aerobe Stabilisierung als auch bezüglich Faulraumvolumen auf der sicheren Seite liegt. Dies bedeutet, dass für das vorhandene Volumen keine zu höher Einwohnerwert berechnet werden kann.

c) Maximale Zulaufmenge laut Wasserrechtsbescheid (Q-Zulauf max):

Der maximale Abwasserzufluss laut Wasserrechtsbescheid ist für jene Anlagenteile maßgebend, deren Bemessung auf maximalen Abwasserzufluss basiert. Demzufolge können z.B. die Kapitalkosten der mechanischen Vorreinigung zu dieser Wassermenge in Bezug gesetzt werden, um herauszufinden, ob diese Größe für die Kapitalkosten des Prozesses 1 maßgebend ist.

d) Errichtetes Volumen für die Faulung (Volumen Faulraum):

Mit Hilfe dieser Bezugsgröße soll geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen errichtetem Volumen der Faulung und den Kapitalkosten des Prozesses 3 besteht.

Ergebnis der Bezugsgrößenanalyse der Kapitalkosten:

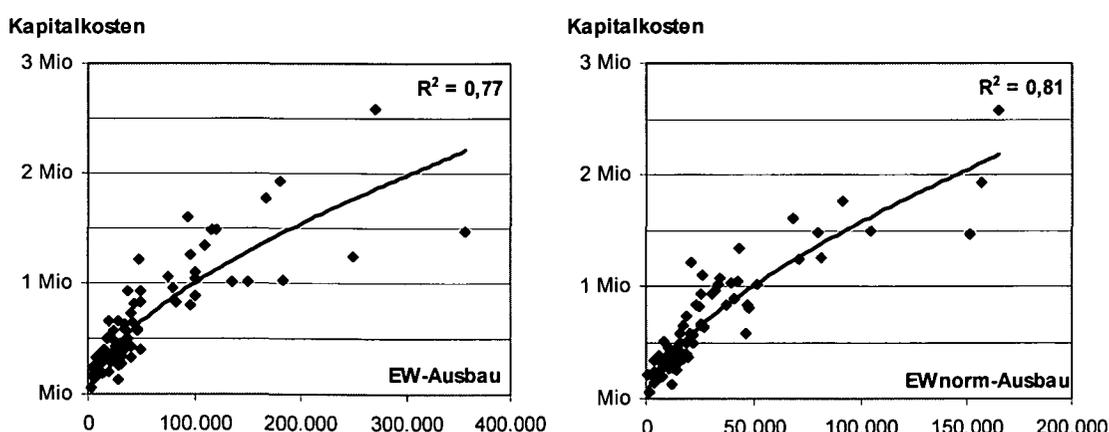


Abbildung 22: Korrelation der Kapitalkosten mit EW-Ausbau und EWnorm-Ausbau

Die Ergebnisse der Bezugsgrößenanalyse der Kapitalkosten können der Abbildung 22 und der Tabelle 4 entnommen werden. Abbildung 22 zeigt, dass die Bezugsgröße E<sub>W</sub>norm-

Ausbau einen qualitativ besseren Zusammenhang mit den Gesamtkapitalkosten aufweist als EW-Ausbau.

Bei den Korrelationen der vier Hauptprozesskapitalkosten mit den möglichen Bezugsgrößen fällt auf, dass abgesehen von Prozess 2 eine geringe Abhängigkeit der Kapitalkosten von den untersuchten Bezugsgrößen gegeben ist. Vermutlich ist die geringe Korrelation auch in Zusammenhang mit der schlechten Qualität der Kapitalkostenzuordnung auf die einzelnen Prozesse zu sehen. Aussagekräftige Daten, die als Basis für die Beurteilung der Kapitalkosten der Prozesse herangezogen werden könnten, stehen nur von 25 der insgesamt 76 untersuchten Anlagen zur Verfügung.

Tabelle 4: Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktionen der Prozesskapitalkosten mit möglichen Bezugsgrößen

	Kapitalkosten von				
	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess ARA
EW-Ausbau	0,48	0,69	0,47	0,22	0,77
EWnormiert-Ausbau	0,49	0,74	0,53	0,23	0,81
Q-Zulauf max	0,47				
Volumen Faulraum			0,48		

Als Bezugsgrößen für die Kapitalkosten können aus Sicht der Bezugsgrößenanalyse sowohl die EW-Ausbau als auch die EWnormiert-Ausbau verwendet werden.

#### 4.6.3 Bezugsgrößenanalyse der Jahreskosten

Da die Jahreskosten einerseits nur von der Gesamtanlage und nicht von den einzelnen Prozessen berechnet werden, und sich diese andererseits aus dem Anteil der Betriebskosten und jenem der Kapitalkosten zusammensetzen, kommen als mögliche Bezugsgrößen sowohl jene der Gesamtbetriebskosten als auch jene der Gesamtkapitalkosten in Frage. Es sind dies die durchschnittlichen Einwohnerwerte, errechnet aus der CSB-Fracht, aus der Nges.-Fracht und aus der Pges.-Fracht sowie EW-Ausbau und EWnormiert-Ausbau.

#### Ergebnis der Bezugsgrößenanalyse für die Jahreskosten:

Alle untersuchten Bezugsgrößen weisen einen sehr guten Zusammenhang mit den Jahreskosten auf. Wird beim EW-CSB110 die Stichprobe auf Werte eingegrenzt, die bei der Plausibilitätsprüfung mit gut beziehungsweise mittel bewertet wurden, so erhöht sich der statistische Zusammenhang zwischen EW-CSB110 und den Jahreskosten auf ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2=0,83$ .

BEZUGSGRÖßEN

Auffällig ist auch der sehr gute statistische Zusammenhang von EW-Ausbau mit den Jahreskosten. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass ein großer Anteil der Kapitalkosten und der Betriebskosten (beispielsweise ein Teil der Personalkosten) von der Ausbaugröße bestimmt wird. EW-Ausbau wird trotz größtem Bestimmtheitsmaß von 0,88 nicht als Bezugsgröße für die Jahreskosten angewendet, da die Vergleichbarkeit der damit errechneten spezifischen Kosten aufgrund möglicher unterschiedlicher Reinigungsziele nicht gegeben ist. Es wird daher auch für die Jahreskosten der aus der mittleren Belastung errechnete EW-CSB110 als Bezugsgröße festgelegt.

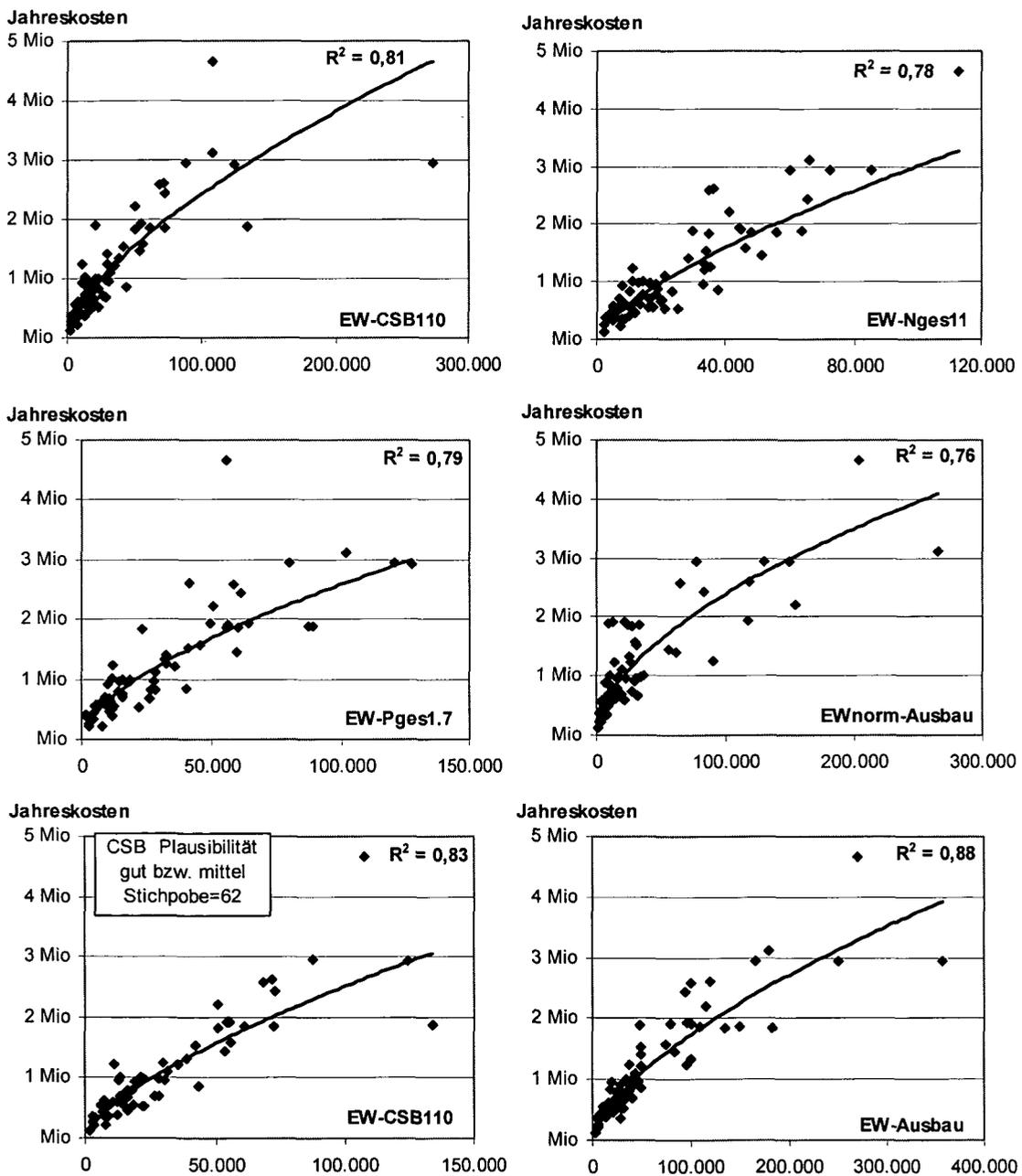


Abbildung 23: Korrelation der Jahreskosten mit möglichen Bezugsgrößen

#### 4.6.4 Weitergehende statistische Auswertungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurde der Zusammenhang von Bezugsgröße und Kosten ausschließlich in Form des Bestimmtheitsmaßes ausgedrückt. Das Bestimmtheitsmaß gibt darüber Auskunft, welcher Anteil der Kostenveränderung (abhängige Variable) auf die Veränderung Bezugsgröße (unabhängige Variable) zurückzuführen ist (Köhler et al., 1996). Das Bestimmtheitsmaß ist jedoch nur dann wirklich aussagekräftig, wenn die verwendete Modellannahme einer Potenzfunktion aus statistischer Sicht auch tatsächlich als Ausgleichsfunktion verwendet werden kann. Dies wird durch eine Prüfung auf Verletzung der Modellannahme getestet. Zusätzlich kann mit Hilfe statistischer Methoden überprüft werden, ob grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass die Kosten von den Bezugsgrößen beeinflusst werden, und ob aufgrund der Datenbasis davon ausgegangen werden kann, dass die Regressionskoeffizienten von Null verschieden sind.

Die Prüfung einer Regressionsfunktion kann daher nach drei Kriterien in Gruppen eingeteilt werden:

- Prüfung der einzelnen Regressionskoeffizienten (mittels t-Test)
- Prüfung der gesamten Regressionsfunktion (mittels F-Test)
- Prüfung auf Verletzung der Modellannahme (mittels Durbin-Watson Test, Kolmogorov-Smirnov-Test und Levene-Median-Test)

Die folgenden Ausführungen untersuchen einerseits die gefundene Regressionsfunktion der gewählten Bezugsgrößen EW-CSB110 und EWnorm-Ausbau mit den Betriebs- und Jahreskosten, und andererseits mit den Kapitalkosten in Hinblick auf die drei genannten statistischen Prüfkriterien näher.

#### Doppel-log-Transformation

Bevor auf die verwendeten Tests eingegangen wird, muss festgehalten werden, dass nichtlineare Funktionen vor deren Prüfung in eine Geradengleichung transformiert werden müssen. Die als Ausgleichsfunktion gewählte Potenzfunktion

$$\text{Gleichung 1} \quad y = C \cdot x^B$$

lässt sich durch die doppel-log-Transformation in die wesentlich einfachere Geradengleichung überführen.

$$\text{Gleichung 2} \quad \ln(y) = \ln(C) + B \cdot \ln(x)$$

Wird  $\ln(y) = Y$ ,  $\ln(C) = a$ ,  $\ln(x) = X$  und  $B=b$  gesetzt, kann die Gleichung 2 in der allgemeinen Form einer linearen Beziehung (Gleichung 3) dargestellt werden.

Gleichung 3  $Y = a + b \cdot X$

Das grafische Ergebnis der transformierten Potenzfunktion der Betriebs-, Kapital-, und Jahreskosten kann Abbildung 24 entnommen werden. Der Abbildung können zusätzlich die Regressionskoeffizienten a und b gemäß Gleichung 3 entnommen werden. Das Bestimmtheitsmaß ist ident mit jenem, das bei der nichtlinearen Regression für die Potenzfunktion berechnet wurde (vgl. Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 23).

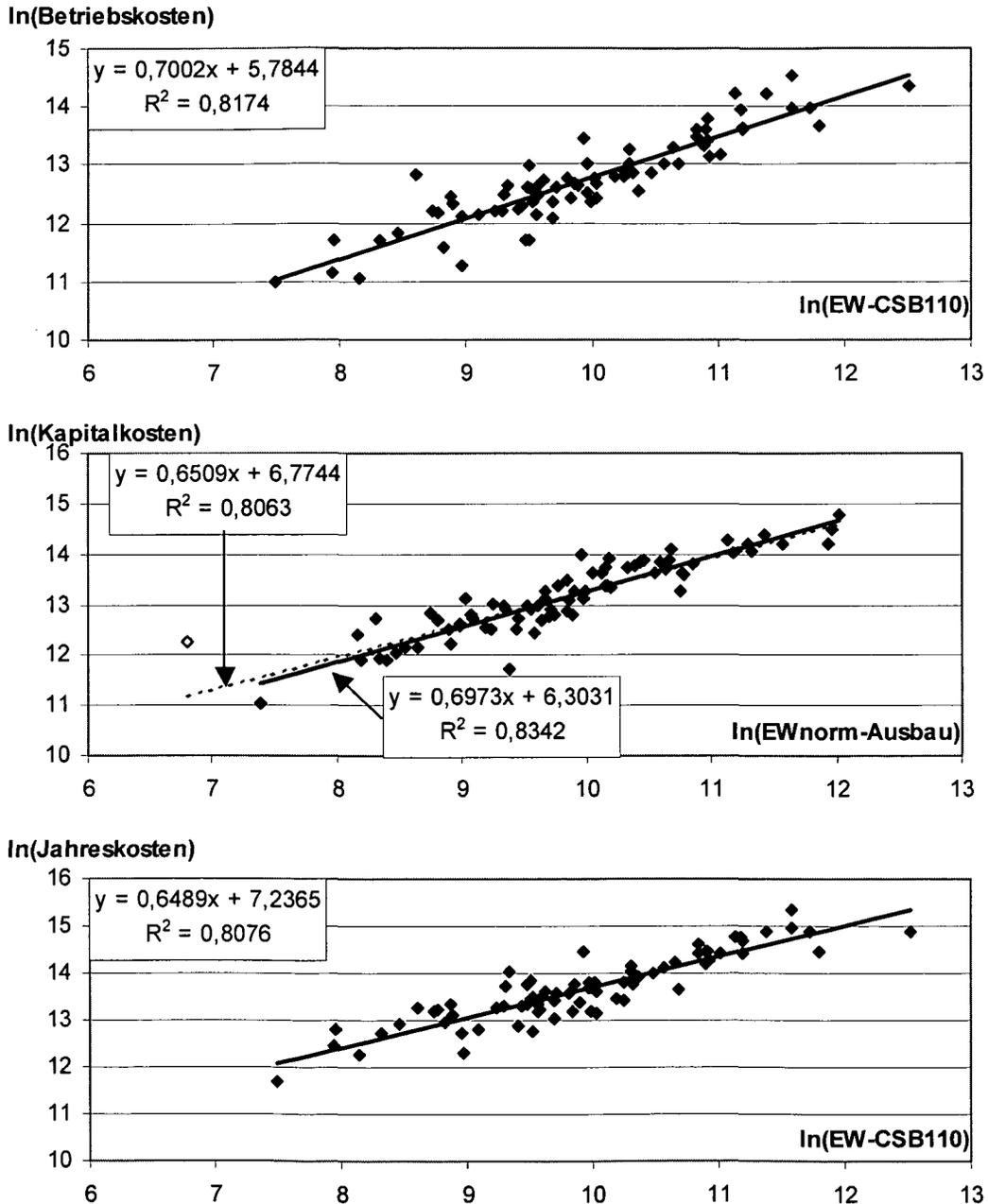


Abbildung 24: Lineare Korrelation der Betriebs- und Jahreskosten mit EW-CSB110 und der Kapitalkosten mit EWnorm-Ausbau nach erfolgter doppel-log-Transformation

Die strichliert gezeichnete Ausgleichsgerade bei den Kapitalkosten in Abbildung 24 wurde unter Berücksichtigung aller Datenpunkte berechnet. Mit Hilfe der nachfolgend erläuterten statistischen Auswertungen konnte der nicht ausgefüllt gezeichnete Datenpunkt in Abbildung 24 als Ausreißer identifiziert und aus der Datenbasis gestrichen werden. Die durchgezogene Ausgleichsgerade ohne den Ausreißer unterscheidet sich nur unwesentlich. Die Analyse des gestrichenen Ausreißers zeigte, dass dieser Datenpunkt eine Verfahrensvariante mit nachgeschaltetem Tauchtropfkörper und Sandfilter repräsentiert, welche in die Berechnung der E<sub>Wnorm</sub>-Ausbau nicht berücksichtigt werden können. Die Streichung dieses Wertes ist daher fachlich begründbar und erforderlich.

### **Beschreibung und Ergebnisse der durchgeführten Tests:**

Die Prüfung der Regressionskoeffizienten a und b (Gleichung 3) wird mittels **t-Test** durchgeführt, wobei deren signifikanter Unterschied von Null überprüft wird. Wird die Berechnung mit Hilfe von Statistikprogrammen durchgeführt, so ist der so genannte P-Wert (= Signifikanz) das Ergebnis der Berechnungen. Ist der P-Wert kleiner als 0,05, kann mit 95%iger Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass ein signifikanter Unterschied von Null besteht.

Die Prüfung der gesamten Regressionsfunktion wird mit Hilfe des bereits mehrfach beschriebenen **Bestimmtheitsmaßes** durchgeführt und mittels **F-Test** auf Signifikanz geprüft. Als Nullhypothese wird dabei davon ausgegangen, dass zwischen der abhängigen Variable (den Kosten) und der unabhängigen Variable (der Bezugsgröße) kein Zusammenhang besteht. Die Nullhypothese wird dann abgelehnt, wenn  $P < 0,05$  ist und somit mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass die Nullhypothese nicht zutrifft.

Ob das verwendete Modell verwendet werden kann (Prüfung auf Verletzung der Modellannahme), wird mit Hilfe der Tests auf Autokorrelation der Fehler, auf Normalverteilung der Fehler und auf Varianzhomogenität untersucht.

Mit Hilfe des **Durbin-Watson Tests** kann die Autokorrelation untersucht werden. Unter Autokorrelation versteht man, dass sich die Fehler gegenseitig beeinflussen, was fast immer auf eine Fehlspezifikation des Modells hindeutet. Liefert der Durbin-Watson-Test den Wert 2 ( $DW=2$ ) als Ergebnis, besteht keine Autokorrelation, ist der  $DW=0$ , weist dies auf eine positive Autokorrelation hin und ein  $DW$  von 4 zeigt eine negative Autokorrelation auf. Dies bedeutet, der  $DW$  sollte möglichst nahe bei 2 ( $\pm 0,5$ ) liegen, um davon ausgehen zu können, dass sich die Residuen (= Fehler) nicht gegenseitig beeinflussen.

Liegen normal verteilte Residuen vor, so folgen auch die geschätzten Regressionskoeffizienten der Normalverteilung. Dies wiederum ist die wesentliche Voraussetzung für den **Durbin-Watsen-Test (DW-Test)**, den t- und den F-Test. Die Erfüllung der Normalverteilung kann beispielsweise mit Hilfe des **Kolmogorov-Smirnov-Tests (KS-Test)** überprüft werden.

Beim Test auf Varianzhomogenität werden mehrere unabhängige Stichproben mit jeweils mindestens 10 Beobachtungen gezogen und auf Varianzhomogenität geprüft. Ist dies nicht der Fall, so kann der t-Test nicht angewendet und das verwendete Modell muss hinterfragt werden (Sachs, 1991). Der verwendete Test auf Varianzhomogenität beruht auf dem **Levene-Median-Test**.

Sowohl das Ergebnis des Kolmogorov-Smirnov-Tests als auch jenes nach Levene werden beim verwendeten Programm in Form eines P-Wertes angegeben. Ist dieser P-Wert größer als 0,05, kann mit 95%iger Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass Normalverteilung bzw. Varianzhomogenität vorliegt.

Tabelle 5: Ergebnis der Prüfung der Regressionsfunktion

	Regressionskoeffizienten	Regressionsfunktion		Modellannahme		
	t-Test	R <sup>2</sup>	F-Test	DW-Test	KS-Test	Levene-Test
Betriebskosten	beide (a,b) < 0,0001	0,817	<0,0001	1,70	0,71	0,52
Kapitalkosten	beide (a,b) < 0,0001	0,834	<0,0001	1,84	0,62	0,22
Jahreskosten	beide (a,b) < 0,0001	0,808	< 0,0001	1,95	0,20	0,59

Die Berechnung der Tests wurde unter Verwendung des Statistikprogramms Sigma Plot durchgeführt.

Das Ergebnis der statistischen Berechnungen kann Tabelle 5 entnommen werden. Nach Streichung des bereits beschriebenen Ausreißers weisen alle durchgeführten Tests auf einen signifikanten Zusammenhang der gewählten Bezugsgrößen und der jeweiligen Kosten hin.

**Berechnung des mittleren Fehlers:**

Nachdem der Zusammenhang zwischen der gewählten Bezugsgröße und den Kosten statistisch abgesichert ist, kann berechnet werden, mit welchem mittleren Fehler die Ausgleichsgerade behaftet ist. Aufgrund der Streuung der Ausgangsdaten um die Ausgleichsfunktion kann errechnet werden mit welchem mittleren Fehler  $m_y$  die Kosten behaftet sind, wenn sie aus der Bezugsgröße abgeschätzt werden.

Der mittlere Fehler wird unter Anwendung des logarithmischen Ausgleichsansatzes

berechnet, wobei diesbezüglich auf eine Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der TH-Hannover aus dem Jahre 1964 verwiesen wird, in der dieser Ansatz für die gleiche Problematik beschrieben ist (Schmidt, 1964).

Die Genauigkeit der berechneten Koeffizienten a und b aus Gleichung 3 ( $Y = a + b \cdot C$ ) kann mit Hilfe der mittleren Fehler  $m_a$  und  $m_b$  der Koeffizienten angegeben werden:

$$\text{Gleichung 4} \quad m_a = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_i (x - x_i)^2}{n - 2}}$$

$$\text{Gleichung 5} \quad m_b = \sqrt{\frac{n}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_i (x - x_i)^2}{n - 2}}$$

Bei dem durchgeführten logarithmischen Ausgleich von Gleichung 1  $y = C \cdot x^B$  sind daher auch die Koeffizienten C und B mit einem mittleren Fehler behaftet. Der mittlere Fehler  $m_c$  von C kann aus Gleichung 6 berechnet werden, während der mittlere Fehler  $m_B$  von B gleich  $m_b$  ist.

$$\text{Gleichung 6} \quad m_c = e^a \cdot m_a$$

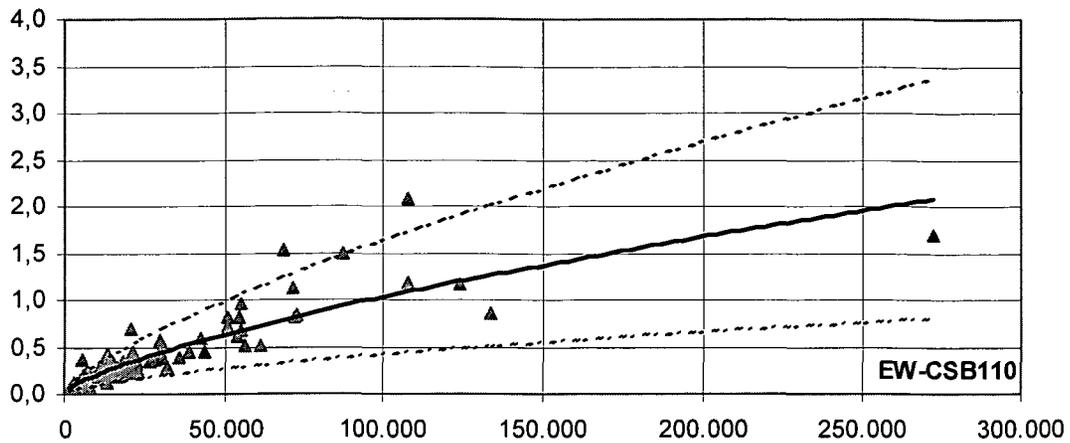
Der mittlere Fehler  $m_y$  von  $y = C \cdot x^B$  kann letztlich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnet werden:

$$\text{Gleichung 7} \quad m_y = \sqrt{(x^B)^2 \cdot m_c^2 + (C \cdot x^B \cdot \ln(x))^2 \cdot m_B^2}$$

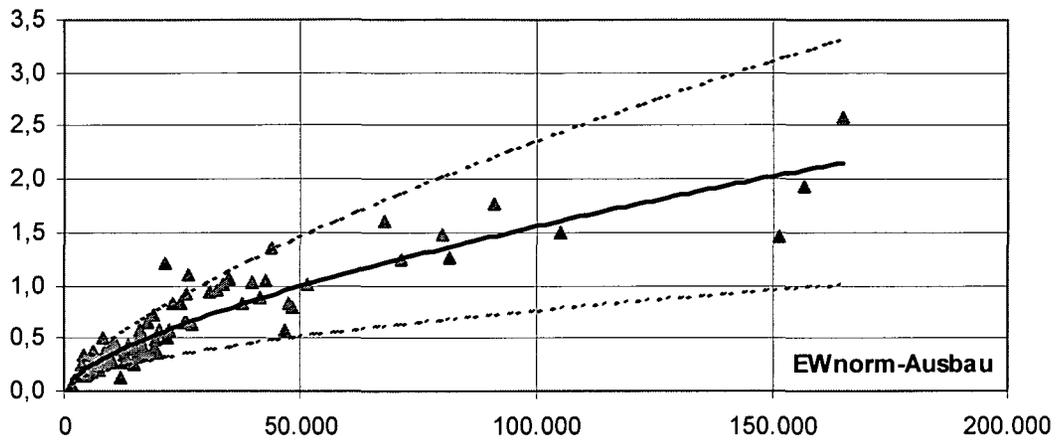
Wie aus Abbildung 25 ersichtlich, kann die Abschätzung der Betriebskosten aus der Bezugsgröße EW-CSB110 um den Faktor 3 bis 4 je nach durchschnittlicher Belastung schwanken. Geringer ist der mittlere Fehler bei den Kapitalkosten, bei denen mit einer Schwankung der abgeschätzten Kosten aus EWNorm-Ausbau zwischen 2 und 3,5 gerechnet werden muss. Mit steigender Anlagengröße nimmt die Schwankungsbreite zu. Bei den Jahreskosten ist mit einer Schwankung um den Faktor 2 bis 2,5, bei sehr großen Anlagen um den Faktor 2,8, bei der Abschätzung der Jahreskosten aus dem EW-CSB110 zu rechnen. Aus den vorangegangenen statistischen Auswertungen und der Berechnung des mittleren Fehlers kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die gewählten Bezugsgrößen mit den jeweiligen Kosten korrelieren und ein statistisch abgesicherter Zusammenhang abgeleitet werden kann. Die Berechnung des mittleren Fehlers hat gezeigt, dass bei der Abschätzung der Kosten aus den jeweiligen Bezugsgrößen mit Schwankungen um den Faktor 2 bis 4 gerechnet werden muss.

BEZUGSGRÖßEN

Betriebskosten [ Mio €/a ]



Kapitalkosten [ Mio €/a ]



Jahreskosten [ Mio €/a ]

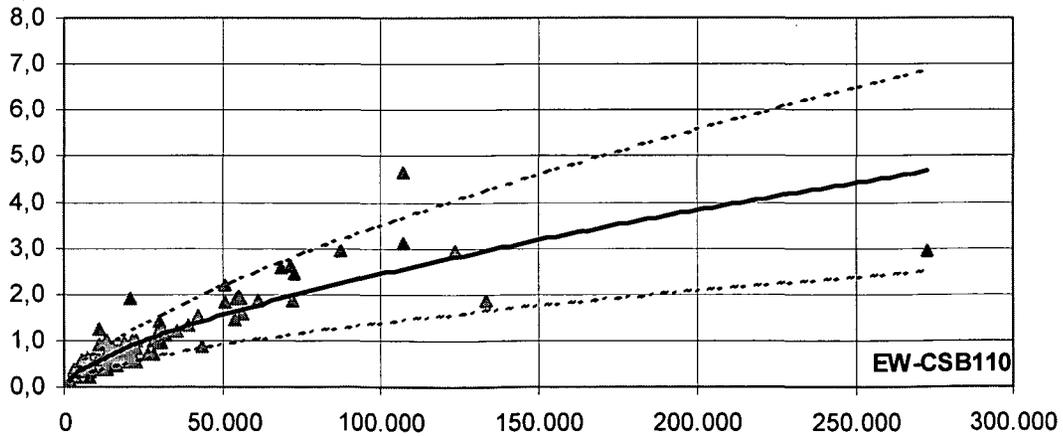


Abbildung 25: Korrelation der Kosten mit den jeweiligen Bezugsgrößen und Darstellung des berechneten mittleren Fehlerbereiches der Kosten (strichlierte Linien)

Der große Schwankungsbereich des berechneten mittleren Fehlers ist auf die Streuung der Ausgangsdaten, um die Ausgleichsgerade, zurückzuführen. Die Ausgleichsgerade ist, nicht

zuletzt aufgrund des großen Schwankungsbereiches des mittleren Fehlers, für das Benchmarking nicht aussagekräftig. Der Bereich der Ausgleichsgerade  $\pm$  des mittleren Fehlers kann jedoch für die Abgrenzung der maximal und minimal zu erwartenden Kosten, in Abhängigkeit der mittleren Belastung bzw. der normierten Einwohnerwerte, verwendet werden. Liegen diese Daten außerhalb des Bereiches der Ausgleichsgerade  $\pm$  des mittleren Fehlers, so müssen diese Daten einer näheren Prüfung unterzogen werden.

Für die Abgrenzung eines *optimalen Kostenbereiches* eignet sich der mittlere Fehler aufgrund des großen Schwankungsbereiches nicht. Auf die Definition und Berechnung der optimalen Kostenbereiche von Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten wird in Kapitel 4.9 näher eingegangen.

#### **4.6.5 Besonderheiten bei der Verwendung der ausgewählten Bezugsgrößen**

##### **EWnorm-Ausbau als Bezugsgröße für die Gesamtkapitalkosten:**

Bei den gewählten Bezugsgrößen und der Art der Berechnung der Kapitalkosten werden Anlagen bevorzugt, deren maschinelle Anlagenteile bereits abgeschrieben sind und die zum Zeitpunkt ihrer Errichtung - in Bezug auf das Volumen - sehr großzügig ausgelegt wurden. Investitionen, welche keine Änderung des wirksamen Volumens zur Folge haben, erhöhen die spezifischen Kapitalkosten mehr als Investitionen, welche mit einer Vergrößerung des Volumens einhergehen. Als Beispiel für die Unschärfen des Kapitalkostenvergleiches können zwei Anlagen, die im selben Jahr für gleich viele Einwohnerwerte errichtet wurden, herangezogen werden. Anlage A mit etwas weniger Volumen wurde 1998 an den Stand der Technik angepasst, indem ein Nachklärbecken zusätzlich errichtet und in diverse andere bauliche und maschinelle Einrichtungen investiert wurde. Die Anlage B ist noch funktionstüchtig, eine Anpassung an den Stand der Technik steht aber unmittelbar bevor. Da im Zuge des Umbaus das Volumen nicht wesentlich geändert wurde und somit EWnorm-Ausbau von beiden Anlagen etwa gleich hoch ist, sind die normierten Kapitalkosten bezogen auf EWnorm-Ausbau der Anlage A wesentlich höher als jene der Anlage B.

Die Schlussfolgerung daraus kann natürlich nicht sein, dass die Anlage, die (noch) nicht an den Stand der Technik angepasst wurde, Benchmarkanlage ist. Eine individuelle Beurteilung einer potentiellen Benchmarkanlage, wie dies im Kapitel 4.5 „Plausibilitätsprüfung“ beschrieben wurde, ist daher auch bei den Kapitalkosten erforderlich.

**EW-CSB110 als Bezugsgröße bei Fremdschlammübernahme bzw. Fäkalübernahme:**  
Übernimmt eine Kläranlage von einer anderen Anlage Klärschlamm, beziehungsweise werden bei einer Anlage große Mengen an Fäkalien übernommen, so sind die spezifischen Kosten, die mit Hilfe der Bezugsgröße EW-CSB110 ermittelt werden, zu hoch.

Dies deshalb, da EW-CSB110 aus der mittleren Zulauffracht der Kläranlage berechnet und somit die übernommene Schlammmenge bzw. Fäkalienmenge in der Bezugsgröße nicht berücksichtigt wird. Da jedoch der übernommene Schlamm beziehungsweise die Fäkalien auch Kosten verursachen, muss die Bezugsgröße entsprechend angehoben werden. Als pragmatische Lösung des Problems wird daher vorgeschlagen, bei jenen Prozessen, bei denen aufgrund des übernommenen Gutes mit erhöhten Kosten gerechnet werden müssen, die Bezugsgröße um jenen Einwohnerwertanteil zu erhöhen, der dem übernommenen Gut entspricht.

Als Beispiel wird davon ausgegangen, dass eine Kläranlage den gesamten stabilisierten Klärschlamm einer anderen Anlage direkt in den Prozess 4 übernimmt. Damit erhöhen sich die Kosten des Prozesses 4. Die spezifischen Prozesskosten des Prozesses 4 werden derart berechnet, dass man zur Bezugsgröße EW-CSB110, errechnet aus der durchschnittlichen CSB Fracht der eigenen Anlage, den EW-CSB110 der Anlage, von der der Schlamm übernommen wird, addiert. Die Gesamtbetriebskosten der Anlage können in diesem Fall, da in allen Prozessen die gleiche Bezugsgröße verwendet wurde, durch Addition der spezifischen Kosten der einzelnen Prozesse ermittelt werden.

#### 4.7 Vergleich der Anlagen in Größengruppen

Für den Erfolg der Benchmarking-Initiative spielt die Auswahl der Vergleichspartner eine wichtige Rolle (Scheer et al., 1996). Bei einem Kläranlagen-Benchmarkingprojekt, welches möglichst viele der insgesamt ca. 1500 österreichischen Kläranlagen erfassen soll, ist es erforderlich, Gruppen zu bilden, innerhalb derer eine Vergleichbarkeit der Kennzahlen sichergestellt werden kann. Ein Ausgleich der abnehmenden spezifischen Kosten in Form einer Ausgleichsfunktion für die Kosten kann eine Gruppenbildung nicht ersetzen. Dies ist vor allem deshalb nicht möglich, da aufgrund der gesetzlichen Vorgaben, aber auch aufgrund unterschiedlicher Verfahrenskonzepte sowohl die zu berechnenden Kennzahlen als auch das Prozessmodell dann den Erfordernissen der jeweiligen Gruppe angepasst werden müssen. Als Entscheidungskriterien für die Gruppengrenzen kann daher von drei wesentlichen kostenbeeinflussenden Faktoren ausgegangen werden:

1. Gesetzliche Vorgaben
2. Verfahrenskonzeption
3. Degressive Entwicklung der spezifischen Kosten mit der Anlagengröße

Beim Benchmarking-Forschungsprojekt wurde die Einteilung in Gruppen aufgrund der Höhe der durchschnittlichen Belastung (EW-CSB110) für die Gruppenzugehörigkeit ausschlaggebend. Als einziges Entscheidungskriterium für die Gruppierung wurde die Abhängigkeit der Betriebskosten von der durchschnittlichen Belastung gewählt und die Gruppengrenzen so festgelegt, dass innerhalb der Gruppen keine Abhängigkeit der spezifischen Kosten von der mittleren Belastung erkennbar war. Da es sich um einen einmaligen (statischen) Vergleich handelte, war diese Vorgangsweise auch gerechtfertigt und angebracht. Außerdem wurden Einschränkungen hinsichtlich Verfahrenskonzept und Anlagengröße als Voraussetzung für die Teilnahme am Forschungsprojekt gemacht.

