

Erforderliche Betriebsdaten für Kostenanalysen von Abwasserreinigungsanlagen

Stefan Lindtner

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft

Kurzfassung: Kostenanalysen von Abwasserreinigungsanlagen dienen einerseits der Kosten- und Leistungstransparenz und andererseits stellen sie die Basis für Effizienz- und Effektivitätssteigerung dar. In dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, in welcher Qualität und Quantität Betriebsdaten dafür erforderlich sind.

Aufgrund der gesetzlichen Anforderungen werden die erforderlichen technischen Betriebsdaten von Kläranlagen erfasst, deren Richtigkeit muss jedoch einer Überprüfung unterzogen werden. In dieser Arbeit wird eine Möglichkeit der groben Plausibilitätsprüfung anhand von Erfahrungswerten vorgestellt.

Die wirtschaftlichen Betriebsdaten sind üblicherweise nicht für einzelne Teilprozesse verfügbar, weshalb ausführlich auf die erforderliche Detaillierung der Kostenrechnung und deren Prozessorientierung eingegangen wird. Nur bei einer entsprechenden Datentiefe werden Kostenanalysen wertvolle Einblicke und die Basis für mögliche Einsparungen liefern. Dem gegenüber steht der Mehraufwand in der Kostenrechnung, welcher in einem ausgewogenen Verhältnis zum erzielbaren Nutzen liegen muss. Diesem Widerspruch wird durch Anpassung des Prozessmodells an die Kläranlagengröße entgegengewirkt.

Abschließend wird eine Kennzahlensystematik vorgestellt, mit Hilfe derer die Wirtschaftlichkeit aber auch die Wirksamkeit der einzelnen Prozesse einer Kläranlage überwacht werden können. Die Kennzahlen können auch als Basis für einen fachlichen Diskurs der Kläranlagenbetreiber untereinander herangezogen werden.

Key-Words: Abwasserreinigung, Kosten, Kennzahlen, Benchmarking, Betriebsdaten

1 Einleitung

Bei der Kostenanalyse wird mit Kennzahlen gearbeitet, welche aus der Verdichtung von technischen und wirtschaftlichen Größen stammen. Die gebräuchlichste Kennzahl in diesem Zusammenhang sind die einwohnerwertspezifischen Betriebskosten einer Kläranlage. Den meisten Kläranlagenbetreibern sind die spezifischen Betriebskosten ihrer Anlage bekannt und dennoch kann mit dieser Kennzahl alleine nur sehr wenig angefangen werden. Erst der detaillierte Einblick in die Kostenstruktur der eigenen Abwasserreinigungsanlage sowie der Vergleich mit anderen Anlagen (= Benchmarking) ermöglicht detaillierte Kostenanalysen und schafft die Basis für mögliche Einsparungen. Für eine fundierte Kostenanalyse ist es daher von Interesse, welche kaufmännischen aber auch welche technischen Betriebsdaten erforderlich sind. Für den Vergleich mit anderen Abwasserreinigungsanlagen ist eine einheitliche Vorgehensweise Voraussetzung.

In diesem Beitrag wird daher eine Systematik vorgestellt, bei der die Abwasserreinigungsanlage in Prozesse untergliedert und die Wirtschaftlichkeit sowie die Wirksamkeit dieser mit Hilfe von Kennzahlen überwacht wird.

2 Prozesse und prozessorientierte Kostenrechnung

Bevor auf die Prozesse einer Abwasserreinigungsanlage im Detail eingegangen wird, muss noch definiert werden, was unter einem PROZESS verstanden wird. Da sich Anfang der 90er Jahre ein prozessorientiertes Denken in der Betriebswirtschaft durchgesetzt hat, findet man in der Literatur eine Fülle von Definitionen des Begriffes Prozess:

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).

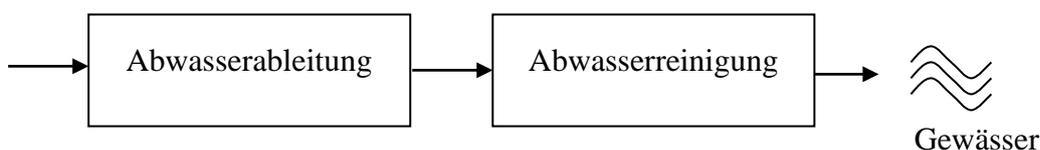
Ein Prozess entsteht aus einer Folge von einzelnen Funktionen und weist einen definierten Anfangspunkt, Auslöser des Prozesses sowie Endpunkt (Endzustand) auf (Mertens, 1995).

”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 Unternehmensressourcen benötigt.
- Geschäftsprozesse benötigen zu ihrer Realisierung Informationsträger aller Art.

Ein ”Prozess” ist demnach eine Tätigkeit im Rahmen eines (Produktions-) Betriebes mit klar definierten Grenzen. Nur durch klare einheitliche 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.



Im vorliegenden Beitrag 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 Betriebsweisen auch sein mögen, sind einzelne Prozesse immer ähnlich und somit vergleichbar. Durch die definierte und eindeutige Gliederung in Teilprozesse der Abwasserreinigung können entweder alle, einzelne oder die Summe einzelner Prozesse miteinander verglichen werden. In Abbildung 1 ist ein Prozessmodell für Abwasserreinigungsanlagen dargestellt, welches einen Detaillierungsgrad aufweist, der auch eine Analyse 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. Auf die Frage des Detaillierungsgrades des verwendeten Prozessmodells wird in der Folge noch näher eingegangen.

Abwasserreinigung										
mechanische Vorreinigung	mechanisch-biologische Abwasserreinigung	Eindickung Stabilisierung		weitergehende Schlammbehandlung		obligatorische Hilfsprozesse			fakultative Hilfsprozesse	
		Überschussschlammeindickung	Schlammstabilisierung	Schlammwässerung	Schlammverwertung Schlammentsorgung	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 1: Die Haupt- und Teilprozesse der Abwasserreinigung

Bei dem in Abbildung 1 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 *Überschuss-schlammeindickung* 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 ist in *Labor, Verwaltung* sowie *Betriebsgebäude/-gelände und sonstige Infrastruktur* untergliedert. Der Hilfsprozess II umfasst fakultative Hilfsprozesse, d. h. 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. Eine ausführliche Beschreibung und Abgrenzung der Prozesse können der Literatur entnommen werden (Lindtner, 2003).

2.1 Prozessorientierte Kostenrechnung

Die prozessorientierte Kostenrechnung stellt die Basis der Kostenanalyse dar und wird daher im Folgenden näher erläutert.

Da die Planung und Ermittlung der prozessbezogenen Kosten in der Kostenarten- und Kostenstellenrechnung eine Voraussetzung für die prozessorientierte Wirtschaftlichkeitskontrolle 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 Abbildung 1 dargestellte Prozessmodell stellt einen Detaillierungsgrad dar, der für Abwasserreinigungsanlagen größer 50.000 EW-Ausbau geeignet ist. Für kleinere Anlagen ist das Zusammenfassen von Prozessen und somit eine Vereinfachung der prozessorientierten Kostenrechnung möglich bzw. notwendig. Welches Prozessmodell aus Sicht des Autors für die jeweilige Kläranlagengröße angestrebt werden soll, wird noch näher behandelt. In den folgenden Ausführungen zur prozessorientierten Kostenrechnung wird von

einem Prozessmodell mit vier Hauptprozessen und zwei Hilfsprozessen ausgegangen.

