

# Datenanalyse als Werkzeug der Betrieboptimierung

Stefan Lindtner, Gerald Sirlinger

Ingenieurbüro kaltesklareswasser

**Abstract:** Auf Abwasserreinigungsanlagen wird eine Fülle an Daten gesammelt und dokumentiert. Nur wenn diese Daten gezielt analysiert werden, kann daraus wertvolle Information für die Betriebsoptimierung aber auch für Erweiterungsplanungen gewonnen werden. Aufbauend auf die Erfahrungen aus der Datenanalyse von fast 100 bisher untersuchten Kläranlagen wird diskutiert, welche Faktoren bei der Datenanalyse von Kläranlagen besonders berücksichtigt werden müssen. Zusätzlich zeigt die Auswertung der Gesamtbetriebskosten sowie die detaillierte Betrachtung von sechs Hauptkostenarten der untersuchten Kläranlagen, untergliedert in vier Größengruppen, das Optimierungspotenzial für andere Kläranlagen auf.

**Key Words:** Abwasserreinigung, Betriebskosten, Benchmarking, Kennzahlen

## 1 Einleitung

Da der Neubau als auch die bauliche Anpassung der österreichischen Kläranlagen an den Stand der Technik weitgehend abgeschlossen sind, stehen der Betrieb und die Betriebsoptimierung im Mittelpunkt des Interesses.

Bei der Diskussion der Betriebsoptimierung wird zumeist ausschließlich auf Kostenaspekte eingegangen. Dies nicht zuletzt deshalb, da fast alle Kläranlagen in Österreich einen so hohen Standard aufweisen, dass die hohe Reinigungsleistung von Kläranlagen als selbstverständlich empfunden wird.

Betriebsoptimierung ist die Minimierung von Kosten bei gleichzeitiger Maximierung des Nutzens, also der Reinigungsleistung. Einfluss auf die Betriebskosten haben die Materialkosten, die Energiekosten, Personalkosten, die Kosten von Leistungen Dritter sowie die Reststoffentsorgungskosten. Auch die Beseitigung von Betriebsproblemen, wie beispielsweise die Bekämpfung von Blähschlamm ist eine Maßnahme der Betriebsoptimierung, worauf jedoch in diesem Beitrag nicht eingegangen wird.

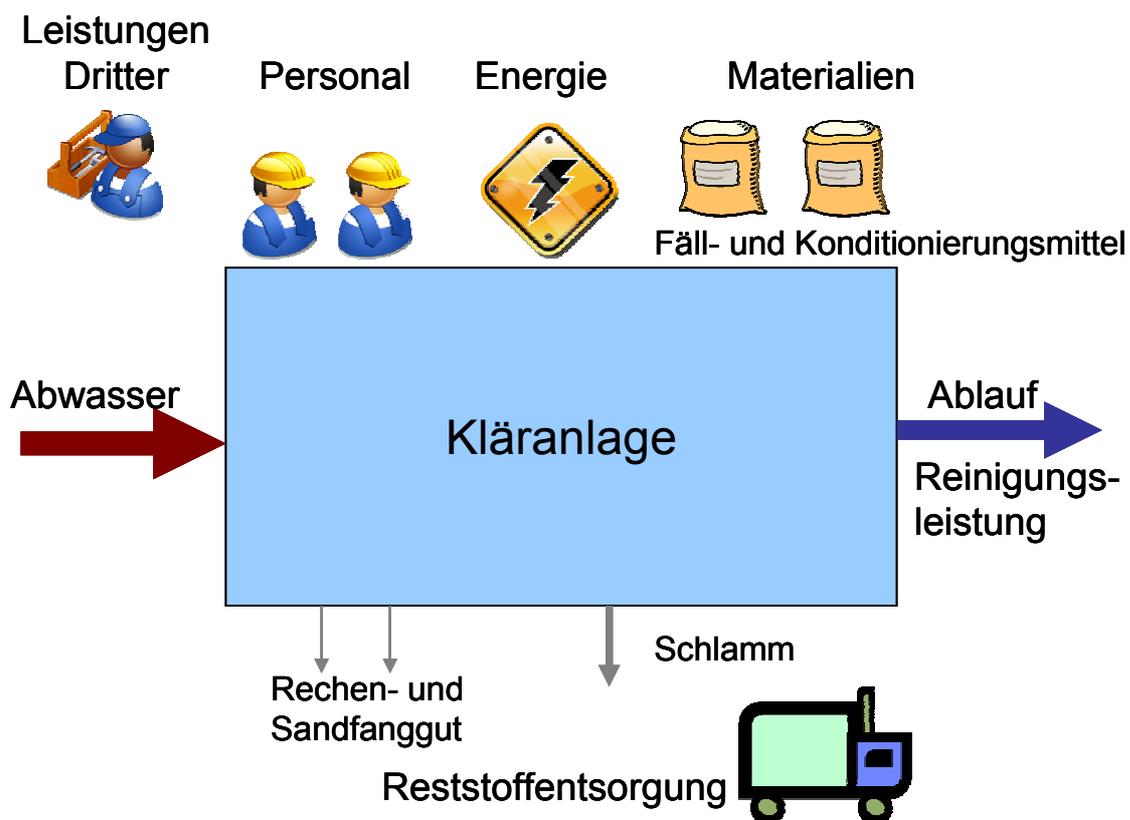


Abbildung 1: Faktoren der Betriebsoptimierung

Entgegen oft anders lautender Behauptung besteht jedoch kein Zusammenhang zwischen Reinigungsleistung und Betriebskosten. Abbildung 2 stellt ein Kosten-Nutzen-Diagramm dar, in dem die spezifischen Betriebskosten in Abhängigkeit vom Leistungskennwert eingetragen sind. Im Diagramm wurden Werte der Teilnehmer am Benchmarking-Forschungsprojekt (Untersuchungsjahr 1999) und der Teilnehmer der Benchmarking-Internetplattform (BM-IP) der vergangenen vier Jahre dargestellt, wobei die Betriebskosten auf das Jahr 2007 indiziert wurden.

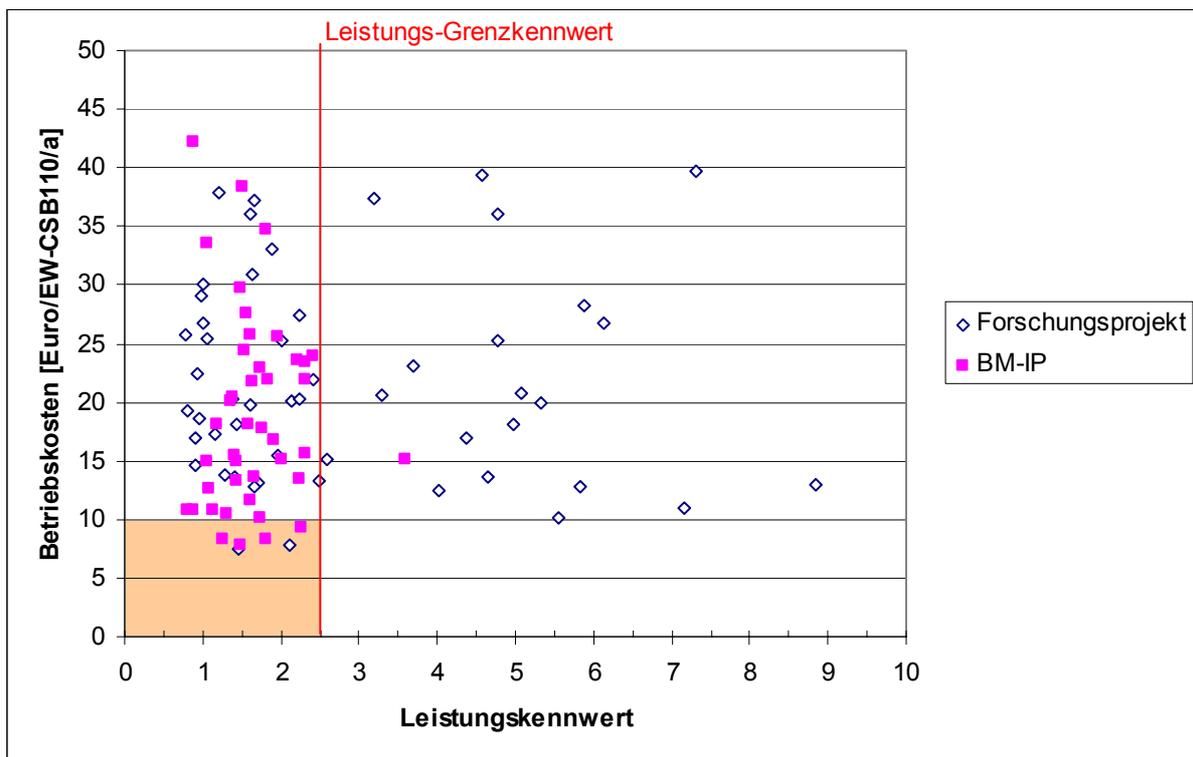


Abbildung 2: Spezifische Betriebskosten und Leistungskennwert

Der Leistungskennwert (= LW) ist eine quantitative Beurteilung der nach der Reinigung im Ablauf verbleibenden Gewässerbelastung (vergleiche ÖWAV 2000, Arbeitsbehelf Nr. 9). Je kleiner der Leistungskennwert, desto größer ist der Nutzen der eingesetzten Betriebskosten. Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte ist nur bei einem Leistungskennwert von kleiner als 2,5 möglich, dieser Wert wird daher als Leistungs-Grenzkennwert bezeichnet.

Aus Abbildung 2 kann der sehr wesentliche Schluss gezogen werden, dass kein statistischer Zusammenhang zwischen den Betriebskosten und der Reinigungsleistung, d.h. dem Nutzen besteht. Diese Abbildung lässt den Schluss zu, dass mit steigender Reinigungsleistung die Kosten nicht ansteigen müssen beziehungsweise im Umkehrschluss erhöhte Betriebskosten nicht mit einer höheren Reinigungsleistung gerechtfertigt werden können.

Zusätzlich ist aus Abbildung 2 ersichtlich, dass im Unterschied zum Benchmarking-Forschungsprojekt mit dem Untersuchungsjahr 1999, abgesehen von einer noch nicht an den Stand der Technik angepassten Anlage, von allen Anlagen der Leistungskennwert von 2,5 unterschritten wird.

## 2 Datenanalyse einer Kläranlagen

In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, was bei der Datenanalyse einer einzelnen Kläranlage zu berücksichtigen ist, welche Basisdaten erforderlich sind, wie eine Plausibilitätskontrolle der Daten durchgeführt werden kann und welche Kennzahlen in Bezug auf die Reinigungsleistung, beim Personal bzw. den Leistungen durch Dritte, der Energie, den Fäll- und Konditionierungsmittel sowie bei der Reststoffentsorgung von Interesse sind.

### 2.1 Erforderliche Basisdaten für die Betriebsoptimierung

In Abbildung 3 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 gezeigt 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 gestrichelten Linie dargestellt, Outputgüter der Kläranlage unterhalb der zweiten gestrichelten 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 Prozesses MÜSE/Eindicker kann aus der Abbildung 3 abgeleitet werden, dass Fremdschlamm, Konditionierungsmittel und elektrische Energie die Inputgüter sowohl für die Kläranlage als auch für den Prozess darstellen. Überschussschlamm als Output der biologischen Abwasserreinigung ist ebenfalls ein Inputgut des Prozesses MÜSE/Eindicker. Als Outputgüter sind eingedickter Überschussschlamm und Trübwässer zu nennen, die jeweils Inputgut eines anderen Prozesses sind. Direkte Outputgüter der Kläranlage aus dem Prozess MÜSE/Eindicker gibt es nicht.

