

Optimierungspotenziale beim Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen - Erfahrungen aus der Praxis

Stefan Lindtner

Ingenieurbüro kaltesklareswasser

Abstract: Im Zuge eines Benchmarking-Forschungsprojektes wurde eine Methode für den technischen und wirtschaftlichen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen entwickelt. Die Auswertung der Gesamtbetriebskosten sowie die detaillierte Betrachtung von sechs Hauptkostenarten der bisher untersuchten 94 Kläranlagen, untergliedert in vier Größengruppen, zeigt das Optimierungspotential für andere Kläranlagen auf. Zusätzlich werden für die von der schmutzfrachtabhängigen Kostenarten Energiekosten, Material und Stoffkosten sowie Reststoffentsorgungskosten konkrete Praxisbeispiele über erfolgreiche Betriebsoptimierungen vorgestellt.

Key Words: Abwasserreinigung, Betriebskosten, Benchmarking, Kennzahlen

1 Einleitung

Die Optimierung von Abwasserreinigungsanlagen kann einerseits bei der Verbesserung der Reinigungsleistung ansetzen und andererseits auf die Betriebskosten abzielen. Da die bauliche Anpassung der österreichischen Kläranlagen an den Stand der Technik weitgehend abgeschlossen ist und die Reinigungsleistung österreichischer Kläranlagen ein sehr hohes Niveau aufweist, stehen Kostenaspekte beim Betrieb im Mittelpunkt des Interesses.

Bezüglich der Reinigungsleistung ist das mindestens zu erreichende Niveau durch Emissionsgrenzwerte und den jeweiligen Wasserrechtsbescheid klar

definiert. Bei den Betriebskosten kann auf die Erfahrungen und Ergebnisse von Benchmarkingprojekten zurückgegriffen werden. Insgesamt nahmen am Benchmarking-Forschungsprojekt (Kroiss et al 2001), welches das Geschäftsjahr 1999 untersuchte, und an dem darauf aufbauenden ÖWAV-Abwasserbenchmarking, welches mithilfe einer Benchmarking-Internetplattform bereits das vierte Jahr durchgeführt wird, 94 Kläranlagen teil. Manche Kläranlagen nahmen einmalig am Benchmarking teil, andere sind bereits zu einem kontinuierlichen Benchmarking – einer fortlaufenden Orientierung an der Gruppe sowie der Benchmark - übergegangen. Die Ausbaupkapazität aller Kläranlagen, die am Benchmarking teilgenommen haben beträgt 6,7 Mio. EW-Ausbau und repräsentiert damit 35 % der gesamtösterreichischen Ausbaupkapazität von 19,4 Mio. EW-Ausbau.

Im Rahmen dieses Beitrages wird nicht die Benchmarkingmethode erläutert, sondern vielmehr die sehr repräsentativen Ergebnisse in Hinblick auf die Betriebskosten in den Mittelpunkt gestellt. Nur das Wissen, welche Leistungen zu welchen Kosten erbracht werden können (best practice), ermöglicht eine zielgerichtete Vorgangsweise bei der Optimierung von Kläranlagen. Vertiefend wird die Verteilung der Betriebskosten auf Kostenarten dargestellt und Praxisbeispiele von erzielten Optimierungspotentialen bezüglich einzelner Kostenarten präsentiert.

2 Betriebskosten österreichischer Kläranlagen

Es werden die indexierten Betriebskosten der untersuchten 94 Kläranlagen abgebildet. Bei mehrmals teilnehmenden Kläranlagen wurde der Mittelwert der untersuchten Jahre gebildet. Das Ergebnis in Abbildung 1 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.

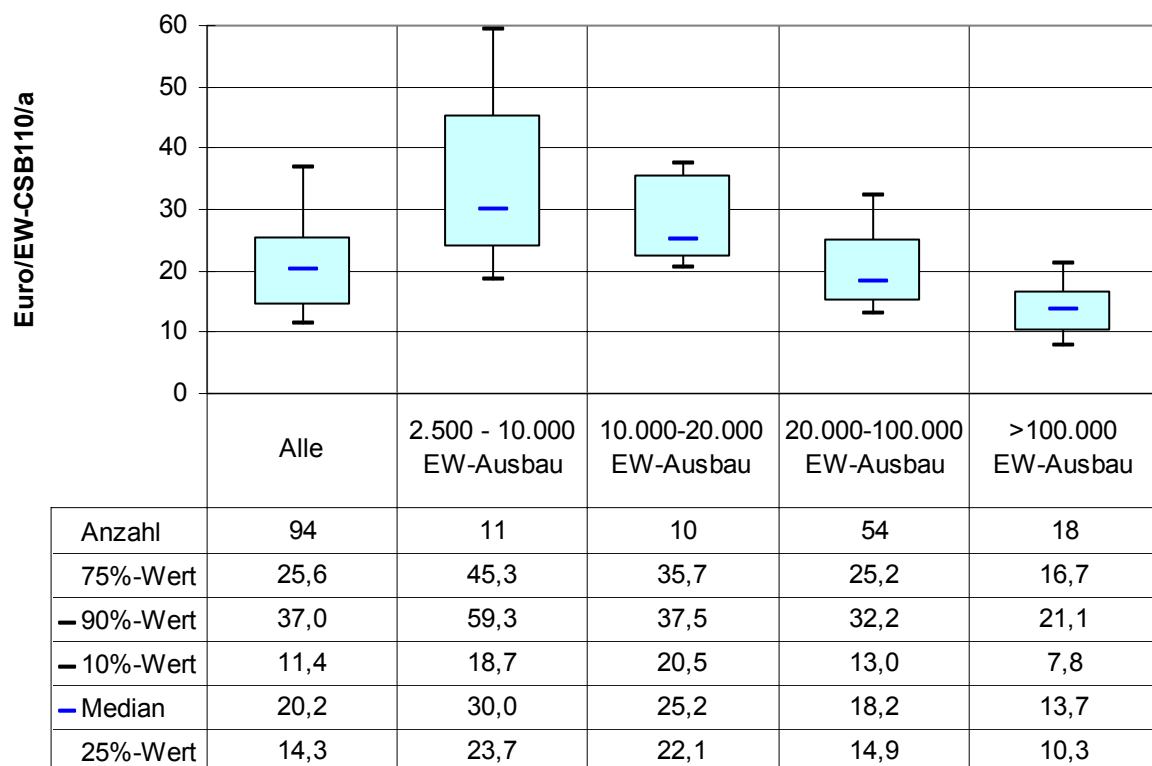


Abbildung 1: Betriebskosten der untersuchten Kläranlagen je Gruppe

Für den Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen ist neben der einheitlichen Erfassung der Gesamtbetriebskosten die Untergliederung auf einheitlich definierte Kostenarten sinnvoll. Folgende Hauptkostenarten können den Erfordernissen für einen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen Rechnung tragen (Bogensberger et al., 2002):

- 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 1: 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).