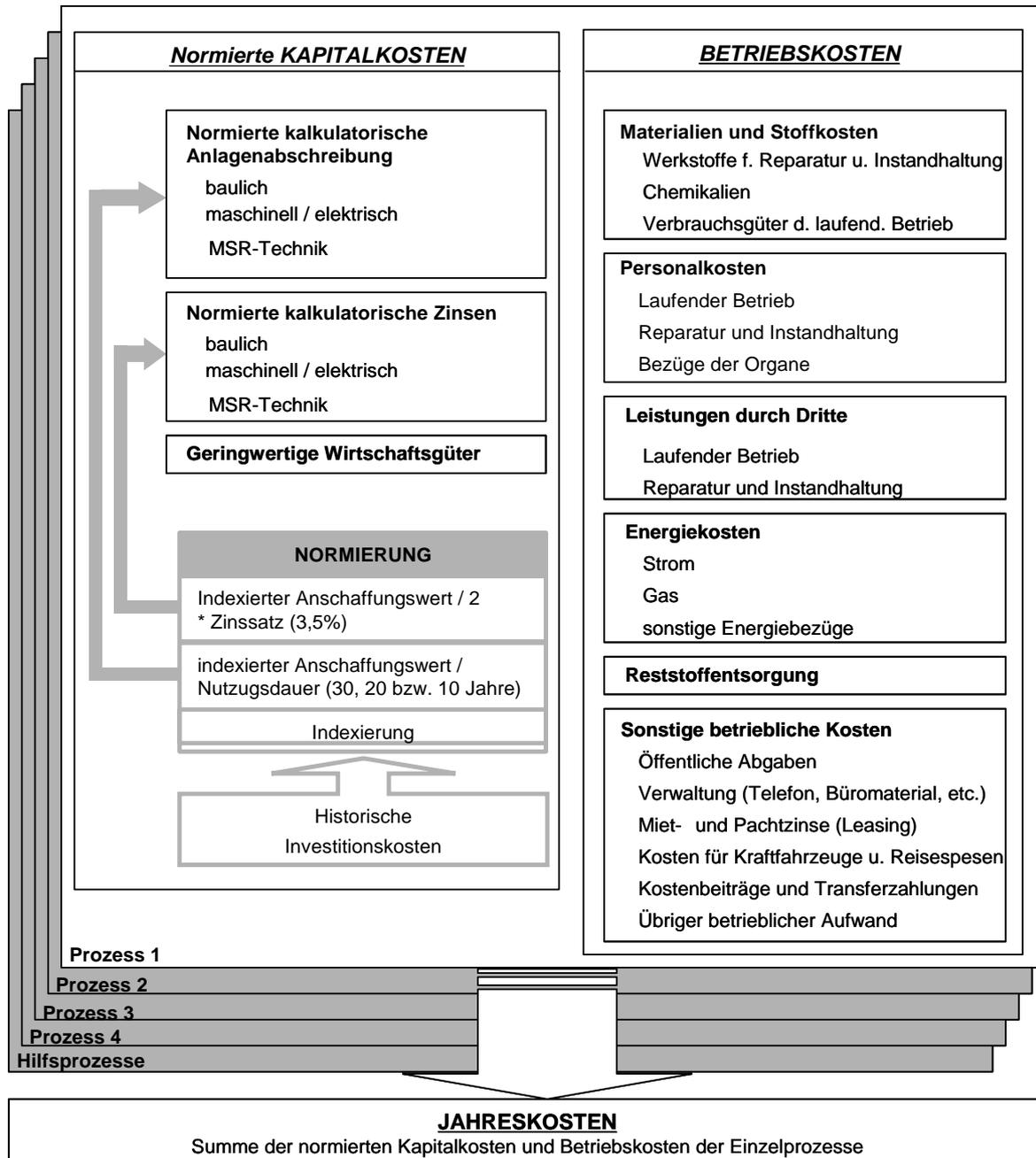


Abbildung 2: Darstellung der Kostenrechnungsstruktur

Ziel der prozessorientierten Kostenrechnung ist es, sowohl Betriebs- als auch Kapitalkosten verursachungsgerecht den Prozessen zuzuordnen, um letztlich Prozesskosten errechnen zu können. Um die Vergleichbarkeit von wirtschaftlichen Kennzahlen mehrerer Abwasserreinigungsanlagen untereinander zu wahren, ist es notwendig, dass das gleiche

Kostenrechnungsschema zur Anwendung kommt (siehe Abbildung 2). Insbesondere ist es für den Vergleich von Anlagen unterschiedlichen Alters erforderlich, die Kapitalkosten durch einen „Normierungsschritt“ in normierte Kapitalkosten umzuwandeln. Dabei wird ein einheitliches fiktives Anschaffungsjahr unterstellt.

Bei der Kostenanalyse sind vor allem die Betriebsprozesskosten sowie der Vergleich dieser mit denen anderer Betreiber von vorrangiger Bedeutung, da diese Kosten, im Gegensatz zu den Kapitalkosten, noch beeinflusst werden können. Die Ermittlung der Kapitalprozesskosten ist für die Anlagenbetreiber dennoch 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 Kapitalaufwand, vor allem in maschinellen und elektrischen Anlagen, laufende Betriebskosten eingespart werden?

Aus der Summe der normierten Kapitalprozesskosten und der Betriebsprozesskosten können Jahreskosten auf Basis normierter Kosten berechnet werden (Abbildung 2).

2.2 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, die aufgrund ihres Anfalls im Untersuchungsjahr keinem Normierungsschritt unterzogen werden zu den normierten Kapitalkosten gezählt.

Wichtig zu erwähnen ist außerdem, dass die im Zuge der Normierung berechneten Anlagenabschreibungen und Zinsen ausschließlich dem Vergleich von mehreren Anlagen untereinander dienen. Für die einzelnen Anlagenbetreiber 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.

2.2.1 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 angenommen, für die maschinell/elektrischen Anlagenteile eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und für die MSR-Technik 10 Jahre.

2.2.2 Kalkulatorische Zinsen

Die kalkulatorischen Zinsen werden, soweit dies möglich ist, ebenfalls getrennt für bauliche, maschinell/elektrische Anlagenteile und MSR-Technik ausgewiesen. 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 dieser gleich Null gesetzt. 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).

2.2.3 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 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, unterteilt in einen 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 angewendet werden (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, die sonstigen Kosten werden als Einzelindices (Erdarbeiten, Wasserhaltung, Rohrkanäle, Wasserleitungen, Ort betonkanäle 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/>).