Beim Benchmarking stellt der Vergleich innerhalb der Gruppe einen wesentlichen Bestandteil des Ablaufes dar. Es sollte daher ein Gruppenwechsel aufgrund sich ändernder Belastungsverhältnisse vermieden werden. Bei einem zyklisch (jährlich) durchgeführten Benchmarking ist daher EW-Ausbau als Entscheidungskriterium der Gruppenzugehörigkeit zielführender. Auch die im folgenden Kapitel beschriebenen gesetzlichen Vorgaben beziehen sich auf EW-Ausbau, womit diese auch auf die Betriebskosten beeinflussend wirken können.

Für die Bedingungen in Österreich werden die drei genannten Kriterien der Gruppeneinteilung: Gesetzliche Vorgaben, Verfahrenskonzeption und Degressive Entwicklung der spezifischen Kosten mit der Anlagengröße im Folgenden näher beleuchtet.

**4.7.1 Gesetzliche Vorgaben**

Sowohl die Emissionsgrenzwerte als auch die Anzahl an Probenahmen beeinflussen die Kosten nicht unerheblich, weshalb bei der Gruppenbildung beim Benchmarking darauf Rücksicht genommen werden muss.

Auf die Verhältnisse in Österreich angewendet, bedeutet dies, dass bei der Gruppierung für das Benchmarking die Größenklassen der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1.AEVKA) von Interesse sind. (Bundesgesetzblatt, 1996).

Diese Verordnung regelt sowohl die Ablaufkonzentrationen, die Wirkungsgrade und auch die Probennahmearzahl der Eigen- und Fremdüberwachung (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Auszug aus der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser 1996

	50-500 EW <sub>60</sub>	500-5.000 EW <sub>60</sub>	5.000-50.000 EW <sub>60</sub>	>50.000 EW <sub>60</sub>
Ablaufkonzentrationen [mg/l]				
BSB <sub>5</sub>	25	20	20	15
CSB	90	75	75	75
TOC	30	25	25	25
NH <sub>4</sub> -N	10 <sup>1)</sup>	5 <sup>1)</sup>	5 <sup>2)</sup>	5 <sup>2)</sup>
Gesamt-P	-	2 <sup>3)</sup>	1 <sup>4)</sup>	1 <sup>4)</sup>
Wirkungsgrade [%]				
Ges.geb.N	-	-	70 <sup>1)</sup>	70 <sup>1)</sup>
BSB <sub>5</sub>	-	95 <sup>3)</sup>	95	95
CSB	-	85 <sup>3)</sup>	85	85
TOC	-	85 <sup>3)</sup>	85	85
Mindestanzahl an Proben je Untersuchungsjahr im Rahmen der Eigenüberwachung				
BSB <sub>5</sub>	6	12	52	104
CSB	12	26	104	260
TOC	-	-	26	52
NH <sub>4</sub> -N	52	104	156	365
Ges.geb.N	-	-	26	52
Gesamt-P	-	52 <sup>3)</sup>	104	260

- 1) gilt bei einer Abwassertemperatur >12°C im Ablauf
- 2) gilt bei einer Abwassertemperatur >8°C im Ablauf
- 3) nur bei Anlagen > 1.000 EW<sub>60</sub>
- 4) Anlagen > 10.000 EW<sub>60</sub> im Einzugsgebiet von Seen 0,5 mg/l

Wie die Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes gezeigt haben, besteht kein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen Reinigungsleistung und den Betriebs-

kosten, worauf in Kapitel 4.11 noch eingegangen wird. Da die Personalkosten des Labors als dritthöchste Kostenposition der Betriebskosten identifiziert wurden (siehe Kapitel 4.8.4), ist davon auszugehen, dass die gesetzlichen Vorgaben für die Eigenüberwachung auch entsprechende Kosten verursachen. Die Akzeptanz bei den Benchmarkingteilnehmern ist, unabhängig vom direkten Zusammenhang der gesetzlichen Vorgaben mit den Betriebskosten, höher, wenn die Vergleichspartner innerhalb der Gruppe die gleichen gesetzlichen Voraussetzungen haben.

Nimmt man die gesetzlichen Größenklassen als Grundlage für eine Benchmarking-Gruppeneinteilung, so stellt sich aus organisatorischer Sicht die Frage nach der Anzahl an Kläranlagen in der jeweiligen Größenklasse.

In Abbildung 26 ist die Summenkurve der österreichischen Kläranlagen in Abhängigkeit der Anlagengröße dargestellt, wobei die Grenzen der Größenklassen (>50 bis <=500 Größenklasse I, >500 bis <=5000 Größenklasse II, >5000 bis <=50000 Größenklasse III, >50000 Größenklasse IV) eingezeichnet wurden. Aus der Abbildung 26 kann abgeleitet werden, dass die Anlagengrößen in den Größenklassen II und III gleichmäßig verteilt sind. In die Größenklasse IV, Anlagen größer 50.000, fallen insgesamt 60 kommunale Kläranlagen in Österreich, größer 200.000 EW-Ausbau sind in Österreich nur noch 12 kommunale Kläranlagen vorhanden.

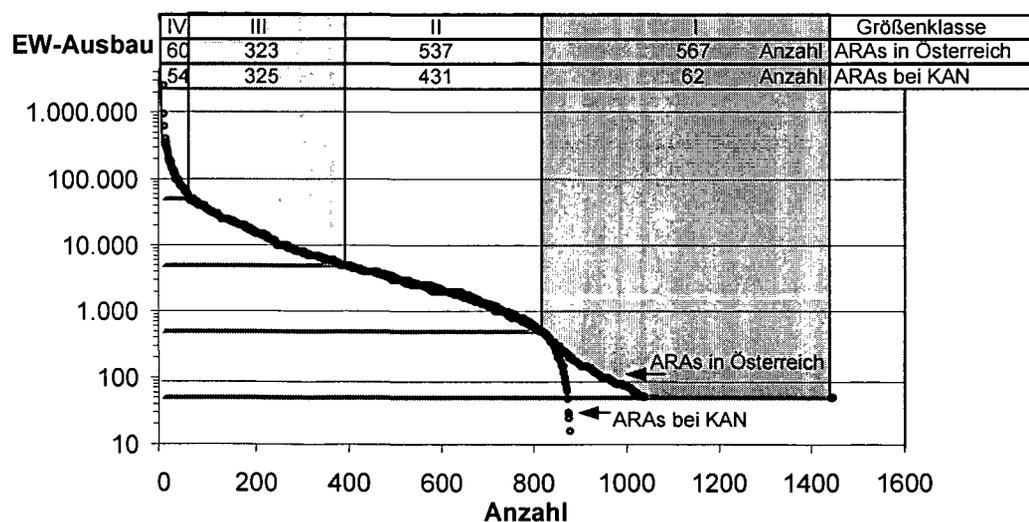


Abbildung 26: Anzahl an Kläranlagen in Abhängigkeit der Ausbaugröße in Österreich und der Kläranlagen, die an den Kläranlagennachbarschaften (= KAN) des ÖWAV teilnehmen.

Datenquelle: Kläranlagendatenbank des Bundes (BMLFUW/Umweltbundesamt) Datenstand 31.12.2001, (ÖWAV, 2003)

Bei den Kläranlagen der Größengruppe I ist die Gesamtanzahl zu den Stichtagen von 567 zwar bekannt, aufgrund von Sammelnennungen kann jedoch über die genaue Verteilung der Ausbaugrößen keine Aussage gemacht werden.

Vergleicht man die Anzahl der Kläranlagen der jeweiligen Größengruppe in Österreich mit der Anzahl an Kläranlagen, die an den vom österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (= ÖWAV) organisierten Kläranlagennachbarschaften (= KAN) teilnehmen, so kann festgestellt werden, dass in den Größenklassen II, III und IV mehr als 80 Prozent aller Kläranlagen KAN-Mitglieder sind. Dies ist für die praktische Durchführung eines Benchmarking in Österreich insofern von Bedeutung, da KAN-Mitglieder zur jährlichen Ausarbeitung des so genannten Kläranlagenzustandsberichtes angehalten werden, womit die für das Benchmarking erforderlichen technischen Daten in sehr ähnlicher Weise bereits aufbereitet zur Verfügung stehen.

#### 4.7.2 Verfahrenskonzeption

Das in Abbildung 5 dargestellte Prozessmodell mit vier Hauptprozessen und drei Hilfsprozessen sieht einen eigenen Prozess *Schlammeindickung und Stabilisierung* vor. Da die Kosten der Stabilisierung des Schlammes nur bei Anlagen mit getrennter Stabilisierung sinnvoll erfasst werden können, ist die Anwendung des genannten Prozessmodells für Kläranlagen mit simultaner aerober Stabilisierung nicht zweckmäßig. Analoges gilt für die Teilprozesse 3.1 *Überschussschlammeindickung* und 4.1 *Schlammwässerung*.

Bei Anlagen, die diese Verfahrensschritte nicht aufweisen, können auch keine spezifischen Kosten dieser Prozesse berechnet werden. Die Festlegung der Gruppengrenzen sollte daher nicht nur auf die Vergleichbarkeit der Kosten Rücksicht nehmen, sondern so gewählt werden, dass möglichst viele Anlagen mit gleicher Verfahrenskonzeption zusammengefasst werden.

In Abbildung 27 wurde daher ausgewertet, welche prozentuellen Anteile die Stabilisierungsart Faulung, getrennte aerobe Stabilisierung sowie simultane bzw. andere Stabilisierung ausmachen, wenn man die Anlagen in Größengruppen von jeweils 5.000 EW-Ausbau unterteilt. Unter simultane bzw. andere Stabilisierungsarten wurden jene Anlagen zusammengefasst, bei denen die Kosten für die Stabilisierung sowohl im Betrieb als auch in der Errichtung meist nur abgeschätzt werden können. Dies trifft beispielsweise neben simultan stabilisierenden Anlagen auch auf Anlagen mit einem Emscherbrunnen zu.

Die Auswertung zeigt, dass bei weniger als 20 % der Anlagen kleiner als 15.000 EW-

VERGLEICH DER ANLAGEN IN GRÖßENGRUPPEN

Ausbau die Stabilisierung mit Hilfe einer mesophilen Faulung oder einer getrennten aeroben Stabilisierung erfolgt. Auch bei Anlagen zwischen 15.000 und 20.000 EW-Ausbau liegt der Anteil der getrennten Stabilisierung noch unter 50 Prozent. Ab einer Anlagengröße von > 20.000 EW-Ausbau überwiegen die Anlagen mit Faulung. Gesondert darauf hingewiesen wird, dass der geringe Anteil an Anlagen mit Faulung in manchen Größengruppen (Bsp.: 65.000 bis 70.000 EW-Ausbau) mit der geringen Stichprobe in der Gruppe zusammenhängt. Deshalb wurde die Anzahl an Kläranlagen der jeweiligen Gruppe am oberen Rand der Balken angegeben.

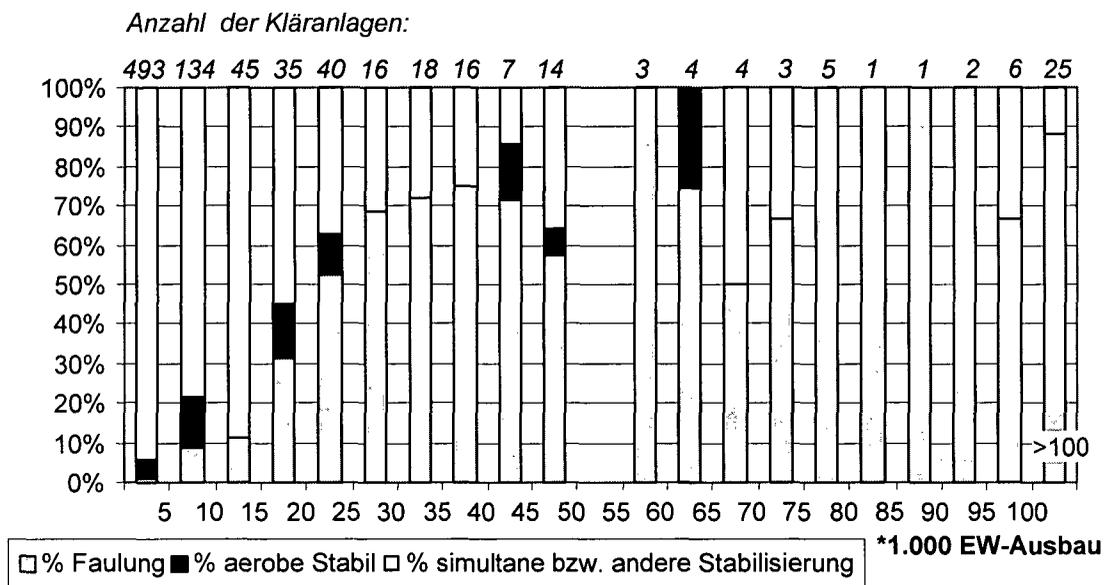


Abbildung 27: Anteil der Anlagen mit Faulung, aerober Stabilisierung sowie simultaner bzw. anderer Stabilisierung in Abhängigkeit der Größen

Der in Abbildung 27 dargestellten Auswertung liegen die Angaben der KAN-Mitglieder zugrunde (ÖWAV, 2003), die vor allem in den Größenklassen I bis III nach 1.AEVkA sehr repräsentativ sind. Wie die Abbildung 26 gezeigt hat, sind mehr als 80 Prozent aller österreichischen Kläranlagen dieser Größenklassen KAN-Mitglieder.

Um das Prozessmodell den vorwiegenden Bedürfnissen der jeweiligen Gruppe anpassen zu können, muss daher zusätzlich zu den Gruppengrenzen aufgrund der gesetzlichen Vorgaben bei 20.000 EW-Ausbau eine zusätzliche Gruppengrenze gezogen werden.

### 4.7.3 Degressive Entwicklung der spezifischen Kosten mit der Anlagengröße

Die in Abbildung 28 dargestellten Betriebskosten stellen einerseits die Kostenkurve dar, die im Zuge der Studie Abwasserentsorgung Lainsitztal entwickelt wurde (Kroiss, 1996), wobei abgerechnete Kläranlagenprojekte vom Bundesland Niederösterreich als Basis der Auswertung verwendet wurden. Andererseits wurden in die Abbildung 28 die spezifischen Betriebskosten, die im Zuge des Benchmarking-Forschungsprojektes (Kroiss et al., 2001) ermittelt wurden, eingezeichnet. Die Betriebskosten wurden bei der Lainsitztalstudie auf EW-Ausbau bezogen, beim Benchmarkingforschungsprojekt auf den normierten Einwohnerwert (EWnorm-Ausbau).

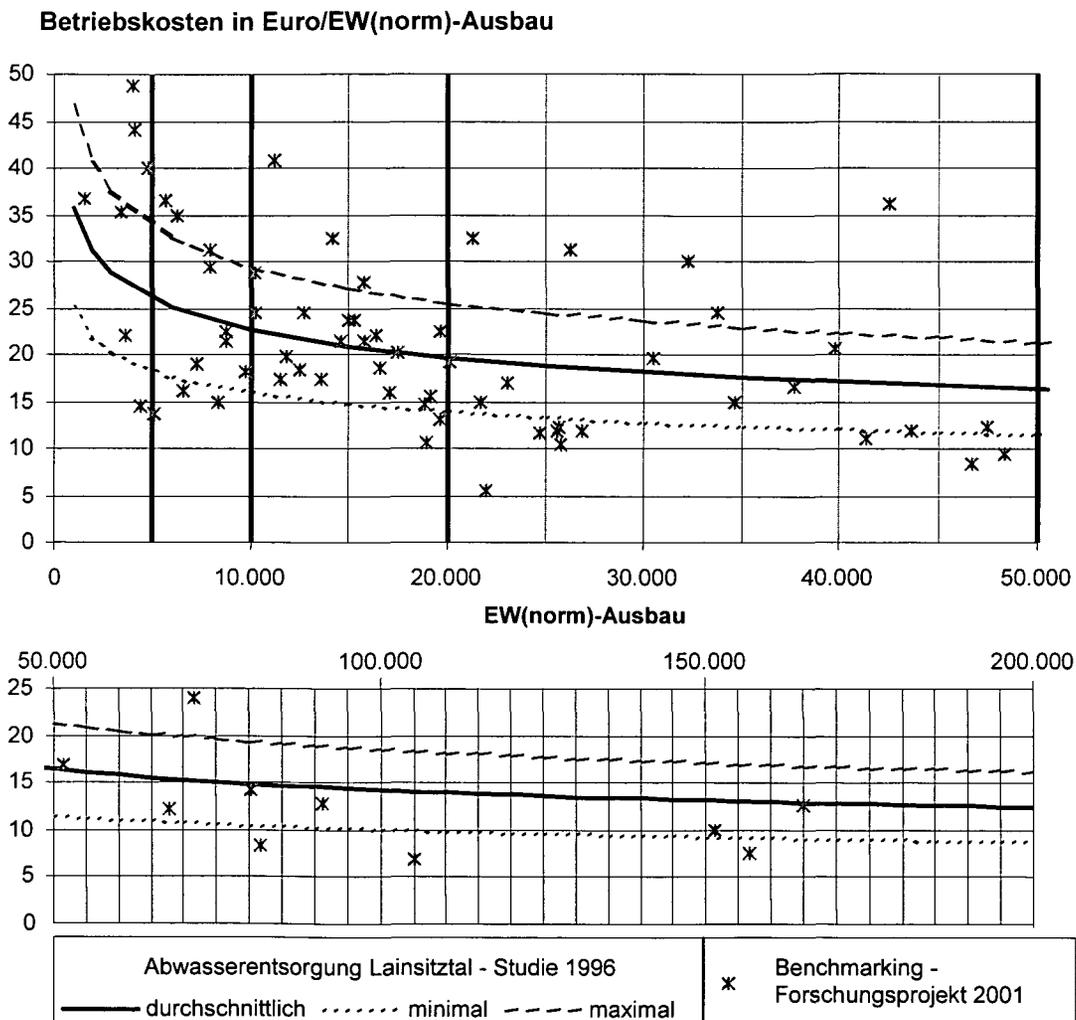


Abbildung 28: Degressive Entwicklung der Betriebskostenkurve, welche im Zuge der Studie Abwasserentsorgung Lainsitztal entwickelt wurde, verglichen mit den ermittelten spezifischen Betriebskosten beim Benchmarking-Forschungsprojekt 2001

Der normierte Einwohnerwert wurde eingeführt, um das Problem der unterschiedlichen

Reinigungsziele der untersuchten Anlagen zu lösen. Es wurde eine normierte Ausbaugröße der biologischen Reinigungsstufe errechnet, wobei ermittelt wurde, welche theoretische Leistungsfähigkeit in EW die vorhandenen Volumina einer Anlage unter Einhaltung der Grenzwerte nach 1.AEVkA aufweisen.

Bei beiden Studien ist die Abnahme der Betriebskosten mit der Anlagengröße im gleichen Ausmaß zu verzeichnen. Aus den Ergebnissen der Benchmarking Studie kann auf vergleichsweise größere Kosten von Anlagen kleiner 10.000 EW-Ausbau geschlossen werden, wohingegen die Kosten der größeren Anlagen tendenziell unter jenen der Lainsitztalstudie liegen.

Zieht man die Gruppengrenzen bei 500 EW-, 5.000 EW- und 50.000 EW-Ausbau aufgrund der gesetzlichen Vorgaben und führt man eine weitere Grenze bei 20.000 EW-Ausbau aufgrund der verfahrenstechnischen Gegebenheiten ein, so sieht man nur noch in der Gruppe von 5.000 bis 20.000 EW eine signifikante Abnahme der spezifischen Kosten. Aufgrund der degressiven Entwicklung der spezifischen Kosten mit der Anlagengröße ist es daher begründbar, eine weitere Gruppengrenze bei 10.000 EW-Ausbau zu setzen.

#### **4.7.4 Größengruppeneinteilung und Prozessmodell**

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich aufgrund der beschriebenen Gruppengrenzen bei 500 EW-, 5.000 EW-, 10.000 EW-, 20.000 EW- und 50.000 EW-Ausbau insgesamt sechs Gruppen für Kläranlagen größer 50 EW-Ausbau ergeben. Wie in Abbildung 29 schematisch dargestellt ist, findet das in Kapitel 4.2 vorgestellte Prozessmodell mit 4 Hauptprozessen und zwei Hilfsprozessen ab einer Kläranlagengröße von 20.000 EW-Ausbau Anwendung. Ebenso konnte gezeigt werden, dass in Österreich ein sehr geringer Prozentsatz der Kläranlagen unter 20.000 EW-Ausbau eine getrennte Stabilisierung, für die die getrennte Erfassung des Prozesses 3 sinnvoll ist, hat. Zusätzlich kann aufgrund der Ergebnisse der Bezugsgrößenanalyse davon ausgegangen werden, dass die Kostenaufteilung auf die Prozesse 2 und 3 mit großen Unsicherheiten verbunden ist.

Für den Vergleich in der Größengruppe 4 (10.000 bis 20.000 EW-Ausbau) müssen daher die Hauptprozesse 2 und 3 zusammengefasst werden. Anlagen, die in diese Gruppe fallen und eine getrennte Stabilisierung aufweisen, können den Prozess 3 separat erfassen, um diesen Prozess mit anderen Anlagen vergleichen zu können. Für den Vergleich mit simultan stabilisierenden Anlagen ist aber auch die gemeinsame Erfassung der beiden Prozesse ausreichend.

VERGLEICH DER ANLAGEN IN GRÖßENGRUPPEN

50	500	5.000	10.000	20.000	50.000	EW-Ausbau
I		II		III		IV
						Größengruppen der 1.AEVkA
				Unterteilung aufgrund verfahrenstechnischer Gegebenheiten		
				Unterteilung zum Ausgleich der degressiven Kostenentwicklung		
1	2	3	4	5	6	Benchmarkinggrößengruppen
Hauptprozess		Hilfsprozess	Hauptprozess		Hilfsprozess	
H2+3		4	I+II			
1		2+3	4	I	II	
1		2	3	4	I	II

Abbildung 29: Größengruppeneinteilung beim Benchmarking und angepasste Prozessmodelle

Die prozessorientierte Kostenrechnung der Anlagen der Gruppe 4 unterscheidet sich von jenen der Gruppen 5 und 6 darin, dass die Kostenstellen *mechanisch biologische Abwasserreinigung* und *Eindickung und Stabilisierung* zusammengelegt werden können. Um den Anforderungen der Anlagen kleiner 10.000 EW-Ausbau Rechnung zu tragen, wurde für die Größengruppen 1, 2 und 3 ein vereinfachtes Prozessmodell gewählt, das aus nur zwei Hauptprozessen und einem Hilfsprozess besteht. In diesen Gruppen werden die Hauptprozesse *mechanisch biologische Abwasserreinigung und Schlammstabilisierung* sowie *weitergehende Schlammbehandlung* unterschieden und obligatorische und fakultative Hilfsprozesse zusammengefasst. Die Zusammenfassung der Prozesse ist vor allem in Hinblick auf die Vereinfachung der Kosten- und Arbeitszeiterfassung erforderlich und sinnvoll.

Da beim Benchmarking-Forschungsprojekt keine Kläranlagen kleiner 5.000 EW-Ausbau untersucht wurden, kann für die Gruppen 1 und 2 nicht ausgeschlossen werden, dass dort eine weitere Zusammenfassung der Prozesse zielführend sein kann.

Auch für Anlagen größer 100.000 EW-Ausbau ist der Detaillierungsgrad der Benchmarkinggrößengruppe 6 mit vier Hauptprozessen, wobei die Prozesse 3 und 4 in jeweils zwei Teilprozesse untergliedert und eine Dreiteilung der Hilfsprozesse vorgenommen wurde, ausreichend. Aufgrund der zum Teil wesentlich höheren Komplexität von großen Kläranlagen und der ebenfalls noch fehlenden Erfahrung in dieser Größenordnung muss die organisatorische Zusammenfassung der Kläranlagen größer 100.000 EW-Ausbau ins Auge gefasst werden. Die Untergliederung der Benchmarkinggruppe 6 ist nicht in Hinblick auf eine weitere Kostendegression in Erwägung zu ziehen, sondern vielmehr aufgrund organisatorischer Besonderheiten von Großkläranlagen. Ein weiterer Aspekt, auf den in dieser Arbeit jedoch nicht vertiefend eingegangen werden wird, ist der Vergleich von Großkläranlagen mit großen Industriekläranlagen.

#### 4.8 Entwicklung einer Benchmarking-Kennzahlensystematik

Ein Prozess ist nur dann beherrschbar, wenn er messbar ist. Nur wenn etwas messbar ist, ist es kontrollierbar und wenn etwas kontrollierbar ist, kann es auch verbessert werden (Hinterhuber, 1994). Unter messbar versteht Hinterhuber nicht messtechnisch erfassbar, sondern vielmehr, dass etwas mit Hilfe eines Wertesystem bewertet werden kann. Wesentlich für das Benchmarking ist daher die Definition von bewertbaren (= messbaren) Kenngrößen, nach denen die eigene Organisation einem unternehmensübergreifenden Vergleich unterzogen werden kann. Die Erhebung prozessorientierter Kennzahlen, wie z.B. Kosten oder Qualitätsgrößen, ermöglicht den quantitativen Vergleich mit ausgewählten Benchmarkingpartnern (Scheer et al., 1996).

Im Folgenden wird daher eine Kennzahlensystematik vorgestellt, die von den in Kapitel 4.2 vorgestellten Prozessdefinitionen mit Hilfe von Input- und Outputgütern, Effektivitäts- und Effizienzkennzahlen ausgeht. Zusätzlich wurden sowohl die bereits angesprochenen Kennzahlen der International Water Association (IWA) als auch die von der ATV-DVWK veröffentlichten „Hinweise zur Anwendung von Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen“ (ATV-DVWK, 2002) bei der Zusammenstellung der Kennzahlen berücksichtigt. Auf das Kennzahlensystem der IWA „Performance Indicators for Wastewater Services“ (Matos et al., 2003) und die Überleitung von Benchmarkingkennzahlen in die IWA-Systematik wird im Kapitel 4.8.5 näher eingegangen.

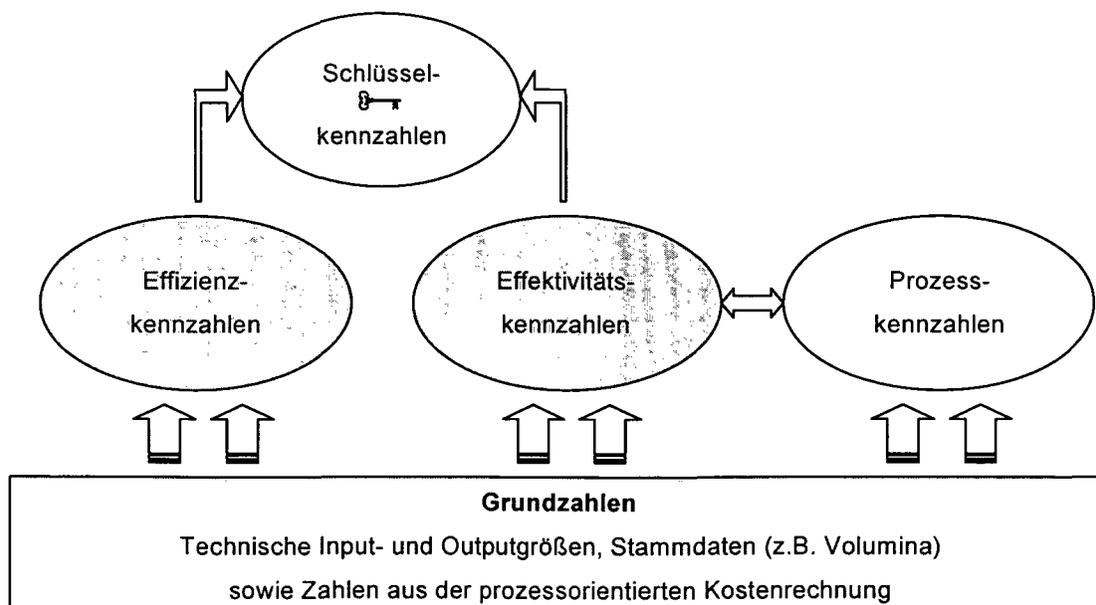


Abbildung 30: Kennzahlensystematik (abgeändert nach Zerres 2000)

In Anlehnung an Zerres (2000) werden Kennzahlen aus Grundzahlen berechnet, wobei die Grundzahlen als quantitative Information einer kommunalen Kläranlage bezeichnet

werden, die nicht weiter aufzuschlüsseln sind und in der Regel durch eine absolute Zahl dargestellt werden.

Die technischen Grundzahlen beim Benchmarking stellen die Input- und Outputgüter der Teilprozesse (siehe Kapitel 4.8.1) sowie die technischen Stammdaten, beispielsweise das Volumen der Belebungsbecken, dar. Die wirtschaftlichen Grundzahlen werden in der prozessorientierten Kostenrechnung systematisch erfasst und wurden im Kapitel 4.3 bereits beschrieben. Sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Grundzahlen bilden die Basis für die Berechnung der Effizienz- und Effektivitätskennzahlen sowie der Prozesskennzahlen. Die Schlüsselkennzahlen stellen letztlich eine Zusammenschau von Kennzahlen mit hoher Steuerungsrelevanz dar. Sie werden durch Selektion oder Aggregation gebildet und aus den Effizienz- und Effektivitätskennzahlen abgeleitet. Die Schlüsselkennzahlen werden in den Tabellen der Effizienz- und Effektivitätskennzahlen mit einem Schlüssel symbolisiert dargestellt und in Kapitel 4.8.4 beschrieben.

#### 4.8.1 Technische Grundzahlen in Form von Input- und Outputgütern

In Abbildung 31 sind am Beispiel einer Kläranlage mit Vorklärung, Biologie- und Schlammfäulung, inklusive Faulgasnutzung in einem BHKW, die Input- und Outputgüterflüsse der Prozesse einer Kläranlage dargestellt. Mit Hilfe dieser Abbildung soll dargestellt werden, welche technischen Grundzahlen erhoben werden müssen, um die Güterströme einer Kläranlage beschreiben zu können. Die Input- und Outputgüter eines Prozesses sind in einer Spalte angeordnet, wobei Inputgüter oberhalb der dicken Linie, Outputgüter der Prozesse unterhalb dieser Linie angeordnet sind. Inputgüter eines Prozesses können entweder Inputgüter der Kläranlage oder Outputgut eines anderen Prozesses sein. Inputgüter des Gesamtsystems Kläranlage sind oberhalb der ersten strichlierten Linie dargestellt, Outputgüter der Kläranlage unterhalb der zweiten strichlierten Linie. Verlässt ein Outputgut eines Prozesses nicht die Kläranlage, so ist dies durch einen waagrechten Pfeil in jener Spalte des Prozesses dargestellt, für den dieses Gut einen Input darstellt. Am Beispiel des Teilprozesses 3.1 *Überschussschlammindickung* kann aus der Abbildung 31 abgeleitet werden, dass Fremdschlamm, Konditionierungsmittel und elektrische Energie die Inputgüter sowohl für die Kläranlage als auch für den Prozess darstellen. Überschussschlamm als Output des Prozesses 2 ist ebenfalls ein Inputgut des Teilprozesses 3.1. Als Outputgüter sind eingedickter Überschussschlamm und Trübwasser zu nennen, die jeweils Inputgut eines anderen Prozesses sind. Direkte Outputgüter der Kläranlage aus dem Prozess 3.2 gibt es nicht.

ENTWICKLUNG EINER BENCHMARKING-KENNZAHLENSYSTEMATIK

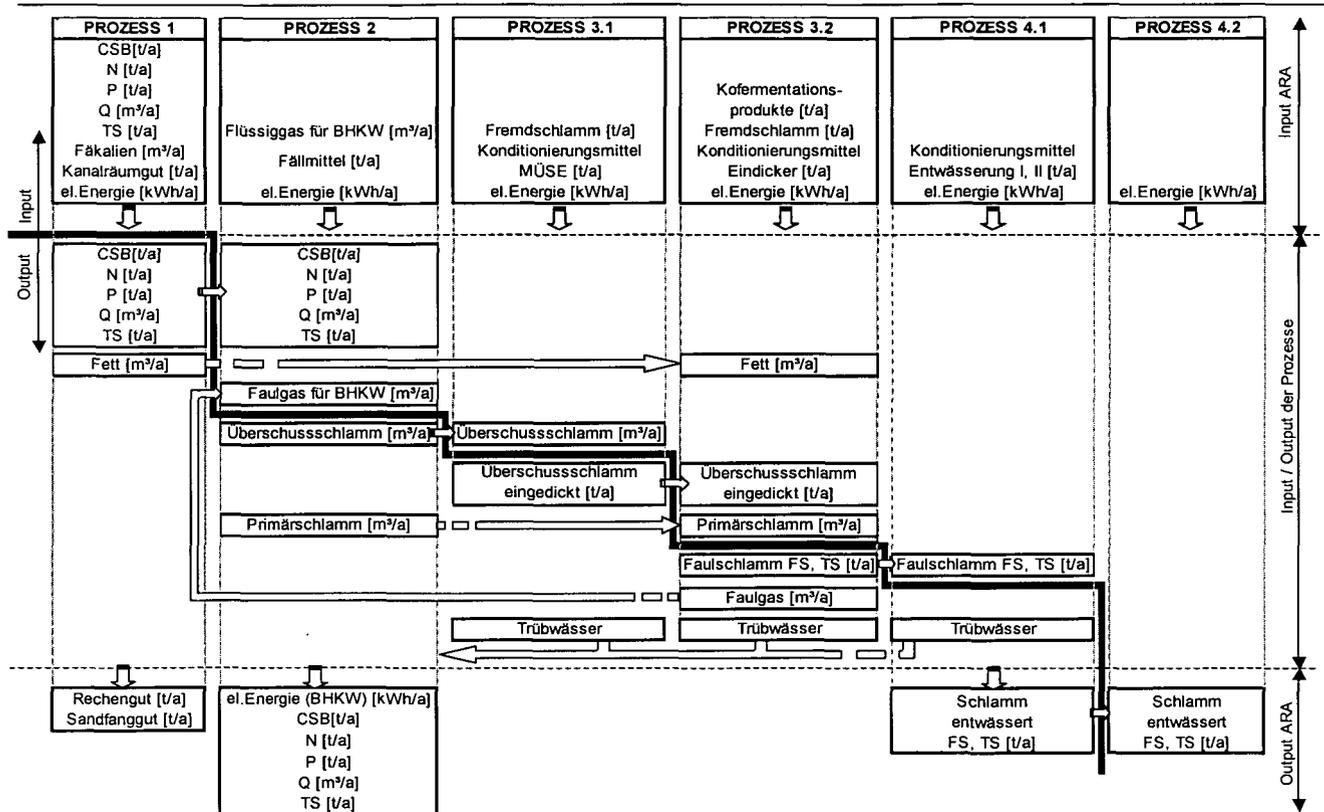


Abbildung 31: Input- und Outputgüter der Prozesse am Beispiel einer Kläranlage mit Schlammfaulung

#### 4.8.2 Effizienzkennzahlen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Prozesse

Die wirtschaftlichen Kennzahlen oder auch Effizienzkennzahlen geben darüber Auskunft, ob ein Prozess seinen Zweck wirtschaftlich erfüllt. Da für die Wirtschaftlichkeit eines Prozesses nicht nur die Kosten entscheidend sind, werden neben den spezifischen Kosten auch verschiedene technische Kennzahlen errechnet. Bei der Zusammenstellung der Effizienzkennzahlen in der Tabelle 7 wurden jene Prozesse, für die diese Kennzahl von Interesse ist, mit einem Haken gekennzeichnet. Jene Effizienzkennzahlen, die als Schlüsselkennzahlen ausgewählt wurden (siehe Kapitel 4.8.4), sind mit einem Schüsselsymbol gekennzeichnet.