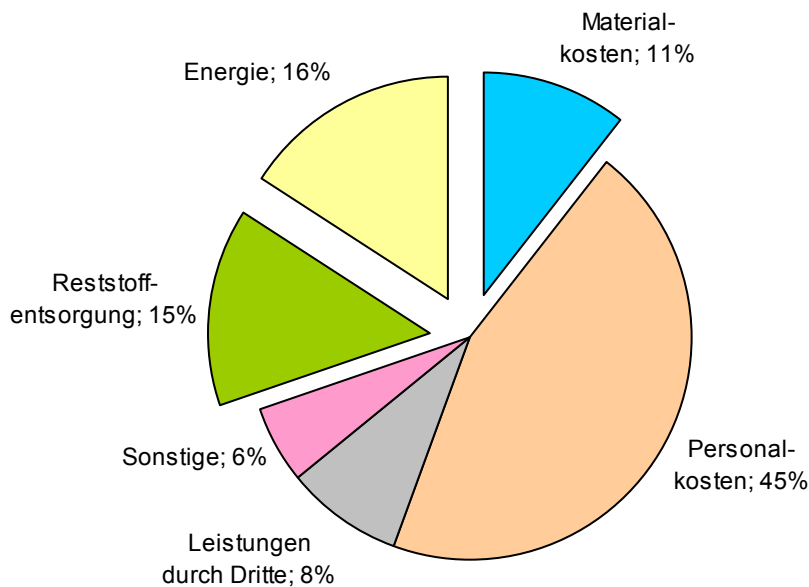


Abbildung 2: Betriebskostenverteilung aller untersuchten Kläranlagen

Geht man von der beschriebenen Unterteilung in frachtabhängige und frachtunabhängige Kostenarten aus, so zeigen Abbildung 2 und Tabelle 1, 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 2 sind in Abbildung 3 der Median sowie der 10 %, 25 %, 75 % und 90 % Perzentilwert der untersuchten Kostenarten aller 94 Kläranlagen zusammengefasst.

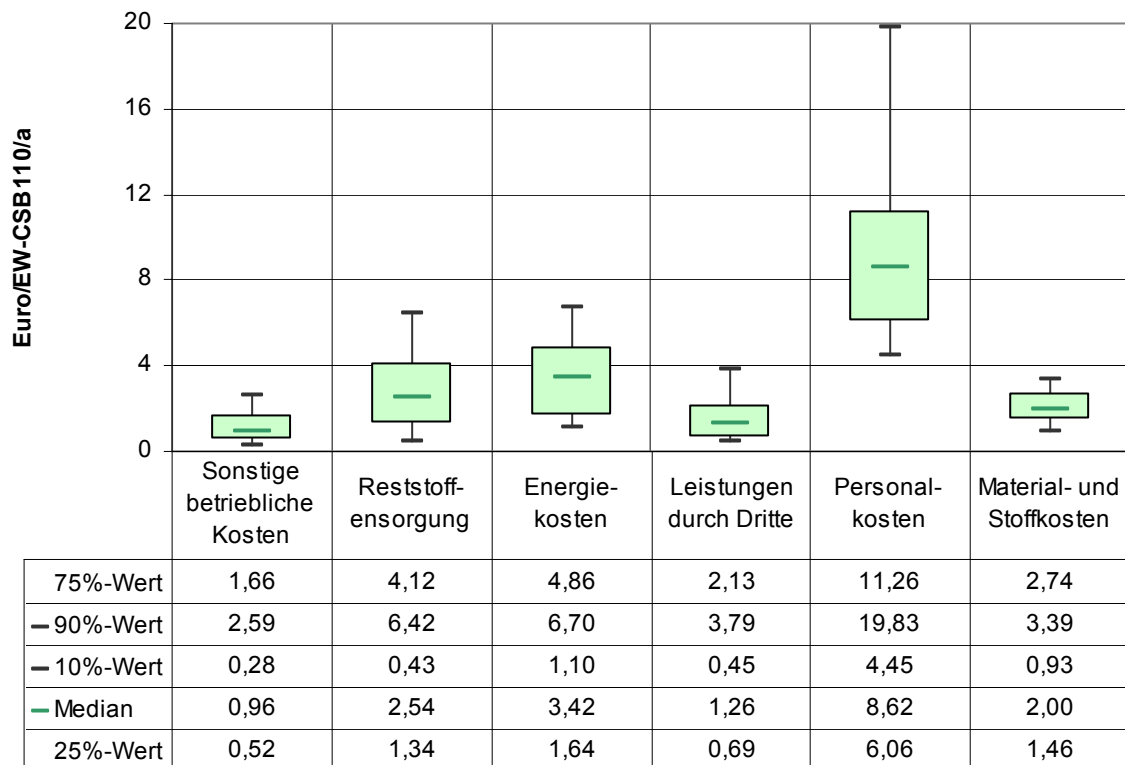


Abbildung 3: Kostenverteilung je Kostenartarten aller untersuchten Kläranlagen

2.1 Personalkosten

Obwohl die Personalkosten für 40 bis 50 Prozent der spezifischen Kosten verantwortlich sind, ist das tatsächliche Einsparungspotential zumeist gering. Abbildung 4 zeigt ein ähnliches Bild wie Abbildung 1, 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 1) differieren um 16,3 Euro/EW-CSB, also um nur 3 Euro/EW-CSB mehr als bereits von der Personalkosten verursacht wird.