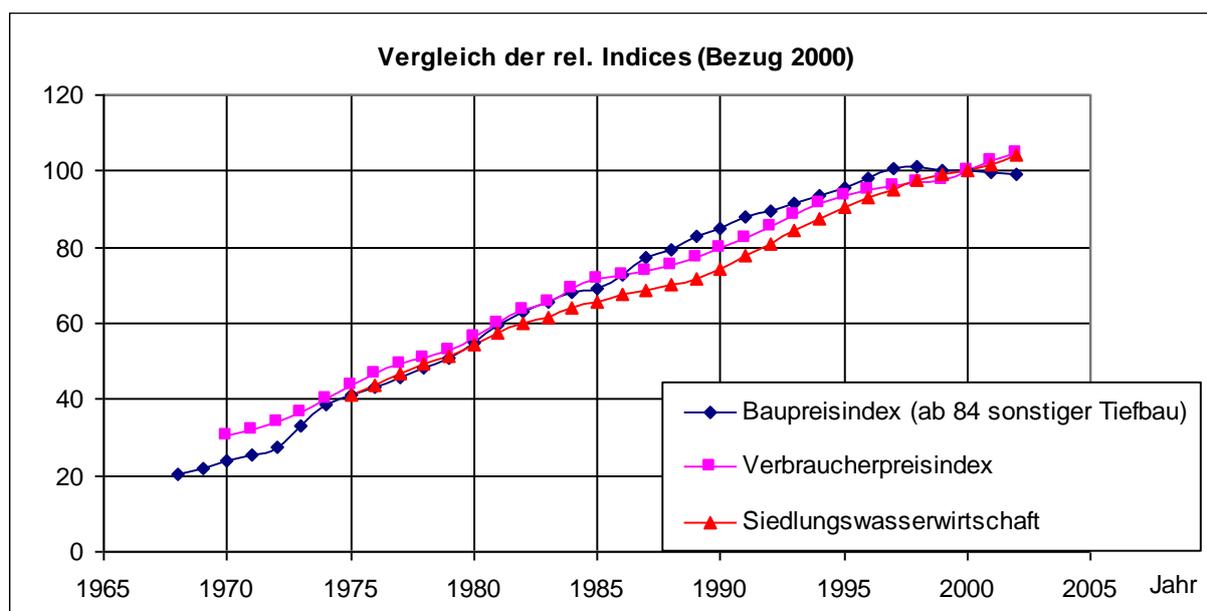


Abbildung 3: Vergleich der relativen Indices, bezogen auf das Jahr 2000

In Abbildung 3 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 der Verbraucherpreisindex in die Grafik aufgenommen.

Als konkretes Beispiel für die Indexierung kann aus Abbildung 3 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 sieht man, 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, wird die Preissteigerung höher sein als zu Zeiten, in denen der Stand der Technik erreicht wurde.

2.3 Betriebskosten

Das primäre Ziel von Kostenanalysen und Benchmarking ist das Auffinden von Einsparungspotenzialen, deren Umsetzung eine Reduktion der Betriebskosten zur Folge haben wird. Die Betriebskostenrechnung spielt daher eine zentrale Rolle in der prozessorientierten Kostenrechnung.

Für einen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen ist es nicht nur erforderlich, dass jeder Betrieb seine Kosten auf die bereits beschriebenen prozessorientierten Kostenstellen aufteilt, sondern auch dass ein Kostenartenschema verwendet wird, welches in die in Abbildung 2 dargestellte Kostenstruktur übergeleitet werden kann. 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 2). 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.

3 Detaillierungsgrad des verwendeten Prozessmodells

Die Festlegung des Detaillierungsgrades in Teilprozessen 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 muss. Andererseits muss der Aufwand, der aufgrund der Kostenrechnung entsteht, noch in einem angemessenen Verhältnis zur gewonnenen Kenntnis stehen (Schulz et al., 1998).

Aufgrund der Ergebnisse des Benchmarking-Forschungsprojektes (Kroiss et. al 2001) können theoretische Betriebskostenminderungen von 20 bis 25 Prozent angesetzt werden. Unter theoretischer Betriebskostenminderung wird die durchschnittlich 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.

Eine 20 bis 25%ige Kostenminderung ist je nach Kläranlagengröße mit unterschiedlichen absoluten Kostenminderungen verbunden. Der potenzielle

Nutzen von Kostenanalysen 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. Mit abnehmender Kläranlagengröße und dem damit verbundenem kleineren absoluten Einsparungspotential ist es daher aus Kostengründen erforderlich den Detaillierungsgrad des Prozessmodells zu reduzieren.

Das in Abbildung 1 dargestellte Prozessmodell mit vier Hauptprozessen und zwei 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 *Schlamm entwässerung*. Bei Anlagen, die diese Verfahrensschritte nicht aufweisen, können auch keine spezifischen Kosten dieser Prozesse berechnet werden.

Im Gegensatz dazu ist bei Anlagen größer 100.000 EW-Ausbau die zusätzliche Unterteilung der Prozesse 1 *mechanische Vorreinigung* und 2 *mechanisch-biologische Abwasserreinigung* in die Teilprozesse 1.1 *Zulaufpumpwerk* und 1.2 *mechanische Vorreinigung* sowie 2.1 *mechanische Abwasserreinigung* (= Vorklärung) und 2.2 *biologische Abwasserreinigung* möglich.

Die Abgrenzung von einzelnen Prozessen und deren separate Berechnung ist aber auch von der Anzahl an potentiellen Vergleichspartnern abhängig.

In Abbildung 4 wurde daher ausgewertet, welche prozentuellen Anteile die Stabilisierungsarten, 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.

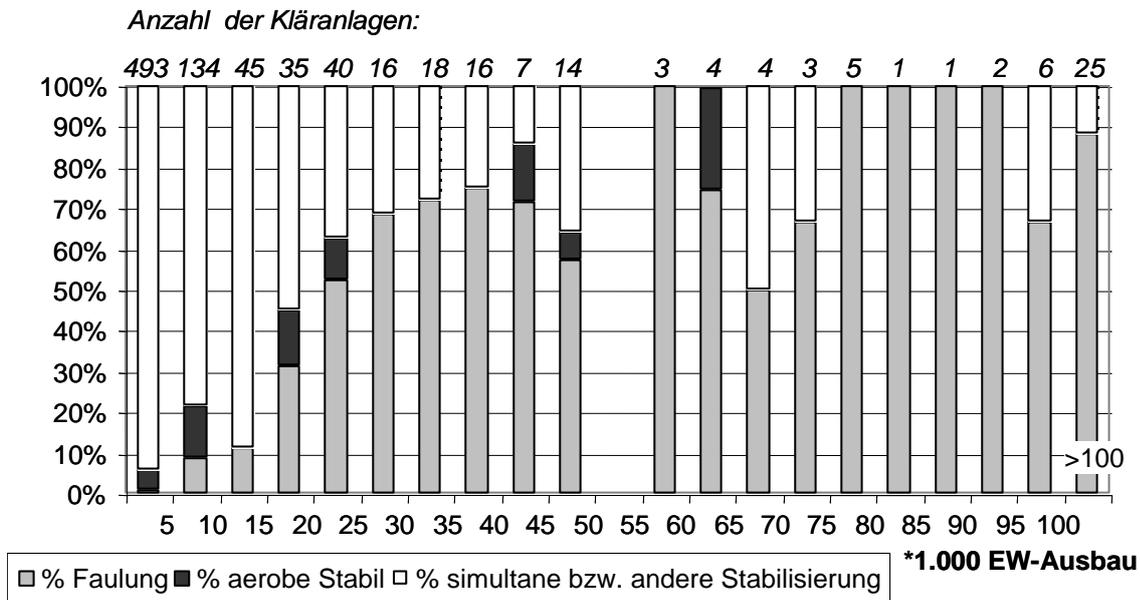


Abbildung 4: Anteil der Anlagen mit Faulung, aerober Stabilisierung sowie simultaner bzw. anderer Stabilisierung in Abhängigkeit der Größe

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

Für Kläranlagen kleiner 20.000 EW-Ausbau wird daher die Zusammenfassung der Hauptprozesse 2 und 3 als sinnvoll erachtet.