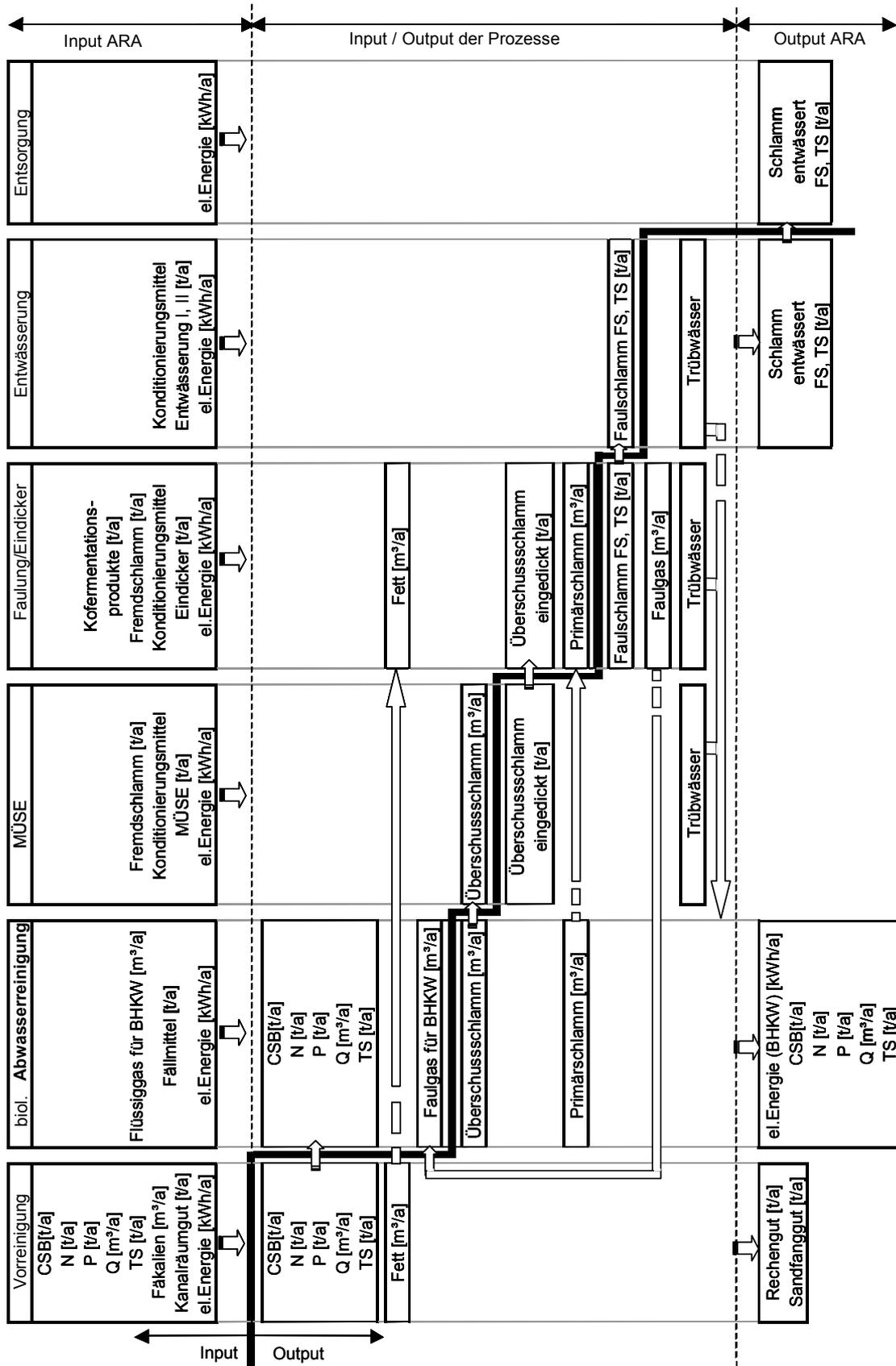


Abbildung 3: Input- und Outputgüter am Beispiel einer Kläranlage mit Schlammfäulung

## 2.2 Plausibilitätsprüfung

Das Ziel der Plausibilitätsprüfung ist die Unterscheidung von Messfehlern und richtigen Messwerten, welche für die Betriebsoptimierung wertvolle Information enthalten. Plausible Messwerte sind Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Grenzwertüberwachung, für eine vorausschauende Betriebsführung zur gesicherten Grenzwerteinhaltung, aber auch für die gezielte Energie- und Ressourceneinsparung.

Die Plausibilitätsprüfung reicht vom kritischen Hinterfragen der täglichen Routine über den Vergleich von Mess- und Erfahrungswerten bis hin zur Plausibilitätsprüfung mittels Bilanzierung. Der Vergleich von Mess- und Erfahrungswerten wird auf vielen Kläranlagen vorgenommen indem Zu- und Ablaufkonzentrationen hinterfragt werden, typische Verhältniszahlen gebildet werden und auch indem einfache statistische Auswertungen (Mittelwerte, Maximalwerte, Ausreißer, etc.) durchgeführt werden. Auf sehr wenigen Kläranlagen wird eine Plausibilitätsprüfung mittels Massenbilanzen durchgeführt, was z.B. bei der CSB-Bilanz auf die Komplexität der Zusammenhänge zurückgeführt werden kann. Die einfachste Art der Bilanzierung, und auch diese wird erfahrungsgemäß nur selten durchgeführt, ist die Stoffstromanalyse der Trockensubstanzen (TS).

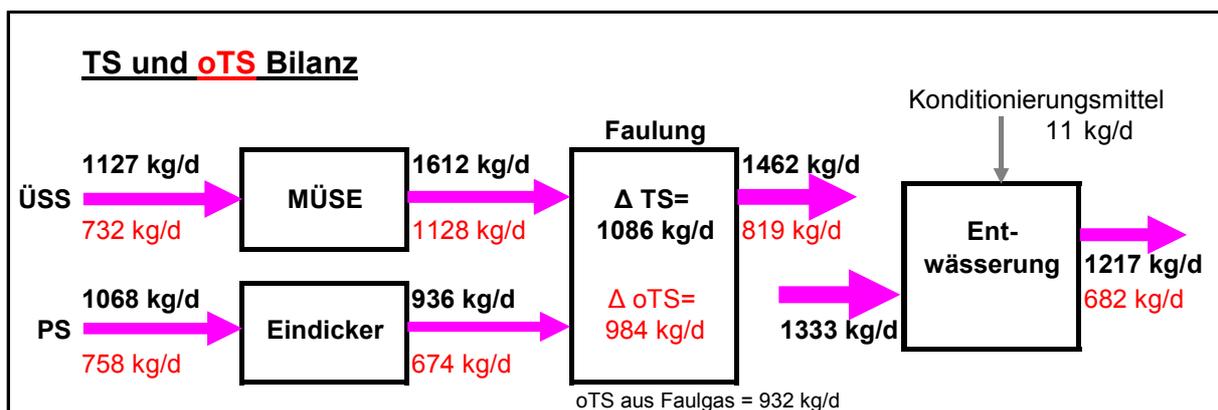


Abbildung 4: Beispiel einer TS bzw. oTS-Bilanz

In Abbildung 4 ist die TS und oTS-Bilanz einer Beispielanlage grafisch dargestellt. Die TS- und oTS-Fracht sollte im Zu- und Ablauf des Eindickers, der MÜSE und der Entwässerung gleich sein. In der Faulung wird die TS um jenen oTS-Anteil verringert, der in Faulgas umgesetzt wird. Dies bedeutet, dass die Differenzen der Trockensubstanz und der organischen Trockensubstanz

zwischen Zu- und Ablauf der Faulung gleich hoch sein sollten. Zudem muss diese Differenz mit dem produzierten Methangas korrespondieren, wobei die oTS-Fracht in kg/d des Faulgases näherungsweise durch Multiplikation der Methangasmenge in m<sup>3</sup>/d mit dem Faktor 2 berechnet werden kann. Wie aus Abbildung 4 abgeleitet werden kann, ergibt sich eine größere Differenz zwischen Zu- und Ablauf der MÜSE. Da die abgebaute oTS-Fracht in der Faulung sehr gut mit der aus dem Faulgas berechneten übereinstimmt, liegt der Schluss nahe, dass die Überschussschlammmenge oder die TS des Überschussschlammes unterbestimmt werden.

Der Aufwand für die Datenerfassung (Onlineanalytik und Labor) ist ein wesentlicher Kostenfaktor beim Betrieb von Kläranlagen. Die dabei gewonnenen Daten können jedoch nur dann zu wertvoller und belastbarer Information werden, wenn man sie im Vorfeld einer Plausibilitätskontrolle unterzieht.

### **2.3 Analyse der Reinigungsleistung**

Die Wirkungsgrade und Ablaufkonzentrationen von CSB, BSB<sub>5</sub>, Stickstoff und Phosphor sowie der bereits ausführlich beschriebene Leistungskennwert charakterisieren die Reinigungsleistung der Gesamtanlage. Durch die berücksichtigten Parameter und deren Gewichtung ist der Leistungskennwert ein Maß für die gewässerbeeinflussenden Faktoren: Sauerstoffzehrungspotenzial, Eutrophierungspotenzial, Fischtoxizität, hygienische Aspekte und organische Restverschmutzung.

### **2.4 Analyse des Personaleinsatzes und der Leistungen durch Dritte**

Wie in Kapitel 3 gezeigt wird, sind das Personal und die Leistungen durch Dritte für rund die Hälfte der Betriebskosten verantwortlich.

Der Personalbedarf einer Kläranlage hängt einerseits von der Kläranlagengröße und andererseits von den baulichen Gegebenheiten ab. Der Personalbedarf kann nicht losgelöst von den technischen Gegebenheiten gesehen werden bzw. spielen bei der Analyse des Personalbedarfs bauliche Besonderheiten,

Organisationsform und Betriebsstrategie eine wesentliche Rolle. Unter Organisationsform wird hier verstanden, wie das Betriebspersonal organisiert ist, wer für welche Anlagenteile zuständig ist und dergleichen mehr. Unter Betriebsstrategie wird die strategische Ausrichtung bei der Aufgabenerfüllung verstanden. So beispielsweise die Frage, ob Reparaturen und Instandsetzungen weitgehend mit Eigenpersonal durchgeführt werden, oder ob in diesem Falle Leistungen von Dritten in Anspruch genommen werden.

Der Personalbedarf für einzelne Anlagenteile kann anhand des Merkblattes ATV-M 271 „Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlagen“ berechnet werden. Für einen Vergleich des tatsächlichen Aufwandes der zu analysierenden Anlage mit jenem gemäß Regelblatt, muss eine Stundenaufzeichnung zumindest auf Basis der interessierten Anlagenteile vorgenommen werden.