Tabelle 7: Effizienzkennzahlen der Prozesse

EFFIZIENZKENNZAHLEN (Wirtschaftlichkeit)	PROZESS						
	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	ARA
spez. Prozesskosten [Euro/EW-CSB110]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
spez. Material und Stoffkosten [Euro/EW-CSB110]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
spez. Personalkosten [Euro/EW-CSB110]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
spez. Kosten von Leistungen durch Dritte [Euro/EW-CSB110]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
spez. Energiekosten [Euro/EW-CSB110]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
spez. Reststoffentsorgungskosten [Euro/EW-CSB110]	✓	✓	-	-	-	✓	✓
spez. sonstige betriebliche Kosten [Euro/EW-CSB110]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
spez. Entsorgungskosten [Euro/t-Rechengut]	✓	-	-	-	-	-	✓
spez. Entsorgungskosten [Euro/t-Sandfanggut]	✓	-	-	-	-	-	✓
spez. Entsorgungskosten [Euro/t FS]	-	-	-	-	-	✓	✓
spez. Konditionierungsmittelkosten [Euro/t-KondiMittel]	-	-	✓	-	✓	-	✓
spez. Energiekosten [Euro/kWh]	-	-	-	-	-	-	✓
spez. Konditionierungsmittelkosten [Euro/t-(Ü)S-FS]	-	-	✓	-	✓	-	✓
spez. Energieverbrauch [kWh/EW-CSB-110*a]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
spez. Energieverbrauch [kWh/t-(Ü)S-FS]	-	-	✓	-	✓	✓	-
spez. Energieverbrauch Belüftung [kWh/EW-CSB-110*a]	-	✓	-	-	-	-	✓
spez. Energieverbrauch Belüftung [kWh/CSBabgebaut*a]	-	✓	-	-	-	-	✓
normierte Pumpenergie [kWh/m <sup>3</sup> *m]	✓	✓	-	-	-	-	✓
spez. Rührenergie [W/m <sup>3</sup> ]	-	✓	-	✓	-	-	-
Laufzeit [h/d]	-	-	✓	-	✓	-	-
Auslastung [%]	-	✓	✓	-	✓	-	✓

Die im ersten Block in Tabelle 7 dargestellten Effizienzkennzahlen sind spezifische Kosten, welche jeweils auf den Einwohnerwert EW-CSB110 bezogen wurden. Der Einwohnerwert EW-CSB110 wird hierfür aus der durchschnittlichen CSB-Fracht des Jahres berechnet, wobei davon ausgegangen wird, dass ein Einwohnerwert 110 g CSB je Tag entspricht, was der von einem Einwohner verursachten Verschmutzung in Gramm entspricht.

Der zweite Block von Tabelle 7 beinhaltet spezifische Kosten, die einerseits auf zu entsorgendes Gut bezogen wurden, andererseits auf eingesetzte Stoffmittel, wie beispielsweise Konditionierungsmittel oder elektrische Energie. Die spezifischen Konditionierungsmittelkosten je Tonne Überschussschlamm (Feuchtsubstanz = FS) beziehungsweise je Tonne zu entwässernden Schlammes – die Einheit wurde mit *Euro/t-(Ü)S-FS* abgekürzt - soll darüber Auskunft geben, wie hoch der Konditionierungsmittelkosteneinsatz im Verhältnis zu der entwässernden Schlammmenge ist.

Im dritten Block von Tabelle 7 sind jene Effizienzkennzahlen zusammengefasst, bei denen nicht die Kostenabweichung, sondern die technische Effizienz, vor allem in Hinblick auf den Stromverbrauch, beurteilt werden kann. Die wichtigste Kennzahl diesbezüglich ist der spezifische Energieverbrauch je EW-CSB110, der für alle Prozesse von Interesse ist. Ähnlich wie bei den Konditionierungsmittelkosten je Tonne Schlamm ist es auch von Interesse, wie viel Energie je Tonne Überschussschlamm (Prozess 3.2), je Tonne zu entwässernden Schlammes (Prozess 4.1) beziehungsweise je Tonne entwässerten Schlammes (Prozess 4.2) benötigt wird. Da der Energieverbrauch vor allem für die Sauerstoffzufuhr aufgewendet wird, ist der spezifische Energieverbrauch für die Belüftung – einerseits bezogen auf EW-CSB110, und andererseits bezogen auf den abgebauten CSB – eine wichtige Kennzahl für die Effizienz einer Kläranlage.

Die normierte Pumpenergie wird in Energieverbrauch je gefördertem Kubikmeter Wasser und Meter Förderhöhe [ $\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ ] angegeben. Die berechnete Kennzahl gibt über die Effizienz der Wasserförderung Auskunft, ist aber vor allem in Hinblick auf die Plausibilität der für die Berechnung verwendeten Zahlen aussagekräftig. Für das Heben von einem Kubikmeter Wasser um einen Meter ist zur Überwindung der Erdanziehung eine Energie von 0,367 kWh erforderlich. Aus dem Verhältnis der errechneten normierten Pumpenergie und der theoretisch erforderlichen Energie kann daher ein Wirkungsgrad errechnet werden. Liegt der errechnete Wirkungsgrad in einem unplausiblen Bereich, so müssen die Ausgangsdaten (Energieverbrauch, Wassermenge und Förderhöhe) auf Fehler untersucht werden.

Der Energieverbrauch für die Umwälzung in den Belebungsbecken stellt nach der Belüftung den zweithöchsten Energieverbrauch dar. Die volumenspezifische Rührenergie in kWh je Kubikmeter Belebungsbeckenvolumen stellt daher eine wesentliche Kennzahl für die Kontrolle des Energieverbrauches dar.

Wie beim Benchmarking Forschungsprojekt gezeigt werden konnte, steigen die belastungsspezifischen Kosten mit sinkender Auslastung einer Kläranlage deutlich an. Die Auslastung einer Kläranlage, aber auch von einzelnen Anlagenteilen, spielt daher für die

Effizienz einer Anlage eine entscheidende Rolle. Die Laufzeit der Entwässerungsmaschinen und die Auslastung in Prozent stellen Kennzahlen dar, mit denen die Nutzung der zur Verfügung stehenden Kapazität überprüft werden kann. Die Berechnung der Laufzeit, sowohl in Stunden je Tag als auch in Prozent, muss im Durchschnitt über ein Jahr betrachtet werden.

**Auslastung einer Kläranlage:**

Die Auslastung einer Kläranlage ist beim Benchmarking vor allem in Hinblick auf den Zusammenhang mit den Kosten von Interesse. Die Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes haben gezeigt, dass die belastungsspezifischen Jahreskosten mit abnehmender Auslastung ansteigen. Dies konnte auf den deutlichen Anstieg der belastungsspezifischen Kapitalkosten mit abnehmender Belastung zurückgeführt werden. Der Einfluss der Auslastung auf die Betriebskosten ist erwartungsgemäß niedriger.

Da der Begriff der Auslastung weder international noch in Österreich eindeutig definiert ist, wird im Folgenden erläutert, was nach Auffassung des Autors unter dem Begriff der Auslastung verstanden wird und wie die Berechnung erfolgen sollte. Eine ausführliche Begriffsdefinition kann der Literatur entnommen werden (Lindtner et al., 2003). Ein Vergleich der Auslastung ist nur dann einheitlich möglich, wenn auch die Anforderungen an die Reinigungsleistung bzw. der Stand der Technik einheitlich sind.

- ➔ Eine Kläranlage ist dann zu 100 Prozent ausgelastet, wenn die laut Wasserrechtsbescheid geforderten Ablaufwerte mit den vorhandenen Volumina rechnerisch eingehalten werden können bzw. wenn der nach dem Stand der Technik für die Bemessung maßgebende Lastfall (entscheidend sind die Temperatur und die Bemessungsbelastung) im Untersuchungsjahr auftritt.
- ↓ Ist eine Anlage zu weniger als 100 Prozent ausgelastet, wird mit der Differenz auf 100 Prozent eine mögliche Mehrleistung der Anlage assoziiert werden.
- ↑ Ist eine Anlage zu mehr als 100 Prozent ausgelastet, ist dies ein Zeichen dafür, dass die Anlage bezogen auf die Belastung des Untersuchungsjahres, rein rechnerisch „überlastet“ ist. Dies ist jedoch nicht zwingend mit einer Grenzwertüberschreitung verbunden.

Aufgrund der vorangegangenen grundsätzlichen Überlegungen zur Auslastung und der anschließenden Gedanken wird für die Auslastung folgende Berechnung definiert:

Gleichung 8 
$$\text{Auslastung [\%]} = \frac{\text{maßgebende Belastung im Untersuchungsjahr [kg/d]} + 100}{\text{Bemessungsbelastung [kg/d]}}$$

Die Bemessungsbelastung kann laut Arbeitsblatt A-131 (ATV, 2000) als Mittelwert einer Periode gebildet werden, die dem Schlammalter entspricht. Dies entspricht bei Anlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation dem 14-Tage-Mittelwert und bei Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung dem 4-Wochen-Mittelwert. Stehen für die Berechnung der maßgebenden Belastung nicht ausreichend viele Daten zur Verfügung, kann die an 85 % der Tage unterschrittene Fracht herangezogen werden.

Für die maßgebende Belastung im Untersuchungsjahr gilt dies grundsätzlich ebenso. Um jedoch für alle Anlagentypen eine möglichst einfach und einheitlich ermittelbare maßgebliche Belastung zu erhalten, wurde in der erwähnten Publikation (Lindtner et al., 2003) untersucht, ob die Verwendung eines Perzentilwertes für die Berechnung der Auslastung sinnvoll und möglich ist. Es wurde dabei herausgefunden, dass der 85%-Wert der Kläranlagenbelastung eines Jahres die maßgebende Belastung als Näherungswert für alle Anlagentypen sehr gut widerspiegelt und zusätzlich mit Hilfe der Datenverarbeitung sehr einfach berechnet werden kann.

Zusammenfassend lässt sich daher feststellen, dass für die Berechnung der Auslastung einer Kläranlage ausschließlich die organische Kohlenstofffracht als maßgeblich angesehen wird. Für die Berechnung der Auslastung einer Kläranlage wird demnach das Verhältnis der maßgebenden Belastung im Untersuchungsjahr (entspricht ca. dem 85 % Perzentil der organischen Belastung) zur Bemessungsbelastung (EW-Ausbau) in Prozent definiert. Entspricht eine Kläranlage nicht dem Stand der Technik, muss die für die Berechnung zu verwendende Bemessungsbelastung mit Hilfe einer „Nachbemessung“ festgelegt werden. Bei einer Nachbemessung muss in analoger Vorgangsweise wie bei der Bemessung festgestellt werden, welche Belastung unter Berücksichtigung der auftretenden Temperaturen mit den vorhandenen Volumina nach dem Stand der Technik gereinigt werden kann.

#### 4.8.3 Effektivitätskennzahlen zur Beurteilung der Wirksamkeit der Prozesse

Die Verwendung von Prozesskosten als isolierte bzw. einzige Prozesskennzahlen weist nach Schmelzer und Sesselmann (2001) folgende Nachteile auf:

- Kostendaten stehen häufig erst mit großem zeitlichem Abstand zur Verfügung.
- Prozesskosten beruhen auf verdichteten Daten, aus denen nicht direkt die Ursache für Ineffektivitäten und Ineffizienzen ableitbar sind.
- Bei Zuordnungsproblemen von Kostenstellen zu Geschäftsprozessen ist die Aussagekraft der Prozesskosten gering.

Außerdem stellen Prozesskosten für Mitarbeiter meist abstrakte Größen dar, die keinen unmittelbaren Einblick in den operativen Prozessablauf und die Abwicklung ihrer Aufgaben gewährt. Es ist daher wesentlich, neben den Kennzahlen für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit auch Kennzahlen auszuweisen, die Mitarbeitern ein Urteil über die Funktionsfähigkeit des Prozesses ermöglichen.

In Tabelle 8 wurden daher einerseits Effektivitätskennzahlen, die über die Wirksamkeit der Prozesse Auskunft geben, und andererseits Prozesskennzahlen zusammengestellt, welche als ergänzende technische Kennzahlen für die Fachkraft von Interesse sind. Analog zur Vorgehensweise in Tabelle 7 wurden jene Prozesse gekennzeichnet, für die die jeweilige Kennzahl aussagekräftig ist, beziehungsweise jene Kennzahlen, die als Schlüsselkennzahlen ausgewählt wurden.

Der erste Block der Effektivitätskennzahlen entspricht den einwohnerwertspezifischen Outputgütern des Prozesses 1, die gleichzeitig Outputgüter der Kläranlage sind. Diese Kennzahlen sind sehr stark von Randbedingungen abhängig. Die Menge an Sandfangräumgut beispielsweise ist von der Art des Kanalsystems, dem Gefälle im Kanal, aber auch von der Effizienz des Sandfanges abhängig. Liegen die Werte unterhalb der Erfahrungswerte, so muss die Effizienz der Einrichtung hinterfragt werden. Liegen sie wesentlich über den Erfahrungswerten, so muss deren Herkunft kritisch hinterfragt werden.

Im zweiten Block sind Kennzahlen zusammengefasst, die die Wirksamkeit des Prozesses 2 beschreiben. Vorweg muss noch darauf hingewiesen werden, dass sich die Wirksamkeit des Prozesses 2 in erster Linie im Leistungskennwert ausdrückt, der ein Maß für die Restverschmutzung des Kläranlagenablaufes darstellt. Da der Leistungskennwert auch für die Gesamtanlage eine wesentliche Kennzahl ist, wird bei der Beschreibung der Effektivitätskennzahlen der Gesamtanlage noch näher darauf eingegangen. Der spezifische Primär- und Überschussschlammanfall wird in Gramm Trockensubstanz je EW-CSB110

und Tag angegeben. Da nicht die Schlammproduktion zentrale Aufgabe des Prozesses 2 ist, dient die Berechnung des spezifischen Primär- und Überschussschlammanfalles nicht primär der Überwachung der Wirksamkeit des Prozesses, sondern dient letztlich auch der Plausibilitätskontrolle der Eingangsdaten. In Zusammenhang mit dem Primärschlamm-anfall ist auch der Entferungsgrad in Prozent der Vorklärung zu sehen. Die elektrische Energie, die je Kubikmeter eingesetztem Faulgas erzeugt werden kann, ist ein Maß für die Wirksamkeit des BHKW. Die Effizienz der Phosphorentfernung kann mit Hilfe des  $\beta$ - Wertes kontrolliert werden. Der  $\beta$ -Wert errechnet sich aus dem Verhältnis von eingesetzter Wirksubstanz des Fällmittels zu fällbarem Phosphor.

Tabelle 8: Effektivitätskennzahlen der Prozesse und zugehörige Prozesskennzahlen

EFFEKTIVITÄTSKENNZAHLEN (Wirksamkeit)	PROZESS						
	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	ARA
spez. Rechengutanfall [kg/(EW-CSB110*a)]	✓	-	-	-	-	-	✓
spez. Fettanfall [m <sup>3</sup> /(EW-CSB110*a)]	✓	-	-	-	-	-	✓
spez. Sandfangräumgut [kg/(EW-CSB110*a)]	✓	-	-	-	-	-	✓
spez. Überschussschlammanfall [gTS/(EW-CSB110*d)]	-	✓	-	-	-	-	-
spez. Primärschlamm-anfall [gTS/(EW-CSB110*d)]	-	✓	-	-	-	-	-
el. Energie erzeugt (BHKW) [kWh/m <sup>3</sup> -Gas*a]	-	✓	-	-	-	-	✓
spez. Fällmittelverbrauch $\beta$ -Wert [mol WS/mol P-fällbar]	-	✓	-	-	-	-	✓
Entferungsgrad VKB [%]	-	✓	-	-	-	-	-
TS-Schlamm eingedickt [%]	-	-	✓	-	✓	-	-
spez. Flockungsmittelverbrauch [kg WS/ t-TS]	-	-	✓	-	✓	-	-
Eindickfaktor [TS-Abzug/TS-Eintrag]	-	-	✓	-	✓	-	-
spez. Faulgasmenge [l/(EW-CSB110*d)]	-	-	-	✓	-	-	-
Glühverlust des stabil. Schlammes [%]	-	-	-	✓	-	-	-
Leistungskennwert [-]	-	✓	-	-	-	-	✓
Wirkungsgrad [%] CSB, BSB, N und P	-	-	-	-	-	-	✓
Ablaufkonzentrationen CSB, BSB, N und P [mg/l]	-	-	-	-	-	-	✓
<b>PROZESSKENNZAHLEN</b>							
Schlammindex [ml/l]	-	✓	-	-	-	-	-
BSB/CSB [-]	-	✓	-	-	-	-	-
Schlammalter [d]	-	✓	-	-	-	-	-
aerobes Schlammalter [d]	-	✓	-	-	-	-	-
Aufenthaltszeit VKB [h]	-	✓	-	-	-	-	-
Faulzeit [d]	-	-	-	✓	-	-	-
org. Raumbelastung [kg oTS/m <sup>3</sup> *d]	-	-	-	✓	-	-	-
spez. Trockensubstanz [g TS/(EW-CSB110*d)]	-	-	-	✓	✓	-	-
spez. organische Trockensubstanz [g oTS/(EW-CSB110*d)]	-	-	-	✓	✓	-	-
spez. Schlammanfall [g FS/(EW-CSB110*d)] Prozessoutput	-	-	-	✓	✓	-	✓

Der dritte Block fasst Wirksamkeitskennzahlen der Prozesse 3 und 4 zusammen. Die Kennzahlen, anhand derer die Wirksamkeit der maschinellen Überschussschlamm-eindickung (=MÜSE) kontrolliert werden, und jene für die Schlamm entwässerung sind aufgrund der sehr ähnlichen Aufgabe identisch. Die Effizienz der Prozesse 3.1 und 4.1 kann aus der Kombination der Kennzahlen Eindickfaktor, Trockensubstanzgehalt nach der Eindickung und die dafür erforderliche Konditionierungsmittelmenge beurteilt werden. Die Wirksamkeit der getrennten Stabilisierung kann anhand des Glühverlustes und bei der mesophilen Faulung anhand des spezifischen Faulgasanfalles in Liter je EW-CSB110 errechnet werden.

Die Wirkungsgrade und Ablaufkonzentrationen von CSB, BSB<sub>5</sub>, Stickstoff und Phosphor sowie der Leistungskennwert charakterisieren die Reinigungsleistung und somit die Effektivität der Gesamtanlage. Der Leistungskennwert (= LW) ist eine quantitative Beurteilung der nach der Reinigung im Ablauf verbleibenden Gewässerbelastung. Er ist das Ergebnis einer Bewertungsmethode, die eine gemeinsame Bewertung der für den Gewässerschutz relevanten Ablaufparameter (CSB, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N und Pges.) ermöglicht (ÖWAV, 2000). Bei der Ermittlung der Leistungskennwerte werden die maßgebenden Einflussfaktoren (CSB, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N und Pges.) mit einem Bewertungsfaktor (der angenähert den Reziprokwerten der maximal zulässigen Ablaufkonzentrationen laut 1.AEVkA entspricht) multipliziert. Die Summe dieser 4 Bewertungsgrößen ergibt den Leistungskennwert. Durch die berücksichtigten Parameter und deren Gewichtung ist der Leistungskennwert ein Maß für folgende gewässerbeeinflussenden Faktoren: Sauerstoffzehrungspotenzial, Eutrophierungspotenzial, Fischtoxizität, hygienische Aspekte und organische Restverschmutzung.

Bei den in Tabelle 8 angeführten Prozesskennzahlen des Prozesses 2 und 3 handelt es sich um abwassertechnische Kennzahlen, die dem Betriebspersonal Auskunft über den Betriebszustand der Anlage geben. Da es sich dabei um allgemein verständliche Kenngrößen in der Abwassertechnik handelt, ist eine detaillierte Beschreibung nicht erforderlich. Im Gegensatz dazu stellen die letzten vier Prozesskennzahlen der Tabelle 8 weniger gebräuchliche Kennzahlen dar. Die einwohnerwertspezifische Menge an Trockensubstanz (TS), vor allem aber die einwohnerwertspezifische Menge an organischer Trockensubstanz (oTS) dient der Plausibilitätsprüfung. Die Fracht an TS ist beeinflusst vom Kanalsystem und schwankt daher in einem weiten Bereich. Die einwohnerwertspezifische Fracht an oTS ist vom Stabilisierungsgrad beeinflusst, schwankt jedoch in einem wesentlich schmaleren Bereich, womit sich diese Prozesskennzahl sehr gut zur Plausibilitätsprüfung der angegebenen Zulauffrachten oder umgekehrt eignet.

Wie im Kapitel 4.8.4 noch gezeigt wird, stellen die Schlammentsorgungskosten die wesentlichste Einzelposition der Betriebskosten dar. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, wie viel Schlamm je Einwohnerwert (Feuchtsubstanz) entsorgt werden muss. Weiters ist der Anfall an Trockensubstanz der Prozesse 3.2 und 4.2 von Interesse, da aus der Differenz dieser beiden Kennzahlen die Menge an Konditionierungsmitteln in der Schlammwässerung abgeschätzt werden kann.

#### **4.8.4 Schlüsselkennzahlen**

Die Schlüsselkennzahlen stellen einen eingeschränkten Kennzahlensatz dar, mit deren Hilfe ein rascher Überblick über die Wirtschaftlichkeit und Funktionsfähigkeit der Abwasserreinigungsanlage gewonnen werden kann. Vergleicht man die Schlüsselkennzahlen einer Anlage mit den Schlüsselkennzahlen der Benchmark, können daraus erste Anhaltspunkte für Effizienz- und Effektivitätssteigerungsmöglichkeiten abgeleitet werden. Da Benchmarking in erster Linie ein kaufmännisches Controllinginstrument darstellt, sind demnach die meisten Schlüsselkennzahlen Effizienzkennzahlen. Die wichtigste Schlüsselkennzahl der Effektivitätskennzahlen ist der Leistungskennwert, der, wie bereits beschrieben, ein Kriterium für die Reinigungsleistung einer Anlage darstellt. Wie die folgenden Ausführungen verdeutlichen werden, wurde neben dem Leistungskennwert der einwohnerwertspezifische Schlammanfall als weitere Schlüsselkennzahl aus dem Pool der Effektivitätskennzahlen bestimmt.

Von den Effizienzkennzahlen sind auf alle Fälle die spezifischen Betriebskosten der vier Hauptprozesse sowie die Gesamtbetriebskosten der Kläranlage als Schlüsselkennzahlen zu nennen. Für die Beurteilung der Relevanz von einzelnen Kostenpositionen im Vergleich zu den Gesamtkosten der Kläranlage wurden in Anlehnung an das Vorgehen bei einer Prioritätenanalyse (Preißler, 1995) die einzelnen Kostenpositionen, die beim Benchmarking Forschungsprojekt von jeder teilnehmenden Kläranlage angegeben wurden, aufgegliedert und untersucht. Beim Benchmarking Forschungsprojekt wurde zwischen den Kosten von vier Hauptprozessen sowie den Kosten des Labors und einer Kostenstelle Sonstiges unterschieden. Von jeder dieser Kostenstellen wurden 18 Kostenarten erhoben, womit sich in Summe 108 verschiedene mögliche Kostenpositionen je Kläranlage ergeben. Davon wurden im Durchschnitt von allen 76 Kläranlagen 77 Kostenpositionen auch tatsächlich mit Kosten belegt. Ordnet man die Kostenpositionen ihrer Größe nach und trägt diese in einer Summenkurve auf (siehe Abbildung 32), so ist daraus ersichtlich, für welchen Anteil der Betriebskosten die einzelnen Kostenpositionen verantwortlich sind. Aus der Abbildung 32 ist ersichtlich, dass im Durchschnitt aller untersuchten 76

Kläranlagen die 10 größten Kostenpositionen für 70 Prozent der Betriebskosten verantwortlich sind.

In Anlehnung an die bereits erwähnte Prioritätenanalyse (= ABC-Analyse) werden nun 15 Prozent der höchsten Kostenpositionen der Gruppe A zugeteilt, weitere 20 Prozent der Gruppe B und die verbleibenden 65 Prozent der Kostenpositionen der Gruppe C. Die Gruppenzugehörigkeit einer Kostenposition lässt somit die Relevanz der entsprechenden Kostenposition auf die Gesamtkosten erkennen.

Da 77 Kostenpositionen tatsächlich mit Kosten belegt sind und 15 Prozent der Kostenpositionen der Gruppe A zugeteilt werden, folgt daraus, dass die 12 höchsten der Gruppe A zugeteilt werden. Weitere 15 Kostenpositionen, der Reihung entsprechend, zählen zur Gruppe B und die verbleibenden 50 mit den niedrigsten Beträgen werden der Gruppe C zugeordnet.

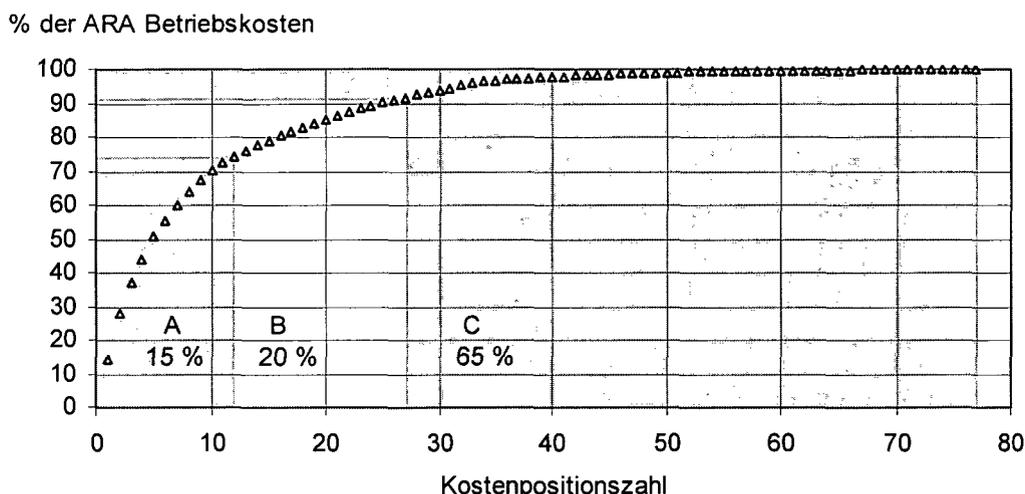


Abbildung 32: ABC-Analyse der Kostenpositionen einer Kläranlage

In der Abbildung 33 wurden die 12 Vertreter der relevantesten Kostenpositionen der Gruppe A aufgegliedert, wobei deren Mittelwert als grauer Balken und die Einzelwerte der Kläranlagen in Form von Punkten eingezeichnet wurden. Das Ergebnis der Analyse zeigt, dass die Reststoffentsorgung von Klärschlamm und der Energiebedarf für elektrischen Strom im Prozess 2 für jeweils 14 Prozent der Gesamtkosten verantwortlich sind. Die Personalkosten für den laufenden Betrieb des Labors sind mit durchschnittlich 9 Prozent an den Gesamtkosten der Kläranlage beteiligt, gefolgt von den Personalkosten für Sonstiges mit 7 Prozent der Gesamtkosten. Der hohe Anteil an Personalkosten unter der Bezeichnung Sonstiges lässt ein Zuteilungsproblem vermuten. Als fünfthöchste Kostenposition wurden die Personalkosten mit 6 Prozent für den laufenden Betrieb des Prozesses 4 berechnet. Aus der Abbildung 33 kann außerdem abgelesen werden, dass von

den 12 Kostenpositionen der Gruppe A fünf Personalkostenpositionen des laufenden Betriebes darstellen, die insgesamt 30 Prozent der Gesamtkosten umfassen.

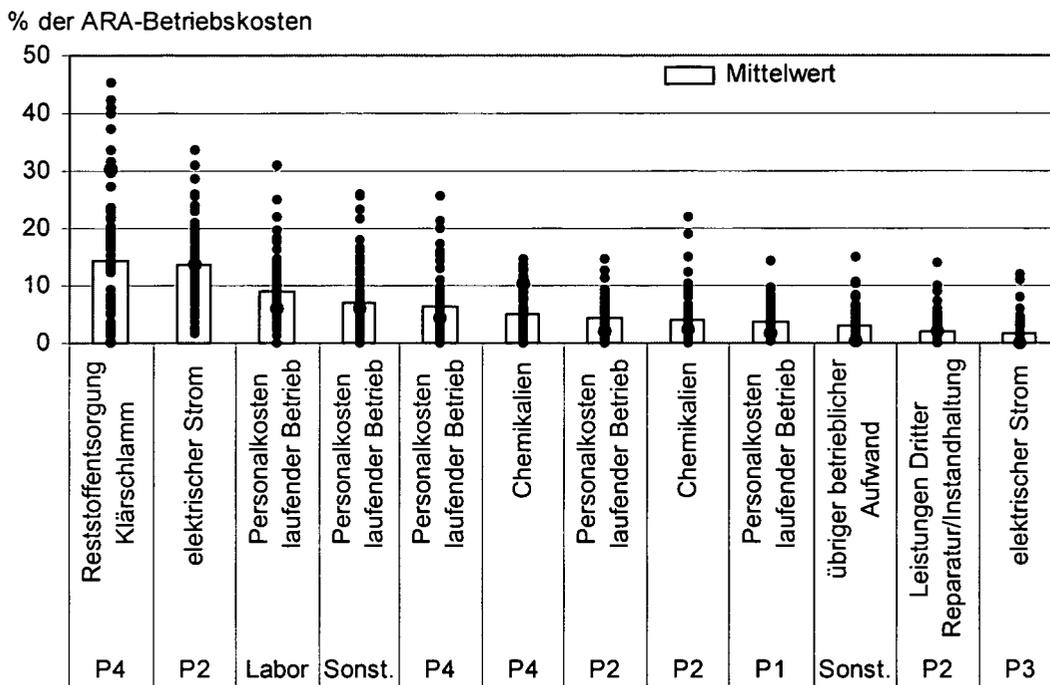


Abbildung 33: Darstellung der relevantesten Kostenpositionen (= Gruppe A der ABC-Analyse)

Als Konsequenz dieser Analysen werden die Entsorgungskosten für den Klärschlamm und der elektrische Energieverbrauch des Prozesses 2 als Schlüsselkennzahlen festgelegt. Definiert man zusätzlich die Personalkosten als Schlüsselkennzahl, so sind zirka zwei Drittel der Betriebskosten einer Kläranlage durch Schlüsselkennzahlen „überwacht“.

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Ermittlung der Kennzahlen nicht das Ziel des Benchmarking ist, sondern vielmehr sind die Kennzahlen ein Werkzeug zur Beseitigung von Ineffizienzen und Ineffektivitäten.

#### 4.8.5 Benchmark-Kennzahlen und das Kennzahlensystem der IWA

Die International Water Association (IWA) hat mit den „Performance Indicators for Wastewater Services“ ein sehr umfangreiches Kennzahlensystem vorgestellt, welches für den gesamten Bereich der Siedlungsentwässerung – Abwasserableitung und Abwasserreinigung – angewendet werden kann. Obwohl in Summe sehr viele Indikatoren berechnet und aus österreichischer Sicht vor allem große Unternehmenseinheiten damit angesprochen werden, können die Performance-Indikatoren der IWA auch für österreichische Abwasserverbände in Bezug auf den internationalen Vergleich von Interesse sein. Aufgrund der Strukturiertheit und der sehr ausführlichen Definition aller 182 Indikatoren wurde eine gute Basis für einen derartigen Vergleich geschaffen. Es erscheint daher zweckmäßig, die IWA Systematik an dieser Stelle zu erläutern und Parallelen zu den Benchmarking-Kennzahlen aufzuzeigen. Alle folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Veröffentlichung der IWA „Performance Indicators for Wastewater Services“ (Matos et al., 2003).

##### **Struktur des IWA Kennzahlensystems:**

Neben den eigentlichen Performance Indicators (PI) wurden zusätzlich so genannte Kontext-Kennzahlen festgelegt, mit deren Hilfe das Umfeld, in dem das Abwasserunternehmen tätig ist, beschrieben werden soll. Diese Kontext-Kennzahlen gliedern sich in drei Gruppen: Informationen zum Unternehmen, Informationen zur betrieblichen Struktur und Informationen zur Region, in der das Unternehmen tätig ist.

Die Performance Indikatoren selbst werden in sechs Kategorien unterteilt, wobei jede Kategorie jeweils Kennzahlen für den Bereich der Abwasserableitung beziehungsweise Abwasserreinigung enthält, aber auch Kennzahlen, die beide Bereiche des Abwasserunternehmens betreffen. In Tabelle 9 wurden die sechs Kategorien inklusive deren Code und die Anzahl der Indikatoren dargestellt. Um einen Überblick zu geben, wurde zusätzlich vermerkt, wie viele der Indikatoren die Kanalisation oder die Kläranlage betreffen, beziehungsweise welcher Anteil auf das gesamte Abwasserunternehmen (ARA/Kanal) entfällt. In der rechten Spalte wurden beispielhaft Kennzahlen der jeweiligen Kategorie angeführt.

Tabelle 9: Struktur der Performance Indikatoren und Beispiele

Umweltkennzahlen: wEn (n=15) 9 ARA + 6 Kanal	Entsorgungsgrad, Rechengut, Schlammanfall,...
Personalkennzahlen: wPe (n=25) 3 ARA + 2 Kanal + 20 ARA/Kanal	Beschäftigte je Einwohner, Ausbildungsstand, ...
Technische Kennzahlen: wPh (n=12) 5 ARA + 5 Kanal + 2 ARA/Kanal	Vorreinigung [%], Pumpenleistung in % zu installierter Leistung,...
Betriebskennzahlen: wOp (n=56) 18 ARA + 38 Kanal	Energieverbrauch, Analysen pro Jahr, Pumpenergie,...
Qualitäts- und Servicekennzahlen: wQs (n=29) 7 ARA + 20 Kanal + 2 ARA/Kanal	Anschlussgrad, Reinigungsgrad, Kundenzufriedenheit (Beschwerden),...
Finanzkennzahlen: wFi (n=45) 4 ARA + 3 Kanal + 38 ARA/Kanal	Betriebskosten, Energiekosten, Einnahmen, Investitionskosten,...

Aus der Tabelle 9 ist ersichtlich, dass von den insgesamt 182 Kennzahlen nur 46 ausschließlich die Kläranlage betreffen. Für die Beurteilung des gesamten Abwasserbetriebes bzw. Verbandes bzw. der Gemeinde werden 62 Kennzahlen vorgeschlagen, wovon 20 Personalkennzahlen und 38 Finanzkennzahlen den größten Anteil ausmachen.