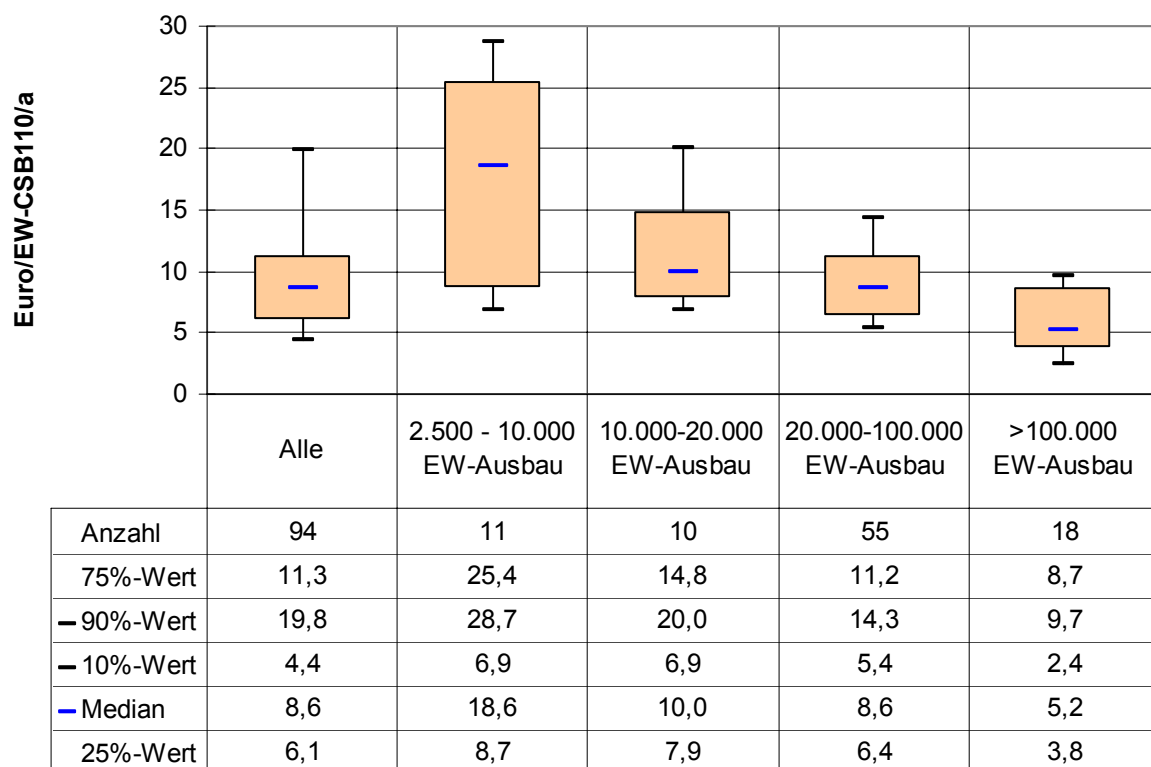


Abbildung 4: Personalkosten der untersuchten Kläranlagen je Gruppe

Wie bereits dargestellt, sind die Personalkosten von der zufließenden Schmutzfracht unabhängig sondern hängen vielmehr von der Ausbaugröße ab. In Abbildung 5 wurden daher die Personalkosten als Absolutwert den Ausbaugrößen gegenübergestellt. Für die grafische Darstellung in Abbildung 5 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.

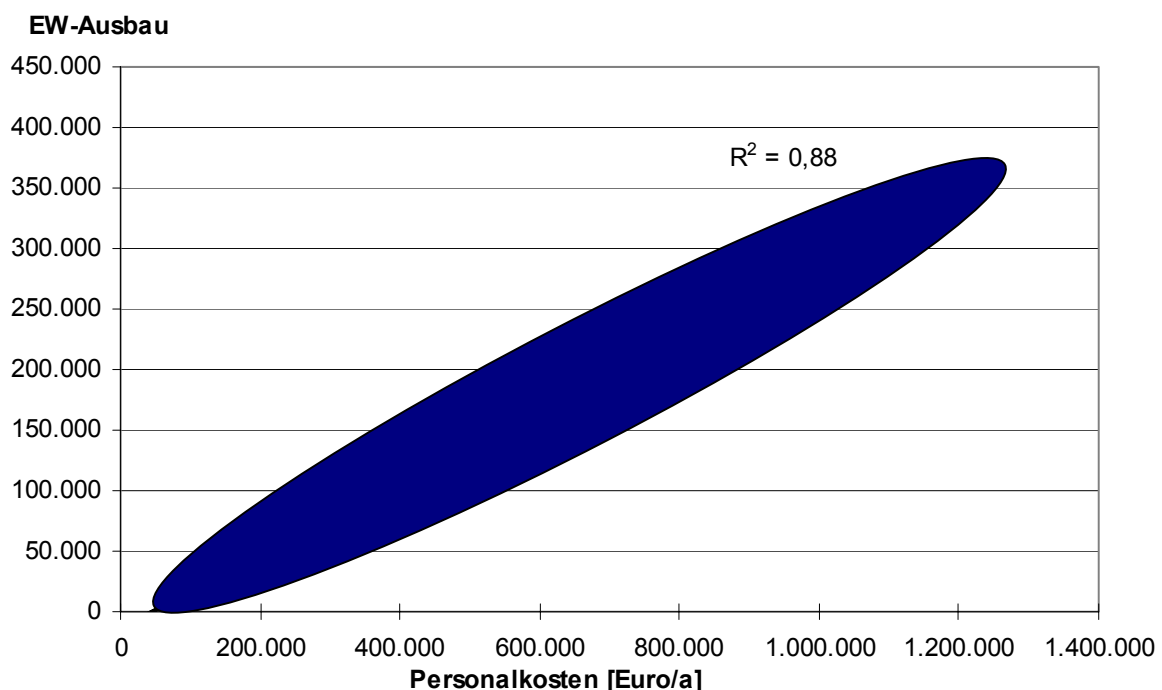


Abbildung 5: Personalkosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

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.

Möchte man auswerten ob Betriebsstrategien zu unterschiedlichen Betriebskosten führen, 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.

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.

2.2 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 Kraftfahrzeug und Reisespesen, Kostenbeiträge und Transferzahlungen sowie der übrige betriebliche Aufwand.