Die Beurteilung der Personalsituation und das Abschätzen ob hier Einsparungspotenzial gegeben ist zählen sicher zu den sensibelsten Aufgaben der Betriebsoptimierung. Wie bereits dargestellt, greift ein reines „Köpfe zählen“ auf alle Fälle zu kurz. Nur eine mehrjährige Beurteilung, welche Leistungen vom Betriebspersonal erbracht werden und was mit Leistungen durch Dritte abgedeckt wird, erlaubt eine seriöse Aussage. Zusätzlich muss beim Vergleich von Personalkosten darauf Rücksicht genommen werden, dass die Personalkosten von der zufließenden Schmutzfracht weitgehend unabhängig sind. Werden also schmutzfrachtspezifische Personalkosten (Euro/EW-CSB110) von Anlagen gleicher Ausbaugröße miteinander verglichen, so sind dieser sehr stark von der mittleren Belastung beeinflusst. Zusätzlich erschwert wird der Vergleich der Personalkosten durch unterschiedliche Alters- und damit Verdienststrukturen der Unternehmen.

Um den Personalsituation und Leistungen möglichst objektiv beurteilen zu können müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Die Stunden müssen nicht nur für einzelne Prozesse bzw. Anlagenteile getrennt erfasst werden, sondern zusätzlich separat den Aufwand für laufenden Betrieb und den Reparaturaufwand dokumentieren. Ebenso sollten Leistungen durch Dritten getrennt nach Aufwand für den laufenden Betrieb und Reparaturaufwand erfasst werden.

- Personalkosten dürfen nur in Zusammenhang mit den Kosten für Leistungen durch Dritte beurteilt werden. Personalkosten und Kosten für Leistungen durch Dritte sollten nicht nur auf die Schmutzfracht, sondern auch auf die Ausbaugröße, bezogen werden.
- Für die Beurteilung der Alters- und Verdienststruktur kann die Berechnung eines Stundensatzes hilfreich sein, indem man die Gesamtpersonalkosten der Kläranlage durch die für die ARA geleisteten Stunden dividiert. Als Mittelwert aller in den letzten vier Jahren am Benchmarking teilgenommen Anlagen können hier 27 Euro/Stunde genannt werden.

## 2.5 Analyse des Energieverbrauches

Der Energieverbrauch und damit die Energiekosten, die für 16 Prozent der gesamten Betriebskosten verantwortlich sind (vergleiche Kapitel 3), sind nicht nur von monetärem Interesse, sondern auch im Zusammenhang mit der Reduktion von Treibhausgasen. Auch der Fördergeber trägt dem Rechnung und weist in den Förderungsrichtlinien 1999 in der Fassung 2006 *Kosten für Errichtungen zur Verwertung und Nutzung von erneuerbarer Energie sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit von siedlungswasserbaulichen Anlagen als förderbare Kosten aus (§3 Abs. 1 Ziffern 9 und 17a)*. Entsprechende Förderansuchen müssen jedoch vom Förderwerber auf Grundlage eines Energiekonzeptes für die Gesamtanlage dargestellt werden.

Bei der Analyse des Energieverbrauches kann die Erstellung einer Energiebilanz, sowohl für die elektrische als auch die thermische Energie, ein zentrales Element darstellen. Der Energiebereitstellung, sowohl von elektrischer als auch thermischer Energie, stehen die Verbraucher gegenüber. Da sowohl der zugekaufte als auch der auf der Anlage erzeugte elektrische Strom messtechnisch erfasst werden, ist die bereitgestellte und damit auch verbrauchte elektrische Energie bekannt. Thermische Energie ist auf Kläranlagen mit Faulung zumeist ausreichend vorhanden, sodass die verwertbare thermische Energie nur abgeschätzt werden kann. Der elektrische Energieverbrauch der einzelnen Verbraucher wird zum Teil bereits messtechnisch erfasst. Dort wo dies nicht der Fall ist, kann mithilfe der Anschlusswerte, der beförderten

Wassermenge, gemessener oder geschätzter elektrischer Leistung, der Laufzeit und anderer auf der Kläranlage bekannten Größen der elektrische Verbrauch mehr oder weniger genau abgeschätzt werden. Hilfreich für die Untergliederung des Stromverbrauches auf Einzelverbraucher ist es, eine Verbrauchermatrix der wesentlichsten elektrischen Energieverbraucher anzulegen. Der thermische Verbrauch von einzelnen Aggregaten einer Kläranlage wird in der Regel nicht messtechnisch erfasst. Mithilfe von Kennzahlen und physikalischen Größen kann jedoch der Wärmebedarf für die beheizte Faulung, die Gebäudeheizung udgl. ausreichend genau abgeschätzt werden.

### 2.5.1 Energiebereitstellung

Auf Abwasserreinigungsanlagen wird Energie in Form von elektrischer und thermischer Energie benötigt. Die benötigte Energie wird vorwiegend vom Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) zugekauft oder aus Heizöl, Erdgas, Flüssiggas und Faulgas gewonnen. Auf manchen Kläranlagen kommen auch alternative Energieformen wie Photovoltaik, Windräder udgl. zum Einsatz. Von allen genannten Energieträgern ist der Energieinhalt bekannt (vergleiche Tabelle 1), womit deren Menge Auskunft über die maximal verfügbare Energie gibt.

Tabelle 1: Energiequellen und erzeugte/verwertbare elektrische bzw. thermische Energie

Energiequellen	Menge	Energieinhalt	verwertbare elektrische Energie	verwertbare thermische Energie
<b>Faulgas gesamt</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>
Faulgas BHKW	Energieinhalt: 10 kWh/m <sup>3</sup> Methangas	m <sup>3</sup> /d	kWh/d	kWh/d
Faulgas Heizung	Methangas = Faulgas	m <sup>3</sup> /d		kWh/d
Faulgas Fackel	minus CO <sub>2</sub> -Anteil	m <sup>3</sup> /d		
<b>Erdgas gesamt</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>
Erdgas BHKW	Energieinhalt: 9,5-10,28 kWh/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /d	kWh/d	kWh/d
Erdgas Heizung		m <sup>3</sup> /d		kWh/d
<b>Flüssiggas gesamt</b>	<b>kg/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>
Flüssiggas BHKW	Energieinhalt: 12,8 kWh/kg	kg/d	kWh/d	kWh/d
Flüssiggas Heizung		kg/d		kWh/d
Heizöl		l/d		kWh/d
Andere Energieträger 1	Energieinhalt: Heizöl extraleicht: 10 kWh/l	?/d	kWh/d	kWh/d
Andere Energieträger 2	Heizöl leicht: 10,5 kWh/l	?/d	kWh/d	kWh/d
<b>Summe elektrische bzw. thermische Energie auf ARA erzeugt</b>			<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>
Elektrische Energie vom EVU zugekauft			kWh/d	
Energie ans EVU bzw. Fernwärme geliefert			kWh/d	kWh/d
<b>Energiebereitstellung ARA</b>			<b>kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>

Der Energieinhalt der Energieträger wird mithilfe eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) in verwertbare elektrische und thermische Energie umgewandelt. Aus der Summe an erzeugter elektrischer Energie und zugekaufter elektrischer Energie, abzüglich der ans EVU gelieferten elektrischen Energie, resultiert die

auf der Kläranlage verbrauchte elektrische Energie. Da die mittels BHKW erzeugte elektrische Energie zumeist messtechnisch erfasst wird, lässt sich die bereitgestellte elektrische Energie berechnen.

Die auf der Kläranlage verwertbare thermische Energie kann vom BHKW und/oder einem Heizkessel stammen. Sind die thermischen Wirkungsgrade von BHKW und/oder Heizkessel bekannt, so kann auch die bereitgestellte thermische Energie sehr einfach berechnet werden. Sind die Wirkungsgrade nicht bekannt, so muss mit thermischen Verlusten zwischen 10 und 20 Prozent gerechnet werden. Die verwertbare thermische Energie kann demnach aus dem berechneten Energieinhalt, abzüglich verwertbarer elektrischer Energie und abzüglich von Umwandlungsverlusten, berechnet werden.

Um einen Einblick über Art und Menge der eingesetzten Energieträger zu bekommen, werden in Tabelle 1 die verschiedenen Energiequellen und die daraus erzeugte bzw. verwertbare elektrische & thermische Energie zusammengefasst.

### 2.5.2 Elektrischer Energieverbrauch

Energieverbraucher können in thermische und elektrische Energieverbraucher untergliedert werden. Da Wärme auf Kläranlagen mit Faulung zumeist im Überschuss vorhanden ist und Kläranlagen ohne Faulung zumeist einen geringen Wärmebedarf aufweisen, liegt der Schwerpunkt der Energieverbraucher bei den elektrischen Energieverbrauchern. Nur wenn man die Energieverbraucher kennt, kann der Energieverbrauch einer Kläranlage optimiert werden. Ziel muss es sein, den elektrischen Energieverbrauch der, in Tabelle 2 zusammengefassten, Verbrauchergruppen feststellen zu können.

Wird der elektrische Energieverbrauch dieser Verbrauchergruppen nicht messtechnisch erfasst, wird die Erstellung einer Matrix der elektrischen Energieverbraucher empfohlen.

Tabelle 2: Elektrische Energieverbraucher einer Kläranlage

1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung	kWh/d
1.1 Zulaufpumpwerk	kWh/d
1.2 Rechen	kWh/d
1.3 Sand- u. Fettfang	kWh/d
2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung	kWh/d
2.1 Belüftung	kWh/d
2.2 Rührwerk	kWh/d
2.3 RS-Pumpen	kWh/d
2.4 Sonstiges (VKB, NKB,...)	kWh/d
3) MÜSE und stat. Eindicker	kWh/d
4) Faulung	kWh/d
5) Schlammwässerung	kWh/d
6) Infrastruktur	kWh/d
6.1 Heizung	kWh/d
6.2 sonstige Infrastruktur	kWh/d
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>kWh/d</b>

Alternativ zur Messung der genannten Verbrauchergruppen kann der Energieverbrauch aus der aufgenommenen elektrischen Leistung und der Laufzeit des jeweiligen Aggregates berechnet werden. Ist auch die aufgenommene elektrische Leistung nicht bekannt, kann diese bei Aggregaten, deren Leistungsaufnahme sich mit der Zeit nicht ändert, durch eine Messung mittels Strommesszange erfasst werden. Als ganz grobe Abschätzung des zu erwartenden Energieverbrauches kann die elektrische Anschlussleistung der Aggregate und ein abgeschätzter Prozentsatz der davon aufgenommenen Leistung herangezogen werden.

Bei Pump- und Hebewerken kann zusätzlich auch aus der gehobenen Wasser- bzw. Schlammmenge und der Förderhöhe auf die erforderliche elektrische Energie geschlossen werden. Dem liegt die physikalische Tatsache zugrunde, dass mit einer Kilowattstunde ein Kubikmeter Wasser 367 Meter hoch gehoben werden kann. Geht man bei Schneckenpumpen von einem Wirkungsgrad zwischen 40 und 60 % aus und bei Kreiselpumpen von einem Wirkungsgrad zwischen 30 und 80 %, so kann die erforderliche elektrische Energie der Pump- und Hebewerke wie folgt abgeschätzt werden:

$$\text{Energieverbrauch Pumpe [kWh/d]} = \frac{\text{Förderhöhe [m]} * \text{Fördermenge [m}^3/\text{d]}}{367 [\text{m/kWh/m}^3] * \text{Wirkungsgrad der Pumpe [-]}}$$

Dies gilt nicht für den Energieverbrauch von Excenterschneckenpumpen (=Monopumpen), die für die Förderung von bereits eingedicktem Schlamm

(Beschickung von Faulturn, Entwässerungsmaschinen udgl.) zum Einsatz kommen.