Bei der Angabe der Kennzahl beschränkt man sich nicht auf den Wert selbst, sondern es werden zusätzliche Informationen einerseits zur Zuverlässigkeit der Datenquelle, und andererseits zur Datenungenauigkeit abgefragt. Bei der Zuverlässigkeit der Daten wird in vier Klassen (A, B, C und D) unterteilt, wobei der Klasse A hohe Datenzuverlässigkeit unterstellt wird, beispielsweise wenn es sich um dokumentierte Messdaten handelt. Bei sehr unzuverlässigen Datenquellen, wie beispielsweise der mündlichen Übermittlung, wird in die Klasse D eingestuft. Die Datenungenauigkeit wird in sechs Qualitätsstufen unterteilt:

1. Stufe = 1 %, 2. Stufe >1 % und ≤5 %, 3. Stufe >5 % und ≤10 %, 4. Stufe >10 % und ≤25 %, 5. Stufe >25 % und ≤50 %, 6. Stufe >50 % und ≤100 %; X für fehlende Daten beziehungsweise bei Ungenauigkeiten > 100 %

Tabelle 10: Matrix der IWA Performance Indicators Datenzuverlässigkeit und -ungenauigkeit

		Datenzuverlässigkeit			
		A	B	C	D
		sehr zuverlässig	zuverlässig	unzuverlässig	sehr unzuverlässig
Ungenauigkeit	0;1[%]	A1	--	--	--
	>1;<5[%]	A2	B2	C2	--
	>5;<10[%]	A3	B3	C3	D3
	>10;<25[%]	A4	B4	C4	D4
	>25;<50[%]	--	--	C5	D5
	>50;<100[%]	--	--	--	D6

Neben der Unterscheidung der Kennzahlen in sechs Kategorien gibt die IWA für jede Kennzahl einen Level an, wobei drei Levels voneinander unterschieden werden. Die entsprechende Kennzahl ist je nach Level, in den sie eingestuft wurde, für unterschiedliche Hierarchieebenen von bevorzugtem Interesse. 1. So sind beispielsweise jene 25 Kennzahlen, die dem Level 1 (L1) zugeordnet wurden, vor allem für die Unternehmensleitung von besonderem Interesse.

### **Vergleich von Benchmarking Kennzahlensystem und Performance Indicators:**

Sowohl die IWA Kennzahlensystematik als auch die Kennzahlen, die in den vorangegangenen Kapiteln erläutert wurden, zielen darauf ab, die Effizienz und Effektivität von Abwasserunternehmungen zu messen, mit anderen Unternehmungen zu vergleichen, um schließlich daraus Schlüsse für das Steuern sowie das Controlling des Unternehmens zu ziehen.

Benchmarking geht über den reinen Kennzahlenvergleich hinaus und erhebt den Anspruch, Verbesserungspotenziale durch den Vergleich mit der Benchmark herauszufinden und Optimierungen durchzuführen. Sowohl die Identifikation von Benchmarks als auch die Ermittlung von Verbesserungspotenzialen erfolgen jedoch ebenfalls mit Hilfe von Kennzahlen. Es ist daher naheliegend, die für ein Kläranlagenbenchmarking erforderlichen Kennzahlen so weit wie möglich auch im internationalen Kennzahlenvergleich zu verwenden.

In Tabelle 11 wurden jene Kennzahlen zusammengefasst, die direkt aus Input- und Outputgütern beziehungsweise dem Benchmarking Kennzahlensystem abgeleitet werden können. Wie daraus abgelesen werden kann, können 26 Kennzahlen, abgesehen von den Einheiten, direkt ins Kennzahlensystem der IWA übernommen werden.

In der Tabelle 11 sind neben der Bezeichnung der Kennzahl die Codierung entsprechend der IWA Veröffentlichung, die Einheit, die diese Kennzahl als Performance Indicator hat, und die Einheit, die diese Kennzahl im Benchmarking System aufweist, angeführt.

Bei den PIs ist auffällig, dass sehr häufig Prozentkennzahlen verwendet werden, wodurch der internationale Vergleich erleichtert werden soll. Durch die Angabe von relativen Kennzahlen ist die Gefahr von Fehlinterpretationen gegeben, wenn nicht zusätzlich die absolute Kennzahl, auf die der Wert bezogen wurde, bekannt ist. Die Pumpenleistung in Prozent der installierten Pumpenleistung gibt beispielsweise nur darüber Auskunft, wie viel der installierten Pumpenkapazität auch tatsächlich verwendet wird. Will man den für

die Betriebskosten relevanten Energieverbrauch wissen, so ist die Zusatzinformation der installierten Pumpenleistung erforderlich.

*Tabelle 11: Performance Indicators, die direkt aus Input- und Outputgütern beziehungsweise dem Benchmarking Kennzahlensystem abgeleitet werden können*

<b>Umweltkennzahlen</b>	<b>Code</b>	<b>Einheit von IWA</b>	<b>Einheit bei Benchmarking</b>
Gesetzeskonforme Entsorgung	wEn1	%/a	%
Schlammanfall	wEn6	kgTS/EW/a	kg TS/EW/a kg FS/EW/a
Schlammverwendung	wEn7	% (von En6)	t TS/a
Schlammmentsorgung	wEn8	% (von En6)	t TS/a
Schlammdeponierung	wEn9	% (von En6)	t TS/a
Schlammverbrennung	wEn10	% (von En6)	t TS/a
andere Schlammmentsorgung	wEn11	% (von En6)	t TS/a
Senkgrubenräumgut	wEn15	ton/EW/a	t/a
<b>Technische Kennzahlen</b>			
Pumpenleistung (je installierte Pumpenleistung)	wPh9	%	kWh/a
<b>Betriebskennzahlen</b>			
Energieverbrauch ARA	wOp18	kWh/EW/a	kWh/EW-CSB110/a
Energieabdeckung durch Eigenstromerzeugung	wOp19	%	%
Standardisierter Pumpenenergieverbrauch	wOp20	kWh/m <sup>3</sup> *m	kWh/m <sup>3</sup> *m
<b>Finanzkennzahlen</b>			
Gesamtjahreskosten	wFi5	US\$/EW/a	€/EW-CSB/a
Betriebskosten	wFi7	US\$/EW/a	€/EW-CSB/a
Kapitalkosten	wFi9	US\$/EW	€/EW-CSB/a
interne Personalkosten	wFi11	% (von wFi7)	€/EW-CSB/a
externe Kosten für Reparatur und Instandhaltung	wFi12	% (von wFi7)	€/EW-CSB/a
Energiekosten	wFi13	% (von wFi7)	€/EW-CSB/a
Materialien, Chemikalien und andere Stoffkosten	wFi14	% (von wFi7)	€/EW-CSB/a
Sonstige laufende Kosten	wFi15	% (von wFi7)	€/EW-CSB/a
Abwasserqualitätsmonitoring (Labor)	wFi23	% (von wFi7)	€/EW-CSB/a
Unterstützende technische Dienste	wFi24	% (von wFi7)	€/EW-CSB/a
Abschreibung	wFi25	% der Kapitalk.	€/EW-CSB/a
Investitionskosten	wFi27	US\$/EW/a	€/EW-CSB/a
Investitionen für neue Anlagenteile und Verbesserung	wFi28	% (von wFi27)	€/EW-CSB/a
Investition für Ersatz- und Wiederinstandsetzung	wFi29	% (von wFi27)	€/EW-CSB/a

Bei den Umweltkennzahlen können 8 von den 9 Kennzahlen, die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) betreffen, direkt übernommen werden. Die Personalkennzahlen in der Form, wie sie von der IWA erhoben werden, sind im Benchmarking nicht vorgesehen. Es handelt sich dabei um Personalanzahl je Unternehmenseinheit, Qualifikation des Personals, Weiterbildungs- und Gesundheitsvorsorge und dergleichen mehr. Vor allem die Personalkennzahlen und die Finanzkennzahlen sind in ihrer Detailliertheit für sehr große Unternehmenseinheiten von Vorteil.

Von den insgesamt 7 technischen Kennzahlen für ARAs kann eine Kennzahl direkt abgeleitet werden. Vier PIs erfassen die genutzte Kapazität der Vorreinigung, der Vorklärung, der ersten und der zweiten Reinigungsstufe jeweils in Prozent. Es findet dabei jedoch ausschließlich die Wassermenge (Spitzenzufluss/Bemessungszufluss) Berücksichtigung.

Bei den Betriebskennzahlen können jene Kennzahlen, die die elektrische Energiebilanz umschreiben, übernommen werden. Zehn PIs beschreiben den Laboraufwand in Probenanzahl pro Jahr und fünf erfassen die Anzahl an Messgerätekalibrierungen pro Jahr.

Die von der IWA erhobenen Qualitätskennzahlen beziehen sich vor allem auf den Umgang mit Anfragen und Beschwerdefällen bei Gebrechen der Kanalisationsanlage. Ebenso wird der Anschlussgrad an das Kanalnetz bzw. an die Kläranlage den Qualitätskennzahlen zugeordnet. Wobei diese für ein Benchmarking ebenfalls nicht erforderlich sind.

Die sechste Kategorie stellen die insgesamt 42 Finanzkennzahlen dar. Rund ein Drittel kann durch Effizienzkenzahlen des Benchmarking-Kennzahlensystems direkt abgedeckt werden. Andere Finanzkennzahlen des Unternehmens werden beim Benchmarking zum Teil ebenfalls erhoben bzw. berechnet, sind aber nicht Gegenstand der technischen Benchmarkingauswertung. Der sehr umfangreiche Block an Finanzkennzahlen ist vor allem auch in Hinblick auf die Vergleichbarkeit von tatsächlich großen Abwasserverbänden zu sehen.

Die Bezugsgröße EW (= Einwohnerwerte), welche mehrfach verwendet wurde, ist im Benchmarking Kennzahlensystem aus der durchschnittlichen CSB Fracht errechnet, wobei von einer einwohnerwertspezifischen Fracht von 110 g je Tag ausgegangen wird. Im IWA-Kennzahlensystem wird der Einwohnerwert aus der durchschnittlichen BSB<sub>5</sub> Fracht, unter der Annahme eines Anfalles von 60 g je Einwohnerwert und Tag, berechnet. Wie in Kapitel 4.6.1 bereits erläutert wurde, ist die Vergleichbarkeit der derart berechneten Einwohnerwerte gegeben.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Benchmarking Kennzahlen ca. ein Drittel der für Abwasserreinigungsanlagen relevanten Performance Indikatoren abgedeckt ist. Ein weiteres Drittel der PIs ist entweder aufgrund der Struktur - viele kleine Unternehmungen - der österreichischen Abwasserunternehmungen nicht relevant bzw. nicht verfügbar. Das verbleibende Drittel ist zwar verfügbar und viele PIs sind davon auch sehr leicht zu erheben, jedoch für ein Benchmarking nicht von Bedeutung.

Für Abwasserreinigungsanlagen bedeutet dies, dass mit der Teilnahme an einem Benchmarking, welches das vorgestellte Kennzahlensystem anwendet, auch ein internationaler Vergleich aufgrund der Übertragbarkeit dieser Kennzahlen in die IWA Kennzahlensystematik möglich ist.

## 4.9 Definition von Benchmarkbereich, -anlagen und Benchmarks

Benchmarkingprojekte im öffentlichen Bereich können aufgrund deren Wirkung in ein so genanntes „externes Benchmarking“ und ein „internes Benchmarking“ unterschieden werden. Als Ergebnisse des „externen Benchmarkings“ können alle Auswertungen bezeichnet werden, aus denen nicht direkt ein Einsparungspotenzial für die einzelnen Anlagen ableitbar ist, die jedoch für die Anlagenbetreiber, die Behörden oder für die Wissenschaft als wertvolle Informationen angesehen werden können. Ein Ergebnis des „externen Benchmarkings“ ist beispielsweise die Angabe von spezifischen Kosten je Benchmarking-Größengruppe. Für diese Aussage wurden nicht die beim Benchmarking tatsächlich aufgetretenen niedrigsten spezifischen Kosten herangezogen, sondern es wurde ein **Benchmarkbereich** definiert. Der Benchmarkbereich gibt jene spezifischen Kosten an, die unter Berücksichtigung der methodischen Ungenauigkeiten gesichert erreicht werden können.

Für das „interne Benchmarking“ und gemäß dem Grundsatz *vom Besten zu lernen*, ist es wesentlich, dass man den/die Besten auch tatsächlich kennt. Als *beste* Anlagen, die sozusagen Vorbildanlagen sind, wurden daher so genannte **Benchmarkanlagen** definiert.

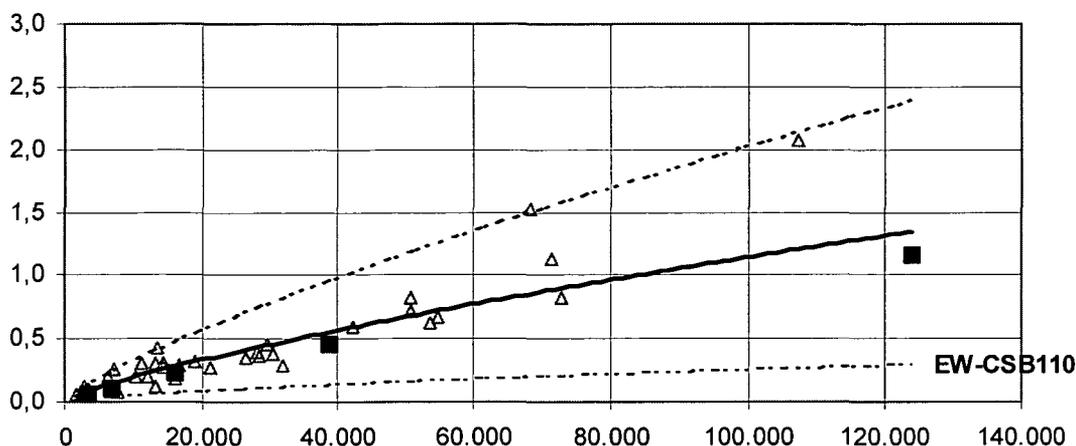
Aufgrund der Unterteilung der Anlage in Prozesse und der Kostenzuordnung auf diese Prozesse ist es möglich, nicht nur in Bezug auf den Gesamtprozess Abwasserreinigung den/die Besten zu bestimmen, sondern es können **Benchmarks** je Benchmarking-Größengruppe und Prozess definiert werden.

### 4.9.1 Festlegung des Benchmarkbereiches

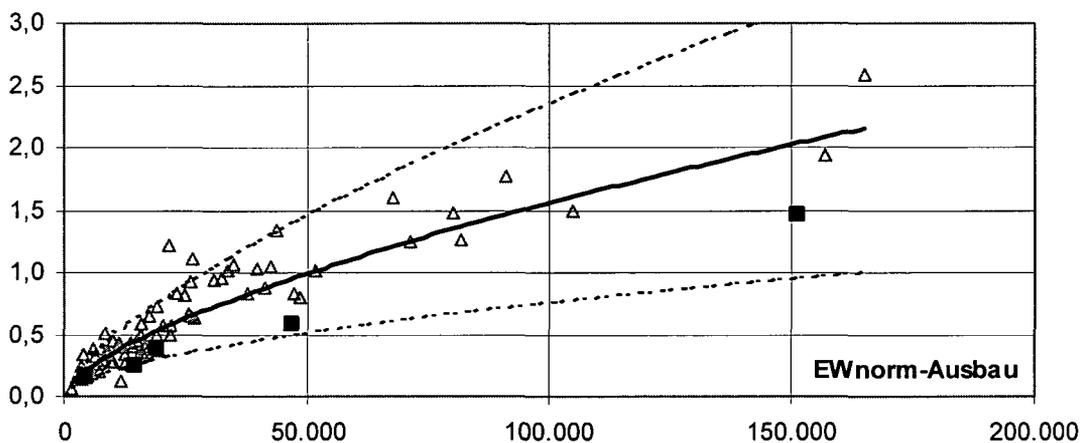
Bei den Gesamtkosten der Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten wird je Benchmarking-Größengruppe nicht eine Anlage als Benchmark angegeben, sondern ein Benchmarkbereich.

Der Benchmarkbereich wird durch die niedrigsten spezifischen Kosten der potenziellen Benchmarkanlagen jeder Gruppe zuzüglich eines prozentuellen Aufschlages nach oben abgeschlossen. Dieser prozentuelle Aufschlag berücksichtigt einerseits die datenbedingten Unsicherheiten, und andererseits die Schwankungen der Zulaufdaten beziehungsweise der Kosten für Reparatur und Instandhaltung von Jahr zu Jahr. Die Höhe dieses Aufschlages wird je nach Kostenart (Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten) und Anlagengruppe unterschiedlich festgelegt.

Betriebskosten [ Mio €/a]



Kapitalkosten [ Mio €/a]



Jahreskosten [ Mio €/a]

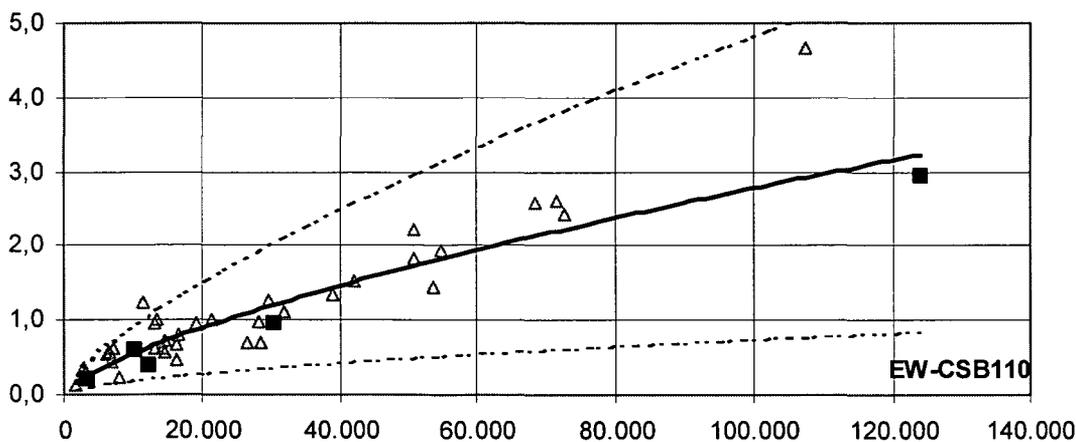


Abbildung 34: Korrelation der Kosten mit den jeweiligen Bezugsgrößen und Darstellung der Benchmarkanlagen (ausgefüllte Punkte) in Bezug zur Ausgleichsgerade

Für die Festlegung dieses Aufschlages wurden in der Abbildung 34 die Kostenkorrelationen jener Anlagen eingezeichnet, deren CSB-Zulaufdaten als zuverlässig eingestuft wurden und deren Reinigungsleistung dem Stand der Technik entspricht. Mit

Hilfe dieser Datenpunkte wurde eine Ausgleichsgerade und deren mittlerer Fehler berechnet. Zusätzlich wurden jene Anlagen mit den niedrigsten spezifischen Kosten je Gruppe, die auch die Kriterien für Benchmarkanlagen erfüllen (siehe folgendes Kapitel), in der Abbildung 34 markiert.

Da die Kostendifferenz der Benchmarkanlagen zur Ausgleichsgerade die Differenz von Benchmarkanlagen zum Durchschnitt der Anlagen mit hoher Daten- und Ablaufqualität widerspiegelt, kann diese Differenz als Anhaltspunkt für den prozentuellen Aufschlag genommen werden.

Bei den Betriebskosten verringert sich die Differenz von Benchmarkanlage zur Ausgleichsgerade mit zunehmender Anlagengröße von 30 auf 15 Prozent. Bei den Kapitalkosten schwankt die Differenz von Benchmarkanlage zur Ausgleichsgerade zwischen 25 und 45 Prozent. Bei den Jahreskosten liegen die Kosten der Benchmarkanlagen zwischen 10 und 40 Prozent unterhalb der Ausgleichsgerade. Dabei unberücksichtigt ist jene Benchmarkanlage, welche höhere spezifische Kosten als die Ausgleichsgerade aufweist. In dieser Größengruppe kann davon ausgegangen werden, dass niedrigere spezifische Jahreskosten erreicht werden können, als die Ergebnisse der teilgenommenen Anlagen widerspiegeln.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die spezifischen Kosten der Benchmarkanlagen zwischen 10 und 40 Prozent unterhalb der Ausgleichsgerade liegen. Die Differenz der spezifischen Betriebskosten zur Ausgleichsgerade nimmt mit der Anlagengröße ab. Dieser Trend kann weder bei den Kapital- noch bei den Jahreskosten nachgewiesen werden.

Da man sich beim Benchmarking nicht an Durchschnittswerten, sondern an Spitzenwerten orientiert, müssen die Prozentsätze, die zur Berechnung des Benchmarkbereiches festgelegt werden, niedriger sein als die beschriebenen.

Tabelle 12: *Prozentsätze zur Berechnung des Benchmarkbereiches*

	Gruppen 1 und 2	Gruppen 3 und 4	Gruppen 4 und 6
Betriebskosten	30 %	20 %	10 %
Kapitalkosten	20 %	20 %	20 %
Jahreskosten	25 %	20 %	15 %

Die festgelegten Prozentsätze (siehe Tabelle 12) zur Ermittlung des Benchmarkbereiches sollen einerseits datenbedingte Unsicherheiten ausgleichen, jährliche Schwankungen der Zulaufdaten berücksichtigen und Unsicherheiten bei der Kostenzuordnung – z.B. von

Personalkosten, aber auch von Reparatur- und Instandhaltungskosten – beinhalten. Bei kleinen Anlagen (Gruppe 1 und 2) sind die Schwankungen und Unsicherheiten der Daten stärker ausgeprägt als bei großen Anlagen, weshalb der Ausgleichsprozentsatz bei den Betriebskosten mit 30 % und bei großen Anlagen (Gruppe 5 und 6) nur mit 10 % angesetzt wurde. Datenbedingte Unschärfen der Kapitalkosten sind von der Anlagengröße unabhängig und wurden daher bei allen Größenklassen mit 20 % angesetzt. Daraus kann für die Jahreskosten ein mittlerer Wert von 20 % bei den Anlagen der Gruppen 1 und 2 sowie von 10 % bei den Anlagen der Gruppen 4 und 6 abgeleitet werden. Für die Gruppen 3 und 4 wurden für alle drei Kostenarten ein 20 %iger Ausgleich gewählt.

An dieser Stelle ist von Interesse, darauf hinzuweisen, dass bei einem Benchmarkingprojekt zur Kostenminimierung in Niedersachsen ebenfalls (aber unabhängig von der Vorgehensweise in Österreich) keine Bestmarken definiert wurden, sondern ein Bestmarkenbereich (Zillich et al., 2002).

#### **4.9.2 Voraussetzungen für Benchmarkanlagen**

Benchmarkanlagen sind jene Anlagen, die aufgrund der nachfolgend angeführten Kriterien als Benchmarkanlage in Frage kommen und spezifische Kosten aufweisen, die im Benchmarkbereich liegen.

Bei den Kriterien, ob eine Anlage Benchmark werden kann oder nicht, muss unterschieden werden, ob man von Kapitalkosten oder von Betriebs- und Jahreskosten spricht. Da die Kapitalkosten auf EWnorm-Ausbau bezogen werden bzw. die Kapitalkosten der Prozesse 1, 3 und 4 auf EW-Ausbau, ist es für den Vergleich der spezifischen Kapitalkosten irrelevant, ob die geforderte Reinigungsleistung aktuell erreicht wird oder nicht. Auf die Problematik des Kapitalkostenvergleiches von Anlagen unterschiedlicher Errichtungszeitpunkte und unterschiedlicher Investitionsstrategien wurde bereits eingegangen (siehe Kapitel 4.6.5).

Im Gegensatz dazu kommen als Benchmarkanlagen bei den Betriebs- und Jahreskosten nur Kläranlagen in Frage, die den folgenden Kriterien genügen:

- Die Anforderungen der 1. Abwasser Emissionsverordnung (1.AEVkA) werden eingehalten (Bundesgesetzblatt, 1996).
- Die Datenlage ist plausibel und abgesichert.
- Die Abwassercharakteristik kann als vorwiegend kommunal bezeichnet werden.

Die Ausweisung einer Anlage als Benchmark bedingt also, dass die Anlage die

gesetzlichen Anforderungen der 1.AEVkA erfüllt, was nicht den Anforderungen des individuellen Wasserrechtsbescheides entsprechen muss.

Die Datenlage ist aus zwei Gründen sehr wichtig. Erstens werden die spezifischen Kosten mit Hilfe der Zulauffrachten als Bezugsgröße ermittelt, womit sich ein Fehler bei der Erfassung des Zulauf-CSB im selben Maße auf die Berechnung der spezifischen Kosten auswirkt. Zweitens ist Benchmarking nicht nur ein Kennzahlenvergleich, sondern es soll vom Besten und nicht vom Billigsten gelernt werden. Sind die Input- und Outputgüter der Prozesse aufgrund der Datenlage nicht klar, so besteht die Gefahr, dass aus einem Vergleich falsche Schlüsse gezogen werden.

Die Festlegung, dass Kläranlagen mit Abwasser stark gewerblicher bzw. industrieller Charakteristik keine Benchmarkanlagen sein können, ist mit der Tatsache zu begründen, dass die Vergleichbarkeit mit kommunalen Anlagen aufgrund der Abwasserzusammensetzung nicht zulässig ist. Die Vergleichbarkeit von kommunalen Kläranlagen und Kläranlagen mit Abwasser stark gewerblicher bzw. industrieller Charakteristik ist jedoch in Teilprozessen möglich. Außerdem sind Anlagen mit stark gewerblichem bzw. industriellem Anteil meist gekennzeichnet durch einen hohen Anteil an leicht abbaubarem CSB, der jedoch nicht in dem Maße höhere Kosten verursacht, wie er die spezifischen Kosten – aufgrund der Bezugsgröße EW-CSB110 - verringert. Als einfaches Beispiel dient der Vergleich zweier Anlagen, von denen eine Anlage rein kommunales Abwasser von 50.000 Einwohnern verarbeitet und an die andere Anlage 25.000 Einwohner und eine Brauerei mit 25.000 EW-CSB110 angeschlossen sind. Bei beiden Anlagen wurden zur Berechnung der spezifischen Kosten 50.000 EW-CSB110 herangezogen. Die Anlage mit der Brauerei hat aufgrund der Tatsache, dass sie wesentlich weniger Ammonium nitrifizieren muss, der leicht abbaubare gelöste Anteil an CSB leicht oxidiert werden kann und dabei weniger Schlamm entsteht, wesentlich geringere Kosten. Aus diesem Grund wird festgelegt, dass Anlagen mit einem Stickstoff zu CSB Verhältnis im Zulauf von kleiner als 0,07 keine Benchmarkanlagen sein können. Da bei kleinen Anlagen der Gesamtstickstoff zumeist nicht gemessen wird, kann dieses Kriterium für Anlagen der Gruppen 1 bis 4 nicht angewendet werden. Dies ist jedoch von geringer Bedeutung, weil in dieser Größengruppe meist Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung vorhanden sind und demzufolge das N/CSB Verhältnis eine untergeordnete Rolle in Bezug auf die Kosten einnimmt.

### 4.9.3 Festlegung von Benchmarks

Wie bereits dargestellt, wird bei den spezifischen Gesamtkosten (Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten) nicht nur eine Anlage je Gruppe als Benchmark ausgewiesen, sondern ein Benchmarkbereich festgelegt. Alle Anlagen, die den Kriterien entsprechen und niedrigere Kosten haben, als durch den Benchmarkbereich festgelegt, sind demnach Benchmarkanlagen.

Für die einzelnen Prozesse wird je Gruppe genau eine Benchmark für die Betriebskosten festgelegt. Benchmark der Gruppe und des jeweiligen Prozesses ist jene Anlage, die den unter 4.9.1 angeführten Kriterien entspricht und die geringsten spezifischen Kosten aufweist.

Wie die Analyse der Daten aus dem Benchmarking-Forschungsprojekt gezeigt hat, ist die Datendichte plausibler Daten in den einzelnen Prozessen bei den Kapitalkosten so gering, dass die Festlegung von Benchmarks als nicht sinnvoll erachtet werden muss.

Auf den ersten Blick ist es möglicherweise nicht wirklich verständlich, warum bei den Gesamtkosten von Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten ein Benchmarkbereich angegeben wird, hingegen bei den Prozessen einzelne Benchmarks definiert wurden.

Bei den Gesamtkosten zielt die Benchmarkbestimmung darauf ab, herauszufinden, welche Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten als minimal erreichbar angesehen werden können. Es können daraus jedoch keine Hinweise auf die konkreten Einsparungspotenziale abgeleitet werden.

Anders verhält es sich bei den Benchmarks der einzelnen Prozesse. Durch den direkten Vergleich aller Benchmarkingteilnehmer mit dem auf diese Weise identifizierten sehr effizienten Prozess einer Anlage können Anhaltspunkte für die Verbesserung des eigenen Prozesses gewonnen werden. Dies bedeutet, dass durch den direkten Vergleich der klar definierten Prozesse und der kostenbeeinflussenden Faktoren Einsparungspotenziale erkannt werden können.

So unterschiedlich einzelne Anlagen und deren Betriebsweisen sein können, einzelne Prozesse sind immer ähnlich und damit vergleichbar. Für die Kosten der Gesamtanlage kann man sich am Benchmarkbereich orientieren, für die Steigerung der Effizienz liefert der Vergleich mit der Prozessbenchmark konkrete Anregungen für die Umsetzung.

Die Berechnung von Kennzahlen, die Definition von Benchmarkbereichen, Benchmarkanlagen und Benchmarks stellen eine wesentlich Voraussetzung für die Steigerung der

Effizienz und Effektivität von Abwasserreinigungsanlagen mittels Benchmarking dar. Neben der Schaffung dieser technischen Zahlen, mit deren Hilfe die Diskussion auf eine sachliche Basis gestellt werden kann, muss bei der Umsetzung eines Benchmarkingprojektes den Benchmarkingteilnehmern ausreichend Möglichkeit zum Erfahrungsaustausch gegeben werden.

#### **4.9.4 Darstellung der Ergebnisse von Benchmarkbereich, -anlagen und Benchmarks**

Wie in der Einleitung bereits beschrieben, wurden die Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes bereits veröffentlicht. Aufgrund der geänderten Methode muss mit etwas anderen Ergebnissen bei den Benchmarkanlagen und den Benchmark gerechnet werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die beim Benchmarking-Forschungsprojekt angewandte Methode zu unrichtigen Ergebnissen geführt hat. Wesentlich ist vielmehr, dass jene Methode für die man sich entscheidet auch konsequent bei allen Anlagen angewendet wird. Benchmarking ist ein kontinuierlicher Prozess, sowohl im Hinblick auf den Vergleich und die Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen seitens der Kläranlagenbetreiber, als auch im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Benchmarkingmethode selbst. Aus Sicht des Verfassers ist es daher nicht sinnvoll, die weiterentwickelte Methode retrospektiv an der Datenbasis des bereits veröffentlichten und abgeschlossenen Projektes anzuwenden. Ziel dieser Arbeit ist es, ausgehend von den Erkenntnissen des Benchmarking-Forschungsprojektes eine modifizierte und erweiterte Methode zu erarbeiten. Die Veröffentlichung von konkreten Benchmarks, Benchmarkanlagen und Benchmarkbereichen auf Basis der vorgestellten Methode wird nach Anwendung der Methode in der Praxis in separaten Publikationen folgen.

Um die Darstellungsform und einige konkrete Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes aufzeigen zu können, wurde im Anhang jener Abschnitt eines Individualberichtes zusammengestellt, der die Ergebnisse des Bereiches Abwasserreinigung umfasst. Als ein Beispiel einer Berechnung auf Basis der erweiterten Methode wurde der Benchmarkbereiche der Jahres-, der Kapital und der Betriebskosten der einzelnen Gruppen mit Hilfe der Daten jener Kläranlagen durchgeführt und in Tabelle 13 zusammengestellt, welche am Benchmarking-Forschungsprojekt teilgenommen hatten.

Da beim Benchmarking-Forschungsprojekt keine Kläranlagen kleiner 500 EW-Ausbau teilgenommen hatte und auch in der Größengruppe 2 nur zwei Kläranlagen vertreten sind, war die Berechnung eines repräsentativen Benchmarkingbereiches nur für die Gruppen 3 bis 6 möglich.

Tabelle 13: Berechnete Benchmarkbereiche für die Benchmarkinggrößengruppen 3 bis 6 auf Basis der Gruppeneinteilung nach EW-Ausbau

50		500	5.000	10.000	20.000	50.000	EW-Ausbau
1	2	3	4	5	6	Benchmarkinggrößengruppen	
0	2	8	8	21	17	Anzahl der Anlagen	
		71	36	35	26	Benchmarkbereich Jahreskosten [Euro/(EW-CSB110*a)]	
		41	25	17	12	Benchmarkbereich Kapitalkosten [Euro/(EWnorm-Ausbau*a)]	
		19	19	14	10	Benchmarkbereich Betriebskosten [Euro/(EW-CSB110*a)]	
		70 %	150 %	120 %	100 %	Auslastung jener Anlage die für den Benchmarkbereich maßgebend ist	

Für die auf EWnorm-Ausbau bezogenen Kapitalkosten, kann festgehalten werden, dass sie von 41 Euro/EWnorm-Ausbau\*a in der Benchmarkinggrößengruppe 3 auf 12 Euro/EWnorm-Ausbau\*a in der Gruppe 6 absinken. Auffällig dabei ist, dass der Unterschied der spezifischen Kapitalkosten zwischen den Gruppe mit der Anlagengröße abnimmt. Der Sprung zwischen der Größengruppe 3 und 4 ist mit 15 Euro/EWnorm-Ausbau\*a wesentlich höher als jener zwischen der Gruppe 5 und 6 mit 5 Euro/EWnorm-Ausbau\*a was auf die höheren spezifischen Kosten von kleinen Anlagen zurückzuführen ist.

Bei den Jahreskosten ist vor allem der Unterschied der spezifischen Kosten von 71 Euro/EW-CSB110\*a der Gruppe 3 zur Gruppe 4 mit 36 Euro/EW-CSB110\*a auffällig. Diese Differenz der spezifischen Jahreskosten kann nur zum Teil auf den Anstieg der spezifischen Kapitalkosten mit abnehmender Größenklasse zurückgeführt werden. Einen weiteren wesentlichen Einfluss bei der Berechnung der belastungsspezifischen Jahreskosten stellt die Auslastung dar. Die Auslastung spielt vor allem für den Kapitalkostenanteil der Jahreskosten eine entscheidende Rolle, da die belastungsspezifischen Kapitalkosten indirekt proportional zur Belastung sinken.

In der Tabelle 13 wurde deshalb die Auslastung jener Anlage angegeben, die für die Berechnung des Benchmarkbereiches jeder Gruppe herangezogen wurde. Es zeigt sich dabei, dass die Anlage, welche für die Berechnung des Benchmarkbereiches der Gruppe 3 herangezogen wurde, zu 70 % ausgelastet war. Jene der Gruppe 4 war zu 150 % ausgelastet, die Anlage der Gruppe 5 zu 120 % und die Anlage der Gruppe 6 zu 100 %. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Auslastung der Anlage der Gruppe 3 und der Gruppe 4 kann der Unterschied von 71 Euro/EW-CSB110\*a des Benchmarkbereiches der Gruppe 3 und 36 Euro/EW-CSB110\*a der Gruppe 4 erklärt werden.

In der Abbildung 35 wurde der Benchmarkbereich der Jahres- und Betriebskosten dargestellt und zusätzlich ein Benchmarkbereich der Jahreskosten abgegrenzt, der sich rechnerisch ergibt, wenn die Auslastung mit berücksichtigt wird. Dieser Benchmarkbereich unter Berücksichtigung der Auslastung wurde derart berechnet, dass der Kapitalkostenanteil mit der Auslastung multipliziert und anschließend der Betriebskostenanteil addiert wurde. Damit ergibt sich ein Benchmarkbereich der Jahreskosten von 55 Euro/EW-CSB110\*a für die Gruppe 3, 44 Euro/EW-CSB110\*a für die Gruppe 4 sowie 39 Euro/EW-CSB110\*a für die Gruppe 5. Die spezifischen Jahreskosten der Gruppe 6 bleiben aufgrund der Auslastung von 100 % der Benchmarkanlage dieser Gruppe mit 26 Euro/EW-CSB110\*a gleich.

Der Benchmarkbereich der spezifischen Betriebskosten wurde für die Benchmarkinggrößengruppen 3 und 4 mit 19 Euro/EW-CSB110\*a berechnet, für die Größengruppe 5 mit 14 Euro/EW-CSB110\*a und für die Größengruppe 5 mit 10 Euro/EW-CSB110\*a.