Um den Anforderungen von Anlagen kleiner 10.000 EW-Ausbau Rechnung zu tragen, wird für diese ein Prozessmodell bestehend aus nur zwei Hauptprozessen und einem Hilfsprozess vorgeschlagen. In diesen Gruppen werden die Hauptprozesse *mechanisch biologische Abwassereinigung 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.

4 Kennzahlen für Kostenanalysen und -vergleiche

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 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 Partnern (Scheer et al., 1996).

Im Folgenden wird daher eine Kennzahlensystematik vorgestellt, welche einerseits die Effektivität und andererseits die Effizienz der einzelnen Prozesse beschreibt. Zusätzlich wurden sowohl die bereits angesprochenen Kennzahlen der International Water Association (Matos et al., 2003) als auch die von der ATV-DVWK veröffentlichten „Hinweise zur Anwendung von Kennzahlen für Abwasserreinigungsanlagen“ (ATV-DVWK, 2002) bei der Zusammenstellung der Kennzahlen berücksichtigt.

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.

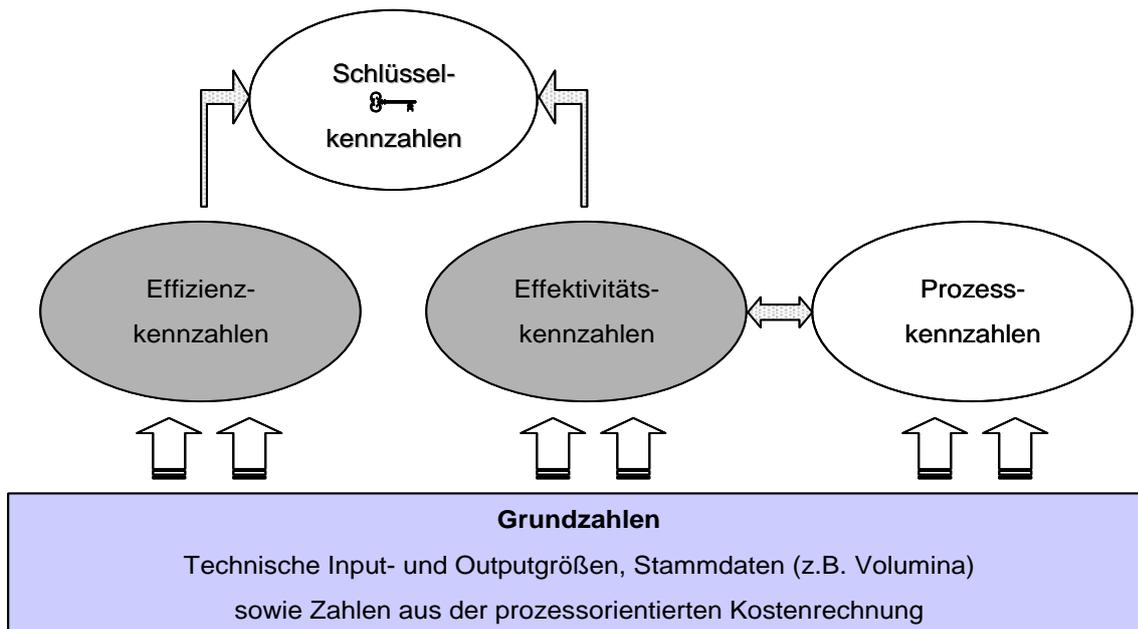


Abbildung 5: Kennzahlensystematik (abgeändert nach Zerres 2000)

Die technischen Grundzahlen stellen die Input- und Outputgüter der (Teil)Prozesse sowie die technischen Stammdaten, beispielsweise das Volumen der Belebungsbecken, dar. Die wirtschaftlichen Grundzahlen werden in der prozessorientierten Kostenrechnung systematisch erfasst und wurden bereits ausführlich 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.

Folgende Begriffsdefinitionen des Qualitätsmanagementsystems 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

4.1 Technische Grundzahlen in Form von Input- und Outputgütern

In Abbildung 6 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 6 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 Trübwässer zu nennen, die jeweils Inputgut eines anderen Prozesses sind. Direkte Outputgüter der Kläranlage aus dem Prozess 3.2 gibt es nicht.