### 2.5.3 Thermischer Energieverbrauch

Da auf Kläranlagen mit Faulung Wärme zumeist im Überschuss vorhanden ist, spielt die Einsparung von thermischer Energie eine untergeordnete Rolle. Wird bei Kläranlagen die thermische Energie aus extern zugekauften Energieträgern abgedeckt, hat die Optimierung des Wärmebedarfs höhere Priorität.

Bei Kläranlagen mit Schlammfäulung wird die Wärme vor allem als Prozesswärme für die Erwärmung des Faulschlammes und Faulbehälterheizung benötigt. Zusätzlich wird Wärme für das Heizen von Betriebsgebäuden benötigt. Der Wärmebedarf für Betriebsgebäude kann vor allem dann besonders hoch sein, wenn Anlagenteile vollständig umhaust sind und diese Räume bei hoher Luftwechselzahl zumindest temperiert werden müssen.

Ziel muss es sein, den thermischen Energieverbrauch der in Tabelle 3 zusammengefassten Verbraucher abschätzen zu können.

Tabelle 3: Thermischer Energieverbraucher einer Kläranlage

Schlammaufheizung ( $Q_s$ )	kWh/d
Transmissionsverluste, Faulbehälterbeheizung ( $Q_T$ )	kWh/d
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste ( $Q_V$ )	kWh/d
Wärmemenge für Gebäude ( $Q_{\text{Gebäude}}$ )	kWh/d
Wärmemenge für Zuluftgeräte ( $Q_{\text{Zuluft}}$ )	kWh/d
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>kWh/d</b>

## 2.6 Analyse der Fäll- und Konditionierungsmittel

Die Fäll- und Konditionierungsmittel werden kostenrechnerisch zu den Material- und Stoffkosten gezählt, welche für rund 10 Prozent der Betriebskosten verantwortlich sind. Bei Anlagen mit Faulung, welche üblicherweise auch über eine MÜSE verfügen, machen die Fällmittelkosten etwa 30 bis 40 Prozent der gesamten Material- und Stoffkosten aus.

Für die Optimierung des Fällmitteleinsatzes müssen zwei Faktoren berücksichtigt werden:

1. Fällmitteleinsatz
2. Spezifische Fällmittelkosten in Euro je mol Wirksubstanz

Der erforderliche Fällmitteleinsatz kann mittels  $\beta$ -Wertes kontrolliert werden, wobei  $\beta$ -Werte zwischen 1,0 und 1,5 bei geforderten Phosphorablaufkonzentrationen von 1 mg/l als Normalwerte angesehen werden können. Bei geforderten Phosphorablaufkonzentrationen von  $\leq 0,5$  mg/l können  $\beta$ -Werte von 2 bis 2,5 als Richtwerte angegeben werden.  $\beta$ -Werte  $< 1$  deuten auf vermehrte Bio-P hin.

Eine nachhaltige Kostenoptimierung des Fällmittels muss bei der Errechnung der erforderlichen Fällmittelmenge mittels  $\beta$ -Wert ansetzen. Erst dann sind Preisverhandlungen bezüglich Fällmittelkosten in Bezug auf die Kostenoptimierung sinnvoll. Für den Vergleich von Fällmittelkosten muss neben den Kosten des Mittels auch die Wirksubstanz je Kilogramm Fällmittel bekannt sein.

Betrachtet man die Fällmittelkosten und die Phosphorablaufwerte (siehe Lindtner 2006), so ist kein Zusammenhang von erreichtem Ablaufwert und den Kosten festzustellen. D.h. die Unterschiede in den Fällmittelpreisen (Euro je mol Wirksubstanz) haben einen stärkeren Einfluss als die Unterschiede der eingesetzten Fällmittelmengen.

Unter Konditionierungsmitteln werden hier Flockungshilfsmittel für die MÜSE und die Schlammwässerung verstanden. Während sich die Beurteilung des Konditionierungsmittels der MÜSE auf den spezifischen Konditionierungsmittelbedarf und die spez. Konditionierungsmittelkosten beschränkt, spielt bei

der Schlammmentwässerung auch die Entsorgungsstrategie eine entscheidende Rolle.

Als Konditionierungsmittel für die MÜSE wird entweder flüssiges Polymer mit 50%iger Wirksubstanz oder festes Polymer mit 100%iger Wirksubstanz eingesetzt. Für die Beurteilung des Konditionierungsmittelbedarfes wird ein spezifischer Konditionierungsmittelbedarf, also die benötigte Menge an Wirksubstanz (WS) je Tonne Trockensubstanz die die MÜSE verlässt in kgWS/t TS-MÜSEab berechnet. Übliche Werte hierfür liegen zwischen 2 und 4 kg WS/t TS-MÜSEab. Die Konditionierungsmittelkosten für flüssiges Polymer liegen bei durchschnittlich 2.500 Euro/t, also 5.000 Euro/t WS, für festes Polymer um die 3.000 Euro/t.

Die Konditionierungsmittel für die Entwässerung müssen in Zusammenhang mit der Art der Schlammmentwässerung und der Schlammmentsorgung gesehen werden. Auf Kläranlagen mit landwirtschaftlicher Schlammverwertung wird zumeist Kalk und Eisen zugegeben, wohingegen auf vielen Anlagen ausschließlich mit Polymer entwässert wird. Die Angabe einer technischen Kennzahl wie bei der MÜSE ist aufgrund der Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten nicht sinnvoll. Auch die Angabe von spezifischen Konditionierungsmittelkosten je Tonne entwässertem Schlamm ist aufgrund der Tatsache, dass bei einer Entwässerung mit Kalk zum Teil beträchtliche Mengen an TS zugegeben werden zielführend. Für Anlagen mit Faulung wurde daher für die Berechnung von spezifischen Kosten die Menge an TS-Faulschlamm als Bezugsgröße angeregt, da diese auf alle Fälle entsorgt werden muss. Als grobe Richtwerte können für die Entwässerung und Entsorgung des stabilisierten Schlammes Kosten zwischen 200 und 400 Euro je Tonne TS-Faulschlamm angegeben werden. Bezieht man nur die Konditionierungsmittelkosten auf die Tonne TS-Faulschlamm, so muss man mit Kosten zwischen 30 und 60 Euro je Tonne TS-Faulschlamm rechnen.

## **2.7 Analyse der Reststoffentsorgung**

Unter Reststoffentsorgung fallen sowohl die Entsorgung von Rechen- und Sandfanggut als auch die Klärschlammmentsorgung, wobei diese in Bezug auf die

Kosten dominiert. Bei den Reststoffkosten sind jeweils der Anfall und die Kosten je Tonne Entsorgung von Interesse.

Der Rechen- und Sandfanggut anfall kann in Kilogramm je Einwohnerwert ausgedrückt werden wobei hier beim Rechengut Werte zwischen 0,7 und 2,5 kg/EW-CSB110/a üblich sind und beim Sandfanggut mit 0,2 bis 0,8 kg/EW-CSB110/a zu rechnen ist. Auffällig ist, dass bei großen Kläranlagen der spezifische Anfall je EW-CSB110 geringer ist, was mit einem tendenziell höheren Anteil an Industrie und Gewerbe erklärt werden kann. Die Rechengutentsorgungskosten liegen zwischen 150 und 225 Euro je Tonne, wobei hier starke Regionale Unterschiede festzustellen sind. Das Sandfanggut kann bei den meisten Kläranlagen kostenlos entsorgt werden oder wird gemeinsam mit dem Rechengut entsorgt.

Beim Klärschlamm schwanken sowohl der Anfall als auch der Entsorgungspreis recht deutlich. Pro Einwohner fallen zwischen 30 g (=25%Wert) und 50 g (=75%Wert) an Trockensubstanz je Tag an womit die Klärschlamm Entsorgungskosten bei sonst gleichen Bedingungen aufgrund der anfallenden Menge um den Faktor 1,7 schwanken. Da die organische Trockensubstanz nach der Faulung nur zwischen 20g (=25%Wert) und 26 g (=75%Wert) je Einwohner streut, kann man davon ausgehen, dass die starke Schwankung des Klärschlamm anfalles vor allem im anorganischen Anteil des Klärschlammes begründet liegt.

Noch stärker als der Klärschlamm anfall streuen die Schlamm Entsorgungskosten. In Tabelle 4 sind von allen Teilnehmern am Benchmarking der Jahre 2003, 2004 und 2005 die Klärschlamm Entsorgungspreise, nach Art der Entsorgung gruppiert, zusammengefasst. In Summe wurden für die fünf dargestellten Entsorgungsarten 40 Preise angegeben wobei Mehrfachnennungen einer Anlage möglich sind. Unabhängig von der Entsorgungsart schwanken die Entsorgungskosten um den Faktor 2 zwischen 30 Euro/t (25%Wert) und 60 Euro/t (75%Wert) um einen Median von 45 Euro/t.

Tabelle 4: Entsorgungskosten je Entsorgungsart

	Entsorger	Landwirtschaft	Kompostierung	Landschaftsbau	Verbrennung	Alle
Anzahl	12	12	11	2	3	40
Median	46 Euro/t	29 Euro/t	60 Euro/t	23 Euro/t	84 Euro/t	45 Euro/t

### 3 Datenanalyse von mehreren Kläranlagen und Orientierung am Besten (=Benchmarking)

In diesem Kapitel wird das Ergebnis der Datenanalyse von mehreren Kläranlagen gezeigt. Erst die Orientierung an der Vergleichsgruppe zeigt ob und in welchen Bereichen Betriebsoptimierungen möglich sind.

Es werden die indexierten Betriebskosten von 94 untersuchten Kläranlagen der Geschäftsjahre 1999, 2003, 2004 und 2005 dargestellt. Bei Kläranlagen welche in mehreren Jahren teilnahmen wurde der Mittelwert der untersuchten Jahre gebildet.