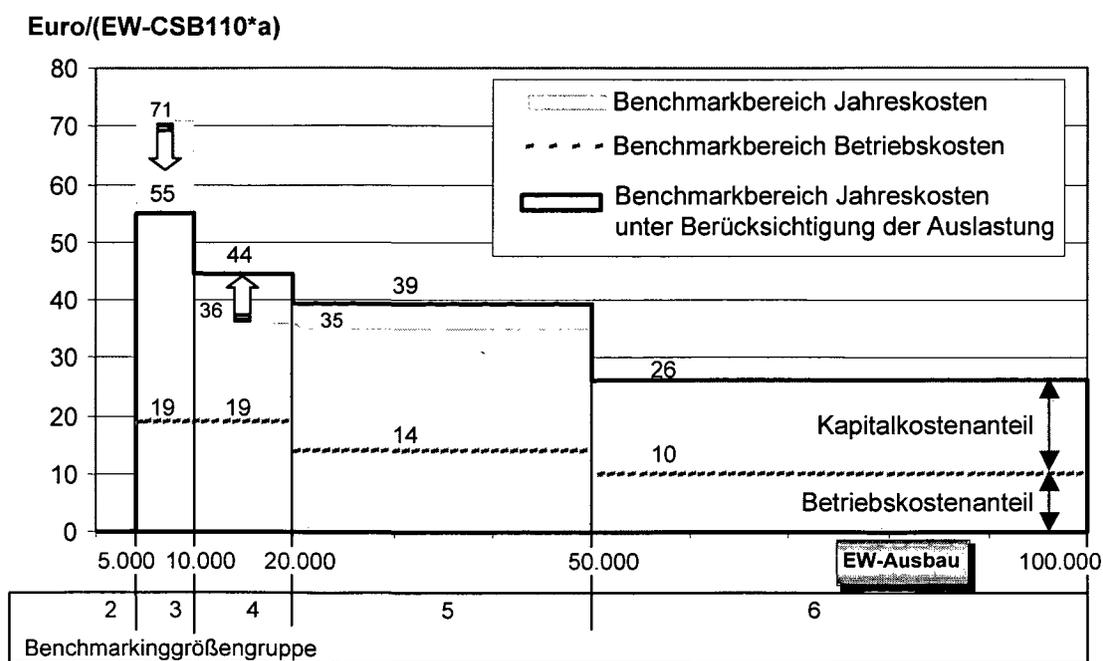


Abbildung 35: Benchmarkbereich der Jahres- und Betriebskosten auf Basis der Gruppeneinteilung nach EW-Ausbau

#### **4.10 Praktische Erfahrungen beim Benchmarking-Forschungsprojekt**

Wie die Erfahrungen beim Forschungsprojekt gezeigt haben, können aufgrund der Vielfalt an Verfahrensschemata, unterschiedlicher Buchungssysteme und anderen Einflußgrößen nicht alle aufgetretenen Eventualitäten methodisch a priori abgedeckt werden. In diesem Kapitel werden daher einige konkrete Erfahrungen beschrieben, welche nicht durch die vereinbarte Methode abgedeckt werden konnten und zu welchen methodischen Änderungen die gewonnenen Erfahrungen geführt haben. Außerdem werden in diesem Kapitel einige praktische Erfahrungen beschrieben, welche bei der Durchführung des Benchmarking-Forschungsprojektes gemacht wurden und deren Kenntnis bei der Durchführung ähnlich gelagerter Projekte hilfreich sein können.

##### **Verfügbarkeit von Daten:**

Sowohl die Verfügbarkeit der technischen Daten, als auch die Verfügbarkeit der kaufmännischen Daten stellt eine der größten Herausforderungen bei der Durchführung eines Benchmarking von Abwasserreinigungsanlagen dar. Wie im Anhang noch näher beschrieben wird, wurde die Erfahrung gemacht, dass bei sehr wenigen Kläranlagen die Kapitalkosten auf Prozessebene verfügbar sind. Bei den laufenden Betriebskosten wurde die Erfahrung gemacht, dass mehrfach entsprechend dem geplanten Budget und nicht den tatsächlichen kostenstellenspezifischen Aufwendungen gebucht wird.

Aufgrund der Tatsache, dass die prozessspezifische Verfügbarkeit der Kapitalkosten vor allem bei kleineren Kläranlagen nicht gegeben war, wurde der Detaillierungsgrad des Prozessmodells mit der Kläranlagengröße verringert. Der unterschiedlichen Buchungspraxis eines Verbandes, einer Gemeinde sowie eines Abwasserunternehmens kann nur durch Aufklärungsarbeit entgegen gewirkt werden.

##### **Arbeitszeiterfassung:**

Die laufende Erfassung der Arbeitszeit auf Prozessebene und untergliedert in *laufender Betrieb* bzw. *Reparatur und Instandhaltung* wurde vom Betriebspersonal teilweise als Kontrolle empfunden. Auch in diesem Fall müssen die Betroffenen in den Benchmarking-Prozess eingebunden werden und die Verwendung der Aufzeichnungen an Hand konkreter Beispiele erläutert werden.

**Kostenstelle „Sonstiges“:**

Beim Benchmarking-Forschungsprojekt wurde im Prozessmodell ein Hilfsprozess „Sonstiges“ ausgewiesen und somit auch in der Kostenrechnung eine Hilfskostenstelle „Sonstiges“ eingerichtet. Wie die Auswertung der Zuordnung zu Kostenstellen gezeigt hat, wurden zwischen 13 und 24 % der Betriebskosten dieser Kostenstelle zugeordnet. Im überarbeiteten Prozessmodell wurden daher sowohl die Haupt- als auch die Hilfsprozesse möglichst präzise bezeichnet um die Kostenzuordnung zu verbessern.

**Freiwilligkeit als Voraussetzung für motivierte Teilnehmer:**

Als wesentliche Voraussetzung hat sich die Freiwilligkeit der Teilnahme beziehungsweise die Einbindung jener Mitarbeiter in den Benchmarkingprozess herausgestellt, welche mit der internen Leistungserbringung betraut wurden. Nur in jenen Fällen, in denen die Mitarbeiter von der Datenerhebung bis zur Präsentation der Ergebnisse in den Benchmarkingprozess eingebunden sind, können sie die einzelnen Abläufe verstehen und bei der Erarbeitung von konkreten Umsetzungsmaßnahmen mitwirken.

**Kalkulatorische Zusatzkosten:**

Aufgrund der beim Benchmarking-Forschungsprojekt gewonnenen Erfahrungen, wurden die im Kapitel 4.3.3 erläuterten *kalkulatorischen Zusatzkosten* beschrieben, mit deren Hilfe Betriebskosten berücksichtigt werden können, die nicht tatsächlich anfallen, jedoch aus Gründen der Vergleichbarkeit angesetzt werden müssen. Die Herstellung der Vergleichbarkeit von unterschiedlichsten Anlagen ist eines der Hauptanliegen beim Kläranlagen-Benchmarking. Die Entscheidung über die Art und Weise, wie die Vergleichbarkeit hergestellt werden kann, ist nicht immer eindeutig begründbar, was auch für andere Entscheidungen, die im Laufe eines Benchmarkingprozesse getroffen werden müssen, gilt. Wesentlich dabei ist, dass einmal getroffene Entscheidungen und Vorgehensweisen auch tatsächlich bei allen Anlagen gleich angewendet werden.

**Unplausible Bezugsgrößen:**

Bei einigen Kläranlagen wurde die Erfahrung gemacht, dass die durchschnittliche organische Belastung, ausgedrückt als EW-CSB110 sehr unplausibel war und daher alle damit berechneten spezifischen Kosten in der Folge ebenfalls unplausibel und damit unbrauchbar waren. Mehrfach konnte dies auf unrepräsentative Probenahmen zurückgeführt werden, wobei die Einwohnerwerte errechnet aus Gesamtstickstoff bzw. Gesamtphosphor zu plausiblen Ergebnissen geführt hatten. In diesen Fällen wurden dann die spezifischen Kosten auf Basis der Einwohnerwerte, ermittelt aus den durchschnittlichen Nährstofffrachten (EW-Nges11 bzw. EW-Pges1,7), berechnet.

## 4.11 Kosten und Nutzen beim Benchmarking

Kosten und Nutzen beim Benchmarking setzen sich aus zwei Teilaspekten zusammen: Einerseits betrifft dies das Kosten-Nutzen-Verhältnis des Benchmarking, d.h. welcher Nutzen dem Aufwand für die Durchführung des Benchmarking einer Anlage gegenübersteht. Andererseits wird mit Hilfe von Benchmarking, aufgrund der Identifizierung von Einsparungspotenzialen, das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Abwasserreinigung beeinflusst. Ein zusätzlicher Aspekt ist die Optimierung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses bei Anlagen welche die gesetzlichen Anforderungen erfüllen und niedrige Kosten aufweisen.

### 4.11.1 Kosten-Nutzen-Verhältnis des Benchmarking

Sieht man das Kosten-Nutzen-Verhältnis aus monetärer Sicht, müssen der Aufwand und die damit verbundenen Kosten für ein Benchmarking in Relation zur damit erzielbaren Kostenreduktion der jeweiligen Anlage stehen. In dieser Betrachtungsweise weist die Benchmarkanlage ein sehr ungünstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis des Benchmarking aus. Der Nutzen von Benchmarking geht jedoch über das erzielbare Einsparungspotenzial einer Anlage hinaus und ist beispielsweise in der Schaffung von Kostentransparenz, in der Mitarbeitermotivation aufgrund der Wettbewerbssituation oder der Erfolgskontrolle durch Benchmarking zu sehen. Für die Entscheidung, ob eine Kläranlage an einem Benchmarkingprojekt teilnimmt, spielen wirtschaftliche Überlegungen eine wichtige Rolle.

Die Wirtschaftlichkeit eines Benchmarking ist unter anderem davon abhängig, welche relative und absolute Betriebskostenminderung den verursachten Kosten gegenübersteht. Um die theoretisch erzielbare mittlere Betriebskostenminderung der Anlagen abschätzen zu können, wurden für jede Kläranlage, die beim Benchmarking-Forschungsprojekt teilgenommen und die höhere belastungsspezifische Betriebskosten als der festgelegte Benchmarkbereich ausgewiesen hat, die Differenz zum Benchmarkbereich berechnet und der über den EW-CSB110 gewichtete Mittelwert der Abweichung je Gruppe ermittelt. Teilt man die theoretische Betriebskostenminderung je Gruppe durch die absoluten Betriebskosten der Gruppe, so erhält man eine prozentuelle Betriebskostenminderung je Gruppe. Jene Anlagen, die geringere Betriebskosten hatten als der Benchmarkbereich und aufgrund unplausibler Daten beziehungsweise der nicht kommunalen Abwassercharakteristik keine Benchmarkanlagen waren, wurden nicht berücksichtigt.

Das Ergebnis der Berechnungen ist in Tabelle 14 dargestellt, wobei die Gruppierung der Anlagen nach der in Kapitel 4.7 beschriebenen Einteilung erfolgte. Da nur zwei Anlagen des Benchmarking-Forschungsprojektes der Gruppe 2 zugerechnet werden können und

keine Anlage der Gruppe 1 entspricht, wurde eine Auswertung aufgrund der geringen Aussagekraft (Stichprobenumfangs) und auch zur Wahrung der Anonymität der beiden Anlagen nicht durchgeführt.

Tabelle 14: Absolute und relative theoretische Betriebskostenminderung je Anlage

50	500	5.000	10.000	20.000	50.000	EW-Ausbau
1	2	3	4	5	6	<b>Benchmarkinggrößengruppen</b>
0	2	8	8	21	17	Anzahl der Anlagen mit theoretischer Betriebskostenminderung
		26.951	56.690	80.268	256.141	mittlere theor. Betriebskostenminderung der Anlagen [Euro/a]
		20%	24%	22%	25%	theor. Betriebskostenminderung der Gruppe in Prozent der Betriebskosten

Bei den Gruppen 3 bis 6 zeigen die Ergebnisse eine theoretische Betriebskostenminderung von 20 bis 25 Prozent. Unter theoretischer Betriebskostenminderung wird die durchschnittliche mögliche Einsparung an Betriebskosten verstanden, wobei standort- und anlagenspezifische Besonderheiten nicht berücksichtigt sind. Wie viel von der theoretischen Betriebskostenminderung auch tatsächlich erwirtschaftet werden kann, hängt sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten ab. Kläranlagen, die beispielsweise aufgrund ungünstiger Beckengestaltung sehr hohe Rührenergiekosten haben, werden nur dann in eine Umgestaltung der Becken investieren, wenn der Nutzen daraus entsprechend hoch ist. Ist eine Umgestaltung der Becken nicht rentabel, so wird diese im Vergleich zur Benchmark möglichen Betriebskostenminderung eine theoretische Möglichkeit bleiben.

Die Teilnahme an einem Benchmarkingprojekt ist nur dann sinnvoll, wenn die erzielbare Kostenminderung höher ist als die Kosten der Projektteilnahme. Die externen Kosten für ein Benchmarkingprojekt (ohne internen Personalaufwand auf der Kläranlage) können mit 6.000 Euro angesetzt werden. Dies bedeutet, dass Anlagen der Benchmarkinggruppe 3 mit einem Fünftel des theoretischen Einsparungspotenziales die Kosten des Projektes decken können. Schätzt man für die Benchmarkinggrößengruppe 2 zwischen 43 und 25 Euro/EW ab und geht ebenfalls von einem theoretischen Einsparungspotenzial von ca. 20 % der Kläranlagenbetriebskosten aus, so liegt das theoretische Einsparungspotenzial bei Anlagen von ca. 1000 EW im Bereich der Projektkosten. Bei Anlagen mit einer Ausbaugröße von 5.000 EW (abgeschätzte spezifische Betriebskosten von 25 Euro/EW liegen die genannten Projektkosten bei einem Viertel des theoretischen Einsparungspotenziales.

Eine 20- bis 25%ige Kostenminderung ist je nach Kläranlagengröße mit unterschiedlichen absoluten Kostenminderungen verbunden, welche für die Kosten-Nutzen-Relation eines Benchmarking ausschlaggebend sind. Der potenzielle Nutzen eines Benchmarkings nimmt daher mit sinkender Kläranlagengröße ab, womit der Umfang und der Anspruch an die Genauigkeit der Daten mit abnehmender Kläranlagengröße entsprechend reduziert werden

müssen. Demgegenüber steht die Tatsache, dass mit geringerer Datendichte die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Anlagen abnehmen. Dem wissenschaftlichen Anspruch an eine Methode steht in diesem Fall die praktische Relevanz der Methode gegenüber. Die vorgestellte Methode versucht diesen Widersprüchen einerseits durch die Anpassung des Prozessmodells an die Kläranlagengröße, und andererseits durch die Definition von Schlüsselkennzahlen, deren Berechnung auch für kleine Anlagen mit vertretbarem Aufwand möglich ist, zu begegnen. Mit abnehmender Kläranlagengröße und dem damit verbundenem kleineren absoluten Einsparungspotential erscheint es daher aus Kostengründen erforderlich, vom Benchmarking zu einem bloßen Kennzahlenvergleich überzugehen.

#### **4.11.2 Kosten-Nutzen-Verhältnis der Abwasserreinigung**

Wie bereits beschrieben, stellt die entwickelte Methode ein Werkzeug zur Kostenminimierung von Abwasserreinigungsanlagen dar. Eine Optimierung des Gewässerschutzes als Ziel der Abwasserreinigung wird nicht direkt in die Betrachtung miteinbezogen, es wird jedoch die Einhaltung der (gesetzlichen) Anforderungen an die Reinigungsleistung vorausgesetzt.

Da die Methode einen Ausgleich unterschiedlicher Reinigungsanforderungen – zum Beispiel monetäre Bewertung der Restverschmutzung des Kläranlagenablaufes oder Ähnliches – nicht vorsieht, müssen Anlagen, die unter Anwendung dieser Methode miteinander verglichen werden, gleiche gesetzliche Anforderungen aufweisen.

Sowohl in der EU-Wasserrahmenrichtlinie als auch im Österreichischen Wasserrecht WRG 1959 ist der kombinierte Ansatz aus Vorsorgeprinzip und Immissionsschutz verankert. Unter Anwendung des Vorsorgeprinzips wurden Emissionsgrenzwerte entwickelt, die für jede Abwassereinleitung in ein Gewässer zumindest eingehalten werden müssen und die sich am Stand der Technik orientieren. Während in Österreich strengere Emissionsgrenzwerte - für Gebiete, die nicht als sensibel ausgewiesen wurden - angewendet werden als auf EU-Ebene, sieht die EU-Gesetzgebung detailliertere Anforderungen an den Immissionsschutz vor. Der Immissionsansatz orientiert sich an der natürlichen Beschaffenheit und der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer und folglich am guten Zustand der Gewässer. Der Immissionsansatz wird für die Festlegung von Emissionsbegrenzungen demnach nur dann relevant, wenn mit der Anwendung der Emissionsgrenzwerte alleine kein guter Zustand erreicht werden kann. Je strenger das Vorsorgeprinzip gehandhabt wird (strengere Grenzwerte), desto seltener treten so genannte Immissionsfälle auf. Aufgrund der strengeren Emissionsgrenzwerte in Österreich und des

hohen Verdünnungspotenziales in österreichischen Gewässern gibt es nur sehr wenige Immissionsfälle, womit die Vergleichbarkeit in Bezug auf die geforderte Reinigungsleistung innerhalb von Österreich weitgehend gegeben ist. Bei Anlagen, deren Reinigungsleistung nach dem Immissionsprinzip festgelegt wurde, können die Mehrkosten aufgrund der über die Emissionsgrenzwerte hinausgehenden Anforderungen als standortspezifische Kosten definiert und damit abgezogen werden. Wenn dies aufgrund fehlender Kostenzuordnung nicht möglich ist, ist auf alle Fälle ein Vergleich jener Prozesse möglich, für deren Kosten die Reinigungsleistung nicht von Bedeutung ist. Für einen internationalen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen muss der Vergleich von Prozessen, für deren Kosten die Reinigungsleistung entscheidend ist, innerhalb von Gruppen gleicher Anforderungen an die Reinigungsleistung erfolgen.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass weder bei den Kosten noch beim Nutzen eine Benchmark eruiert wird, sondern es wird für die Kosten und den Nutzen ein anzustrebender Bereich abgegrenzt. Jene Anlagen, die in diesem Bereich liegen, werden als Benchmarkanlagen = Vorbildanlagen bezeichnet.

Die Abbildung 36 stellt ein Kosten-Nutzen-Diagramm, in dem die spezifischen Betriebskosten in Abhängigkeit des Leistungskennwertes, der bei den im Rahmen des Benchmarking-Forschungsprojektes untersuchten Kläranlagen eingezeichnet wurde, dar.

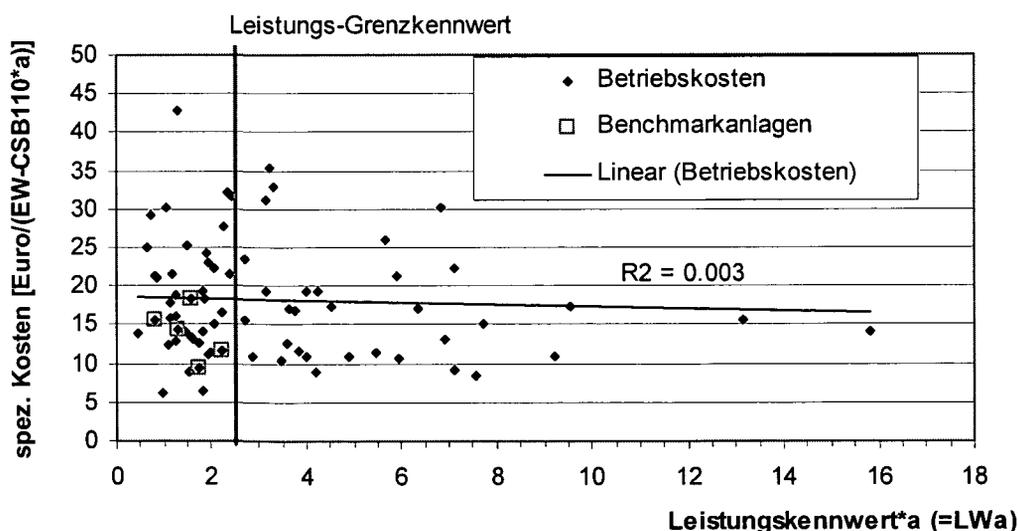


Abbildung 36: spezifische Betriebskosten in Abhängigkeit des Leistungskennwertes

Der Leistungskennwert (= LW) ist eine quantitative Beurteilung der nach der Reinigung im Ablauf verbleibenden Gewässerbelastung, dessen Berechnungsmethode im Kapitel 4.8.3 bereits beschrieben wurde. Um die Vergleichbarkeit der Anlagen untereinander zu verbessern, wird der Leistungskennwert (LW) mit dem Verdünnungsfaktor a auf Standardabwasserbeschaffenheit umgerechnet. Auf diese Weise wird der unterschiedliche

Einfluss von Fremdwasser kompensiert. Der mit dem Verdünnungsfaktor multiplizierte Leistungskennwert wird abgekürzt mit LWa bezeichnet. Je kleiner der Leistungskennwert, desto größer ist der Nutzen der eingesetzten Betriebskosten. Wird ein Leistungskennwert (LWa) von  $\leq 2,5$  erreicht, so werden mit großer Sicherheit auch die Emissionsgrenzwerte eingehalten, weshalb LWa=2,5 auch als Leistungs-Grenzkennwert bezeichnet wird.

Aus der Abbildung 36 kann ein weiterer sehr wesentlicher Schluss gezogen werden: Es besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen den Betriebskosten und der Reinigungsleistung, d.h. dem Nutzen. Diese Abbildung lässt den Schluss zu, dass mit steigender Reinigungsleistung die Kosten nicht ansteigen müssen beziehungsweise erhöhte Betriebskosten nicht mit einer höheren Reinigungsleistung gerechtfertigt werden können. Dies untermauern auch die eingezeichneten Benchmarkinganlagen, welche zum Teil sehr niedrige Leistungskennwerte aufweisen, zum Teil aber auch sehr nahe am Leistungsgrenzkennwert liegen.

Ein Widerspruch von Kostenminimierung und Optimierung des Gewässerschutzes kann aus der Abbildung 36 nicht abgeleitet werden. Es kann vielmehr der Schluss gezogen werden, dass eine Optimierung der Betriebsführung hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses dahin gehen muss, die vorhandene Reinigungskapazität möglichst weitgehend auszunutzen. Diese Forderung erhält zusätzliche Bedeutung, wenn man die Kapitalkosten ( $\frac{2}{3}$  der Jahreskosten) mitberücksichtigt, weil diese von der Betriebsführung nicht mehr beeinflusst werden können.

Man kann daher den Schluss ziehen, dass manche Benchmarkinganlagen in Hinblick auf die Verbesserung der Reinigungsleistung von Anlagen mit ebenfalls niedrigen Kosten lernen können, um so das Kosten-Nutzen-Verhältnis noch weiter zu optimieren. Dies ist vor allem für die Motivation der Betreiber wesentlich, deren primäre Aufgabe darin besteht Abwasser, weitestgehend zu reinigen. Die Kostenminimierung ist „nur“ eine Nebenbedingung.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Benchmarking stellt ein Werkzeug des operativen Controllings dar, das durch den systematischen Vergleich von Prozessen, Methoden und Produkten eine Grundlage für die Wirtschaftlichkeitssteuerung schafft. Benchmarking wird seit mehr als 20 Jahren zur Schaffung von Wettbewerbsvorteilen in der Privatwirtschaft angewendet. Die Methode des Vergleichens und Ermitteln von Besten kann jedoch auch bei der Erfüllung von öffentlichen Aufgaben angewendet werden. Die öffentliche Verwaltung hat den gesetzlichen Auftrag, nach den Grundsätzen der Sparsamkeit, Wirtschaftlichkeit und Zweckmäßigkeit (Bundesgesetzblatt, 1999) zu handeln. Benchmarking dient aufgrund der Verbesserung von Effektivität, Effizienz und Kostenwirtschaftlichkeit dazu, die gesetzlichen Anforderungen an die öffentliche Verwaltung zu erfüllen. In diesem Fall steht dann nicht die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen im Mittelpunkt des Interesses, sondern vielmehr die Schaffung von wettbewerbsähnlichen Bedingungen. Wobei die Tatsache, dass öffentliche Anlagenbetreiber zueinander nicht in Konkurrenz stehen, beim Benchmarking positiv zu bewerten ist. Der gegenseitige Daten- und Wissensaustausch sowie die Versorgung mit Primärinformationen führen zu keinem Wettbewerbsnachteil einzelner Anlagenbetreiber, sondern wirken sich aufgrund des Erkennens von Leistungsdefiziten und deren Ausgleich positiv auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Anlage aus. Einerseits wirkt sich der Anreiz, die Benchmark zu erreichen, positiv auf die Mitarbeitermotivation aus, und andererseits schaffen das Wissen um erreichbare Leistungsniveaus und der nicht durch Konkurrenz beeinträchtigte Erfahrungsaustausch optimale Voraussetzungen für die Betriebsoptimierung eines Unternehmens.

Controllingkonzepte für die Abwasserwirtschaft bezogen sich Anfang der 90er Jahre vor allem auf Steuerungskonzepte zur Einsparung von Investitionskosten. Ende der 90er Jahre und Anfang des neuen Jahrtausends starteten mehrere Pilotprojekte, bei denen Benchmarking als Controllingkonzept zur Optimierung der Betriebskosten in der Abwasserwirtschaft angewendet wurde. Eines dieser Projekte stellte das österreichische Forschungsprojekt „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“ dar, bei dem 71 Abwasserentsorgungsunternehmen – Kanalisation und Abwasserreinigung – im Detail untersucht wurden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird auf die im Bereich Abwasserreinigung gewonnenen Erfahrungen, Ergebnisse und entwickelten Methoden aufgebaut und eine Benchmarkingmethode vorgestellt, die für österreichische Kläranlagen entwickelt wurde, aber prinzipiell überall angewendet werden kann.

Der grundlegende Ablauf des Benchmarkingvorganges kann in sechs Module untergliedert werden. Die ersten drei Module dienen der Vorbereitung und Planung, der Datenerhebung,

Plausibilitätsprüfung und Kennzahlenbildung sowie der Benchmarkbestimmung. Im anschließenden IV. Modul werden die Ursachen der Abweichungen analysiert und auf Basis der vermuteten Ursachen Maßnahmen- und Umsetzungspläne erarbeitet. In den beiden anschließenden Modulen wird der Erfolg der umgesetzten Maßnahmen evaluiert. Bei der organisatorischen Planung eines Benchmarkingprojektes muss vor allem der Daten- und Informationsfluss sichergestellt werden, wobei den Bedürfnissen der Benchmarkingteilnehmer noch Rechnung zu tragen ist.

Der Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen hinsichtlich Effizienz und Effektivität wird mit Hilfe von Prozessen durchgeführt. Die Untergliederung der Gesamtanlage in einzelne Prozesse erlaubt es, unterschiedliche Verfahrens- und Betriebsweisen zumindest partiell miteinander vergleichen zu können. So unterschiedlich Anlagen auch sein können, es wird immer einzelne Prozesse geben, die einen Vergleich ermöglichen. Je nach Kläranlagengröße wird die Anwendung unterschiedlich detaillierter Prozessmodelle angewendet. Das in Abbildung 37 dargestellte Prozessmodell stellt einen Detaillierungsgrad dar, der für Abwasserreinigungsanlagen größer 20.000 Einwohnerwerte in vollem Umfang angewendet wird. Die Abwasserreinigungsanlage wird dabei in die vier Hauptprozesse *mechanische Vorreinigung*, *mechanisch-biologische Reinigung*, *Eindickung und -stabilisierung* und *weitergehende Schlammbehandlung* untergliedert.

Abwasserreinigung										
mechanische Vorreinigung	mechanisch-biologische Abwasserreinigung	Eindickung Stabilisierung		weitergehende Schlammbehandlung		obligatorische Hilfsprozesse			fakultative Hilfsprozesse	
		Überschuss-schlamm-eindickung	Schlammstabilisierung	Schlammmentwässerung	Schlammverwertung Schlammmentsorgung	Labor	Verwaltung	Betriebsgebäude/-gelände und sonstige Infrastruktur	Werkstätte	Fuhrpark
Prozess 1	Prozess 2	3.1	3.2	4.1	4.2	1.1	1.2	1.3	11.1	11.2
		Prozess 3		Prozess 4		Hilfsprozess I			Hilfsprozess II	

Abbildung 37: Haupt- und Teilprozesse der Abwasserreinigung (=Abbildung 5)

Die Hauptprozesse 3 und 4 werden jeweils in zwei Detailprozesse *Überschuss-schlamm-eindickung* und *Schlammstabilisierung* sowie *Schlammmentwässerung* und *Schlammverwertung/Schlammmentsorgung* unterteilt. Zusätzlich zu den Hauptprozessen wird die Einführung von zwei Hilfsprozessen, obligatorische Hilfsprozesse und fakultative

Hilfsprozesse, vorgenommen. Die obligatorischen Hilfsprozesse unterteilen sich dabei in die Teilhilfsprozesse *Labor*, *Verwaltung* und *Betriebsgebäude/-gelände und sonstige Infrastruktur*. Die fakultativen Hilfsprozesse umfassen die Teilhilfsprozesse *Werkstätte* und *Fuhrpark*.

Um die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Abwasserreinigungsanlagen sicherstellen zu können, wird der Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen in Gruppen vorgeschlagen. Die Gruppeneinteilung erfolgt aufgrund der gesetzlichen Vorgaben, der verwendeten Verfahrenskonzepte sowie der degressiven Entwicklung der spezifischen Kosten in Abhängigkeit der Kläranlagengröße.

Für Österreich kann aufgrund dieser drei Kriterien eine Einteilung in sechs Größengruppen vorgeschlagen werden, wobei der EW-Ausbau laut wasserrechtlicher Bewilligung die Gruppenzugehörigkeit bestimmt. In der Abbildung 38 sind einerseits die Benchmarking-Gruppengrenzen, und andererseits das jeweils vorgeschlagene Prozessmodell schematisch dargestellt. Dementsprechend wird bei Anlagen kleiner 10.000 EW-Ausbau ein Prozessmodell mit zwei Hauptprozessen und einem Hilfsprozess angewandt, bei Anlagen zwischen 10.000 und 20.000 EW-Ausbau werden drei Hauptprozesse und drei Hilfsprozesse und bei Anlagen größer 20.000 EW-Ausbau wird das bereits vorgestellte Prozessmodell mit vier Hauptprozessen und drei Hilfsprozessen angewendet.

50	500	5.000	10.000	20.000	50.000	EW-Ausbau		
1	2	3	4		5	6	Benchmarkinggrößengruppen	
Hauptprozess		Hilfsprozess	Hauptprozess		Hilfsprozess		Prozessmodell	
H2+3		4	HII	1	2+3	4	I	II
1	2	3	4	I	II			

Abbildung 38: Benchmarking-Größengruppen und angepasste Prozessmodelle (=Abbildung 28)

Dem Detaillierungsgrad des verwendeten Prozessmodells muss auch die Kostenrechnung angepasst sein, weshalb von prozessorientierter Kostenrechnung gesprochen werden kann. Bei den Kosten muss in Kapital- und Betriebskosten unterschieden werden, wobei die Addition von kalkulatorischen Kapitalkosten des Untersuchungsjahres und den tatsächlichen Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Die Verfügbarkeit der Kostendaten in der beschriebenen Detaillierung der Prozesse (= Kostenstellen) und eine noch weitergehende Untergliederung in Kostenarten ist bei vielen Anlagenbetreibern (noch) nicht gegeben, muss jedoch als Voraussetzung eines sinnvollen Benchmarkings angesehen werden.

Im Gegensatz zur Verfügbarkeit und Zuordnung der kaufmännischen Daten kann aufgrund der gesetzlichen Vorgaben mit einem sehr umfangreichen technischen Datensatz gerechnet werden. Im Falle der technischen Daten steht nicht die Verfügbarkeit, sondern vielmehr

deren Richtigkeit im Mittelpunkt des Interesses. Die Entwicklung einer Methode zur abgestuften Prüfung der Plausibilität stellt daher ein zentrales Element dieser Arbeit dar. Abgestuft deshalb, da je nach Erfordernis unterschiedliche Methoden der Plausibilitätsprüfung angewendet werden. Bei jenen Kennzahlen, die als Benchmarks und Richtwerte veröffentlicht werden, ist eine sehr ausführliche Plausibilitätsprüfung erforderlich. Die Daten von Anlagen, die aufgrund niedriger spezifischer Kosten als Benchmark in Frage kommen, werden daher mit Hilfe der Methode der Massenbilanzen hinterfragt. Für die Überprüfung von errechneten Kennzahlen jeder Kläranlage ist ein Vergleich der errechneten Werte mit Erfahrungswerten meist ausreichend. Für die rasche und überschlägige Überprüfung der Kläranlagenzulaufdaten, die aufgrund der Verwendung als Bezugsgröße und damit für die Berechnung der spezifischen Betriebskosten von besonderer Bedeutung sind, wurde eine eigene Methode der Plausibilitätsprüfung unter Anwendung von Verhältniszahlen (default values) entwickelt.

Um aussagefähige spezifische Kostenkennzahlen berechnen zu können, ist es erforderlich, die erhobenen Kosten mit möglichst sensitiven Bezugsgrößen zu verknüpfen. Die statistischen Auswertungen haben gezeigt, dass der Zusammenhang von Kosten und mehreren möglichen Bezugsgrößen am besten mit Hilfe einer Potenzfunktion in Abhängigkeit der Kläranlagengröße beschrieben werden kann. Als Ergebnis der Bezugsgrößenanalyse kann Folgendes festgehalten werden:

Für die Jahreskosten, die Gesamt-Betriebskosten und die Betriebskosten der Prozesse 1 bis 4 ist die Bezugsgröße EW-CSB110 am besten geeignet. Der Einwohnerwert EW-CSB110 wird aus der durchschnittlichen organischen Schmutzfracht im Kläranlagenzulauf unter der Annahme, dass ein Einwohner 110 Gramm CSB je Tag verursacht, berechnet. Für die Gesamt-Kapitalkosten und jene des Prozesses 2 (*mechanisch biologische Abwasserreinigung*) wird als Bezugsgröße EWnorm-Ausbau verwendet. EWnorm-Ausbau ist die theoretische Leistungsfähigkeit einer Kläranlage, die aufgrund der vorhandenen Volumina unter Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestanforderungen (= 1. EVkA) nach dem Stand der Technik (Bemessungsverfahren nach ATV/DVWK-A131) gereinigt werden könnte. Für die Prozesse 1, 3 und 4 wird als Bezugsgröße EW-Ausbau verwendet. EW-Ausbau ist jene Belastung, für die die betrachtete Abwasserreinigungsanlage tatsächlich geplant und errichtet wurde.

Da Benchmarking keinen reinen Kostenvergleich darstellt, sondern neben der Wirtschaftlichkeit der Prozesse auch deren Wirksamkeit von Interesse ist, wurde eine Kennzahlensystematik entwickelt, die sowohl eine Beurteilung der Effizienz als auch der Effektivität der einzelnen Prozesse erlaubt. Zusätzlich wurden einige Wirtschaftlichkeits- und Wirksamkeitskennzahlen, die hohe Steuerungsrelevanz besitzen, als so genannte Schlüsselkennzahlen definiert. Die Schlüsselkennzahlen stellen einen eingeschränkten

Kennzahlensatz dar, mit deren Hilfe ein rascher Überblick über die Wirtschaftlichkeit und Funktionsfähigkeit der Abwasserreinigungsanlage gewonnen werden kann. Die Schlüsselkennzahlen spielen bei der Festlegung von Benchmarks, Benchmarkanlagen und Benchmarkbereich eine wesentliche Rolle.

Bei den Gesamtkosten der Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten wird je Gruppe nicht eine Anlage als Benchmark angegeben, sondern ein Benchmarkbereich. Der Benchmarkbereich wird durch die niedrigsten spezifischen Kosten der potenziellen Benchmarkanlagen jeder Gruppe zuzüglich eines prozentuellen Aufschlags nach oben abgeschlossen, wobei bei der Festlegung des Benchmarkbereiches die Ungenauigkeit der Daten berücksichtigt wurde.

Benchmarkanlagen sind jene Anlagen, die hinsichtlich der Einhaltung der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser, der Plausibilität der Daten und aufgrund der kommunalen Abwassercharakteristik aus technischer Sicht die notwendigen Qualitätskriterien erfüllen und deren spezifische Kosten im Benchmarkbereich liegen.