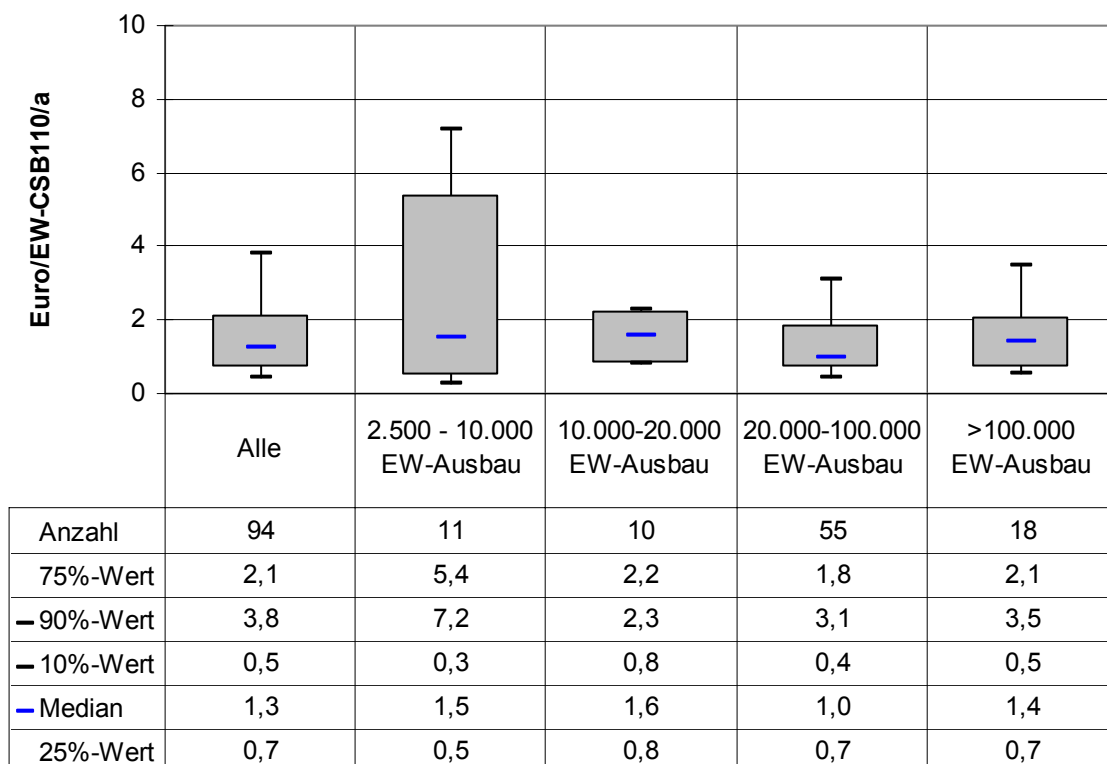


Abbildung 6: Kosten von Leistungen Dritter in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie Abbildung 6 und Abbildung 7 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.

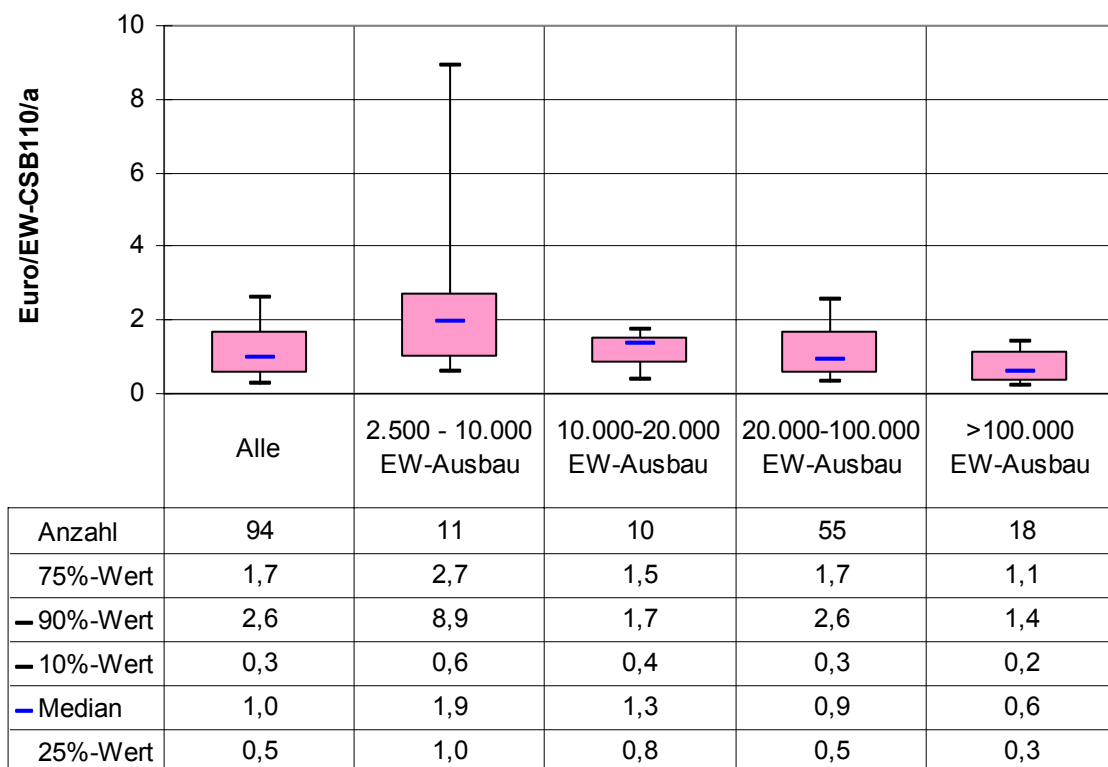


Abbildung 7: Sonstige Kosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

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

2.3 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 8 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.