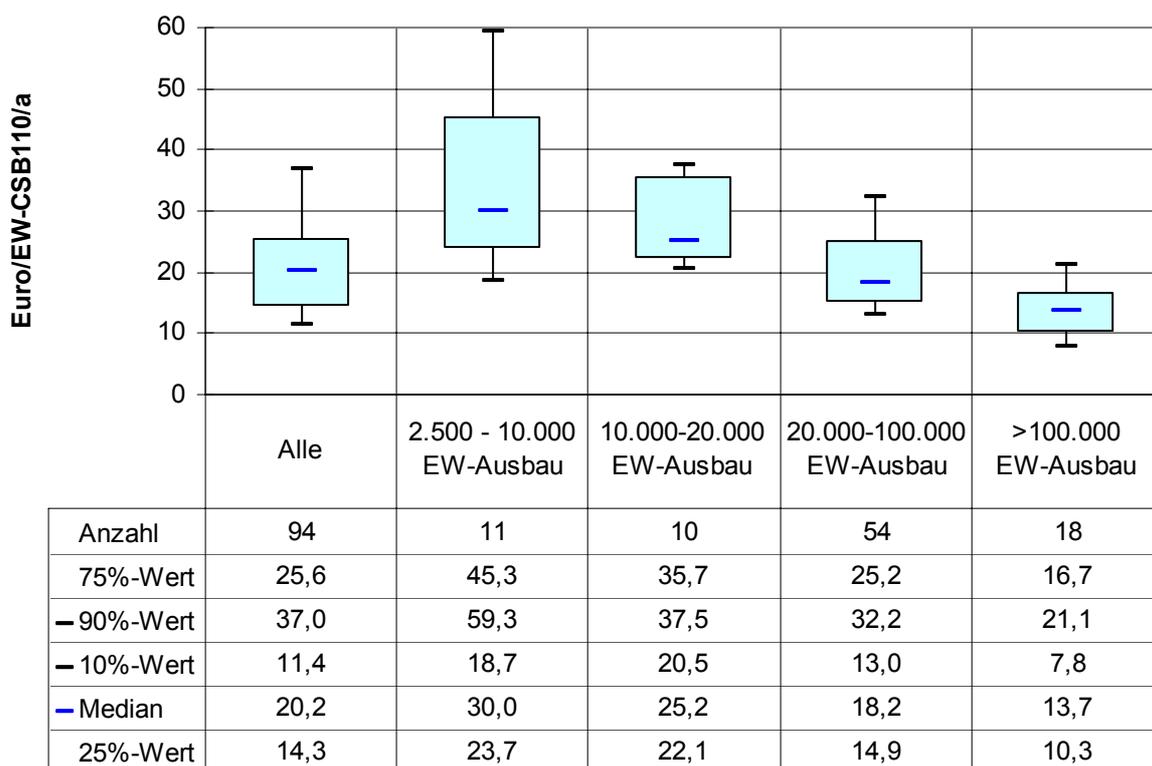


Abbildung 5: Betriebskosten der untersuchten Kläranlagen je Gruppe

Das Ergebnis in Abbildung 5 zeigt, dass sowohl die spezifischen Kosten als auch die Streuung mit zunehmender Kläranlagengröße abnimmt. Anlagen mit einer Kapazität zwischen 2.500 und 10.000 EW-Ausbau weisen einen Median

von 30 Euro/EW-CSB110/a auf, wohingegen Anlagen mit einer Kapazität > 100.000 EW-Ausbau einen Median von rund 14 Euro/EW-CSB110/a aufweisen. Ausdrücklich darauf hingewiesen wird, dass bei den hier dargestellten Betriebskosten auch anteilige Kosten von Geschäftsführung, Sekretariat und Buchhaltung inkludiert sind.

Wie bereits dargestellt, können folgende Hauptkostenarten den Erfordernissen für einen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen Rechnung tragen:

- Material- und Stoffkosten
- Personalkosten
- Kosten für Leistungen durch Dritte
- Energiekosten
- Reststoffentsorgungskosten
- Sonstige betriebliche Kosten

Die kostenrelevanteste Kostenart sind die Personalkosten mit 40 bis 50 Prozent der Gesamtkosten. Je kleiner eine Kläranlage, umso dominanter werden die Personalkosten. Die Energie-, Reststoff- und Materialkosten sind im Bezug auf die Kostenrelevanz an zweiter, dritter und vierter Stelle zu finden. Mit zunehmender Anlagengröße steigt die Relevanz der Reststoffkosten. Bei kleineren Anlagen sind aufgrund der größeren Anzahl an simultan-aerob-stabilisierenden Anlagen die Energiekosten, sozusagen systemimmanent, relevanter. Im Unterschied zu Anlagen < 100.000 EW-Ausbau sind die Material- und Stoffkosten bei Anlagen > 100.000 EW-Ausbau kostenrelevanter als die Energiekosten.

Kosten für Leistungen durch Dritte sowie sonstige Kosten machen weniger als 10 Prozent der Gesamtbetriebskosten aus, wenn man von den Materialkosten von Anlagen > 100.000 EW-Ausbau absieht.

Tabelle 5: Prozentuelle Verteilung der Kostenarten nach EW-Ausbau gruppiert

	Materialkosten	Personalkosten	Leistungen durch Dritte	Sonstige	Reststoffentsorgung	Energie
Alle 94 ARAs	11%	45%	8%	6%	15%	16%
2.500-10.000 EW-Ausbau	7%	49%	7%	7%	14%	15%
10.000-20.000 EW-Ausbau	10%	45%	7%	5%	13%	20%
20.000-100.000 EW-Ausbau	10%	46%	8%	6%	14%	16%
>100.000 EW-Ausbau	14%	40%	12%	5%	17%	12%

Die Kostenarten können in zwei große Gruppen untergliedert werden: Einerseits Kosten die von der, der Kläranlage zufließenden, Schmutzfracht abhängen (Material-, Energie und Reststoffkosten) und andererseits Kosten, welche von der Schmutzfracht weitgehend bis vollkommen unabhängig sind (Personalkosten, Leistungen durch Dritte und sonstige Kosten).

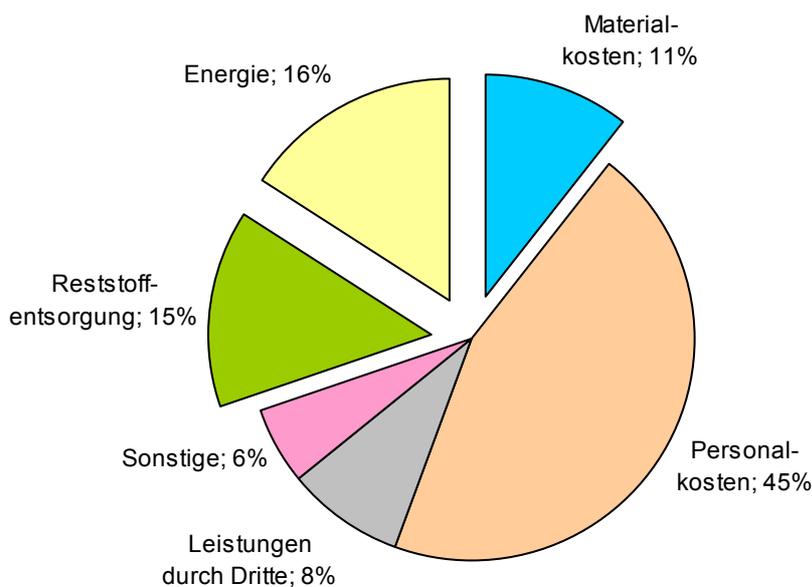


Abbildung 6: Betriebskostenverteilung aller untersuchten Kläranlagen

Geht man von der beschriebenen Unterteilung in frachtabhängige und frachtunabhängige Kostenarten aus, so zeigen Abbildung 6 und Tabelle 5, dass mindestens 60 Prozent der Betriebskosten einer Kläranlage von der zufließenden Schmutzfracht unabhängig sind. Da für einen Kostenvergleich üblicherweise frachtspezifische Betriebskosten errechnet werden, hat die durchschnittliche

Belastung (=durchschnittliche Schmutzfracht) einer Kläranlage einen entscheidenden Einfluss auf die spezifischen Kosten.

Zusätzlich zur prozentuellen Verteilung der Kostenarten in Abbildung 6 sind in Abbildung 7 der Median sowie der 10 %, 25 %, 75 % und 90 % Perzentilwert der untersuchten Kostenarten aller 94 Kläranlagen zusammengefasst.

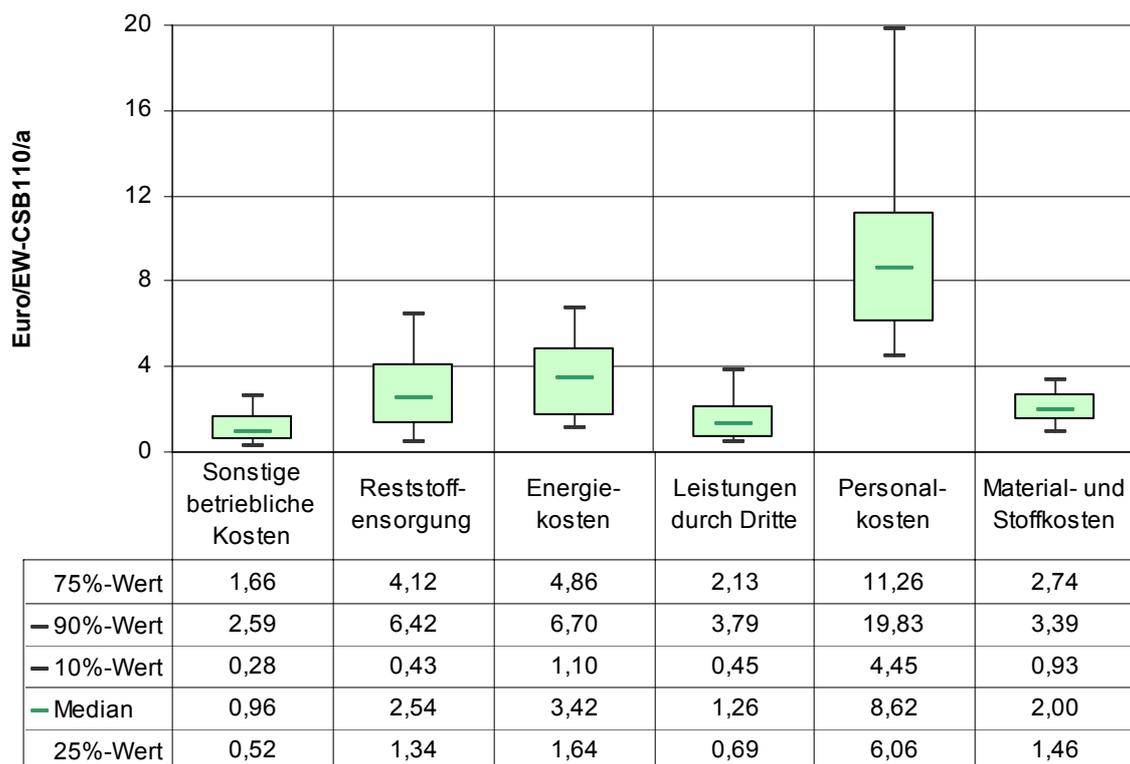


Abbildung 7: Kostenverteilung je Kostenartarten aller untersuchten Kläranlagen

### 3.1 Personalkosten

Obwohl die Personalkosten für 40 bis 50 Prozent der spezifischen Kosten verantwortlich sind, ist das tatsächliche Einsparungspotential zumeist gering. Abbildung 8 zeigt ein ähnliches Bild wie Abbildung 5, wonach einerseits die die Kosten mit der Ausbaugröße sinken und andererseits die Streuung der Kosten abnimmt. Der wesentlichste Kostenvorteil großer Anlagen ist demnach in den geringeren spezifischen Personalkosten begründet. Geht man vom Median der Gruppe aus, so liegt dieser bei den Personalkosten von Anlagen > 100.000 EW-Ausbau um 13,4 Euro/EW-CSB110/a niedriger als jener der Anlagen zwischen 2.500 und 10.000 EW-Ausbau. Die Mediane der Gesamtbetriebskosten dieser beiden Gruppen (vergleiche Abbildung 5) differieren um 16,3 Euro/EW-CSB, also um nur 3 Euro/EW-CSB mehr als bereits von der Personalkosten verursacht wird.