Für die einzelnen Prozesse 1 bis 4 wird bei den Betriebskosten je Gruppe genau eine Benchmark definiert. Benchmark der Gruppe für den jeweiligen Prozess ist jene Anlage, die den genannten Kriterien aus technischer Sicht entspricht und gleichzeitig die geringsten spezifischen Kosten im jeweiligen Prozess aufweist. Die Unsicherheit der Daten und der Kostenzuordnung ist hier nicht berücksichtigt.

Benchmarking dient der Optimierung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses der Abwasserreinigung. Die vorgestellte Methode weist Anlagen dann als Benchmark aus, wenn die Kosten minimal sind und die (gesetzlichen) Vorgaben eingehalten werden. Diese Methode sieht keine monetäre Bewertung der Restverschmutzung vor, weshalb nur Anlagen mit gleichem Reinigungsziel verglichen werden können. Für österreichische Kläranlagen ist dies deshalb sehr gut möglich, da aufgrund der strengen Handhabung des Vorsorgeprinzips und des hohen Verdünnungspotenziales der österreichischen Gewässer nur sehr wenige Immissionsfälle auftreten und somit weitgehend gleiche Anforderungen an die Reinigungsleistung gegeben sind. Da kein Zusammenhang von Kosten und Nutzen nachgewiesen werden konnte, muss die Optimierung der Betriebsführung hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses dahin gehen, die vorhandene Reinigungskapazität möglichst weitgehend auszunutzen.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass sich Benchmarking als Controllinginstrument bei Abwasserreinigungsanlagen sehr gut eignet, jedoch auch mit einem entsprechenden Einsatz an Zeit und Ressourcen verbunden ist oder wie Liner et. al (1998) es ausgedrückt haben: „Benchmarking is neither quick nor easy!“

## 6 LITERATUR

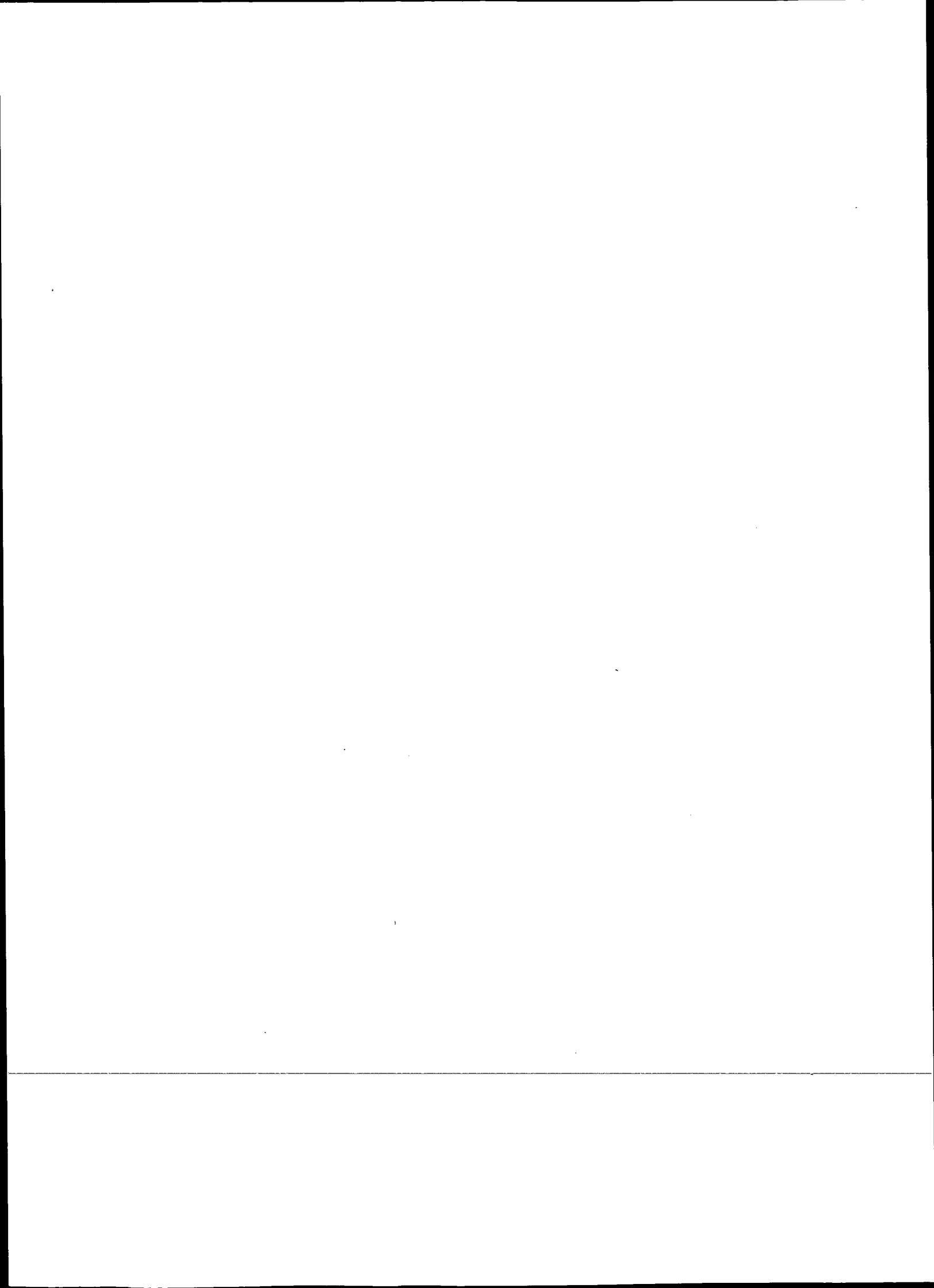
- Admiraal, R. J. und Heemst, W. R. v. (2000): *Benchmarking in der niederländischen Wasserwirtschaft-Bestandsaufnahme März 2000*. Korrespondenz Abwasser(8), 1172-1175.
- Alegre, H. (2000): *Performance Indicators for Water Supply Services*, IWA-International Water Association.
- American Water Works. (2003): *Homepage: [www.njawwa.org](http://www.njawwa.org)*.
- Andreottola, G., Bonomo, L., Poffiali, L. und Zaffaroni, C. (1996): *A methodology for the estimation of unit nutrient and organic loads from domestic and non-domestic sources*. Europ. Wat. Pollut. Control 4(6), 13-19.
- ATV-DVWK. (2000): *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*. Arbeitsblatt A131.
- ATV-DVWK. (2002): *Hinweise zur Anwendung von Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen*. Bericht der Adhoc-Arbeitsgruppe des Fachausschusses KA12.
- Becker, R., Mackenthun, M. und Müller, R. (1978): *Controlling*. ? Auflage, 8, Kienbaum, G, München.
- BMLF. (2003): *WasserZukunft - Eckpunkte für eine zukunftsfähige und nachhaltige Wasserwirtschaft in Österreich, Diskussionsentwurf, 14. Mai 2003, Wien*.
- Bogensberger, M., Habich, J. und Murnig, F. (2002): *Kosten und Leistungsrechnung als Benchmarking Grundlage in Benchmarking in der Abwasserentsorgung*, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 176. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien.
- Bohn, T. (1997): *Kostencontrolling bei Abwasserprojekten*. Korrespondenz Abwasser 1997(2), 257-265.
- Bohn, T. (1998): *Kostencontrolling bei Abwasserprojekten*. ATV-Schriftenreihe, Abwasser-Abfall-Gewässerschutz, 309-331.
- Breschi, T. und Lubello, C. (2000): *Benchmarking of operational costs for wastewater treatment plants*. L'acqua(4), 43-50.
- Bundesgesetzblatt. (1996): *1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser*. 210. Verordnung, Wien.
- Bundesgesetzblatt. (1999): *Bundesverfassungsgesetz*. Nr. 194, Wien.
- Chaix, O. (2003): *Kosten der Abwasserentsorgung*. Kosten und Gebühren der Siedlungsentwässerung, VSA-Fortbildungskurs in Emetten.
- Dyckhoff, H. (2000): *Umweltmanagement*. 1. Auflage, Springer, Berlin.

- Evers, P., Grünebaum, T. und Wilde, J. (1999): *Leistungskennzahlen als Grundlage für vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Siedlungswasserwirtschaft*. GWA(4), 253-258.
- Fischer, J. (1996): *Prozessorientiertes Controlling-ein notwendiger Paradigmenwechsel?* Controlling(4), 222-231.
- Fleckseder, H. und Mayer, S. (1995): *Kostenschätzung für die öffentliche Abwasserentsorgung und Wasserversorgung in Österreich* in *Kosten und Finanzierung der öffentlichen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Österreich*, Informationen zu Umweltpolitik. Kammer für Arbeiter und Angestellte, Wien.
- Gabler. (1997): *Wirtschaftslexikon*. 14. Auflage, Gabler, Wiesbaden.
- Gujer, W. (1999): *Siedlungswasserwirtschaft*. 1. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Habich, J. (2003): *mündliche Mitteilung*.
- Hammer, M. und Champy, J. (1994): *Business Reengineering*. 3. Auflage, Frankfurt.
- Hammer, M. und Champy, J. (1996): *Business Reengineering - Die Radikalkur für das Unternehmen*. 6. Auflage, Frankfurt, New York.
- Heemst, W. R. v. (1999): *Benchmarking in der Wasserwirtschaft-Bestandsaufnahme November 1999*. 2. internationales Symposium "Betriebswirtschaft und Organisation in der Abwasserentsorgung", München.
- Hinterhuber, H. (1994): *Paradigmenwechsel: Vom Denken in Funktionen zum Denken in Prozessen*. Journal für Betriebswirtschaft 2, 58-75.
- Horváth, P. (1998): *Controlling*. 7. Auflage, Vahlen, München.
- ISO9000. (2000): *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffsdefinitionen*, International Organisation of Standardization.
- Kamiske, G. F. und Fűrermann, T. (1995): *Reengineering versus Prozeßmanagement - Der richtige Weg zur prozeßorientierten Organisationsgestaltung*. Zeitschrift Führung + Organisation 3, 142-148.
- Kaplan, R. S. und Norton, D. P. (1992): *The Balanced Scorecard - Measures that Drive Performance*. Harvard Business Review 1/2.
- Kaplan, R. S. und Norton, D. P. (1997): *Balanced Scorecard - Strategien erfolgreich umsetzen*. 1. Auflage, Stuttgart.
- Kappeler, J. (2003): *Kennzahlen und Benchmarking bei Kläranlagen*. Kosten und Gebühren der Siedlungsentwässerung, VSA-Fortbildungskurs in Emetten.
- Köhler, W., Schachtel, G. und Voleske, P. (1996): *Biostatistik*. 2 vols, Springer, Berlin.
- Kroiss, H. (1996): *Studien - Abwasserentsorgung Lainstztal*, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien.

- Kroiss, H. (2002): *Abwasserentsorgung - Heute und Morgen, Aktuelle Situation und Perspektiven*.
- Kroiss, H., Haberl, R., Bogensberger, M., Nowak, O., Ertl, T., Josef, Habich, Lindtner, S., Starkl, M., Murnig, F. und Sleytr, K. (2001): *Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft - Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft*, Ministerium für Land- und Fortswirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, [www.lebensministerium.at/publikationen](http://www.lebensministerium.at/publikationen), Wien.
- Lechner, K., Egger, A. und Schauer, R. (1990): *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 13. Auflage, Industrieverlag Peter Linde GesmbH, Wien.
- Lindtner, S., Svoldal, K. und Nowak, O. (2003): *Definition der Begriffe "Belastung" und "Auslastung"* in Fortbildungsseminar Abwasserentsorgung, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 183, Seiten 389-402. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien.
- Lindtner, S. und Zessner, M. (2003): *Abschätzung von Schmutzfrachten in der Abwasserentsorgung bei unvollständiger Datenlage* in Fortbildungsseminar Abwasserentsorgung, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 183, Seiten 195-227. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien.
- Liner, B., Blankenship, L. und Freeman, N. (1998): *Benchmarking - The first step toward improving operating performance*. Water Environment and Technology(July), 45-48.
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A. und Schulz, A. (2003): *Performance Indicators for Wastewater Services*. 1. Auflage, IWA-International Water Association.
- Mertens, P. (1995): *Integrierte Informationsverarbeitung 1. Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie*. 10. Auflage, Wiesbaden.
- Müller, H. (1999): *Plausibilitätsprüfung in der Eigenüberwachung*. 1. ÖWAV-Workshop "Biologische Abwasserreinigung-Betrieb von Belebungsanlagen", Wien.
- Murnig, F. (2003): *mündliche Mitteilung*.
- Naismith, I. (2000): *Review of Worldwide Benchmarking Activity*. 1st World Water Congress of International Water Association (IWA), Berlin.
- Naismith, I. (2001a): *African benchmarking project broadens support*. W&Wi(April), 27-29.
- Naismith, I. (2001b): *Benchmarking - Improving performance in the water industry*. IWA Yearbook, 48-50.
- Neuhold, G. (1999): *Die Stadt Zürich im europäischen Vergleich-Ergebnisse, Massnahmen*. 2. internationales Symposium "Betriebswirtschaft und Organisation in der Abwasserentsorgung", München.

- Nowak, O. (1996): *Nitrifikation im Belebungsverfahren bei maßgebendem Industrieabwassereinfluß*. Wiener Mitteilungen - Wasser Abwasser Gewässer, Band 135, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien.
- Nowak, O. (2000): *Bilanzierung in der Abwasserreinigung*. Habilitationsschrift, TU-Wien.
- ÖWAV. (1999): *Kläranlagenzustandsbericht*. ÖWAV Arbeitsbehelf 22, Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- ÖWAV. (2000): *Leistungsbeurteilung und Leistungsvergleich von Abwasserreinigungsanlagen - Bestimmung von Leistungskennzahlen*. ÖWAV Arbeitsbehelf 9, Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- ÖWAV. (2003): *Kläranlagen Nachbarschaften*. Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen - Folge 11, Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- Parena, R. und Smeets, E. (2000): *Benchmarking Initiatives in Water Industry*. 1st World Water Congress of International Water Association (IWA), Paris.
- Pinnekamp, J. und Ries, T. (1999): *Betriebsmanagement für Abwasserbetriebe*. Korrespondenz Abwasser(5), 786-793.
- Preißler, P. R. (1995): *Controlling - Lehrbuch und Intensivkurs*. 6. Auflage, Oldenbourg, München.
- Sachs, L. (1991): *Angewandte Statistik*, 7, Springer, Berlin.
- Schäffer, U. (2001): *Strategische Steuerung mit der Balanced Scorecard in Controlling* Konzepte 5. Auflage, Seiten 463-493. Gabler, Wiesbaden.
- Schedler, K. (1996): *Ansätze einer wirkungsorientierten Verwaltungsführung*. 2. Auflage, Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.
- Scheer, A.-W., Bold, M. und Heib, R. (1996): *Geschäftsprozeßmodellierung als Instrument zur Gestaltung von Controlling-Systemen in Öffentlichen Verwaltungen* in Innovative Verwaltung 2000, Seiten 120-154. Friederichs Johann, Scheer August-Wilhelm, Wiesbaden.
- Scheer, H. (1999): *Kostenrechnung als Steuerungsinstrument für Abwasserbetriebe*. 22. Erfahrungsaustausch der Lehrer norddeutscher Kläranlagennachbarschaften, Bad Bremstedt.
- Schmelzer, H. J. und Sesselmann, W. (2001): *Geschäftsprozessmanagement in der Praxis*. 1. Auflage, Hanser, München.
- Schmidt, U. (1964): *Über die Kosten der biologischen Abwasserreinigung*. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Hochschule Hannover, Heft 13, Hannover.

- Schröder, R., Franz, A., Lischke, V. und Kruschel, S. (1998): *Projekt-Betriebs-Controlling in der kommunalen Abwasserentsorgung*. Korrespondenz Abwasser(11), 2133-2137.
- Schulz, A. (1999): *Benchmarking in der Abwasserbeseitigung Grundlagen-Methoden-Beispiele*. 2. internationales Symposium "Betriebswirtschaft und Organisation in der Abwasserentsorgung", München.
- Schulz, A. (2000): *Benchmarking von Kläranlagen* in Tagungsband zur 3. Rostocker Abwassertagung, Seiten 127-134, Rostock.
- Schulz, A. und Leuenberger, P. (2002): *Benchmarking in der Abwasserentsorgung am Beispiel der Emscher Genossenschaft und der ARA Region Bern AG*. 58. VSA-Hauptmitgliederversammlung vom 19.4.2002, Basel.
- Schulz, A., Schön, J., Schauerte, H., Graf, P. und Averkamp, W. (1998): *Benchmarking in der Abwasserbehnadlung*. Korrespondenz Abwasser(12), 2297-2302.
- Schweighofer, P. (1994): *Möglichkeiten der Plausibilitätsprüfung von Messwerten*, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 176, Seiten G1-G42.
- Staud, J. (2001): *Geschäftsprozessanalyse*. 2. Auflage, Springer, Berlin.
- Stegmann, B. (2002): *Benchmarking als Instrument einer New Public Management-orientierten Controllingkonzeption für kommunale Abfallwirtschaftsbetriebe*.
- Stemplewski, J., Schulz, A. und Schön, J. (2000): *Benchmarking-An approach to efficiency enhancement in planning, construcion and operation of wastewater treatment plants*. 1st World Water Congress of International Water Association (IWA), Paris.
- Wibbe, S. (1999): *Benchmarking in der Abwasserwirtschaft*. Korrespondenz Abwasser(9), 1432-1436.
- Wiesmann, J. (1999): *Neue Wege zum Benchmarking für Betreiber*. ATV-Bundes- und Landesgruppentreffen, Mainz.
- Zerres, P. (2000): *Kommunale Produktbörse Baden-Württemberg - Produkt "Reinigung von Abwasser"*. Jahresbesprechung der Lehrer der Kläranlagennachbarschaften der ATV-DVWK-Landesverbandes Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Zessner, M. und Lindtner, S. (2003): *A method for load estimations of municipal point source pollution*. 5th international biennial conference and exhipition, Olomouc.
- Zillich, G., Burmester, M. und Robisch, H. (2002): *Abwasserkostenminimierung auf der Basis von Kennzahlen (ABKOM)*. Abschlußbericht der Stufe 2, Kommunale Umwelt-Aktion U.A.N., Hannover.
- Zimmermann, G. (1992): *Prozeßorientierte Kostenrechnung in der öffentlichen Verwaltung*. Controlling(4), 192-202.



## ANHANG

In dieser Arbeit wurde, ausgehend von den Erkenntnissen des Benchmarking-Forschungsprojektes, eine modifizierte und erweiterte Benchmarking Methode erarbeitet. Die Veröffentlichung von konkreten Benchmarks, Benchmarkanlagen und Benchmarkbereichen auf Basis der vorgestellten Methode wird nach Anwendung der Methode in der Praxis in separaten Publikationen folgen.

Um einerseits einen Eindruck von der Darstellungsform der Ergebnisse zu vermitteln, und andererseits die wesentlichsten Ergebnisse des Forschungsprojektes noch einmal darzustellen, wird in diesem Anhang jener Teil eines Individualberichtes des Benchmarking-Forschungsprojektes veröffentlicht, der die wesentlichsten Ergebnisse des Bereiches Abwasserreinigung aus technischer Sicht umfasst.

Der Inhalt dieses Musterberichtes zeigt die grafische Darstellung der Plausibilitätsprüfung mittels Massenbilanzen, die Ergebnisse der spezifischen Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten sowie der spezifischen Prozesskosten der Betriebs- und Kapitalkosten.

Abschließend wird aufgrund des Vergleiches mit der Benchmarkanlage der Gruppe dargestellt, in welchen Prozessen für die Beispielanlage Handlungsbedarf besteht und mit welchem theoretischen Einsparungspotenzial im jeweiligen Prozess gerechnet werden kann.

### **A 1 PLausibilitÄtsKONTROLLE**

Ein wesentliches Element bei der Prüfung der Kläranlagendaten auf Plausibilität stellt die Methode der Massenbilanzierung dar. Für die detaillierte Beschreibung dieser Methode wird auf die Literatur verwiesen. Im Folgenden wird ausschließlich auf Besonderheiten der CSB-, Stickstoff- und Phosphor-Massenbilanzen in den Abbildungen A-1 bis A-3 eingegangen. Die Plausibilitätsprüfung der Daten wird mit Hilfe der grafischen Darstellung der Massenbilanzen veranschaulicht und somit vereinfacht.

In den schematischen Darstellungen der Abwasserreinigungsanlage sind die vier Prozesse durch unterschiedliche Farben dargestellt. Aus den Abbildungen können nicht nur die Stoffflüsse abgelesen werden, sondern es sind auch Größe und Art der maschinellen und baulichen Einrichtungen ersichtlich. Die als dünne schwarze Pfeile dargestellten Stoffflüsse beziehen sich auf Konditionierungsmittel, Rechen- und Sandfanggut sowie Fäkalien und Kanalräumgut. Die für den jeweiligen Prozess erforderliche elektrische

Energie (welche von den Anlagenbetreibern angegeben wurde) wurde neben jedem Prozess eingetragen. Bei den Pump- und Hebewerken wurde der berechnete Energieverbrauch einerseits mit Hilfe der Anschlussleistung und der Laufzeit, und andererseits aufgrund der Fördermenge sowie –höhe berechnet sowie in die Abbildungen eingetragen.

Die drei Abbildungen stellen die Massenströme der drei Stoffgruppen CSB, N und P in unterschiedlichen Farben dar. Die Breite der Pfeile ist proportional zur Fracht, wobei die Zulauffracht als Referenzwert (100 Prozent) dient. Die Bilanz für einen Prozess ist dann ausgeglichen, wenn die Summe der Input-Frachten gleich jener der Output-Frachten ist. Grundsätzlich wurden für die Erstellung der Bilanzen die zur Verfügung gestellten Daten verwendet.

Hinsichtlich der CSB-Massenbilanz ist besonders zu betonen, dass für die Berechnung von OVC (jener Anteil des abgebauten CSB, der die Biologie gasförmig verlässt) der angenommene Sauerstoffertag (Op) je nach Belüftungssystem zwischen 1,35 und 3,8 variiert wurde, um eine möglichst ausgeglichene CSB-Bilanz zu erhalten. Bei den Anlagen, die den Glühverlust bestimmen, wurde die CSB-Fracht des Schlammes aus der oTS-Fracht ( $CSB = oTS \cdot 1,42$ ) berechnet, andernfalls wurde ein Glühverlust aus Erfahrungswerten angenommen.

Bei den Stickstoff- und Phosphormassenbilanzen wurden vor allem die Frachten im Zu- und Ablauf sowie im Klärschlamm berechnet. In der Schlammlinie wurde für den Fall, dass keine Rückflüsse aus der Schlammbehandlung angegeben wurden, davon ausgegangen, dass sich die Phosphor- und Stickstofffracht im Prozess 4 nicht ändert. Bei Anlagen mit Vorklärung wurde die N- und P-Fracht des Primärschlammes mit 10 Prozent der Zulauffracht abgeschätzt. Die Verteilung der N- und P-Frachten innerhalb des Prozesses 3 wurde ausgehend vom Primärschlamm vorgenommen. Bei Anlagen ohne Vorklärung wurden die N- und P-Frachten aufgrund der Verteilung der TS-Frachten im Prozess 3 eingeschätzt. Die sich aufgrund der beschriebenen Vorgangsweise ergebenden Ungenauigkeiten bei der Stickstoff- und Phosphorbilanz sind jedoch von untergeordneter Bedeutung, da für die Beurteilung der Datengüte vor allem die Massenbilanz, bezogen auf die gesamte Abwasserreinigungsanlage, relevant ist. Die Stickstofffracht, die die Kläranlage als Stickstoffgas verlässt, wurde aus den aufgrund der angegebenen Daten erforderlichen denitrifizierten Stickstofffracht berechnet.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die grafischen Darstellungen der Massenbilanzen einerseits das Ziel haben die Stoffflüsse auf ihrer Anlage möglichst übersichtlich darzustellen, andererseits aber auch als Anregung für die Verwendung der Methode der Massenbilanzierung verstanden werden sollen.

# ANHANG

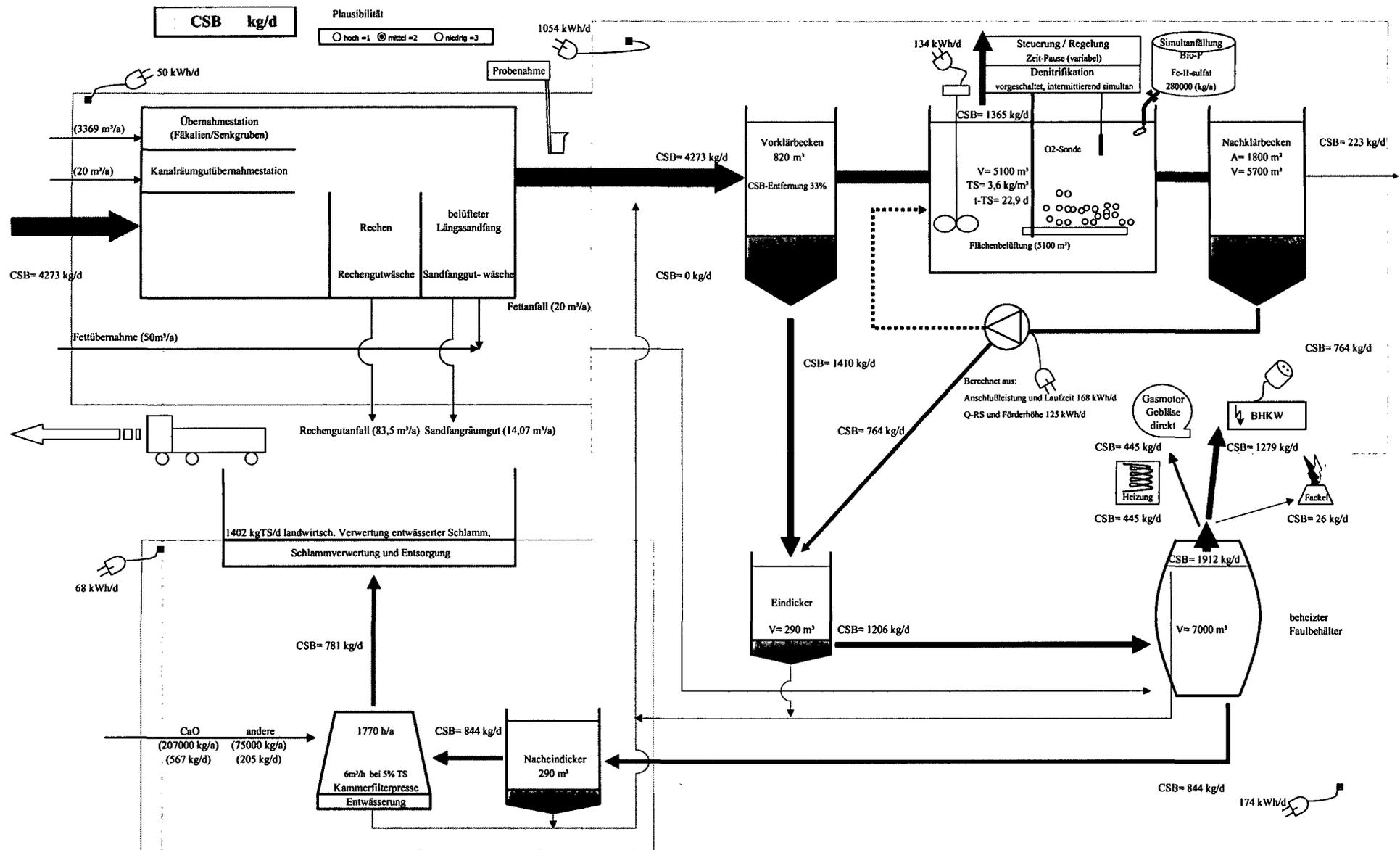


Abbildung A-1: Grafische Darstellung der CSB-Massenbilanz einer Kläranlage

# ANHANG

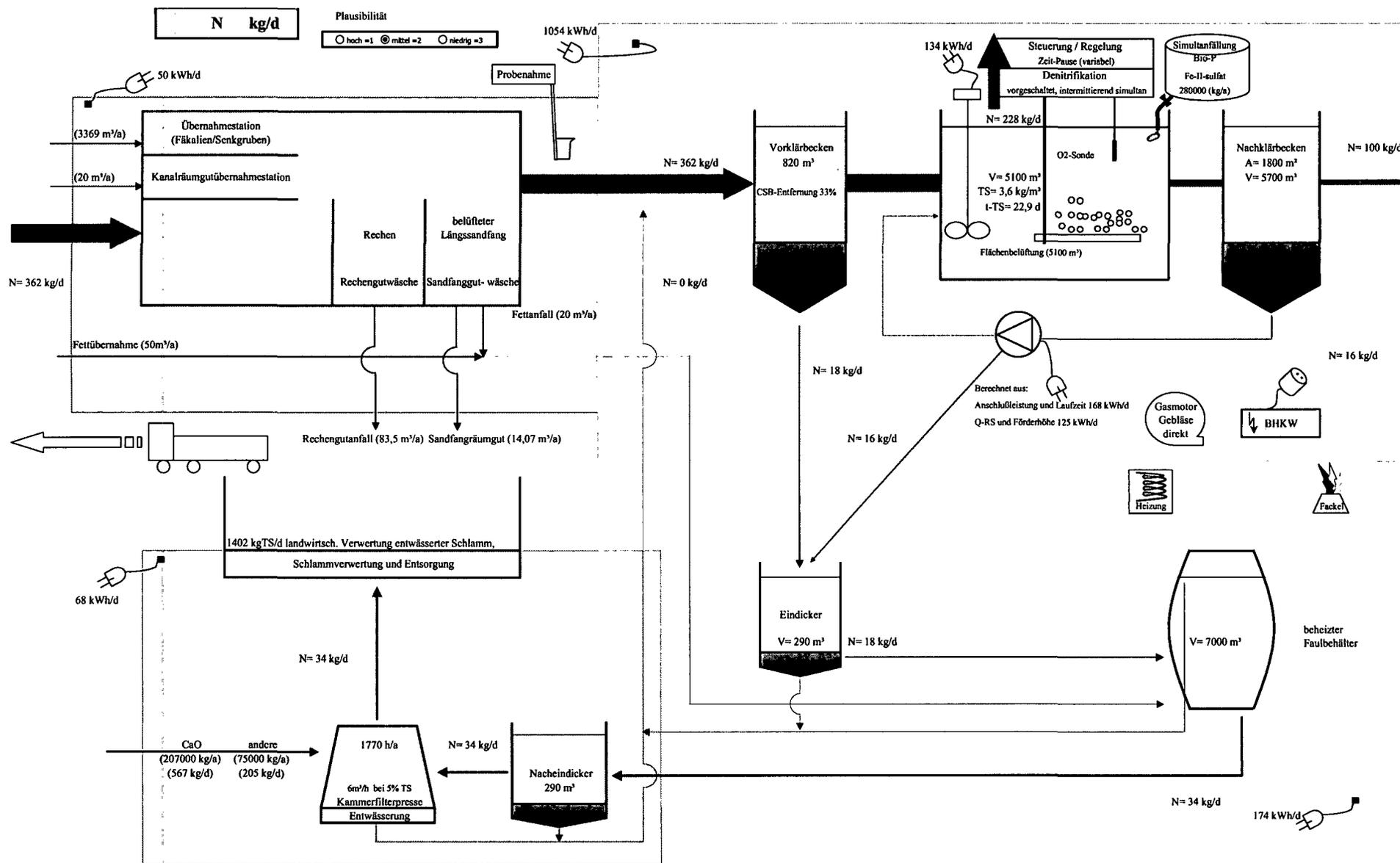


Abbildung A-2: Grafische Darstellung der N-Massenbilanz einer Kläranlage

# ANHANG

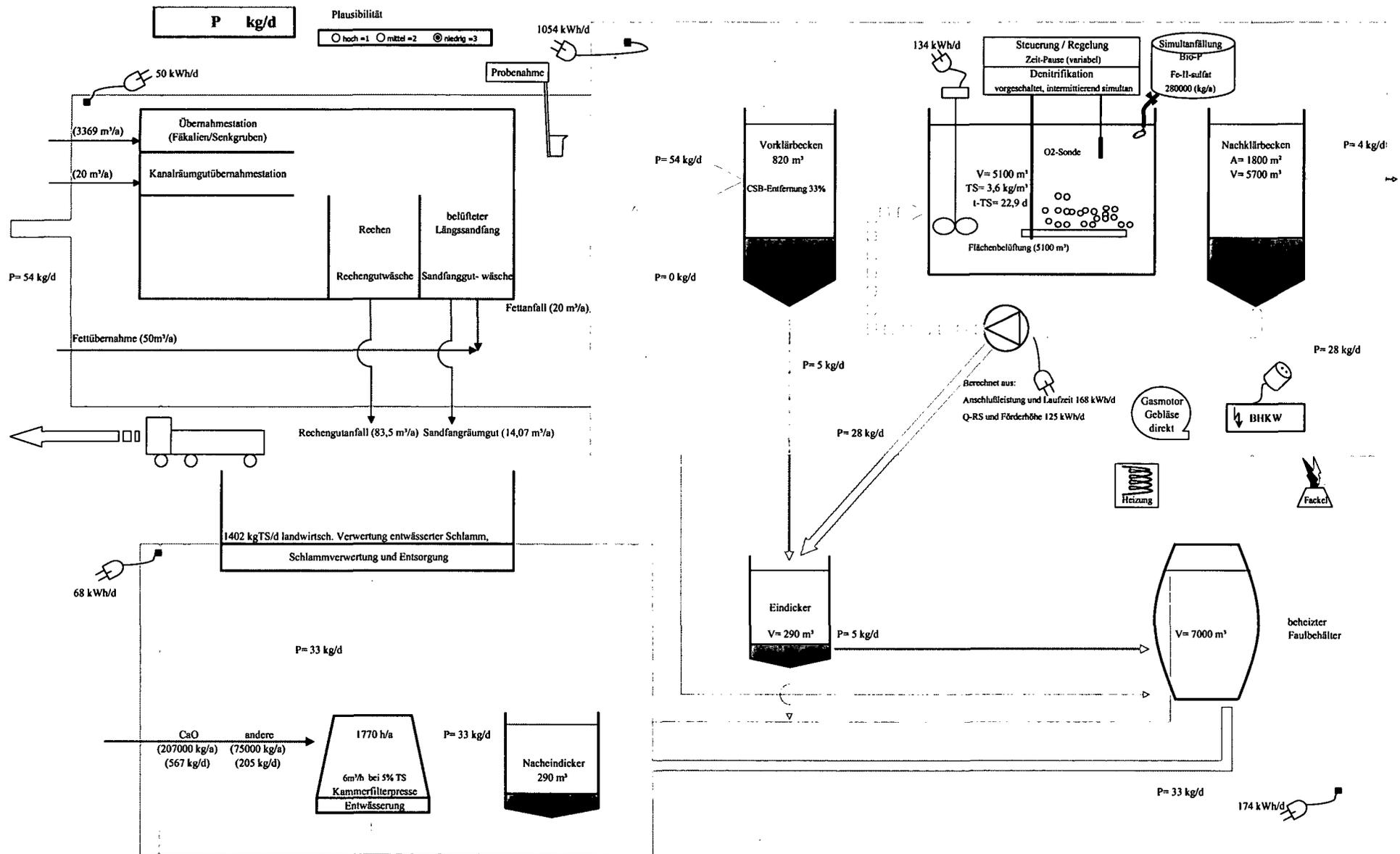


Abbildung A-3: Grafische Darstellung der P-Massenbilanz einer Kläranlage

**A 2 ERGEBNISSE DER BETRIEBS-, KAPITAL- UND JAHRESKOSTEN DER ABWASSERREINIGUNGSANLAGE**

Für die drei Kostenbereiche Kapital-, Betriebs- und Jahreskosten wurden spezifische Kosten ermittelt. An dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass für die Jahreskosten, für die Gesamtbetriebskosten und für die Betriebskosten der vier Prozesse EW-CSB110 als Bezugsgröße verwendet wurde. Für die Kapitalkosten insgesamt und jene des Prozesses 2 wurde EWnorm-Ausbau als Bezugsgröße verwendet, für die Prozesse 1, 3 und 4 die EW-Ausbau (siehe Tabelle A-1).