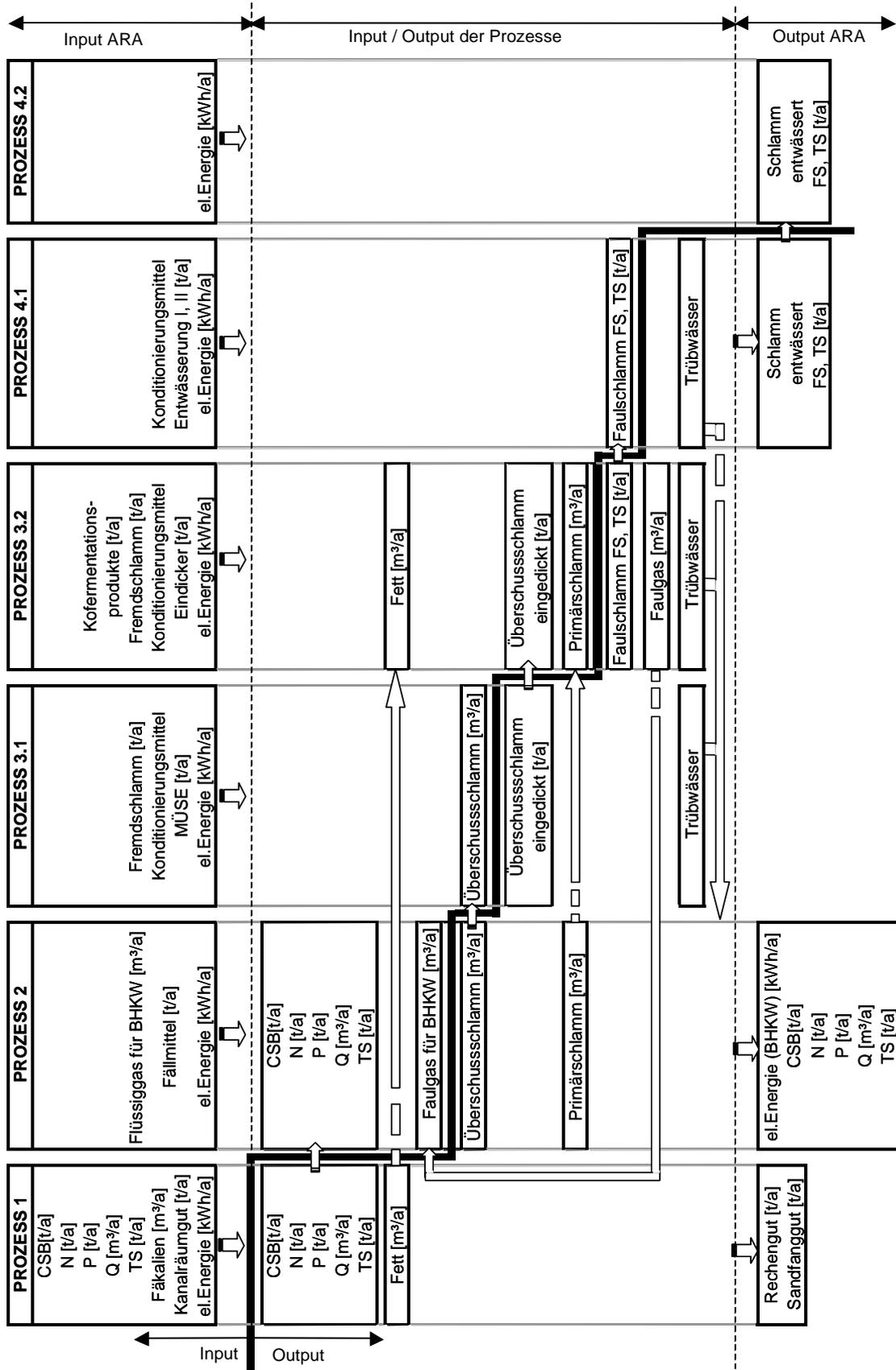


Abbildung 6: Input- und Outputgüter am Beispiel einer Kläranlage mit Schlammfäulung

4.2 Effizienzkennzahlen als Ergebnis der Kostenanalyse

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 1 wurden jene Prozesse, für die diese Kennzahl von Interesse ist, mit einem Haken gekennzeichnet. Jene Effizienzkennzahlen, die als Schlüsselkennzahlen ausgewählt wurden, sind mit einem Schlüssel-symbol gekennzeichnet.

Tabelle 1: Effizienzkennzahlen der Prozesse

EFFIZIENZKENNZAHLEN (Wirtschaftlichkeit)	PROZESS						ARA
	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	
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. Reststoffsorgungskosten [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 ³ *m]	✓	✓	-	-	-	-	✓
spez. Rührenergie [W/m ³]	-	✓	-	✓	-	-	-
Laufzeit [h/d]	-	-	✓	-	✓	-	-
Auslastung [%]	-	✓	✓	-	✓	-	✓

Die im ersten Block in Tabelle 1 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 1 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 zu entwässernden Schlammmenge ist.

Im dritten Block von Tabelle 1 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 pro Tonne Überschussschlamm (Prozess 3.2), pro Tonne zu entwässernden Schlammes (Prozess 4.1) beziehungsweise pro 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 und bestimmter einzelner Anlagenteile, 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. 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).

4.3 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 die Ursachen für Ineffektivitäten und Ineffizienzen nicht direkt 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 weitere Kennzahlen

auszuweisen, die Mitarbeitern eine Beurteilung über die Funktionsfähigkeit des Prozesses ermöglichen.

Tabelle 2: 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. Fetthanfall [m ³ /(EW-CSB110*a)]	✓	-	-	-	-	-	✓
spez. Sandfangräumgut [kg/(EW-CSB110*a)]	✓	-	-	-	-	-	✓
spez. Überschussschlammanfall [gTS/(EW-CSB110*d)]	-	✓	-	-	-	-	-
spez. Primärschlammanfall [gTS/(EW-CSB110*d)]	-	✓	-	-	-	-	-
el. Energie erzeugt (BHKW) [kWh/m ³ -Gas*a]	-	✓	-	-	-	-	✓
spez. Fällmittelverbrauch β -Wert [mol WS/mol P-fällbar]	-	✓	-	-	-	-	✓
Entfernungsgrad 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 [-]	-	✓ \rightarrow	-	-	-	-	✓ \rightarrow
Wirkungsgrad [%] CSB, BSB, N und P	-	-	-	-	-	-	✓
Ablaufkonzentrationen CSB, BSB, N und P [mg/l]	-	-	-	-	-	-	✓
PROZESSKENNZAHLEN							
Schlammindex [ml/l]	-	✓	-	-	-	-	-
BSB/CSB [-]	-	✓	-	-	-	-	-
Schlammalter [d]	-	✓	-	-	-	-	-
aerobes Schlammalter [d]	-	✓	-	-	-	-	-
Aufenthaltszeit VKB [h]	-	✓	-	-	-	-	-
Faulzeit [d]	-	-	-	✓	-	-	-
org. Raumbelastung [kg oTS/m ³ *d]	-	-	-	✓	-	-	-
spez. Trockensubstanz [g TS/(EW-CSB110*d)]	-	-	-	✓	✓	-	-
spez. organische Trockensubstanz [g oTS/(EW-CSB110*d)]	-	-	-	✓	✓	-	-
spez. Schlammanfall [g FS/(EW-CSB110*d)] Prozessoutput	-	-	-	✓	✓	-	✓ \rightarrow

In Tabelle 2 wurden daher einerseits Effektivitätskennzahlen, die über die Wirksamkeit der Prozesse Auskunft geben, und andererseits Prozesskennzahlen, welche als ergänzende technische Kennzahlen für die Fachkraft von Interesse sind, zusammengestellt. Analog zur Vorgehensweise in Tabelle 1 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 Effektivität des Sandfanges abhängig. Liegen die Werte unterhalb der Erfahrungswerte, so muss die Effektivität 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 die Schlammproduktion keine zentrale Aufgabe des Prozesses 2 ist, dient die Berechnung des spezifischen Primär- und Überschussschlammanfalles nicht primär der Überwachung der Wirksamkeit des Prozesses, sondern der Plausibilitätskontrolle der Eingangsdaten. In Zusammenhang mit dem Primärschlammanfall ist auch der Entfernungsgrad 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 β -Wertes kontrolliert werden. Der β -Wert errechnet sich aus dem Verhältnis von eingesetzter Wirksubstanz des Fällmittels zu fällbarem Phosphor.

Der dritte Block fasst Wirksamkeitskennzahlen der Prozesse 3 und 4 zusammen. Die Kennzahlen, anhand derer die Wirksamkeit der maschinellen Überschussschlammeindickung (= MÜSE) kontrolliert wird, 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, BSB₅, 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, NH₄-N, NO₃-N und Pges.) ermöglicht (ÖWAV, 2000). Bei der Ermittlung der Leistungskennwerte werden die maßgebenden Einflussfaktoren (CSB, NH₄-N, NO₃-N und Pges.) mit einem Bewertungsfaktor (der annähernd 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 2 angeführten Prozesskennzahlen der Prozesse 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 2 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 in der Folge 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.

4.4 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 einer sehr guten Anlage (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 Effizienz Kennzahlen. 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 Effizienz Kennzahlen 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 der vier Hauptprozesse, den Kosten des Labors und einer Kostenstelle Sonstiges unterschieden. Von jeder dieser Kostenstellen wurden 18 Kostenarten erhoben, womit sich in Summe 108 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 7), so ist daraus ersichtlich, für welchen Anteil der Betriebskosten die einzelnen Kostenpositionen verantwortlich sind.