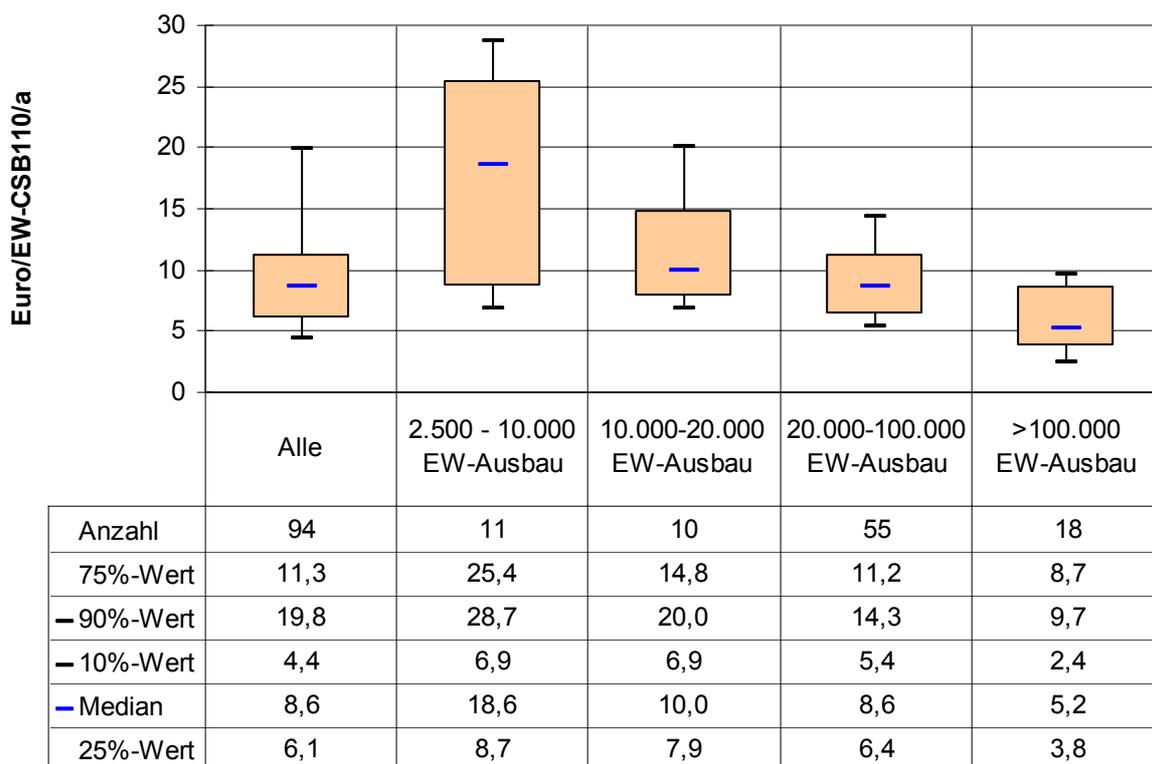


Abbildung 8: Personalkosten der untersuchten Kläranlagen je Gruppe

Wie bereits dargestellt, sind die Personalkosten von der zufließenden Schmutzfracht unabhängig und hängen vielmehr von der Ausbaugröße ab. In Abbildung 9 wurden daher die Personalkosten als Absolutwert den Ausbaugrößen gegenübergestellt. Für die grafische Darstellung in Abbildung 9 wurden zwei Anlagen aufgrund der Ausbaugröße und sieben Anlagen als Ausreißer ausgeschieden. Der gekennzeichnete Bereich umfasst demnach 90 Prozent der untersuchten Anlagen (= 85 Anlagen) und weist mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,88 einen sehr engen Zusammenhang von Ausbaugröße und Personalkosten auf.

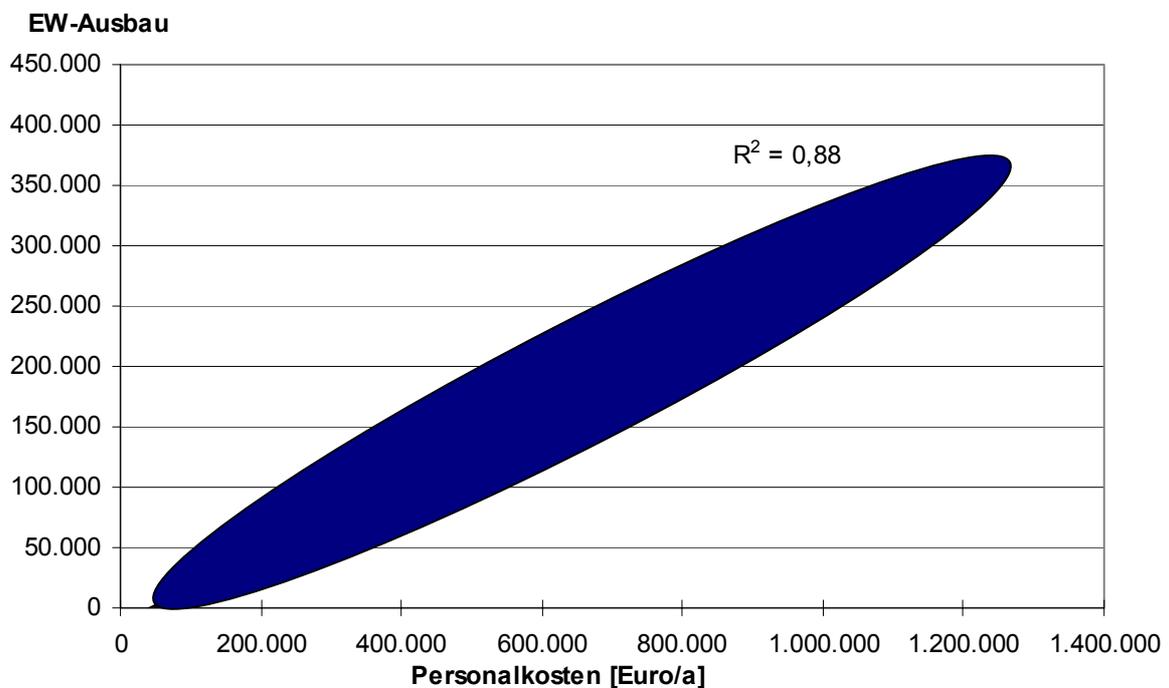


Abbildung 9: Personalkosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Bei der Diskussion der Personalkosten muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass neben den Personalkosten auch Kosten von Leistungen durch Dritte anfallen und unterschiedliche Betriebsstrategien zu unterschiedlichen Kosten der jeweiligen Kostenart führen.

### 3.2 Leistungen durch Dritte und sonstige Kosten

Neben den Personalkosten sind die Kosten für Leistungen durch Dritte sowie die sonstigen Kosten von der Schmutzfracht weitgehend unabhängig. Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben ist es für eine Auswertung nach Betriebsstrategie zweckmäßig, die Leistungen von Dritten in Kosten, die für den laufenden Betrieb erforderlich waren und in Reparaturkosten zu untergliedern. Zu den sonstigen Kosten zählen: Öffentliche Abgaben, Verwaltungskosten (Telefon, Büromaterial, usw.), Miet- und Pachtzins, Kosten für Kraftfahrzeuge und Reisespesen, Kostenbeiträge und Transferzahlungen sowie der übrige betriebliche Aufwand.

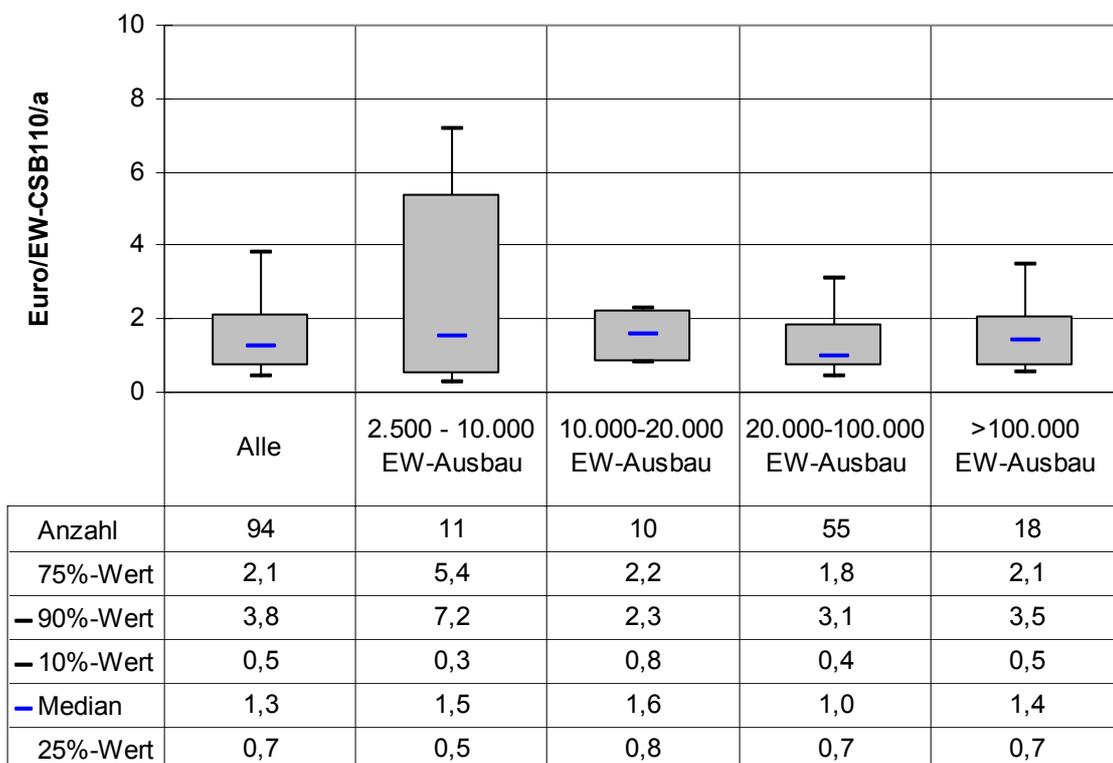


Abbildung 10: Kosten von Leistungen Dritter in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie Abbildung 10 und Abbildung 11 entnommen werden kann, unterliegen weder die Kosten für Leistungen durch Dritte noch die sonstigen Kosten einer wesentlichen Kostenänderung in Abhängigkeit der Ausbaugröße. Auffällig ist jedoch die breite Streuung der Kosten von Anlagen zwischen 2.500 und

10.000 EW-Ausbau mit einem „Extremwert“ (ausgedrückt als 90%-Wert) von 8,9 Euro/EW-CSB110/a. Betrachtet man diesen „Extremwert“ näher, so handelt es sich um eine sehr schwach belastete 3.000 EW-Ausbau Anlage mit einer durchschnittlichen Belastung von 1.000 EW-CSB110. Multipliziert man 1.000 EW-CSB110 mit 8,9 Euro/EW-CSB110/a, errechnen sich durchaus realistische jährliche Kosten für öffentliche Abgaben, Verwaltung (Telefon, Büromaterial, usw.), Miet- und Pachtzins, Kraftfahrzeug- und Reisespesen, Kostenbeiträge und Transferzahlungen sowie übriger betrieblicher Aufwand von 8.900 Euro. Eine Verdoppelung der durchschnittlichen Belastung würde die spezifischen Kosten für Personal, Leistungen durch Dritte sowie sonstige Kosten halbieren, da mit keiner Erhöhung dieser Kostenarten aufgrund der Schmutzfracht zu rechnen ist.