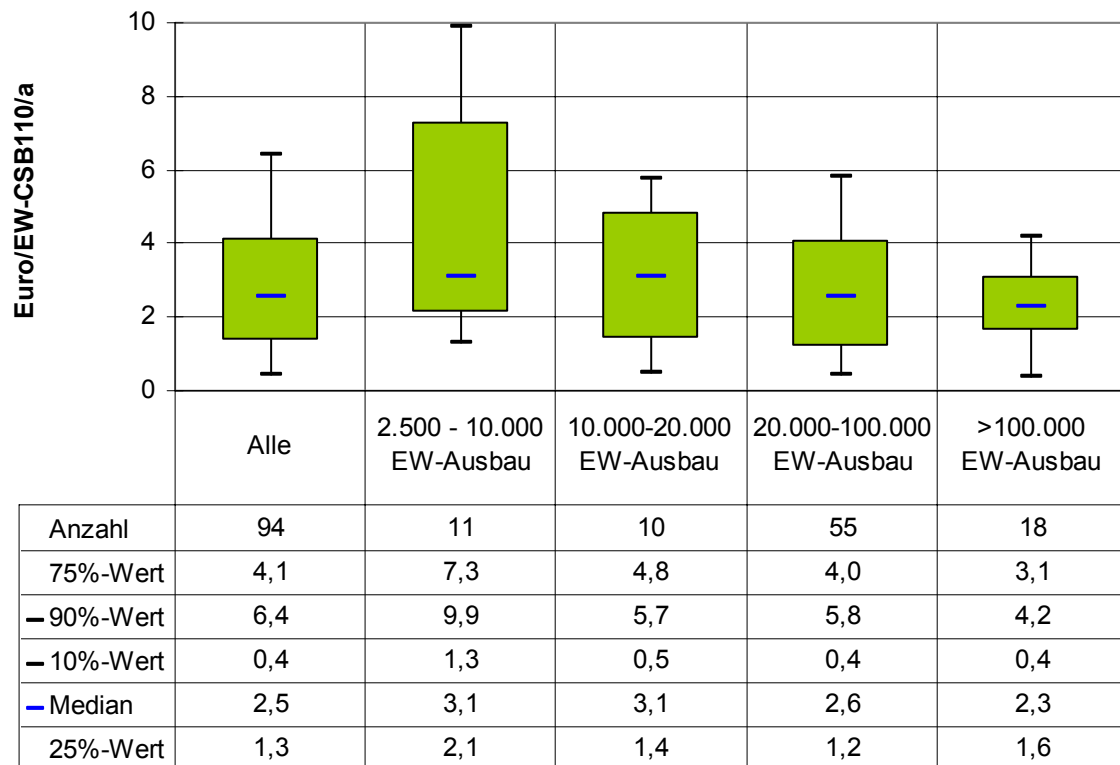


Abbildung 8: Reststoffentsorgungskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie Abbildung 8 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.

2.4 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.

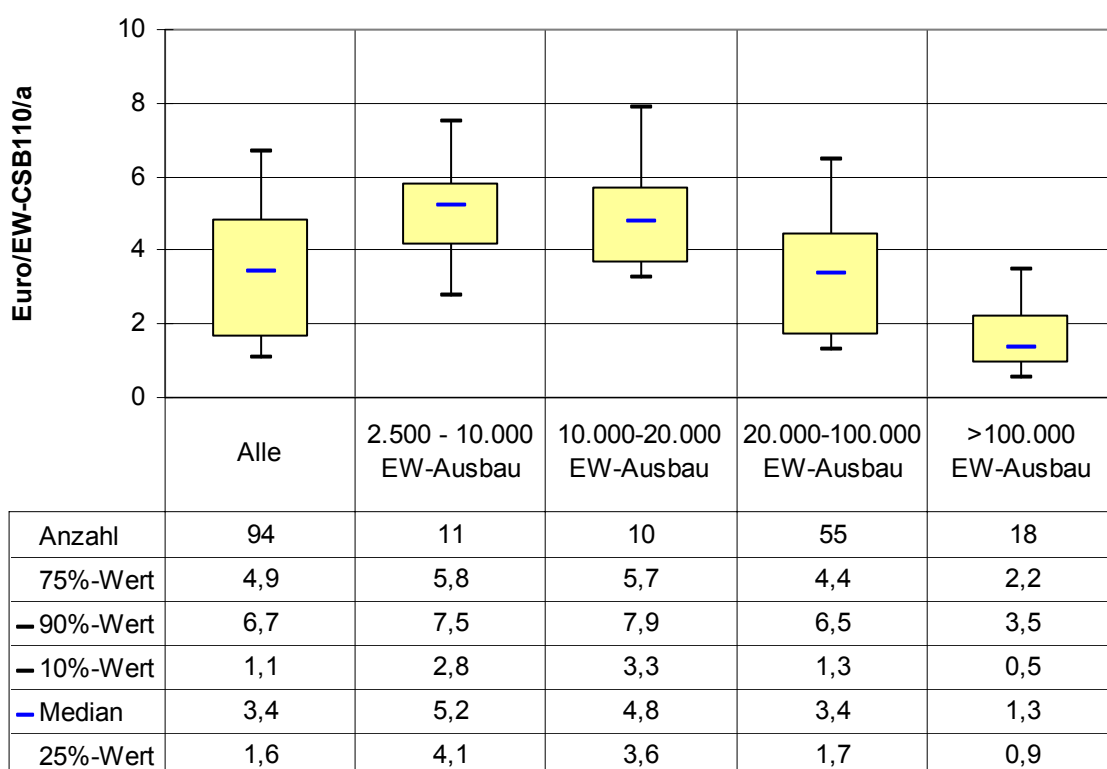


Abbildung 9: Energiekosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie aus Abbildung 9 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.

2.5 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 10 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.

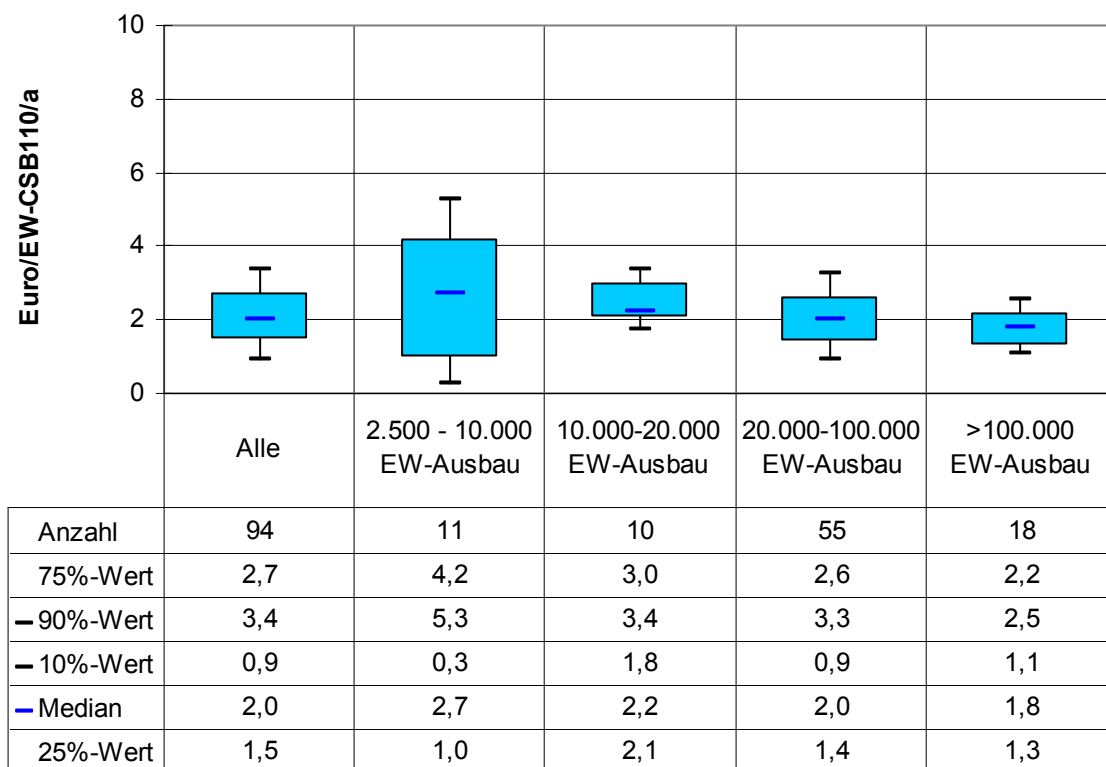


Abbildung 10: Material- und Stoffkosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie der folgenden Tabelle 2 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 2: 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. Die Kostenunterschiede korrelieren nicht mit dem erreichten Phosphorablaufwert (vergleiche Lindtner 2006), sondern sind zumeist produktspezifisch.