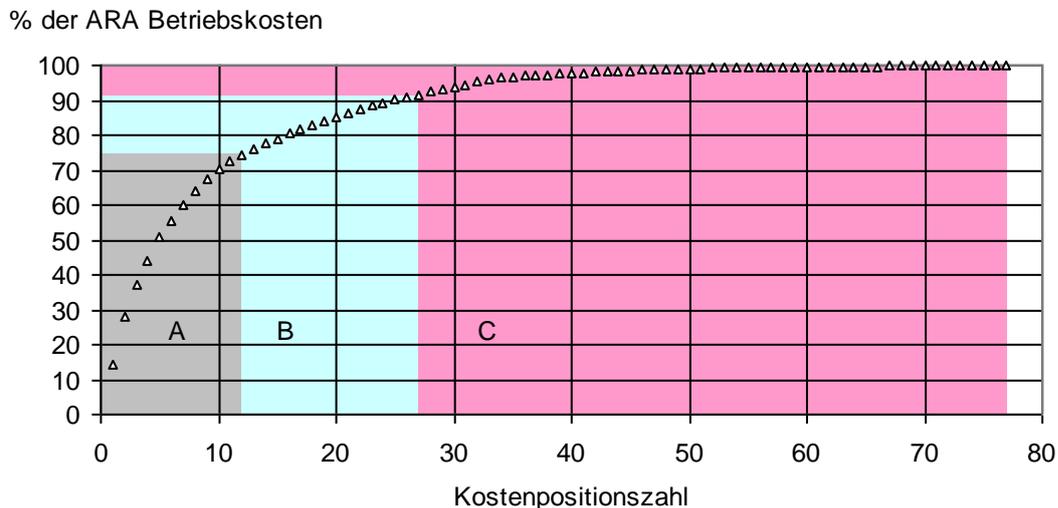


Abbildung 7: ABC-Analyse der Kostenpositionen einer Kläranlage

Aus der Abbildung 7 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.

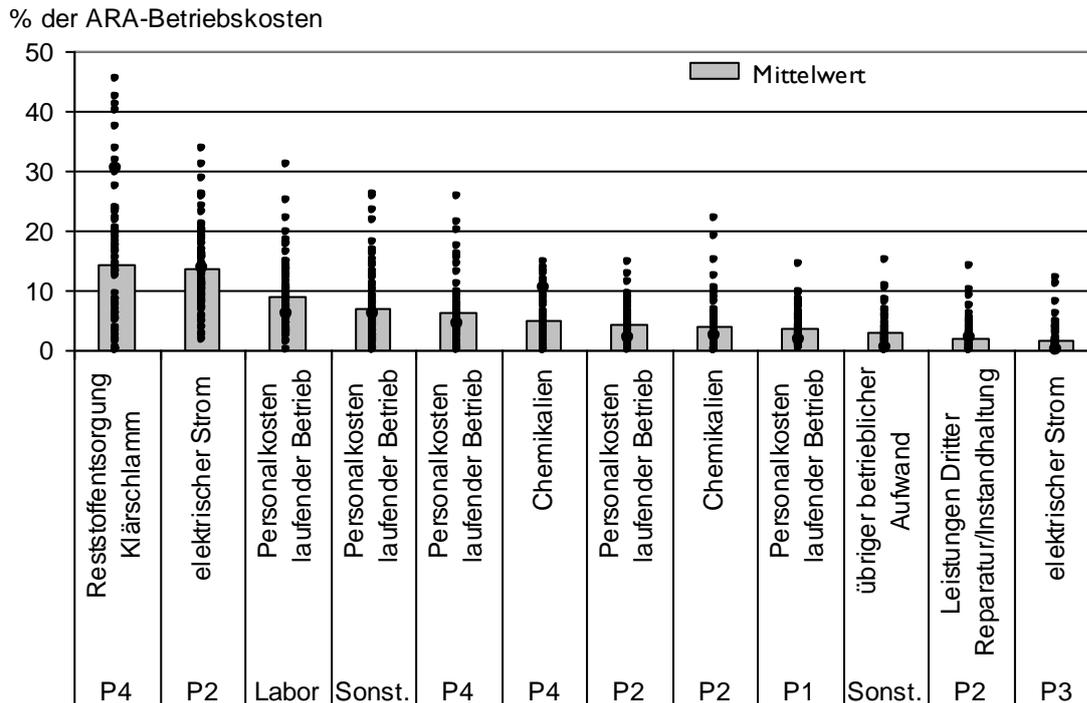


Abbildung 8: Darstellung der relevantesten Kostenpositionen (= Gruppe A der ABC-Analyse)

In der Abbildung 8 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 mit 6 Prozent die Personalkosten für den laufenden Betrieb des Prozesses 4 berechnet. Aus der Abbildung 8 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.

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 der Kostenanalysen und –vergleiche darstellen, sondern vielmehr sind die Kennzahlen ein Werkzeug zur Beseitigung von Ineffizienzen und Ineffektivitäten.

5 Datenverfügbarkeit und -plausibilität

Die Verfügbarkeit der Kostendaten ist, abgesehen von den Teilnehmern am Forschungsprojekt „Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft“, in aller Regel nicht in der beschriebenen Detaillierung vorhanden.

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.

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

Aufgrund der Vielzahl an technischen Daten unterschiedlichster Herkunft und Bearbeitung sowie unterschiedlichster Einheiten stellt die Prüfung von deren Richtigkeit eine besondere Herausforderung dar. Eine sehr detaillierte Plausibilitätskontrolle stellt die Methode der Massenbilanz dar. Diese Methode sollte bei jenen Anlagen angewendet werden, deren Kennzahlen als Benchmarks und Richtwerte in Frage kommen. Für die genaue Beschreibung dieser Methode wird auf die Literatur verwiesen (Müller, 1999; Nowak, 2000; Schweighofer, 1994).

Als Bezugsgröße für die Berechnung der spezifischen Kosten wird fast ausschließlich die mittlere CSB-Zulauffracht herangezogen. Diese wird in

Einwohnerwerte umgerechnet, wobei davon ausgegangen wird, dass ein Einwohnerwert 110 g CSB pro Tag entspricht (=EW-CSB110).

Die Verwendung der CSB-Fracht anstelle der international verbreiteteren BSB₅-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 BSB₅ je Einwohnerwert und Tag ausgegangen wird, wird die einwohnerwertspezifische organische Verschmutzung österreichischer Kläranlagen mit 110 g je Tag angesetzt.

Da die Zulauffrachten als Bezugsgrößen Verwendung finden, ist vor allem die Plausibilitätsprüfung dieser entscheidend. Eine Möglichkeit der „groben“ Plausibilitätsprüfung der Zulauffrachten wurde von Lindtner & Zessner (2003) vorgestellt und in der Folge zusammenfassend erläutert.

Für die Entwicklung dieser groben Plausibilitätskontrolle wurden die Zulaufdaten von insgesamt 76 Kläranlagen (Teilnehmer des Benchmarking-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. Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurden zu erwartende Bereiche von spezifischen Stickstoff- und Phosphorfrachten in

Abhängigkeit des E/EW-Verhältnisses angegeben (grau hinterlegte Bereiche in Abbildung 11 und Abbildung 12).

Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise bei der Plausibilitätskontrolle der Zulaufdaten wird in Abbildung 11 ein Beispiel mit plausiblen und in Abbildung 12 ein Beispiel unplausibler Daten dargestellt.