*Tabelle A-1: Verwendete Bezugsgrößen*

	<b>Kapitalkosten</b>	<b>Betriebskosten</b>	<b>Jahreskosten</b>
Gesamt	EWnorm-Ausbau	EW-CSB110	EW-CSB110
Prozess 1	EW-Ausbau		
Prozess 2	EWnorm-Ausbau		
Prozess 3	EW-Ausbau		
Prozess 4			

In den folgenden Abbildungen A-4 bis A-16 (siehe ab Seite A 12) wurden die spezifischen Kosten für jede Gruppe der Größe nach gereiht und grafisch dargestellt. Den Abbildungen können nicht nur die jeweiligen Benchmarks entnommen werden, sondern auch ein Benchmarkbereich der jeweiligen Gruppen bei den Betriebs-, Kapital- und Jahreskosten sowie der Median der Gruppen bei den Teilprozessen als Orientierungsmaßstab.

Die spezifischen Kosten der Beispielanlage wurden in den Abbildungen einerseits durch eine blaue Umrandung, und andererseits durch die Kennzeichnung „TN“ (= Teilnehmer) an der X-Achse hervorgehoben.

## A 2.1 Ergebnisse der Betriebskostenauswertung

### A 2.1.1 Ergebnisse der Gesamtbetriebskosten

In Abbildung A-1 (siehe Seite A 12) sind die Gesamtbetriebskosten, gereiht nach der Höhe der spezifischen Kosten, sowie der Benchmarkbereich gruppenweise dargestellt. Als zusätzliche Information sind einerseits jene Anlagen, die die 1. AEVKA nicht einhalten, und andererseits jene Anlagen, die Benchmark sind, gekennzeichnet. Alle Anlagen, die unterhalb der Benchmarklinie liegen und keine Kennzeichnung aufweisen, haben zwar niedrige spezifische Betriebskosten, kommen aber entweder aufgrund von starkem gewerblichen bzw. industriellen Einfluss nicht als Benchmarkanlagen in Frage (N/CSB Kennzeichnung an der Abszisse) oder weisen im Untersuchungsjahr 1999 eine Datenlage auf, die als nicht ausreichend abgesichert angesehen wird.

Um zu sehen, ob bei den Betriebskosten Unterschiede zwischen Anlagen mit simultaner und getrennter Stabilisierung bestehen, wurden Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung mit einem schwarzen Rahmen gekennzeichnet. Um die Anonymität der Teilnehmer wahren zu können, wurde bei der Gruppe 1 auf die Kennzeichnung der Art der Stabilisierung verzichtet. Auf den Vergleich der Verfahren wird noch näher eingegangen.

*Tabelle A-2: Höhe des Benchmarkbereiches und des Medians der Betriebskosten der Gruppen 1 bis 5 sowie Betriebskosten des Teilnehmers*

[ATS/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich	303	258	219	175	142
Gruppenmedian	407	339	234	175	164
Teilnehmer	-	-	-	160	-

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich	22	19	16	13	10
Gruppenmedian	30	25	17	13	12
Teilnehmer	-	-	-	12	-

In der Tabelle A-2 wurde einerseits der Benchmarkbereich, und andererseits der Median der einzelnen Gruppen zusammengefasst.

A 2.1.2 Ergebnisse der Betriebskostenauswertung der Prozesse 1 bis 4

Beim Prozess 1 der Gruppe 1 zeigt sich ein Hauptproblem bei kleinen Anlagen, das in der Aufteilung der Kosten auf die Einzelprozesse liegt.

In Tabelle A-3 wurden einerseits die Benchmarks, und andererseits die Mediane der einzelnen Gruppe zusammengestellt.

*Tabelle A-3: Höhe des Benchmarkbereiches und des Medians der Betriebskosten der Gruppen 1 bis 5 sowie Betriebskosten des Teilnehmers des Prozesses 1*

[ATS/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P1	16	23	19	14	12
Gruppenmedian P1	77	42	24	18	18
Teilnehmer	-	-	-	14	-

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P1	1,16	1,67	1,38	1,02	0,87
Gruppenmedian P1	5,60	3,05	1,74	1,31	1,31
Teilnehmer	-	-	-	1,02	-

Bei der Bestimmung der Benchmark des Prozesses 2 ist zu berücksichtigen, dass simultan stabilisierende und getrennt stabilisierende Anlagen miteinander verglichen werden. Bei der Benchmarkfestlegung muss daher darauf Rücksicht genommen werden, um welchen Anlagentyp es sich handelt. Bei den Gruppen 1 und 2 kommen ausschließlich Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung als Benchmark in Frage. Bei der Gruppe 3 ergibt sich der interessante Fall, dass eine Anlage mit simultaner aerober Stabilisierung und eine mit Faulung in etwa dieselben spezifischen Kosten aufweisen. In diesem Fall ist die Anlage mit simultaner aerober Stabilisierung effizienter, weil bei gleichen Kosten die Schlammstabilisierung bereits erfolgt ist und aufgrund des höheren Schlammalters die Reinigungsleistung besser sein kann. Durch die Addition der spezifischen Kosten der Prozesse 2 und 3 kann diese Überlegung leicht nachvollzogen werden. Bei den Gruppen 4 und 5 sind jeweils Anlagen mit Faulung eindeutig als Benchmark auszuweisen. Diese beiden Anlagen haben auch bei der Summe der spezifischen Kosten der Prozesse 2 und 3 jeweils die niedrigsten Betriebskosten.

ANHANG

*Tabelle A-4: Höhe des Benchmarkbereiches und des Medians der Betriebskosten der Gruppen 1 bis 5 sowie Betriebskosten des Teilnehmers des Prozesses 2*

[ATS/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P2	137	112	89	43	32
Gruppenmedian P2	150	118	89	61	56
Teilnehmer	-	-	-	61	-

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P2	9,96	8,14	6,47	3,12	2,33
Gruppenmedian P2	10,90	8,58	6,47	4,43	4,07
Teilnehmer	-	-	-	4,43	-

Beim Prozess 3 Schlammeindickung und Stabilisierung haben definitionsgemäß nur jene Anlagen spezifische Kosten, deren Schlamm getrennt stabilisiert wird. In der Abbildung A-7 wurde zur Unterscheidung von Anlagen mit Faulung und getrennter aerober Stabilisierung letztere dick strichliert umrandet. Wie aus Abbildung A-7 ersichtlich, kommen von den insgesamt 10 Anlagen mit getrennter aerober Stabilisierung nur vier Anlagen als Benchmark in Frage. Eine gemeinsame Benchmark von Anlagen mit und ohne Faulung hat keinen Sinn, weil man sich für die Auffindung von Einsparungspotenzialen an Anlagen gleicher Stabilisierungsart orientieren muss. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass vor allem die Energiekostenaufteilung auf Prozess 2 und 3 bei getrennt aerob stabilisierenden Anlagen sehr schwierig ist, da meist ein gemeinsames Belüftungsaggregat verwendet wird. Es werden daher für den Prozess 3 ausschließlich Anlagen mit Faulung als Benchmarkanlagen herangezogen.

*Tabelle A-5: Höhe des Benchmarkbereiches und des Medians der Betriebskosten der Gruppen 1 bis 5 sowie Betriebskosten des Teilnehmers des Prozesses 3*

[ATS/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P3			25	9	12
Gruppenmedian P3		54	25	16	11
Teilnehmer	-	-	-	9	-

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P3			1,82	0,65	0,87
Gruppenmedian P3		3,92	1,82	1,16	0,80
Teilnehmer	-	-	-	0,65	-

Bei der Gruppe 1 wird für den Prozess 3 keine Benchmark angegeben. Für die Gruppe 2 kann ebenso keine Benchmark angegeben werden, weil die in Frage kommenden Anlagen ca. doppelt so hohe spezifische Kosten aufweisen wie die Benchmarkanlage der Gruppe 3 und daher nicht als Vergleichsanlagen empfohlen werden können. Die Höhe der Benchmarks und der Mediane der Gruppen 3 bis 5 können der Tabelle A-5 entnommen werden.

Die Summen der spezifischen Kosten der Prozesse 2 und 3 der einzelnen Anlagen sind in Abbildung A-8 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bei den Gruppen 2 und 3 Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung niedrigere Betriebskosten aufweisen als Anlagen mit getrennter Schlammstabilisierung. Bei den Gruppen 1 und 2 ist dies eindeutig aus der Grafik ersichtlich. Für die Gruppe 3 wird für Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung ein Median von 7 Euro/EW-CSB110 und für getrennt stabilisierende Anlagen ein Median von 9 Euro/EW-CSB110 errechnet. Bei den Anlagen der Gruppe 5 liegen die beiden simultan stabilisierenden Anlagen um den Median von 5 Euro/EW-CSB110.

Die ermittelten Benchmarks von Prozess 4 können der Tabelle A-6 ebenso entnommen werden wie die Mediane der einzelnen Gruppen.

*Tabelle A-6: Höhe des Benchmarkbereiches und des Medians der Betriebskosten der Gruppen 1 bis 5 sowie Betriebskosten des Teilnehmers des Prozesses 4*

[ATS/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P4	100	75	79	75	52
Gruppenmedian P4	142	139	112	75	69
Teilnehmer	-	-	-	75	-

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmark P4	7,27	5,45	5,74	5,45	3,78
Gruppenmedian P4	10,32	10,10	8,14	5,45	5,01
Teilnehmer	-	-	-	5,45	-

Im Gegensatz zum Prozess 2+3 sind beim Prozess 4 die Kosten der weitergehenden Schlammbehandlung bei Anlagen mit simultaner Schlammstabilisierung tendenziell höher als bei getrennt stabilisierenden Anlagen. Dies steht im Einklang mit der höheren mittleren spezifischen Schlammproduktion bei simultan stabilisierenden Anlagen.

Alle Gruppenmediane der Prozesse 1 bis 4 sind in der Tabelle A-7 zusammengefasst. Bemerkenswert dabei ist, dass der Median der Betriebskosten der Prozesse 2+3 rund 45 Prozent des Medians der Gesamtbetriebskosten aller Gruppen beträgt.

ANHANG

Daraus kann abgeleitet werden, dass die Betriebskosten zu ca. 45 % von der mechanisch biologischen Abwasserreinigung inklusive Schlammstabilisierung verursacht werden und die anderen 55 Prozent der mechanischen Vorreinigung (ca. 10 %) bzw. hauptsächlich der weitergehenden Schlammbehandlung (ca. 45 %) zugerechnet werden müssen.

*Tabelle A-7: Zusammenfassung der Mediane der Gruppen der Betriebskosten*

[ATS/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Gruppenmedian P1	77	42	24	18	18
Gruppenmedian P2	150	118	89	61	56
Gruppenmedian P3	(108)	54	25	16	11
Gruppenmedian P4	142	139	112	75	69
<b>Gruppenmedian P2+P3</b>	<b>150</b>	<b>127</b>	<b>107</b>	<b>77</b>	<b>72</b>
<b>Gruppenmedian Gesamt</b>	<b>407</b>	<b>339</b>	<b>234</b>	<b>175</b>	<b>164</b>
[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Gruppenmedian P1	5,60	3,05	1,74	1,31	1,31
Gruppenmedian P2	10,90	8,58	6,47	4,43	4,07
Gruppenmedian P3	(7,85)	3,92	1,82	1,16	0,80
Gruppenmedian P4	10,32	10,10	8,14	5,45	5,01
<b>Gruppenmedian P2+P3</b>	<b>10,90</b>	<b>9,23</b>	<b>7,78</b>	<b>5,60</b>	<b>5,23</b>
<b>Gruppenmedian Gesamt</b>	<b>29,58</b>	<b>24,64</b>	<b>17,01</b>	<b>12,72</b>	<b>11,92</b>

Zum besseren Verständnis sei hier noch angemerkt, dass der Median den mittleren Wert einer Gruppe darstellt. Dies bedeutet, dass die Hälfte der Werte einer Gruppe größer und die andere Hälfte kleiner als der Median sind. Aus diesem Grund muss die Summe der Mediane der Einzelprozesse nicht gleich dem Median der Gesamtkosten sein. Der Gruppenmedian P2+P3 stellt keine Addition von Gruppenmedian P2 und Gruppenmedian P3 dar, sondern ist der mittlere Wert der bereits addierten spezifischen Betriebskosten dieser beiden Gruppen.

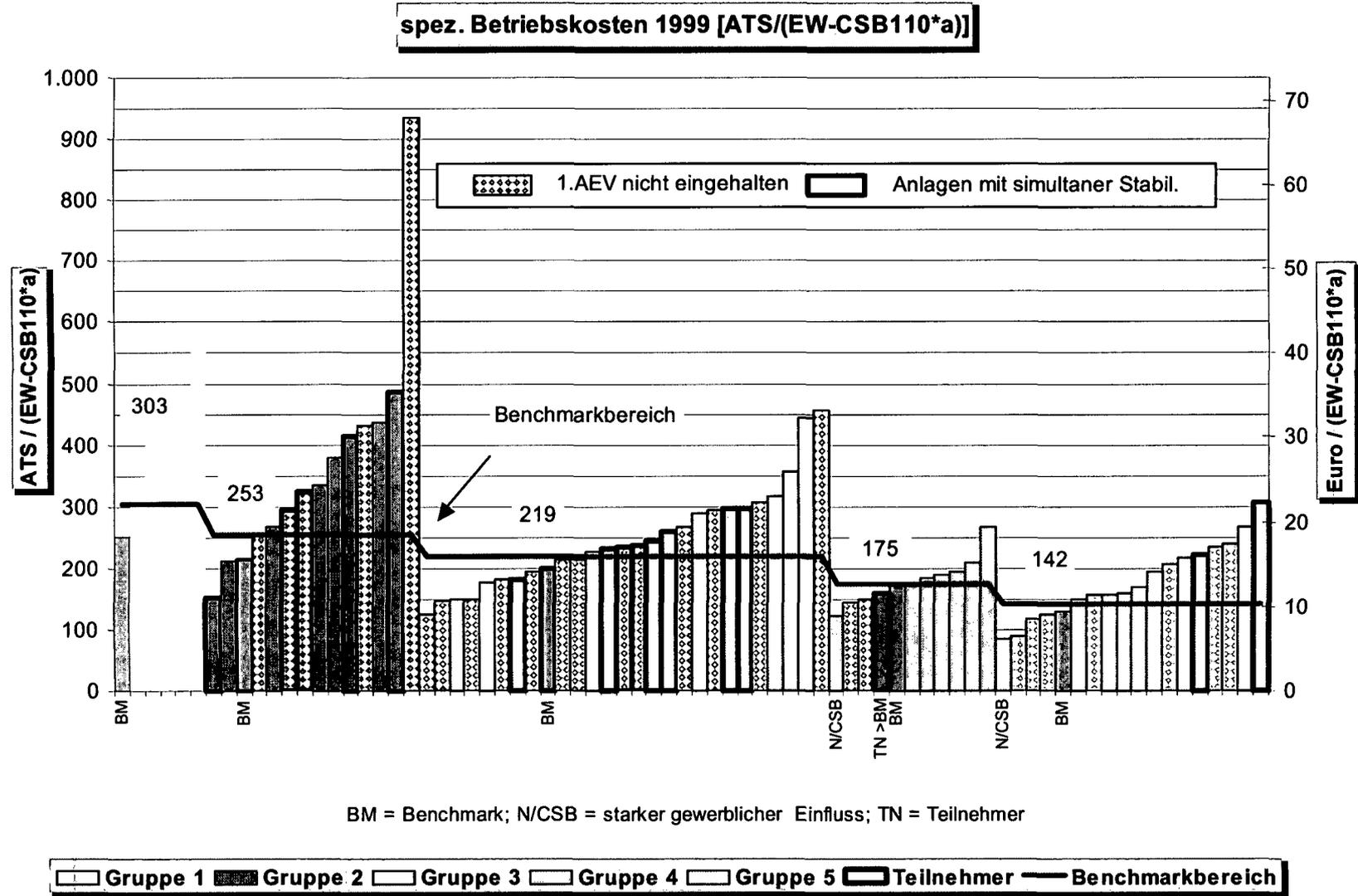
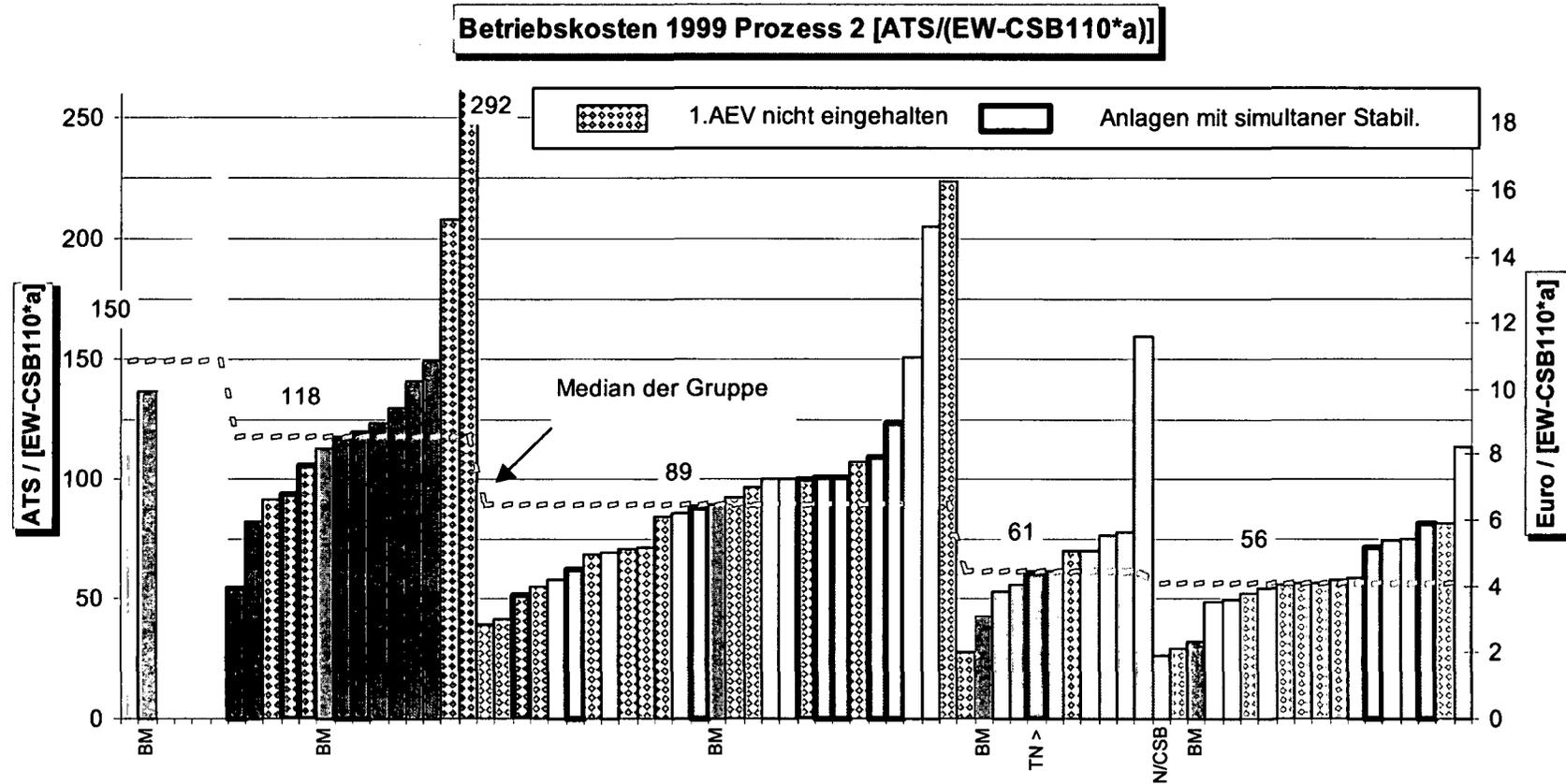


Abbildung A-4: Vergleich der Betriebskosten 1999 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)



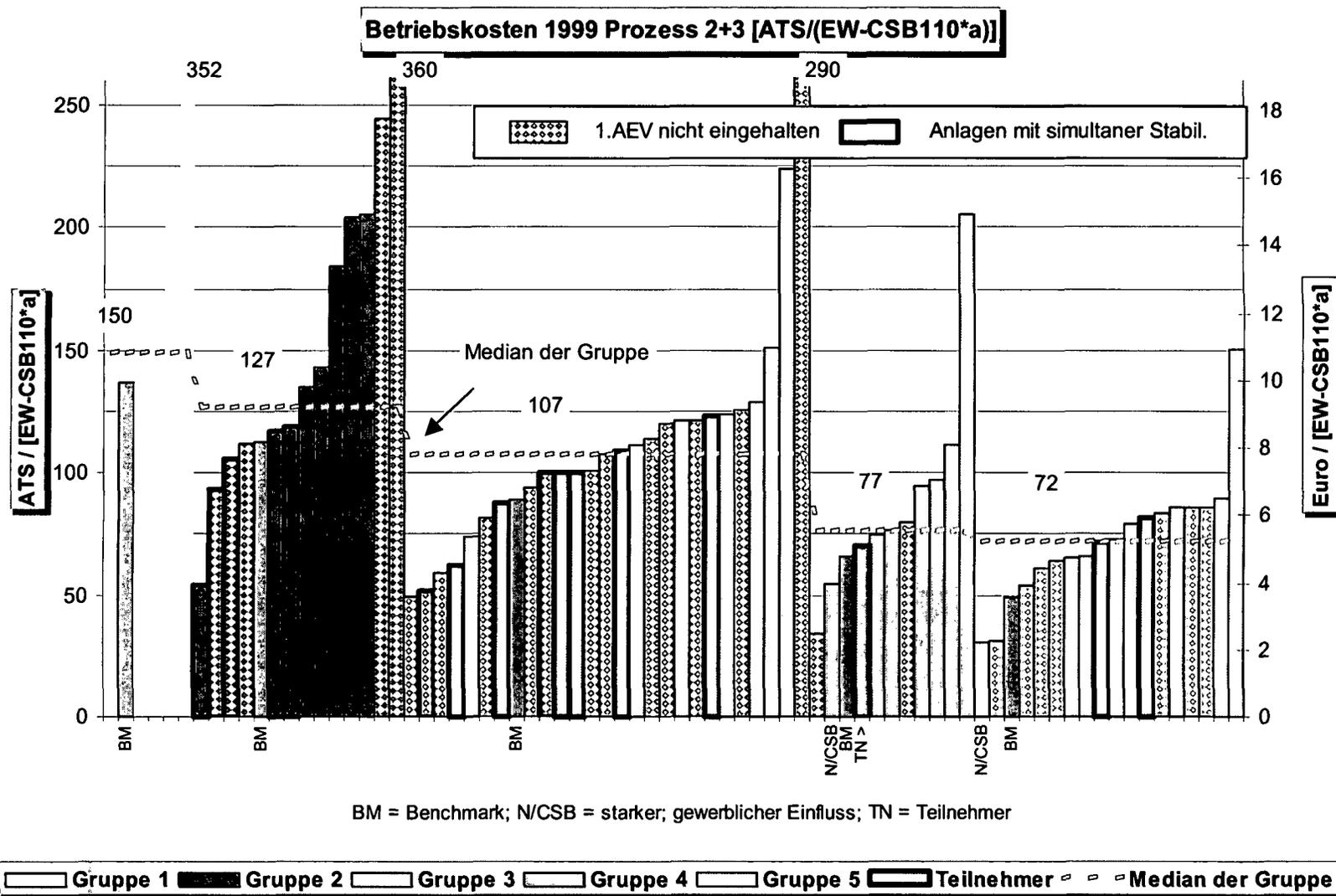


BM = Benchmark; N/CSB = starker gewerblicher Einfluss; TN = Teilnehmer

Abbildung A-6: Vergleich der Betriebskosten 1999 von Prozess 2 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)





BM = Benchmark; N/CSB = starker; gewerblicher Einfluss; TN = Teilnehmer

Abbildung A-8: Vergleich der Betriebskosten 1999 von Prozess 2+3 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)

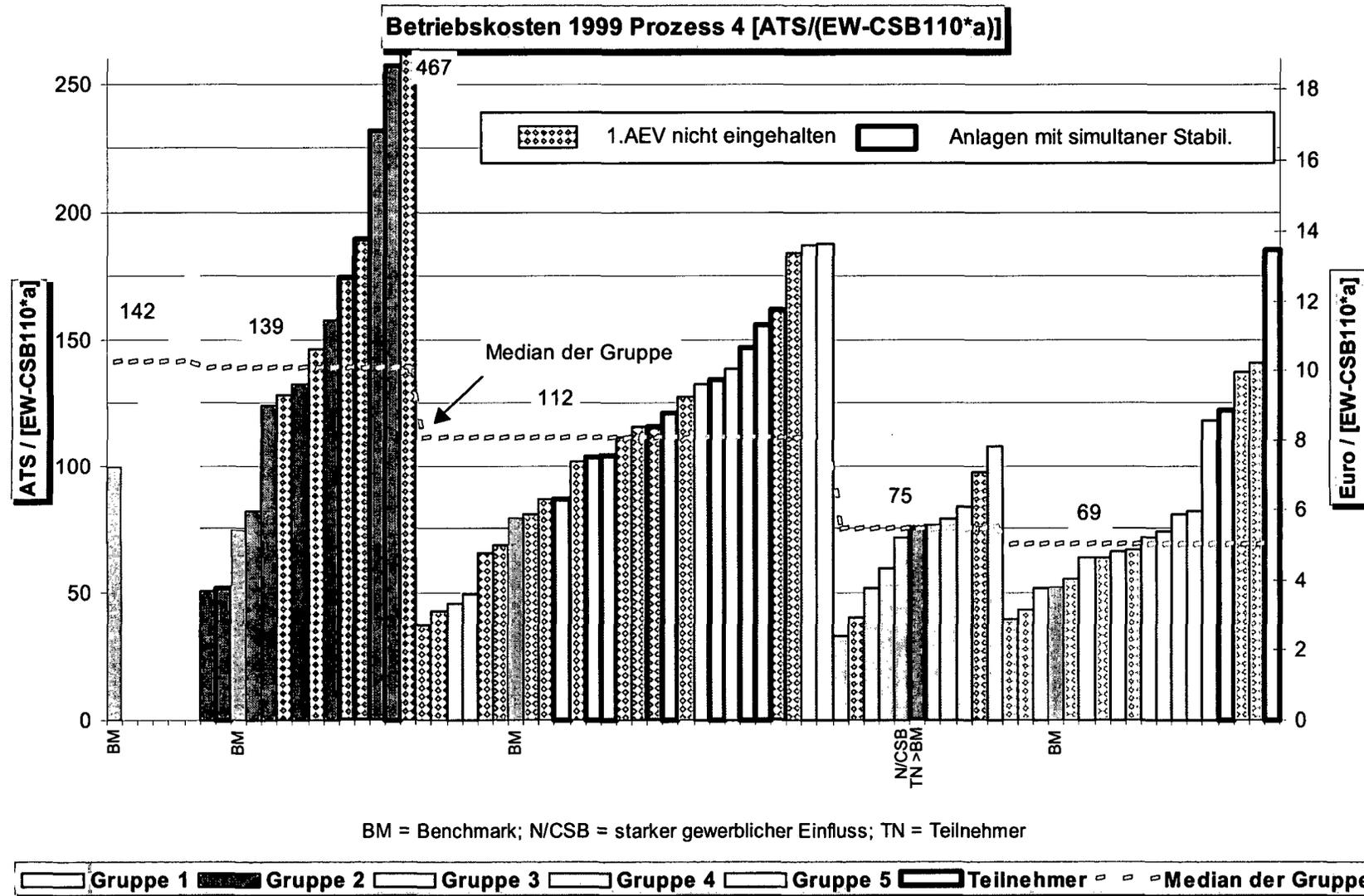


Abbildung A-9: Vergleich der Betriebskosten 1999 von Prozess 4 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)

## A 2.2 Ergebnisse der Kapitalkostenauswertung

In den Abbildungen A-10 bis A-15 (siehe ab Seite A-22) sind die Kapitalkosten nach der Höhe der spezifischen Kosten gereiht und gruppenweise dargestellt. Für die Kapitalkosten insgesamt und jene des Prozesses 2 wurden die EWNorm-Ausbau als Bezugsgröße verwendet, für die Prozesse 1, 3 und 4 die EW-Ausbau. Da die berechnete Bezugsgröße EWNorm-Ausbau jenen Einwohnerwert widerspiegelt, der mit den vorhandenen Volumina nach dem Stand der Technik gereinigt werden kann, ist eine Kennzeichnung der Anlagen, die aktuell die 1. AEVKA nicht einhalten, nicht erforderlich. Diese Art der Auswertung kann auch als kapazitätsspezifische Auswertung bezeichnet werden. Es werden die vorhandene Substanz (Kapazität) der Anlagen und deren Kosten miteinander verglichen.

Für die Berechnung des Benchmarkbereiches werden grundsätzlich die niedrigsten Kapitalkosten je Gruppe um 10 Prozent erhöht. Alle Anlagen deren Kapitalkosten niedriger sind als dieser Benchmarkbereich sind Benchmarkanlagen. Die Festlegung der Benchmarks ist zwar methodisch gesehen einfach, es müssen jedoch folgende auftretende Unsicherheiten berücksichtigt werden.

Bei den gewählten Bezugsgrößen und der Art der Berechnung der Kapitalkosten werden Anlagen bevorzugt, deren maschinelle Anlagenteile bereits beschrieben sind und die zum Zeitpunkt ihrer Errichtung in Bezug auf das Volumen sehr großzügig ausgelegt worden sind. Als Beispiel für die Unschärfen des Kapitalkostenvergleiches können die zwei Anlagen der Gruppe 3 mit den niedrigsten Kapitalkosten herangezogen werden. Beide Anlagen wurden im selben Jahr für ca. gleich viele Einwohnerwerte errichtet, Anlage A mit etwas weniger Volumen. 1998 wurde die Anlage A an den Stand der Technik angepasst, ein Nachklärbecken zusätzlich errichtet und in diverse andere bauliche und maschinelle Einrichtungen investiert. Die Anlage B ist noch funktionstüchtig, eine Anpassung an den Stand der Technik steht aber unmittelbar bevor. Die spezifischen Kapitalkosten der Anlage A sind 1999 wesentlich höher als jene der Anlage B, vor allem auch deshalb, da im Zuge des Umbaus das Volumen nicht wesentlich geändert wurde und somit EWNorm-Ausbau dem der Vergleichsanlage entspricht. Die Schlussfolgerung daraus kann jedoch nicht sein, dass die Anlage, die (noch) nicht an den Stand der Technik angepasst wurde, Benchmarkanlage ist. Deshalb wurde in der Gruppe 3 die Anlage mit den zweitniedrigsten Kapitalkosten als Bezugsanlage für den Benchmarkbereich herangezogen.

In Tabelle A-8 wurden einerseits die Höhe des Benchmarkbereiches, und andererseits der Median der Gruppen zusammengefasst.

ANHANG

Tabelle A-8: Höhe des Benchmarkbereiches und des Medians der Kapitalkosten der Gruppen 1 bis 5 sowie die Kapitalkosten des Teilnehmers.

[ATS/EWnormiert-Ausbau]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich	512	284	261	189	147
Gruppenmedian	511	493	431	295	287
Teilnehmer	-	-	-	293	-

[Euro/EWnormiert-Ausbau]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich	37	21	19	14	11
Gruppenmedian	37	36	31	21	21
Teilnehmer	-	-	-	21	-

Für die Kapitalkosten der einzelnen Prozesse war es erforderlich, die Gesamtkapitalkosten einerseits in bauliche und maschinelle Investitionen zu trennen, und andererseits eine Aufteilung auf die vier Prozesse vorzunehmen. Die Qualität der Prozesszuordnung der Kapitalkosten war je nach Datenlage stark unterschiedlich bzw. nicht möglich. Von der Firma Quantum wurde vor Ort eine Beurteilung (nach dem Schulnotensystem) für die Güte der Kapitalkosten und deren Aufteilung vorgenommen. War die Aufteilung seitens des Betreibers nicht möglich, wurden die Kapitalkosten mithilfe eines Aufteilungsschlüssels den einzelnen Prozessen zugeordnet. Der Aufteilungsschlüssel wurde in Anlehnung an jene Anlagen erstellt, denen eine gute Aufteilung durch den Anlagenbetreiber bescheinigt wurde. Der folgenden Tabelle können Qualität und Aufteilung der Kapitalkosten entnommen werden.

Tabelle A-9: Qualität der Kapitalkosten und deren Aufteilung

Note	Anzahl ARA's		
	Kapitalkostenaufteilung		ARAs gesamt
	vom Betreiber	über Aufteilungsschlüssel	
1	1	-	1
2	24	9	33
3	18	9	27
4	5	7	12
nicht beurteilt	-	3	3
Summe	48	28	76

Aussagekräftige und als Basis für einen Prozessbenchmark geeignete Daten für die einzelnen Prozesse stehen nur von 25 Anlagen zur Verfügung. Diese 25 Anlagen verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Gruppen: null in Gruppe 1, zwei in Gruppe 2, sieben in Gruppe 3, fünf in Gruppe 4 und elf in Gruppe 5.

Aufgrund der geringen Anzahl von Anlagen in den einzelnen Gruppen und der generellen Unschärfe der Kapitalkosten muss von einer Benchmarkvergabe für die einzelnen Prozesse Abstand genommen werden. Die Methodik ist klar und kann jederzeit bei ausreichender Datenlage zur Anwendung gebracht werden. Es wird daher empfohlen, bei der Errichtung von neuen Abwasserreinigungsanlagen eine prozessbezogene Aufteilung der baulichen und maschinellen Investitionskosten anzustreben.

In den Abbildungen A-10 bis A-15 werden die Ergebnisse der Kapitalkostenauswertungen der einzelnen Prozesse dargestellt und nur jene 26 Anlagen mit den Farben der jeweiligen Gruppe versehen, deren Kapitalkostenaufteilung vom Anlagenbetreiber selbst durchgeführt und deren Qualität mit gut bzw. sehr gut beurteilt worden ist. Für die Berechnung des Medians werden alle Werte der jeweiligen Gruppe verwendet. Der Gruppenmedian kann als erster realistischer Anhaltspunkt für die Aufteilung der Kapitalkosten auf die vier Prozesse angesehen werden und wird in der Tabelle A-10 für die einzelnen Gruppen zusammengestellt.

Da bei den Kapitalkosten der Prozesse unterschiedliche Bezugsgrößen verwendet worden sind, ist die Summe der Gruppenmediane im Vergleich zum Median der Gesamtkosten (siehe Tabelle A-8) niedriger. Es ist aber zulässig, die spezifischen Kosten der Prozesse zu addieren und daraus fiktive Gesamtkosten je Einwohnerwert zu ermitteln.