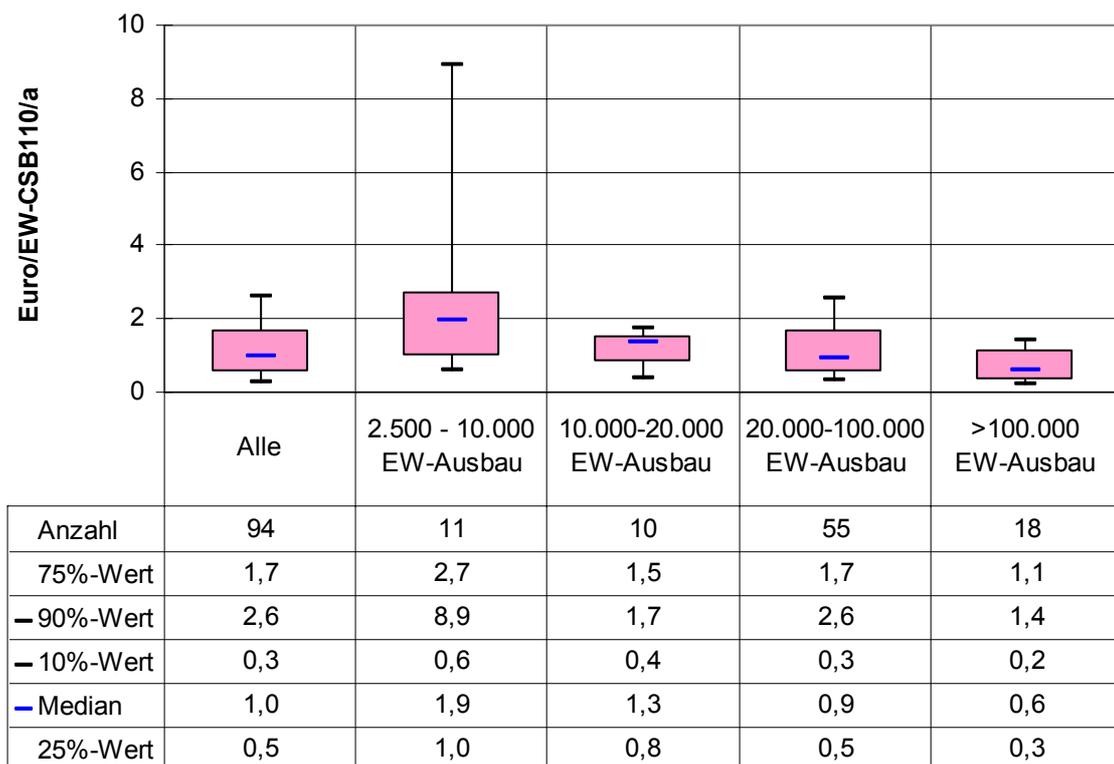


Abbildung 11: Sonstige Kosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Für nicht schmutzfrachtabhängige Kosten kann zusammengefasst werden, dass diese ausgedrückt in Euro/EW-CSB110/a mit der Anlagengröße sowie der durchschnittlichen Belastung sinken.

### 3.3 Reststoffentsorgungskosten

Bei den Reststoffentsorgungskosten sind neben den Kosten von Rechen- und Sandfanggut vor allem die Kosten für die Entsorgung von Klärschlamm enthalten. Von den in Abbildung 12 dargestellten Reststoffentsorgungskosten entfallen durchschnittlich etwa 10 Prozent auf die Entsorgungskosten von Rechen- und Sandfanggut. Die Reststoffentsorgungskosten werden demnach von den Klärschlamm Entsorgungskosten dominiert. Sowohl Rechen- und Sandfanggut als auch der Anfall an Klärschlamm sind von der zufließenden Schmutzfracht abhängig.

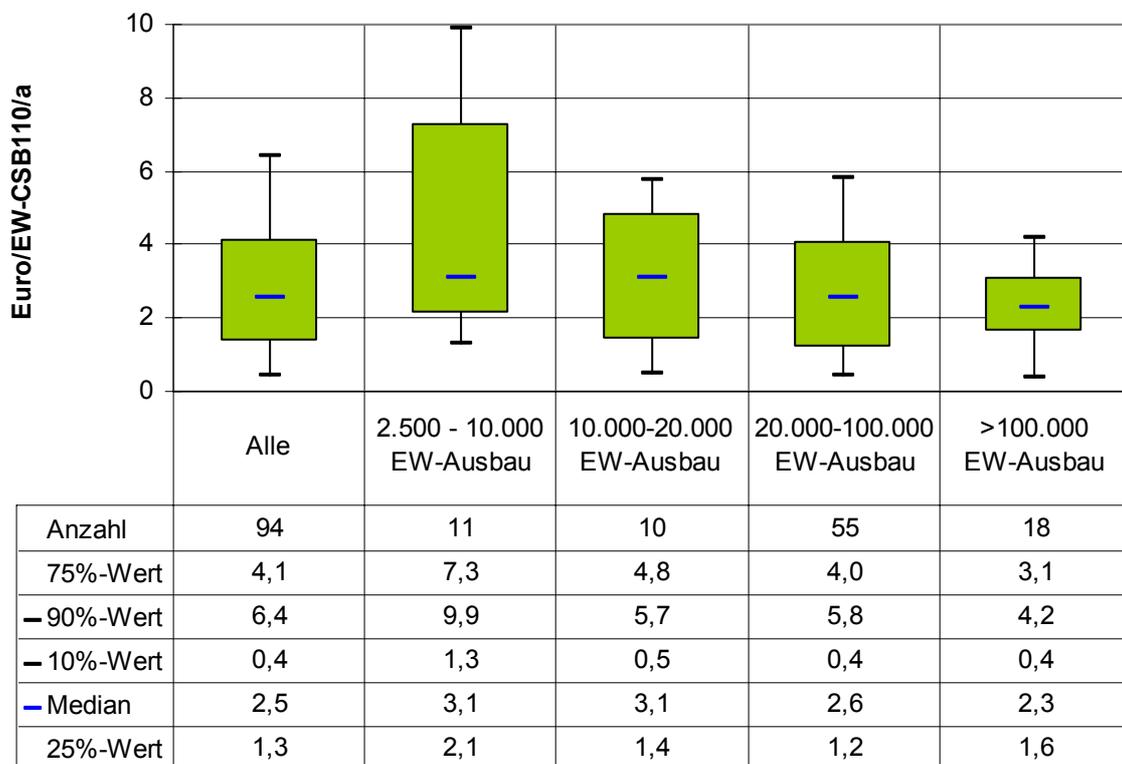


Abbildung 12: Reststoffentsorgungskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie Abbildung 12 entnommen werden kann, weichen die Mediane der Reststoffentsorgungskosten der einzelnen Gruppen nur geringfügig voneinander ab. Die Streuung der Kosten innerhalb der Gruppen ist nach den Personalkosten bei den Reststoffentsorgungskosten am zweitgrößten, nimmt jedoch mit der Anlagengröße deutlich ab.

### 3.4 Energiekosten

Die Energiekosten einer Kläranlage sind die Summe der Kosten für elektrischen Strom, Gas, Erdöl und sonstigen Energiebezügen. Im Wesentlichen werden die Energiekosten von den Kosten für elektrische Energie dominiert. Diese Kosten wiederum resultieren aus dem elektrischen Energieverbrauch, dem durchschnittlichen Preis je zugekaufter Kilowattstunde sowie dem Anteil an auf der Anlage produzierten elektrischen Strom.

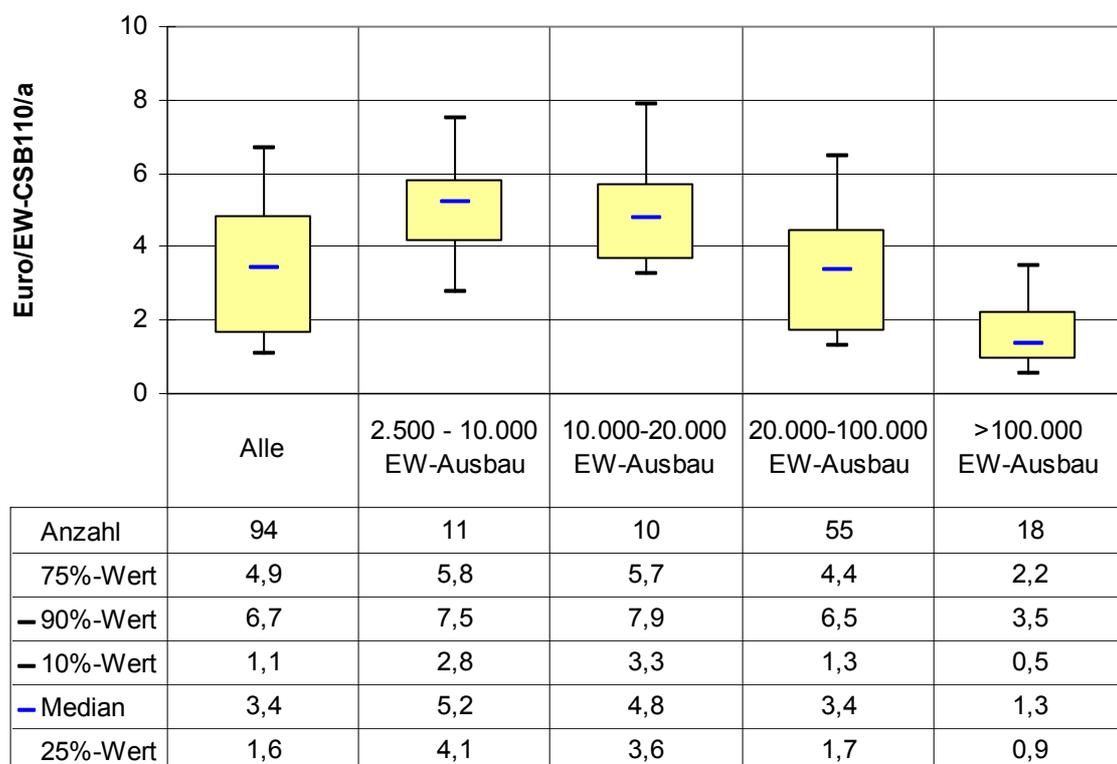


Abbildung 13: Energiekosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie aus Abbildung 13 abgeleitet werden kann, weisen Anlagen < 20.000 EW-Ausbau höhere Energiekosten auf als größere Anlagen. Die Strombezugskosten je Kilowattstunde liegen durchschnittlich bei 0,09 Euro/kWh und variieren nur geringfügig zwischen 0,075 und 0,1 Euro/kWh unabhängig von der Kläranlagengröße. Die höheren Energiekosten von kleineren Anlagen resultieren aus der Verfahrensart. Anlagen < 20.000 EW-Ausbau sind vorwiegend als Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung ausgeführt, welche systembedingt mehr elektrische Energie benötigen und gleichzeitig keine Eigenstromerzeugung aufweisen.

### 3.5 Material- und Stoffkosten

Unter Material- und Stoffkosten werden Kosten für Werkstoffe für Reparaturen und Instandhaltung, Laborchemikalien, Konditionierungsmittel für MÜSE und Pressen sowie Fällmittelkosten subsumiert. Wie Abbildung 14 entnommen werden kann, differiert der Median vor allem der Anlagen > 20.000 EW-Ausbau nur sehr gering und auch die Streuung der Kosten von Anlagen zwischen 10.000 und 20.000-EW-Ausbau ist mit jener von Anlagen > 100.000 EW-Ausbau vergleichbar. 80 Prozent aller untersuchten Kläranlagen haben Material- und Stoffkosten zwischen 0,9 und 3,4 Euro/EW-CSB110/a.