Zusätzlich wurde in den genannten Abbildungen ein E/EW-Bereich abgegrenzt, innerhalb dessen die berechneten spezifischen Stickstoff- und Phosphorzulaufmengen erwartungsgemäß liegen. Bei der Berechnung des E/EW-Bereiches wird davon ausgegangen, dass bei 80 Prozent der untersuchten Anlagen die EW-Belastung 40 bis 90 Prozent vom EW-Ausbau beträgt.

In dem in Abbildung 9 dargestellten Beispiel mit einer Einwohnerzahl von 37.000 und 100.000 EW-Ausbau kann daher E/EW von $0,41 = 37.000/(100.000*0,9)$ als untere und $0,93 = 37.000/(100.000*0,4)$ als obere Grenze abgeschätzt werden. Wie der Abbildung 9 entnommen werden kann, liegen die spezifischen Zulaufmengen sehr nahe dem unteren Grenzbereich E/EW-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 9 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-Verhältnis kleiner 0,6 und spezifische Frachten, die am unteren Rand des grau hinterlegten Bereiches liegen, wie dies Abbildung 9 beispielsweise zeigt, lassen auf einen Kläranlagenzulauf schließen, der sehr stark von Indirekteinleitern geprägt ist, die ausschließlich CSB liefern. Ohne die CSB-Fracht dieser industriellen Indirekteinleiter würden die spezifischen Frachten in Pfeilrichtung nach rechts oben verschoben werden. Die Zulaufmengen 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.

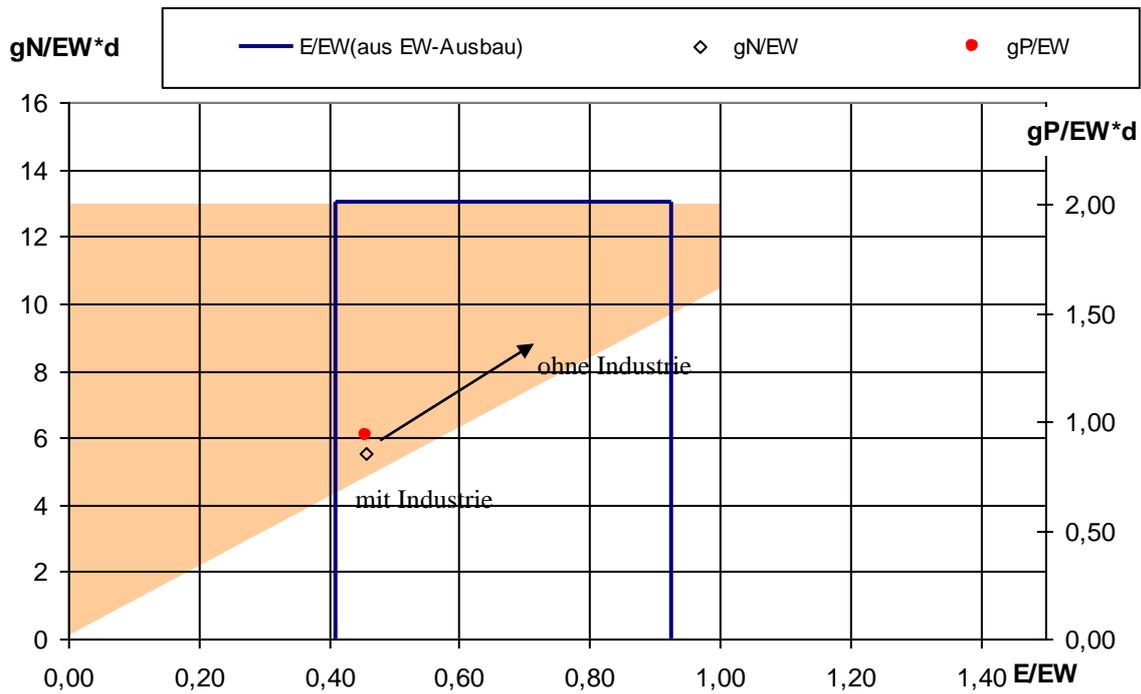


Abbildung 9: Plausible spezifische Phosphor- und Stickstoffzulauftrachten einer Kläranlage und Abgrenzung der erwarteten E/EW-Bereiche in Abhängigkeit der Ausbaugröße

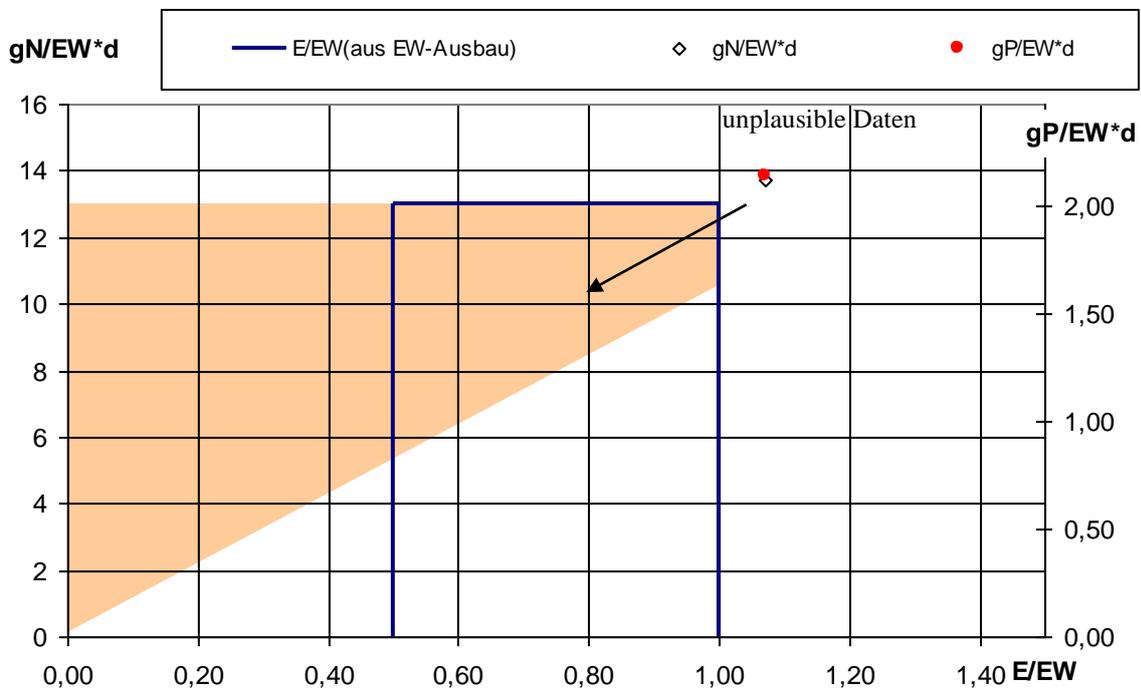


Abbildung 10: Unplausible spezifische Phosphor- und Stickstoffzulauftrachten einer Kläranlage und Abgrenzung der erwarteten E/EW-Bereiche in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Ein Beispiel für unplausible Datenlage kann der Abbildung 10 entnommen werden. In diesem Fall errechnen sich spezifische Zulauffrachten 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-BSB₅-60 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 BSB₅- bzw. CSB-Fracht und somit der Einwohnerwerte hat sowohl eine horizontale als auch vertikale Verschiebung der spezifischen P- und N-Frachten zur Folge.