3 Beispiele erfolgreicher Optimierungsmaßnahmen

3.1 Energieautarke Kläranlage

Wie bereits dargestellt resultieren die Kosten der elektrischen Energie aus dem elektrischen Energieverbrauch, dem durchschnittlichen Preis je zugekaufter Kilowattstunde sowie dem Anteil an auf der Anlage produzierten elektrischen Strom. In der Folge wird daher einerseits der Energieverbrauch von Kläranlagen näher beleuchtet und andererseits die mögliche Eigenstromerzeugung näher untersucht, sodass eine Aussage, ob eine 100%ige Eigenstromabdeckung möglich ist, getroffen werden kann.

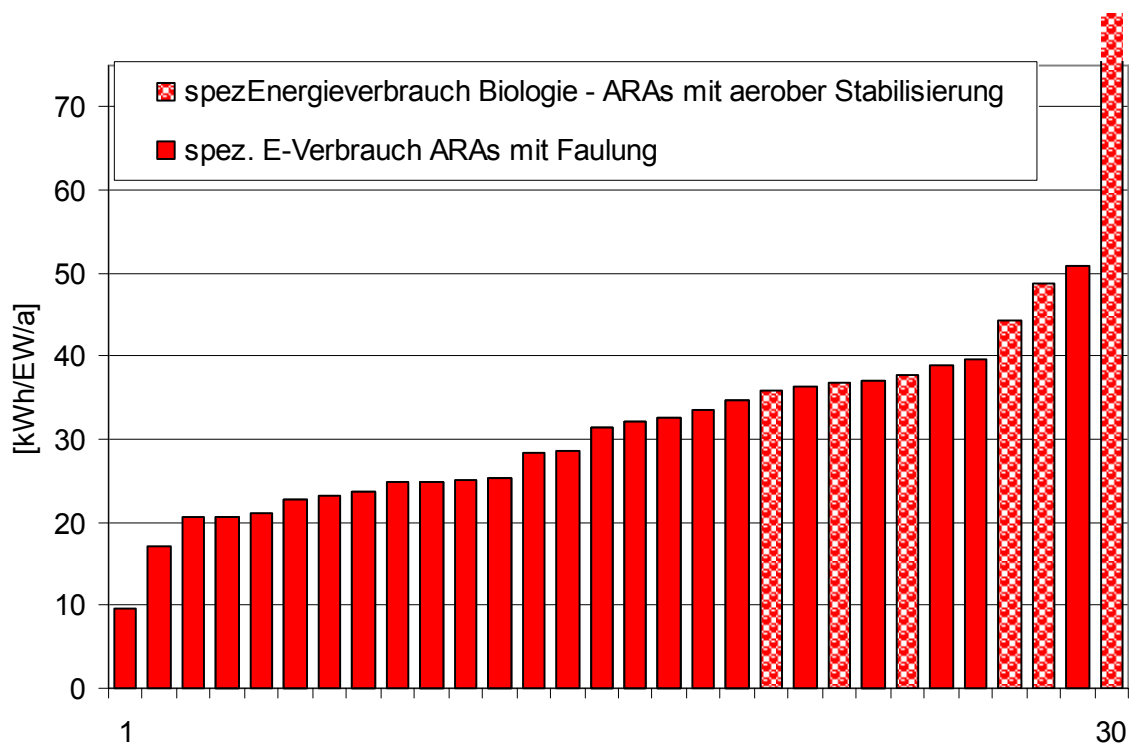


Abbildung 11: Elektrischer Energieverbrauch unterschiedlicher Anlagentypen

In Abbildung 11 ist der Energieverbrauch von 30 untersuchten Kläranlagen bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte in kWh/EW-CSB/a als Balken dargestellt. Zusätzlich ist in der gleichen Grafik der Stromverbrauch der biologischen Stufe, bezogen auf die der Kläranlage zufließende Schmutzfracht, in Form von Dreiecken dargestellt. Man kann daraus ableiten, dass der

einwohnerwertspezifische Energieverbrauch von Abwasserreinigungsanlagen zwischen 20 und 50 kWh/EW-CSB/a liegt. Bezieht man den Energieverbrauch des Prozesses 2 auf die zufließende CSB-Fracht, so ergeben sich Werte zwischen 0,3 und 0,7 kWh/kgCSBzu.

Aus technischer Sicht ist der direkt auf die CSB-Zulauffracht bezogene Energieverbrauch aussagekräftiger. Als aussagekräftige Kennzahl für den Gesamtverbrauch ist jedoch auch der Energieverbrauch je EW-CSB110 üblich, wobei man davon ausgehen kann, dass Kläranlagen mit 20 kWh/EW-CSB110/a im Spitzenfeld liegen.

Beim Vergleich des Energieverbrauches ist auf alle Fälle zu berücksichtigen, dass Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung aufgrund der Verfahrensart einen höheren Energieverbrauch aufweisen, weshalb diese Anlagen in Abbildung 11 gesondert gekennzeichnet wurden.

Bei manchen Kläranlagen spielen auch so genannte standortspezifische Besonderheiten, wie beispielsweise die Absaugung von abgedeckten Becken, eine entscheidende Rolle.

Für die Energieoptimierung von Kläranlagen, also dann wenn der Energieverbrauch über einem Sollwert von 25 bis 30 kWh/EW/a für Kläranlagen mit Faulung liegt, ist eine genaue Energieanalyse zweckmäßig. In Tabelle 3 ist daher der Energieverbrauch der wesentlichsten Verbraucher einer Kläranlage aus unterschiedlichen Quellen zusammengefasst. Für die Gruppierung der Verbraucher wurden die beim ÖWAV-Benchmarking verwendeten Prozesse (vier Hauptprozesse und zwei Hilfsprozess) verwendet. Die Prozesse, die Beschreibung der Prozesse und die jeweiligen Angaben der Energieverbräuche können Tabelle 3 entnommen werden.