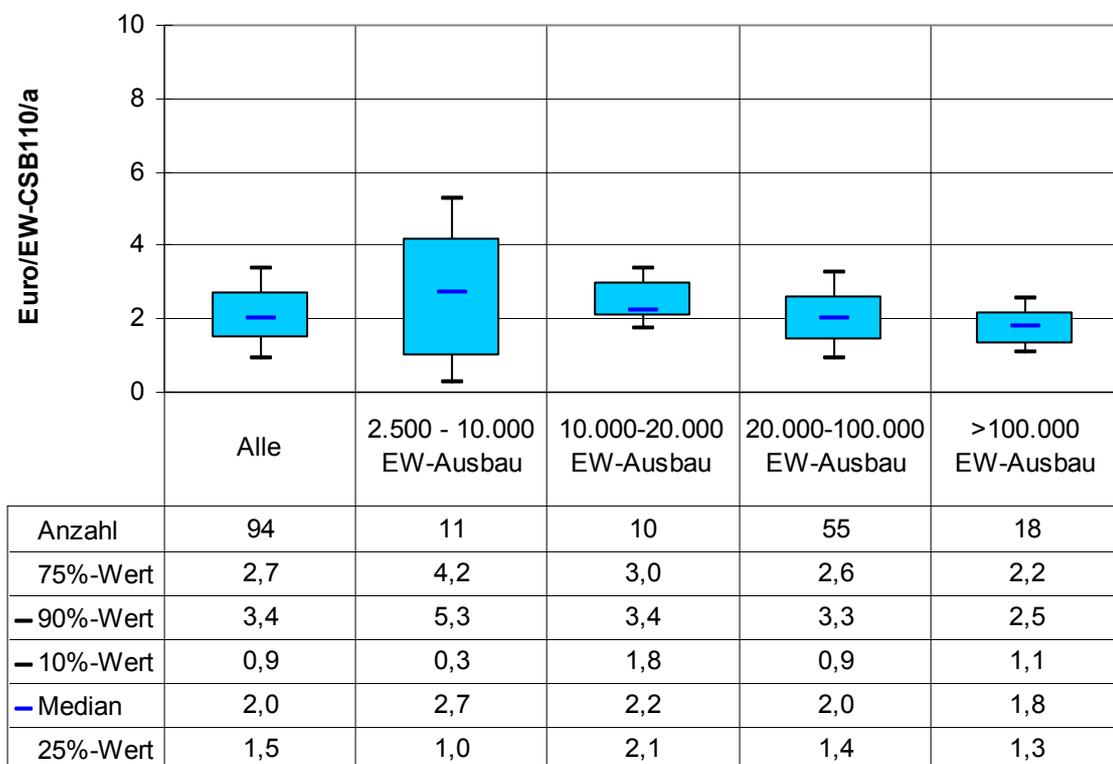


Abbildung 14: Material- und Stoffkosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie der folgenden Tabelle 6 entnommen werden kann, entfallen von den Material- und Stoffkosten zwischen 30 und 40 Prozent auf Fällmittelkosten. Da beim Benchmarking-Forschungsprojekt noch nicht auf allen Kläranlagen Phosphor gefällt wurde, standen für diese Auswertung Zahlen von 80 Anlagen zur Verfügung.

Tabelle 6: Mittlere Material- und Stoffkosten sowie anteilige Fällmittelkosten nach EW-Ausbau gruppiert

	Fällmittelkosten Euro/EW-CSB110	Material- und Stoffkosten	Anteil Fällmittelkosten an Mat.&Stoffkosten	Anzahl
Alle	0,67	2,08	35%	80
<10.000 EW-Ausbau	0,64	2,98	40%	9
10.000-20.000 EW-Ausbau	0,80	2,23	33%	9
20.000-100.000 EW-Ausbau	0,74	2,08	36%	44
>100.000 EW-Ausbau	0,54	1,81	28%	18

Die Fällmittelkosten der 80 untersuchten Anlagen variieren zwischen 0,4 Euro/EW-CSB110/a (=25%Wert) und 1,1 Euro/EW-CSB110/a (=75%Wert) um einen Median von 0,67 Euro/EW-CSB110/a.

## 4 Zusammenfassung

Die Betriebsoptimierung von Kläranlagen kann sowohl bei der Verbesserung der Reinigungsleistung ansetzen als auch bei der Reduktion der Betriebskosten. Betriebsoptimierung ist auch die Beseitigung von Betriebsproblemen, worauf jedoch in diesem Beitrag nicht eingegangen wurde.

Bei der Analyse von Daten einer Einzelkläranlage, also ohne Vergleich mit einer Gruppe, müssen zumindest die Input- und Outputgüter der Gesamtanlage bekannt sein. Darunter versteht man beispielsweise den Fällmitteleinsatz, den Energieverbrauch oder den Schlammanfall. Alle vorhandenen Daten müssen auf deren Plausibilität geprüft werden. Diese Prüfung reicht von der Überprüfung der täglichen Routine, über den Vergleich von Mess- und Erfahrungswerten bis hin zur Plausibilitätsprüfung mittels Bilanzierung. Vor allem die Überprüfung der CSB-Frachten, welche für viele Kennzahlen als Bezugsgröße verwendet wird, ist dabei besonders wesentlich. Für die Analyse der Reinigungsleistung hat sich die Berechnung des Leistungskennwertes bewährt. Zusätzlich sind natürlich auch die in den Wasserrechtsbescheiden geforderten Ablaufgrenzwerte und Wirkungsgrade von besonderem Interesse.

Bei der Betriebskostenoptimierung sind inputseitig das Personal bzw. die Leistungen von Dritten, die eingesetzten Materialien und vor allem die erforderliche Energie zu beachten. Obgleich die Personalkosten die höchste Kostenrelevanz aufweisen, kann daraus nicht abgeleitet werden, dass hier auch das höchste tatsächliche Einsparungspotenzial gegeben ist. Die Personalkosten müssen zudem immer in Kombination mit den Leistungen durch Dritte betrachtet werden, da je nach Betriebsstrategie einer Verschiebung der Kosten in die eine oder andere Kostenart erfolgen kann. Ein zentrales Element der Betriebsoptimierung stellt die Energieoptimierung dar, da es in diesem Fall nicht nur um Kosten sondern auch um den schonenden Einsatz von Ressourcen geht. Bei der Analyse des Energieverbrauches ist die Erstellung einer Energiebilanz ein wesentliches Thema. Sowohl die elektrische als auch die thermische Energiebereitstellung und der Verbrauch einzelner wesentlicher Verbrauchsgruppen muss dazu näher untersucht werden. Von allen auf einer Kläranlage eingesetzten Materialien sind Fäll- und Konditionierungsmittel die kostenrelevantesten. Sowohl der Mitteleinsatz als auch die spezifischen

Mittelkosten je Tonne Wirksubstanz sind wesentliche Faktoren bei der Betriebsoptimierung. Die Kosten der Outputgüter werden als Reststoffentsorgungskosten zusammengefasst und umfassen die Rechen- und Sandfanggutkosten und die Klärschlamm Entsorgungskosten. Auch bei den Reststoffkosten sind die anfallende Menge und die Kosten je Tonne relevant.

Die Analyse von einzelnen Kläranlagen gibt zumindest in der Zeitreihe einen guten Überblick über die Entwicklung und Erfolge bei der Optimierung einer Kläranlage. Zu einem deutlichen Informationsgewinn führt jedoch erst der Vergleich mit anderen Kläranlagen. Nur derart kann man in Erfahrung bringen, welche Leistungen zu welchen Kosten erbracht werden können. Die Ergebnisse und Erkenntnisse von bisher 94 untersuchten Kläranlagen zeigen dabei folgendes Ergebnis: Bei den Gesamtbetriebskosten kann man für Anlagen > 100.000 EW-Ausbau mit durchschnittlichen Kosten von 14 Euro rechnen, wohingegen bei Anlagen mit einer Ausbaupazität zwischen 2.500 und 10.000 EW-Ausbau mit ca. doppelt so hohe Kosten gerechnet werden muss. Um die Betriebskosten von Kläranlagen optimieren zu können, muss man die Gesamtbetriebskosten in mindestens sechs Kostenarten untergliedern: Material- und Stoffkosten, Personalkosten, Kosten für Leistungen durch Dritte, Energiekosten, Reststoffentsorgungskosten und sonstige betriebliche Kosten. Von diesen sechs Kostenarten sind nur die Material- und Stoffkosten, die Energiekosten sowie die Reststoffkosten von der, der Kläranlage zufließenden, Schmutzfracht abhängig. Der überwiegende Anteil der Betriebskosten – im Durchschnitt 60 % - ist von der Schmutzfracht unabhängig und stellt daher einen Fixkostenanteil der Betriebskosten dar. Für den Vergleich von Kläranlagen untereinander ist die Berechnung von schmutzfrachtspezifischen Kosten (=Euro/EW-CSB110/a) zweckmäßig und üblich. Beim Vergleich muss jedoch das Bewusstsein geschärft werden, dass mindestens 60 Prozent der Kosten Fixkosten sind und somit die spezifischen Kosten vor allem von der Schmutzfracht abhängen. Im Besonderen gilt dies für die Personalkosten, die vor allem mit der Ausbaugröße einer Anlage korrelieren: Je höher die durchschnittliche Schmutzfracht einer Anlage, umso niedriger die spezifischen Personalkosten. Die mit der Anlagengröße sinkenden Betriebskosten stehen vor allem mit den spezifisch niedrigeren Personalkosten von großen Anlagen in Zusammenhang. Bei den Kosten von Leistungen durch Dritte, den sonstigen Kosten sowie den Material- und Stoffkosten ist die Verringerung der spez. Kosten mit steigender Kläranlagengröße von untergeordneter Bedeutung. Eine

deutliche Größenabhängigkeit ist bei den Energiekosten gegeben, die von den Faktoren Energieverbrauch, Eigenstromabdeckung und Kosten je kWh determiniert sind. Je nach Kläranlagengröße sind die Reststoffentsorgungskosten neben den Personalkosten die zweit- bzw. dritt wichtigste Kostenart. Die Kosten der Reststoffentsorgung hängen sehr stark von den spezifischen Schlammensorgungskosten je Tonne Klärschlamm ab, sind jedoch auch von der anfallenden Schlammmenge je Einwohner sehr deutlich beeinflusst.

## 5 Literatur

ATV-DVWK. (1998): Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlagen, Merkblatt ATV-M271.

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.

Förderungsrichtlinien (1999 idF 2006): Kommunale Siedungswasserwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

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.

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. (2007): *Optimierungspotenziale beim Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen - Erfahrungen aus der Praxis*, Kläranlagen Nachbarschaften. Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen - Folge 15, Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

- Müller, H. (1999): *Plausibilitätsprüfung in der Eigenüberwachung*. 1. ÖWAV-Workshop "Biologische Abwasserreinigung - Betrieb von Belebungsanlagen", Wien.
- Müller, E. A., Kopel B., Künti T., Pinnekamp J., Seibert-Erling G., Böcker K. (1999): *"Handbuch - Energie in Kläranlagen"*. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- Nowak, O. (2000): *Möglichkeiten von Energieeinsparmaßnahmen auf Abwasserreinigungsanlagen durch das Betriebspersonal*, Kläranlagen Nachbarschaften Folge 8, 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.
- Schweighofer, P. (1994): *Möglichkeiten der Plausibilitätsprüfung von Messwerten*, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 176, Seiten G1-G42.

**Korrespondenz an:**

Dr. Stefan Lindtner

Ingenieurbüro kaltesklareswasser

1020 Wien, Obere Augartenstrasse 18A/5/1

0664/4640695

[lindtner@k2w.at](mailto:lindtner@k2w.at)