Stellt sich die CSB-Zulauffracht als nicht plausibel heraus, so müssen einwohnerwerterspezifische Kosten auf Basis der BSB-Zulauffracht berechnet werden. Handelt es sich um kommunales Abwasser ohne wesentliche Indirekteinleiter, so kann auch ein Einwohnerwert aus den Nährstofffrachten berechnet werden. Für die Umrechnung wird beim BSB von einer einwohnerspezifischen Fracht von 60 g ausgegangen, bei Stickstoff von 11 g und bei Phosphor von 1,7 g je Tag.

6 Zusammenfassung

Mit Hilfe von Kostenanalysen wird Kosten- und Leistungstransparenz angestrebt sowie die Basis für Effizienz- und Effektivitätssteigerung geschaffen. Die erforderlichen Betriebsdaten für derartige Kostenanalysen sind vor allem vom gewünschten Ergebnis abhängig und lassen sich in wirtschaftliche und technische Betriebsdaten unterteilen.

Die erforderlichen technischen Betriebsdaten sind aufgrund der gesetzlichen Vorgaben an Eigen- und Fremdüberwachung in der Regel vorhanden. Es handelt sich um Input- und Outputgüter der Kläranlage welche als Bezugsgröße für Kosten herangezogen werden. Die wesentlichste Frage bei den technischen Betriebsdaten ist deren Qualität. Da bei der Berechnung der spezifischen Kosten vor allem von Kohlenstoffzulauffrachten ausgegangen wird, spielt die Plausibilitätsprüfung der Zulauffrachten eine entscheidende Rolle. Eine detaillierte Plausibilitätskontrolle ist mit Hilfe von Massenbilanzen möglich. Eine grobe Plausibilitätsprüfung ist aber auch mit Hilfe des Vergleiches von gemessenen mit zu erwartenden spezifischen Frachten in Abhängigkeit des E/EW Verhältnisses möglich.

Bei den wirtschaftlichen Daten ist nicht nur die Qualität sondern vielmehr die Zuordnung zu einzelnen Kostenpositionen entscheidend. Erst die Untergliederung der Abwasserreinigungsanlage in einzelne Prozesse und die Schaffung von Kostenstellen für jeden dieser Prozesse schafft die Möglichkeit einer detaillierteren Analyse. Zusätzlich zu den als Kostenstelle abgebildeten Prozessen ist es erforderlich, einzelne Kostenarten voneinander zu unterscheiden um einen Überblick über die Kosten- und Leistungssituation einer Anlage zu bekommen.

Der Detaillierungsgrad des zu verwendenden Prozessmodells und damit auch der prozessorientierten Kostenrechnung sollte an die Erfordernisse und somit an die Kläranlagengröße angepasst werden.

Bei Anlagen kleiner 10.000 EW-Ausbau sind zwei Hauptprozesse (Abwasserreinigung und Schlammbehandlung) und ein Hilfsprozess voneinander zu unterscheiden. Anlagen zwischen 10.000 und 20.000 EW-Ausbau sollten in drei Hauptprozesse (mechanische Vorreinigung, mechanische biologische Abwasserreinigung und Schlammbehandlung) sowie zwei

Hilfsprozesse untergliedert werden und bei Anlagen zwischen 20.000 und 50.000 EW-Ausbau kommt die Schlammstabilisierung als zusätzlicher Hauptprozess hinzu. Größer 50.000 EW-Ausbau können die vier Hauptprozesse sowie die beiden Hilfsprozesse weiter in Teilprozesse unterteilt werden.

50		10.000				20.000						50.000						EW-Ausbau									
Hauptprozess		Hilfsprozess																									
1+2+3		4		I+II		1		2+3		4		I		II		1		2		3		4		I		II	
1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2		1;2	

Abbildung 11: Angepasste Prozessmodelle (grau hinterlegte Unterteilung nur für Anlagen größer 100.000 EW-Ausbau vorgesehen)

Sind sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Grundzahlen in ausreichender Quantität und Qualität vorhanden, so können sie zu Kennzahlen verknüpft werden. In diesem Beitrag wurde eine Kennzahlensystematik vorgestellt, welche die Wirtschaftlichkeit der Prozesse mit Hilfe von Effizienzkennzahlen und die Wirksamkeit der Prozesse mit Hilfe von Effektivitätskennzahlen überwacht. Zusätzlich geben Prozesskennzahlen wie beispielsweise der Schlammindex oder die Faulzeit über den Zustand der Prozesse Auskunft. Schlüsselkennzahlen stellen letztlich eine Zusammenschau von Kennzahlen mit hoher Steuerungsrelevanz dar und werden durch Selektion oder Aggregation von Effizienz- und Effektivitätskennzahlen gebildet.

Die vorgestellte Methode versucht dem Widerspruch von Aufwand und Nutzen der Kostenanalyse durch die Anpassung des Prozessmodells an die Kläranlagengröße entgegenzuwirken. Zusätzlich wurde durch die Definition von Schlüsselkennzahlen, welche auch von kleinen Anlagen mit vertretbarem Aufwand berechnet werden können, auch auf deren Bedürfnisse Rücksicht genommen.

7 Literatur

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.

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.
- Bundesgesetzblatt. (1996): *1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser*. 210. Verordnung, Wien.
- 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.
- Habich, J. (2003): *mündliche Mitteilung*.
- Hammer, M. und Champy, J. (1996): *Business Reengineering - Die Radikalkur für das Unternehmen*. 6. Auflage, Frankfurt, New York.
- Hinterhuber, H. (1994): *Paradigmenwechsel: Vom Denken in Funktionen zum Denken in Prozessen*. Journal für Betriebswirtschaft 2, 58-75.
- ISO9000. (2000): *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffsdefinitionen*, International Organisation of Standardization.
- 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, Wien.
- Lechner, K., Egger, A. und Schauer, R. (1990): *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 13. Auflage, Industrieverlag Peter Linde GesmbH, Wien.
- Lindtner, S. (2003): *Entwicklung einer Methode für den technisch wirtschaftlichen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen als Grundlage einer Kostenoptimierung*, Dissertation, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien
- Lindtner, S., Svardal, 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.
- 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*.

- Nowak, O. (2000): *Bilanzierung in der Abwasserreinigung*. Habilitationsschrift, TU-Wien.
- ÖWAV. (1999): *Kläranlagenzustandsbericht*. ÖWAV Arbeitsbehelf 22, Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- Preißler, P. R. (1995): *Controlling - Lehrbuch und Intensivkurs*. 6. Auflage, Oldenbourg, München.
- 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.
- Schmelzer, H. J. und Sesselmann, W. (2001): *Geschäftsprozessmanagement in der Praxis*. 1. Auflage, Hanser, München.
- 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.
- 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 exhibition, Olomouc.
- Zimmermann, G. (1992): *Prozeßorientierte Kostenrechnung in der öffentlichen Verwaltung*. Controlling(4), 192-202.

Korrespondenz an:

Dr. Stefan Lindtner
Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien

Tel: 01/58801-22613

Fax: 01/58801-22699

Mail: lindtner@iwag.tuwien.ac.at