Die Auswertungen des ÖWAV-Benchmarking für das Untersuchungsjahr 2004 haben für 23 Kläranlagen mit Faulung einen 25%Wert von 19,3 kWh/EW und einen mittleren Wert von 26,8 kWh/EW/a ergeben. Eine jener Kläranlagen, die mit einem Gesamtenergieverbrauch von 18,1 kWh/EW/a noch unter dem 25%Wert liegt, ist die Kläranlage Strass im Zillertal, deren Eigenstromabdeckung in der Folge noch näher untersucht werden wird. Im Handbuch Energie auf Kläranlagen (Müller et al. 1999) werden für eine Modellkläranlage in etwa die gleichen Werte vorgestellt, wie sie bei den Anlagen des

Benchmarkingprojektes aufgetreten sind. Haberkern (1998) gibt für die einzelnen Anlagenteile sehr weite Spannen an, wobei vor allem der untere Bereich für die mechanisch-biologische Abwasserreinigung mit 5 kWh/EW/a wenig realistisch erscheint. In einem Österreichweit angelegten Forschungsprojekt wurden 172 Kläranlagen auf deren Energieeffizienz untersucht. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen wurden 2000 von Nowak im Rahmen der KAN-Tage vorgestellt. Agis (2002) gibt als Sollwert für Kläranlagen mit Faulung > 40.000 EW 18,5 kWh/EW/a an und für Anlagen >100.000 EW einen Sollwert von 16,5 kWh/EW/a. In seiner Aufstellung und daher auch in Tabelle 3 sind der Energieverbrauch der MÜSE, der Faulung und der Presse als Summenwert von 2,2 kWh/EW-CSB110/a angegeben.

Tabelle 3: Untergliederung des Gesamtenergieverbrauches unterschiedlicher Quellen

[kWh/EW/a]	BM ¹⁾		AIZ ²⁾	Müller ³⁾	Haberkern ⁴⁾		Agis ⁵⁾	
	25%Wert	Median			üblich	optimal	40000 EW	100000 EW
P1 Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung	2,0	3,9	3,0	1,8	0,7 - 3,5	0,5 - 1,0		
Zulaufpumpwerk			1,7	1,2			nicht inkludiert	
Rechen-, Sand- u. Fettfang			1,3	0,6			0,7	0,5
P2 Mechanisch-biologische Abwasserreinigung	14,4	17,9	11,5	16,6	5 - 40	5 -25	13,60	12,8
Belüften			7,0	13,7			10,5	10,0
Rühren			0,8	1,8			1,4	1,2
RS-Pumpen			1,8	0,6			1,0	1,0
Sonstiges			1,8	0,5			0,7	0,6
P3 MÜSE und Faulung	2,0	3,2	2,0	1,9	2,2 - 7,8	1,9 - 3	2,8	2,2
P4 Presse	0,4	0,8	0,3	1,4	1 - 1,5	0,6 - 1		
HP I Labor, Verwaltung und Infrastruktur	0,5	0,9	1,1	0,2			1,4	1,0
HP II Fuhrpark und Werkstätte	0,1	0,1	0,2					
Kläranlage gesamt	19,3	26,8	18,1	21,9	8,9 - 52,8	8 - 30	18,5	16,5

1) Lindtner (2004): Auswertung des ÖWAV-Benchmarkingprojektes von 23 Kläranlagen mit Faulung >20.000 EW-Ausbau

2) Fimml (2007): Messergebnisse der Jahres 2006 der Kläranlage Strass (Abwasserverband Achenal Inntal Zillertal)

3) Müller, E. A. et al. (1999): "Handbuch - Energie in Kläranlagen". Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

4) Haberkern, B. (1998): "Energieeinsparung in Kläranlagen - Seminardokumentation". IMPULS-Programm Hessen, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt

5) Agis, H. (2002): "Energieoptimierung von Kläranlagen" in Wiener Mitteilungen, 176, 133-177

Da der Energieverbrauch der mechanisch-biologischen Abwasserreinigungsstufe 60 bis 70 Prozent des Gesamtenergieverbrauches ausmacht und hier wiederum die Energie für die Belüftung dominiert, sollte der Energieverbrauch für die Belüftung, das Rühren und die Rücklaufschlammförderung separat erfasst werden. Der gemessene Energieverbrauch kann auf Basis von folgenden theoretischen Überlegungen und Berechnungen überprüft werden:

Die Belüftungsenergie wird einerseits für die Oxidation der Kohlenstoffverbindungen und andererseits für die Nitrifikation benötigt. Geht man davon aus, dass rund ein Drittel der zufließenden CSB-Fracht veratmet wird, so kann man mit einem OVC von 35 g/EW-CSB110 pro Tag rechnen. Unterstellt man zusätzlich einen Bedarf von 10 g/EW-CSB110 pro Tag für die Nitrifikation (=OVN) und rechnet mit einem optimalen Sauerstofftrag von 2,8 kg/kWh, so kommt man auf 20 Wh/ EW-CSB110 pro Tag bzw. 7,3 kWh/EW-CSB110/a. Der Sauerstofftrag im Schlamm liegt bei Oberflächenbelüftern zwischen 1,35 und 2,5 bzw. bei Druckbelüftern zwischen 1,5 und 2,8 kg/kWh.

Für die Rührenergie kann mit volumsspezifischen Werten zwischen 1,5 und 3 W/m³ gerechnet werden. Um den von der ARA-Strass angegebenen sehr niedrigen Energieverbrauch für das Rühren zu überprüfen, wurde in Tabelle 4 deren spezifisches Belebungsbeckenvolumen der zweiten Stufe von 65 l/EW-CSB110 mit einer plausiblen volumsspezifischen Rührenergie von 1,5 W/m³ multipliziert, woraus sich ein Energieverbrauch für das Rühren von 0,9 kWh/EW-CSB110/a errechnet. Hinzugefügt werden muss, dass das spez. Belebungsbeckenvolumen üblicherweise mindestens doppelt so hoch ist und durchschnittlich mit 200 l/EW-CSB110 gerechnet werden kann. Die Kläranlage Strass kann aufgrund des zweistufigen Verfahrenskonzeptes und der separaten Trübwasserbehandlung mit einem vergleichsweise niedrigen spezifischen Belebungsbeckenvolumen der zweiten Stufe betrieben werden.