ANHANG

*Tabelle A-10: Zusammenfassung der Mediane der Gruppen im Vergleich zu Teilnehmern*

[ATS/EW(norm)-Ausbau]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Gruppenmedian P1	71	48	28	26	23
Teilnehmer P1	-	-	-	21	-
Gruppenmedian P2	304	229	210	157	120
Teilnehmer P2	-	-	-	133	-
Gruppenmedian P3	(157)	63	41	37	26
Teilnehmer P3	-	-	-	22	-
Gruppenmedian P4	102	60	39	22	27
Teilnehmer P4	-	-	-	22	-
[Euro/EW(norm)-Ausbau]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Gruppenmedian P1	5,16	3,49	2,03	1,89	1,67
Teilnehmer P1	-	-	-	1,53	-
Gruppenmedian P2	22,09	16,64	15,26	11,41	8,72
Teilnehmer P2	-	-	-	9,67	-
Gruppenmedian P3	(11,41)	4,58	2,98	2,69	1,89
Teilnehmer P3	-	-	-	1,60	-
Gruppenmedian P4	7,41	4,36	2,83	1,60	1,96
Teilnehmer P4	-	-	-	1,60	-

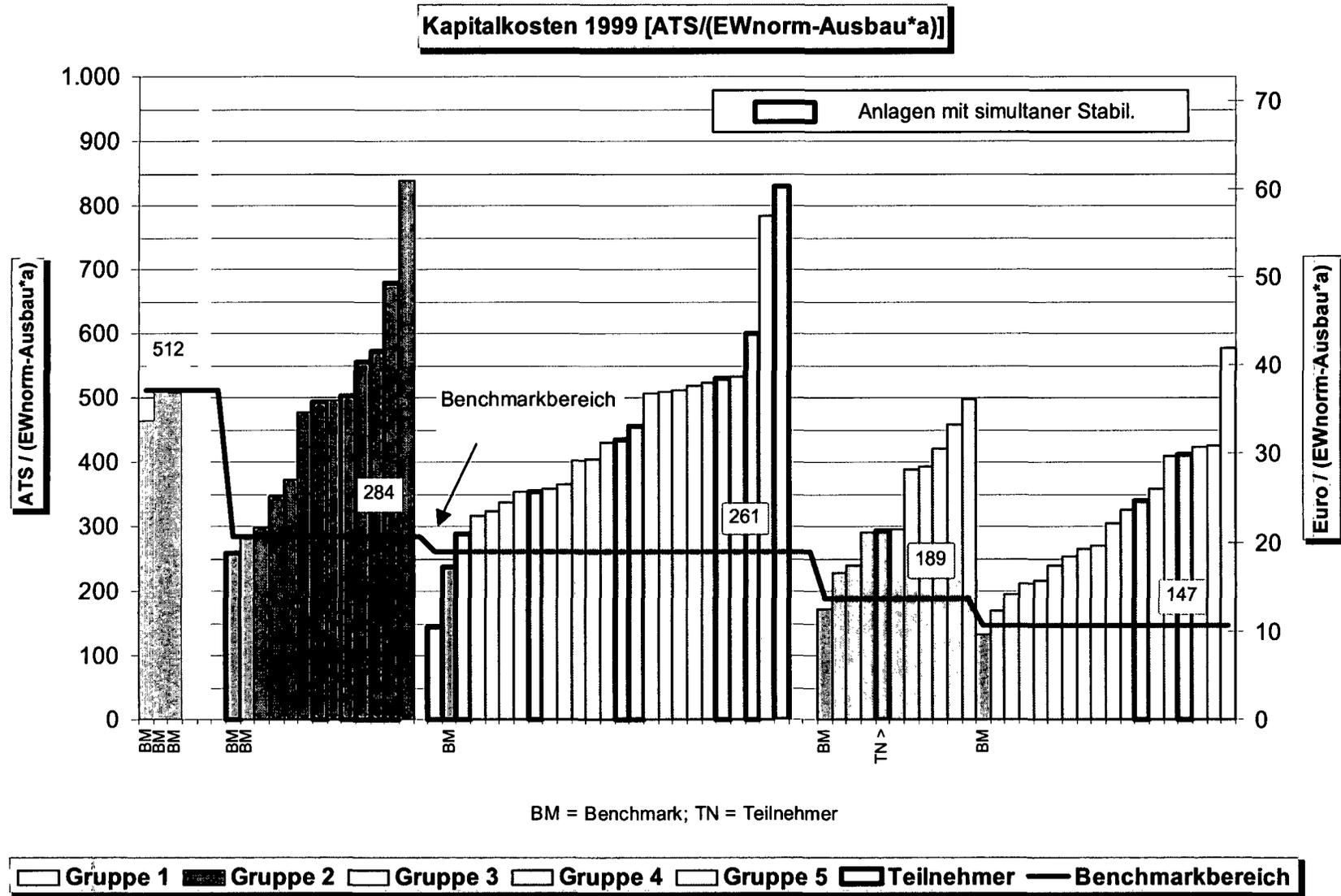


Abbildung A-10: Vergleich der Kapitalkosten 1999 der untersuchten Anlagen

**Kapitalkosten 1999 Prozess 1 [ATS/(EW-Ausbau\*a)]**

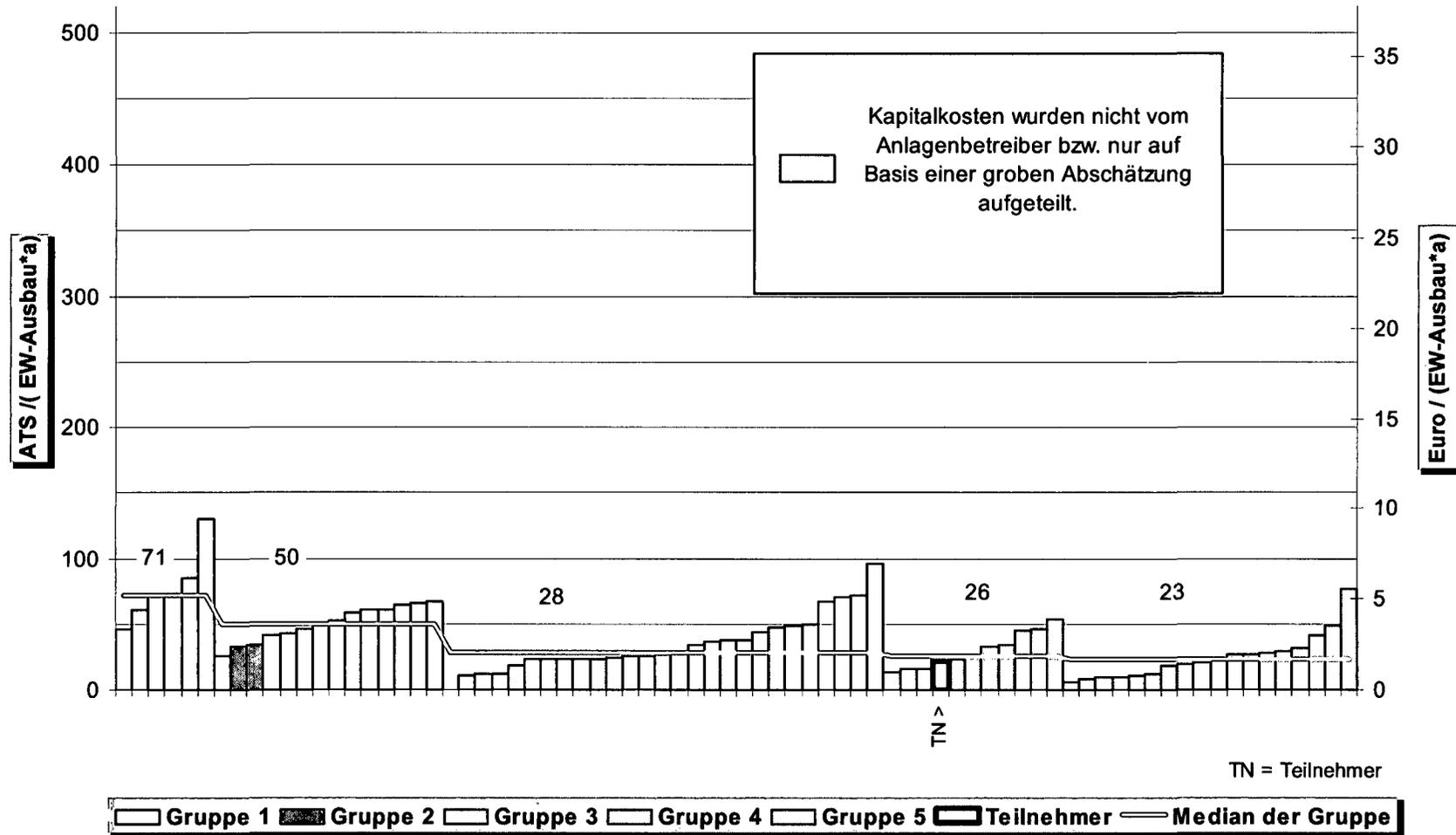


Abbildung A-11: Vergleich der Kapitalkosten 1999 von Prozess 1 der untersuchten Anlagen

**Kapitalkosten 1999 Prozess 2 [ATS/(EWnorm-Ausbau\*a)]**

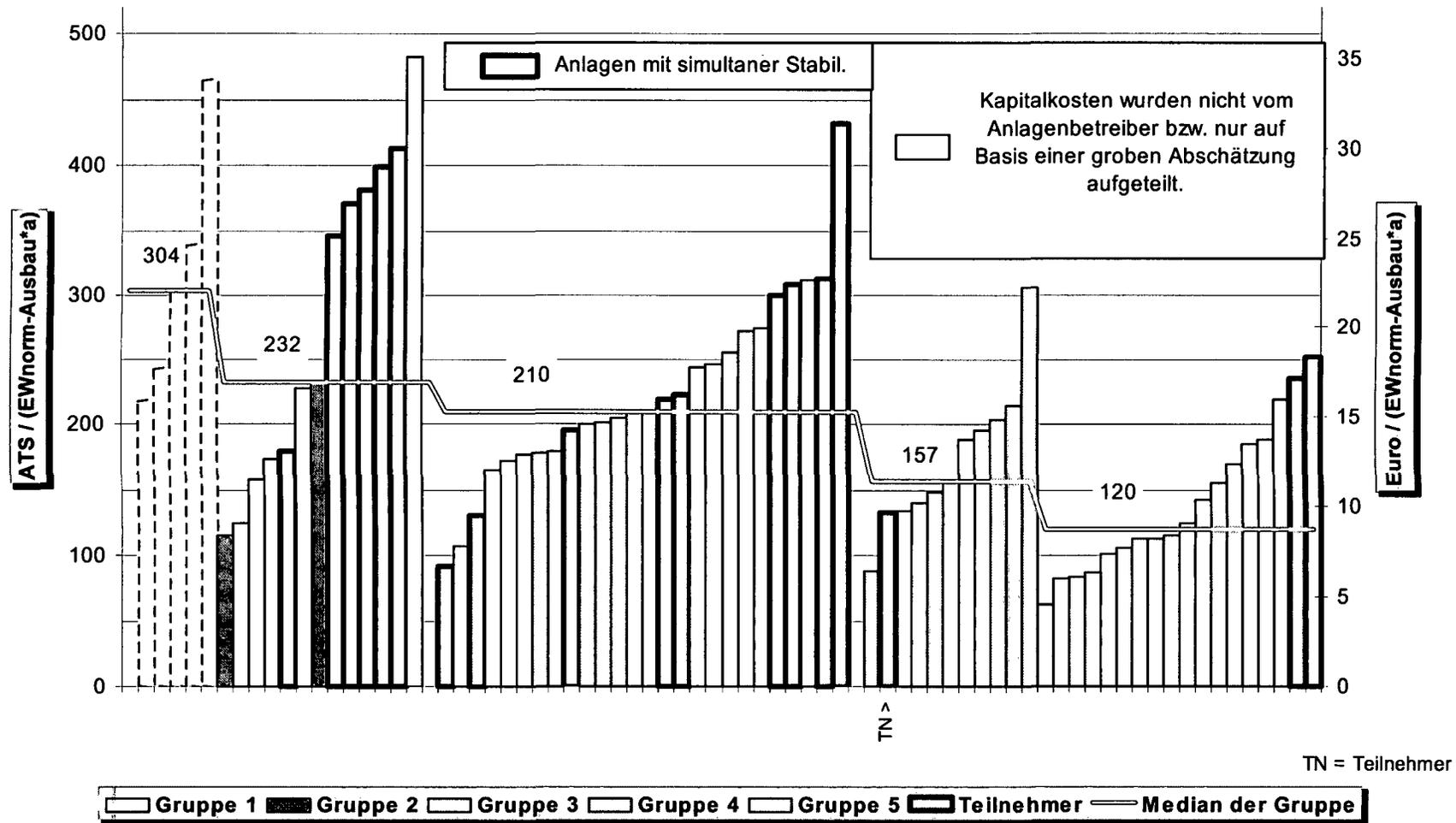


Abbildung A-12: Vergleich der Kapitalkosten 1999 von Prozess 2 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)

**Kapitalkosten 1999 Prozess 3 [ATS/(EW-Ausbau\*a)]**

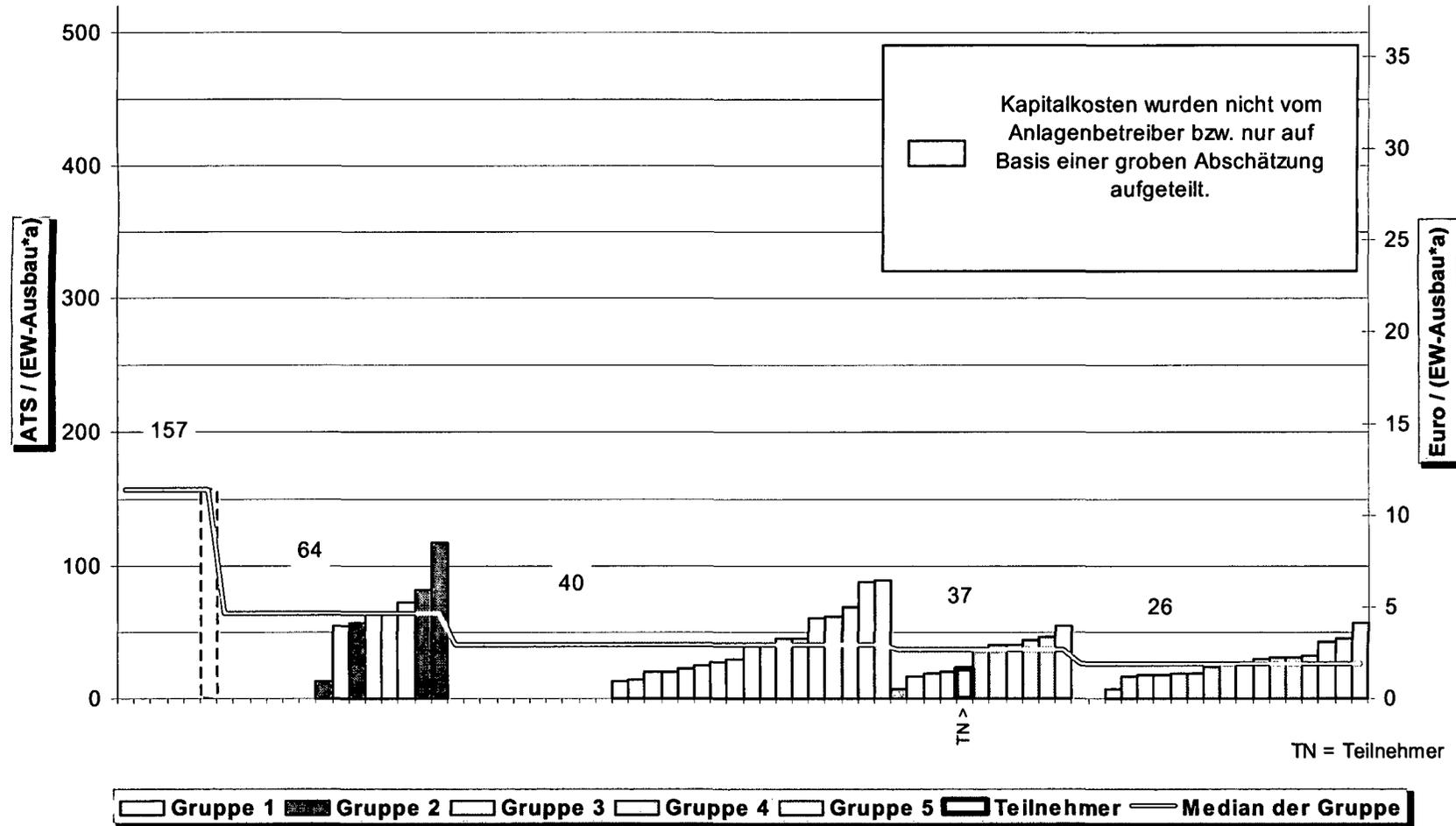


Abbildung A-13: Vergleich der Kapitalkosten 1999 von Prozess 3 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)

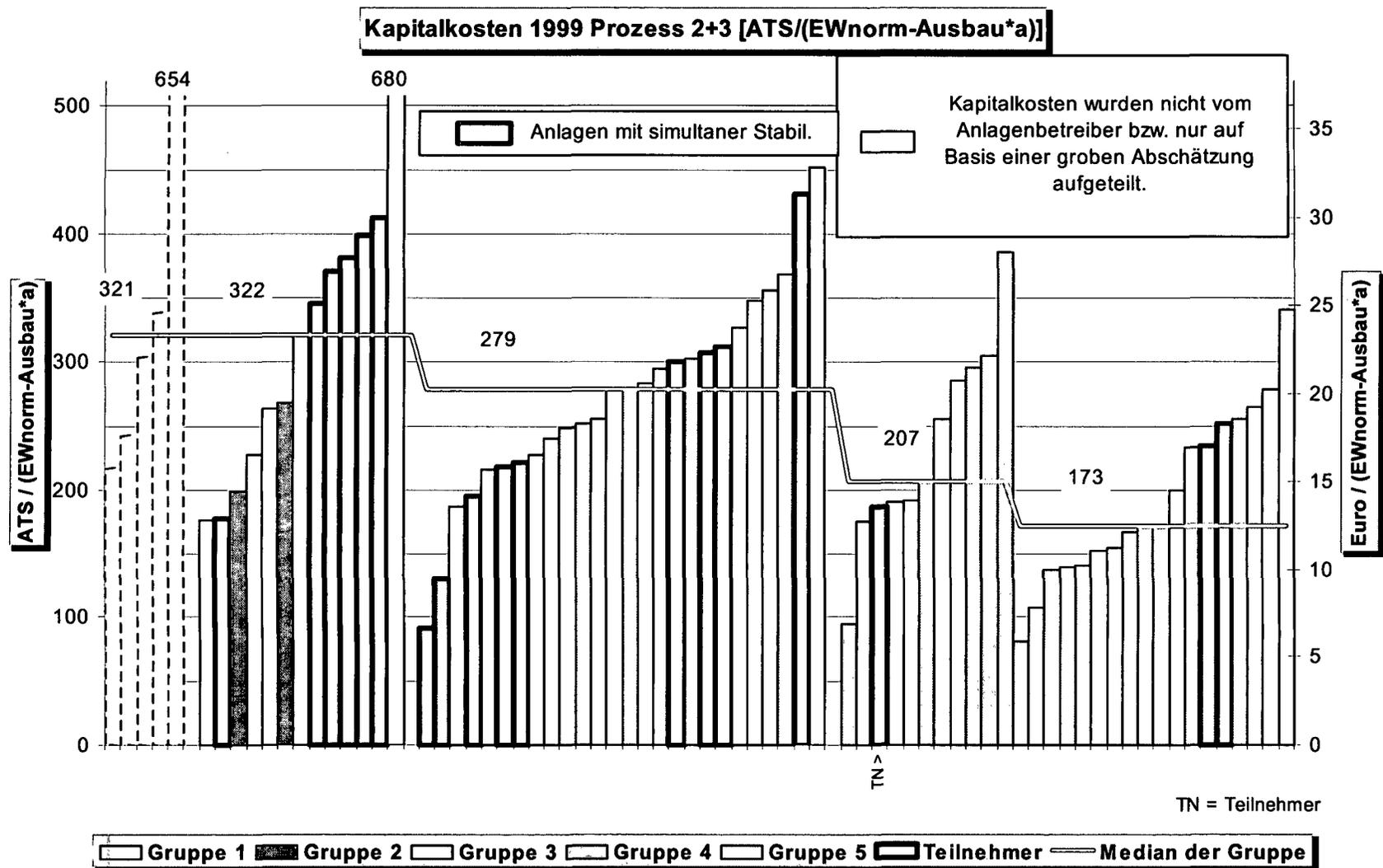


Abbildung A-14: Vergleich der Kapitalkosten 1999 von Prozess 2+3 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)

**Kapitalkosten 1999 Prozess 4 [ATS/(EW-Ausbau\*a)]**

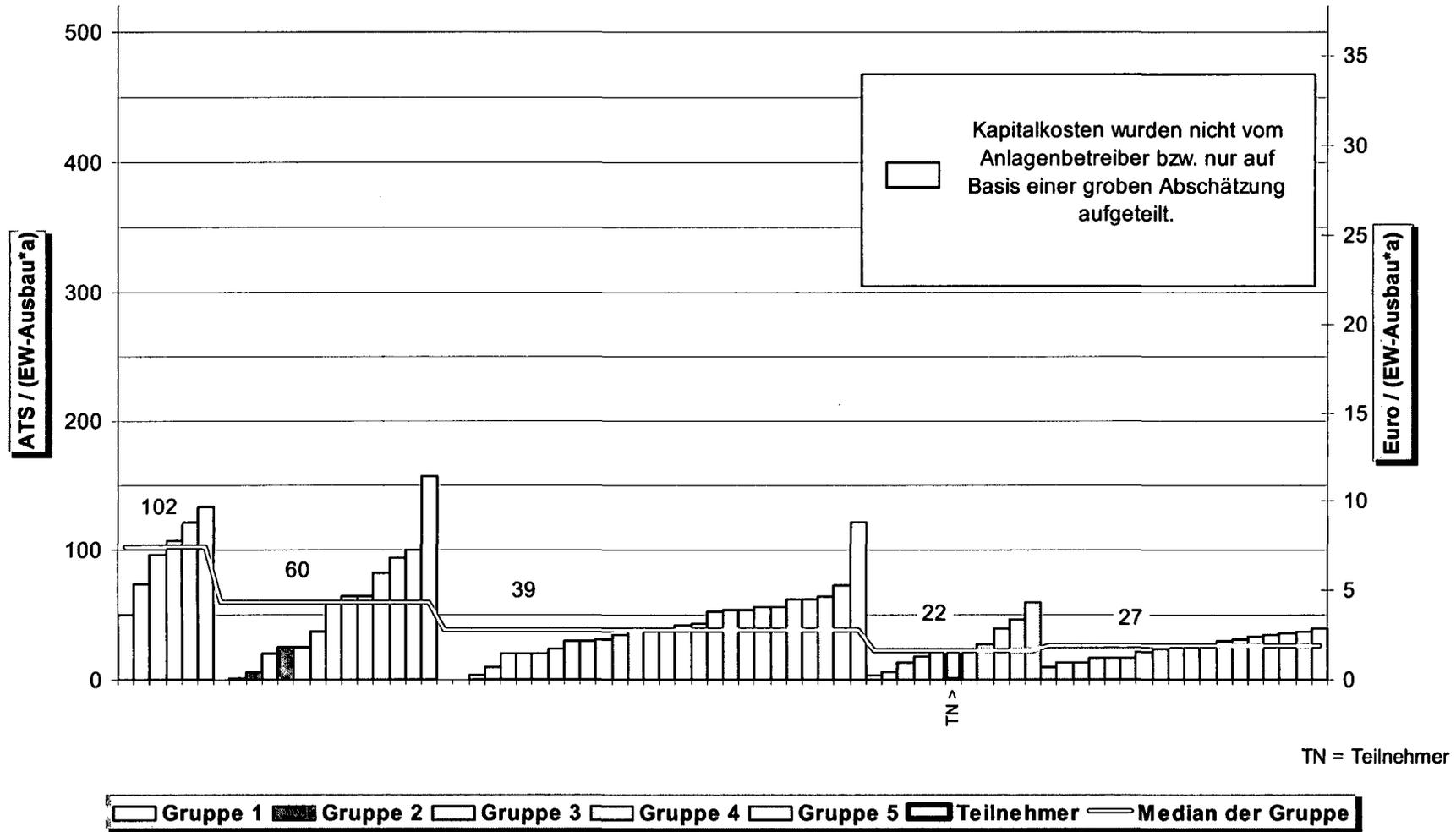


Abbildung A-15: Vergleich der Kapitalkosten 1999 von Prozess 4 der untersuchten Anlagen

### A 2.3 Ergebnisse der Jahreskostenauswertung

In Abbildung A-16 sind die Jahreskosten nach der Höhe der spezifischen Kosten gereiht und gruppenweise dargestellt. Für die Jahreskosten werden ebenso wie für die Betriebskosten der EW-CSB110 als Bezugsgröße verwendet. Bei den Jahreskosten werden Anlagen, die die 1. AEVKA nicht einhalten, bzw. Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung wie bereits bei den Betriebskosten grafisch gekennzeichnet. Auch hier wurden die Anlagen der Gruppe 1 zur Wahrung der Anonymität nicht gekennzeichnet.

Die Festlegung des Benchmarkbereiches und der Benchmarks wird bei den Jahreskosten in gleicher Weise wie bei den Betriebskosten vorgenommen. Der einzige Unterschied liegt darin, dass bei den Gruppen 1 und 2 zu den niedrigsten in Frage kommenden spezifischen Kosten 15 % addiert werden, um den Einfluss der größeren Datenungenauigkeit bei den kleineren Kläranlagen zu berücksichtigen.

Bei den Jahreskosten werden für die Gruppen 1 und 2 jeweils zwei Benchmarkinganlagen und für die Gruppen 3 und 5 jeweils eine Benchmarkanlage festgelegt. In der Gruppe 4 liegen alle Teilnehmer in einem sehr engen Bereich, sodass sogar drei Anlagen als Benchmark ausgewiesen werden können.

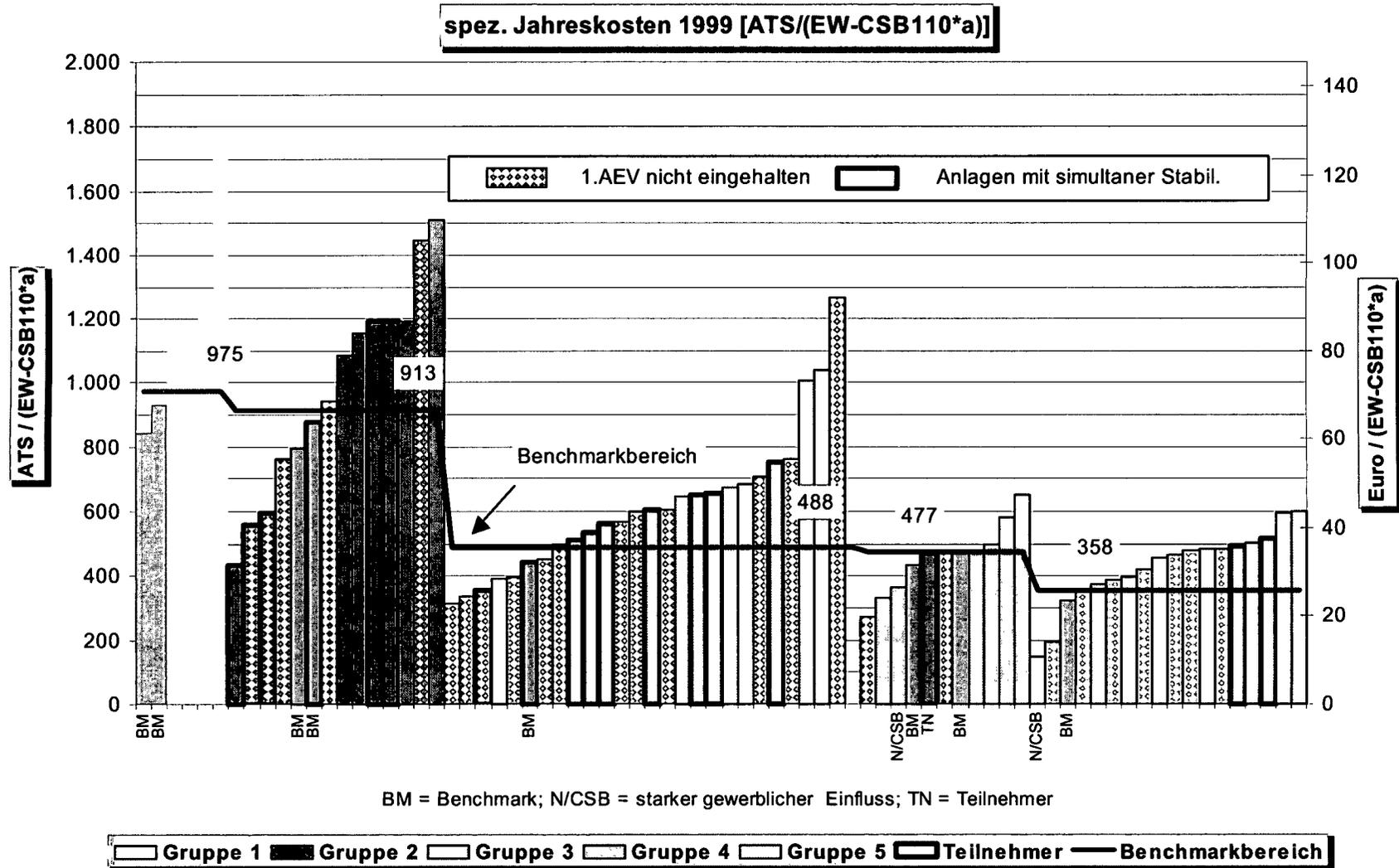
In Tabelle A-11 ist der Benchmarkbereich der Jahreskosten sowie der Median der Jahreskosten dargestellt. Beim Vergleich von Anlagen mit und ohne simultaner aerober Stabilisierung kann bei den Jahreskosten der Gruppen 2 und 3 keine eindeutige Aussage gemacht werden. Bei der Gruppe 5 liegen beide Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung eindeutig über dem Median.

*Tabelle A-11: Höhe des Benchmarkbereiches und des Medians der Jahreskosten der Gruppen 1 bis 5 sowie die Jahreskosten des Teilnehmers.*

[ATS/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich Jahreskosten	975	913	488	477	358
Median Jahreskosten	1154	942	602	472	463
Teilnehmer Jahreskosten	-	-	-	471	-

[Euro/EW-CSB110]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Benchmarkbereich Jahreskosten	71	66	35	34	26
Median Jahreskosten	84	68	44	34	34
Teilnehmer Jahreskosten	-	-	-	34	-



BM = Benchmark; N/CSB = starker gewerblicher Einfluss; TN = Teilnehmer

Abbildung A-16: Vergleich der Jahreskosten 1999 der untersuchten Anlagen

(Um die Anonymität der Teilnehmer zu wahren, wurde bei den Anlagen der Gruppe 1 die Art der Stabilisierung nicht gekennzeichnet)

**A 2.4 Handlungsbedarf, Verbesserungspotenzial und Leistungskennwert**

Parallel zur Kostenstrukturanalyse, bezogen auf organisatorische Gruppen bzw. Größenklassen im Bereich der Reinigungsanlagen, wurde die Kostenstruktur der einzelnen Teilnehmer des Benchmarking-Projektes analysiert.

Im Folgenden wird die Individualanalyse, welche für jeden Einzelteilnehmer durchgeführt wurde, kurz erläutert. Neben den Individualauswertungen der Gesamtjahreskosten auf Basis der Ist-Kostenrechnung und der Darstellung der Kapitalkosten wird insbesondere der Bereich der Betriebskosten im Detail analysiert und in Bezug zu technisch und größenmäßig vergleichbaren Werten gesetzt.

Die Teilnehmer sollen dadurch einen einfachen und raschen Überblick bezüglich Handlungsbedarf und maximal einem möglichen Verbesserungspotenzial erhalten.

Die Individualdarstellung des Benchmarking-Teilnehmers stellt sich demnach folgendermaßen dar:

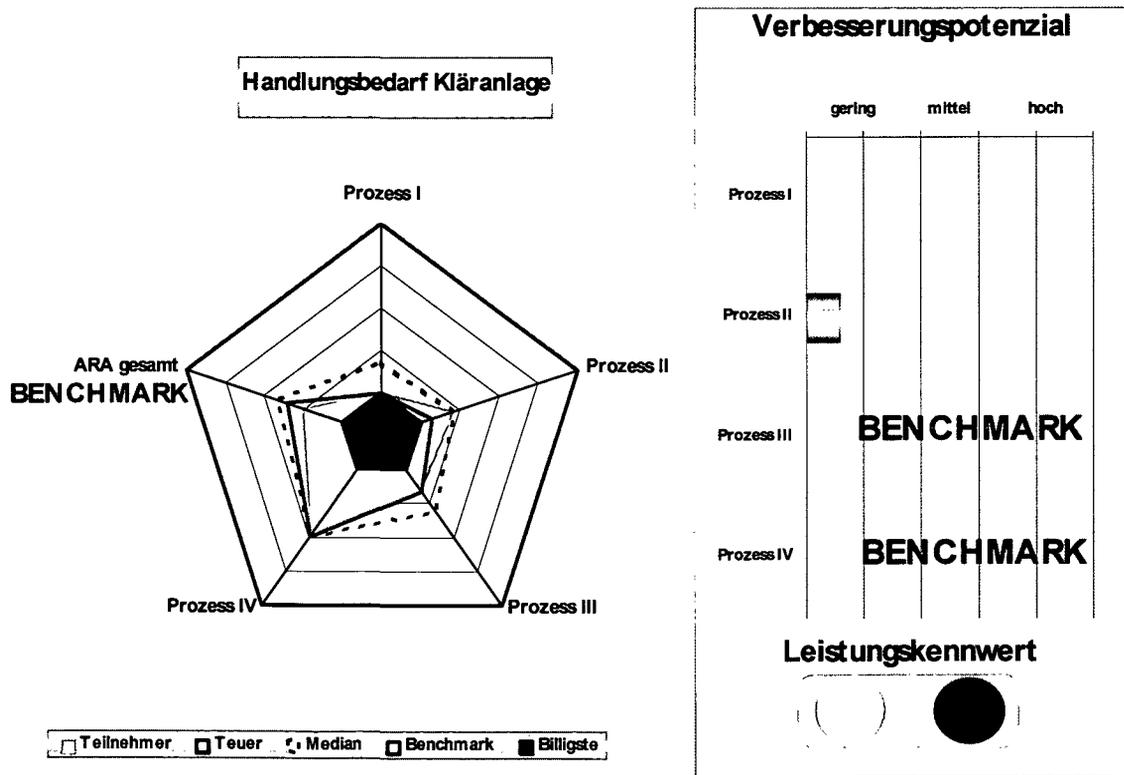


Abbildung A-17: Grafische Darstellung des Handlungsbedarfs, des Verbesserungspotenzials und des Leistungskennwertes

### A 2.5 Handlungsbedarf Kläranlage

Die innere schwarze Fläche stellt den Bereich der niedrigsten Kosten bei Reinigungsanlage derselben Gruppe (technisch und größenmäßig) dar. Es werden sowohl die einzelnen Prozesse der Reinigungsanlage als auch die Kläranlage gesamt dargestellt. Der kostenmäßig höchste Wert der Gruppe wird mit der roten Umrandung abgegrenzt. Die **hellblaue strichlierte Linie** stellt den **Median der Gruppe** dar, während die **grüne Linie** den jeweiligen **Benchmarkwert** (Prozesse und Reinigungsanlage gesamt) **der Gruppe** darstellt.

Die gelbe Fläche stellt die Werte des jeweiligen Teilnehmers und das Verhältnis der eigenen Kosten- und Leistungsstruktur zum Billigsten bzw. zur Benchmark sowie in Relation zum Teuersten dar und zeigt somit den **Handlungsbedarf** auf.

### A 2.6 Verbesserungspotenzial

Ein großer Handlungsbedarf innerhalb eines Prozesses muss nicht unbedingt bedeuten, dass eine diesbezügliche Verbesserung kostenmäßig stark durchschlägt. Deshalb werden in nebenstehender Grafik (Verbesserungspotenzial) der Handlungsbedarf bzw. das Verbesserungspotenzial in absoluten Kosten bewertet. Daraus ergibt sich nun das mögliche Verbesserungspotenzial für den jeweiligen Teilnehmer.

### A 2.7 Leistungskennwert

Zur qualitativen Leistungsbeurteilung ist auch der individuelle Leistungskennwert dargestellt. Der Leistungskennwert ist eine quantitative Beurteilung der nach der Reinigung im Ablauf verbleibenden Gewässerbelastung. Ist der Leistungskennwert  $> 2,5$  kann die 1. Abwasser-Emissions-Verordnung für kommunales Abwasser 1. AEVKA nicht eingehalten werden. Bei einem Leistungskennwert  $\leq 2,5$  ist keine zuverlässige Aussage, ob die 1. AEVKA eingehalten wird oder nicht, möglich. Es wird daher einerseits der Leistungskennwert angegeben, und andererseits farblich gekennzeichnet, ob die 1. AEVKA eingehalten wurde oder nicht. Rot bedeutet, 1. AEVKA wird nicht eingehalten, grün kennzeichnet, dass die Anlage die 1. AEVKA erfüllt.