Tabelle 4: Energieverbrauch für Belüften Rühren und RS-Pumpen der ARA-Strass

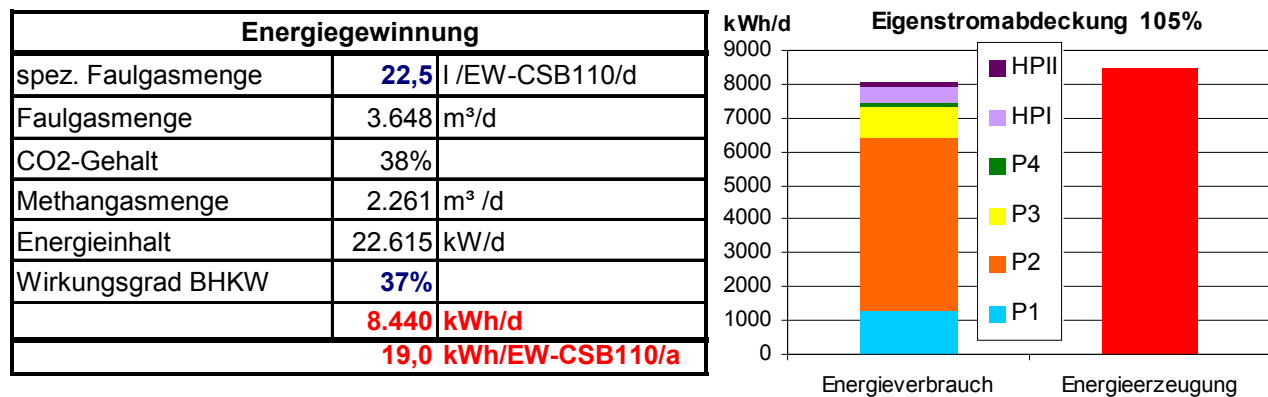
OVC	35 g/EW-CSB110/d
OVN	10 g/EW-CSB110/d
Op	2,8 kg/kWh
P-Belüften	20 Wh/EW-CSB110/d
Belüftung	7,3 kWh/EW-CSB110/a
P-Rühren	1,5 W/m ³
V Belebungsbecken	65 l/EW-CSB110
Rühren	0,9 kWh/EW-CSB110/a
Fördermenge_RS	150 l/EW-CSB110/d
Förderhöhe RS	6 m
Pumpenwirkungsgrad	50%
1 kWh kann 1m ³ Wasser 367 Meter hoch heben;	
RS-Pumpen	1,8 kWh/EW-CSB110/a

Für die Berechnung des Energieverbrauches der Rücklaufschlammumpen kann die physikalische Tatsache zugrunde gelegt werden, dass man mit einer

Kilowattstunde einen Kubikmeter (Ab)Wasser 367 m hoch heben kann. Geht man dann noch von einem realistischen Wirkungsgrad von 50 bis maximal 70 Prozent der Pumpen aus und setzt die Rücklaufschlammmenge ein, so kann der Energieverbrauch für die Rücklaufschlammförderung sehr einfach errechnet werden. Wie Tabelle 4 entnommen werden kann, entspricht der rechnerische Energieverbrauch der ARA-Strass dem gemessenen, wenn man einen durchschnittlichen Wirkungsgrad der Pumpen von 50 % unterstellt.

Für den Anteil an Eigenstromerzeugung spielt neben dem Energieverbrauch die erzeugte elektrische Energie eine entscheidende Rolle.

Tabelle 5: Energiegewinnung der ARA-Strass



In Tabelle 5 sind die Eckdaten der Energiegewinnung der ARA-Strass dargestellt. Bei einer plausiblen spezifischen Faulgasmenge von 22,5 l/EW-CSB110 je Tag und einem CO₂-Gehalt von 38 % errechnet sich eine tägliche Methangasmenge von 2.261 m³ mit einem Energieinhalt von 22.615 kW. Aufgrund des sehr hohen Wirkungsgrades der neuen BHKWs von 37 % können täglich 8.440 kWh an elektrischer Energie erzeugt werden. Umgerechnet sind dies 19 kWh/EW-CSB110/a womit die erforderlichen 18,1 kWh/EW-CSB110/a abgedeckt werden können und sogar eine Stromlieferung von etwa 5 % des Kläranlagenbedarfs möglich ist.

Zusammenfassend kann daher festgehalten werden, dass sehr energieeffiziente Kläranlagen mit einem elektrischen Energieverbrauch von 20 kWh/EW-CSB110/a betrieben werden können. Dieser Energiebedarf kann dann zu 100 % durch mit Faulgas betriebenen BHKWs abgedeckt werden, wenn deren Wirkungsgrad 37 % beträgt. Würde die Kläranlage Strass bei sonst gleichen

Daten ein BHKW mit einem 25-%-igem Wirkungsgrad betreiben, so sinkt die Eigenstromabdeckung auf immer noch hohe 70 % ab.

Tabelle 6: spez. Energieverbrauch der ARA-Strass

	2004	2005	2006
Energieverbrauch [kWh/d]	8.416	7.912	8.038
EW-CSB110	147.331	161.241	162.114
spez. Energieverbrauch [kWh/EW-CSB110/a]	21	18	18

An dieser Stelle soll auch nicht unerwähnt bleiben, dass der bereits im Jahr 2004 sehr niedrige Energieverbrauch von 21 kWh/EW-CSB110/a auf den nun seit zwei Jahren erreichten spez. Energieverbrauch von 18 kWh/EW-CSB110/a gesenkt werden konnte. Diese Verringerung um 3 kWh/EW-CSB110/a entspricht bei 162.114 Einwohnerwerten und 10 Cent je kWh einem **Gesamtbetrag von 48.600 Euro/Jahr**.

3.2 Energieeffizienz durch neue Regelstrategie

Die Notwendigkeit der Erneuerung der Gebläsestationen und den, beim Benchmarking-Forschungsprojekt festgestellten, hohen Energieverbrauch nahm der Abwasserverband Amstetten zum Anlass, nicht nur die Gebläse zu erneuern, sondern das gesamte MSR-Konzept der Sauerstoffzufuhr überarbeiten zu lassen. Im Folgenden wird einerseits das neue Regelkonzept der Kläranlage Amstetten vorgestellt und andererseits die jährliche Kosteneinsparung aber auch der finanzielle Aufwand des Umbaus zusammengefasst.

Die Kläranlage Amstetten besteht aus vier Strassen mit jeweils drei in Serie durchflossenen Becken und einem runden Nachklärbecken. Die Stickstoffentfernung ist als Kombination einer vorgeschalteten und einer simultanen Nitrifikation/ Denitrifikation geplant. Aus Stufe C kann mit Hilfe interner Rezirkulation Schlamm in Stufe A gepumpt werden.

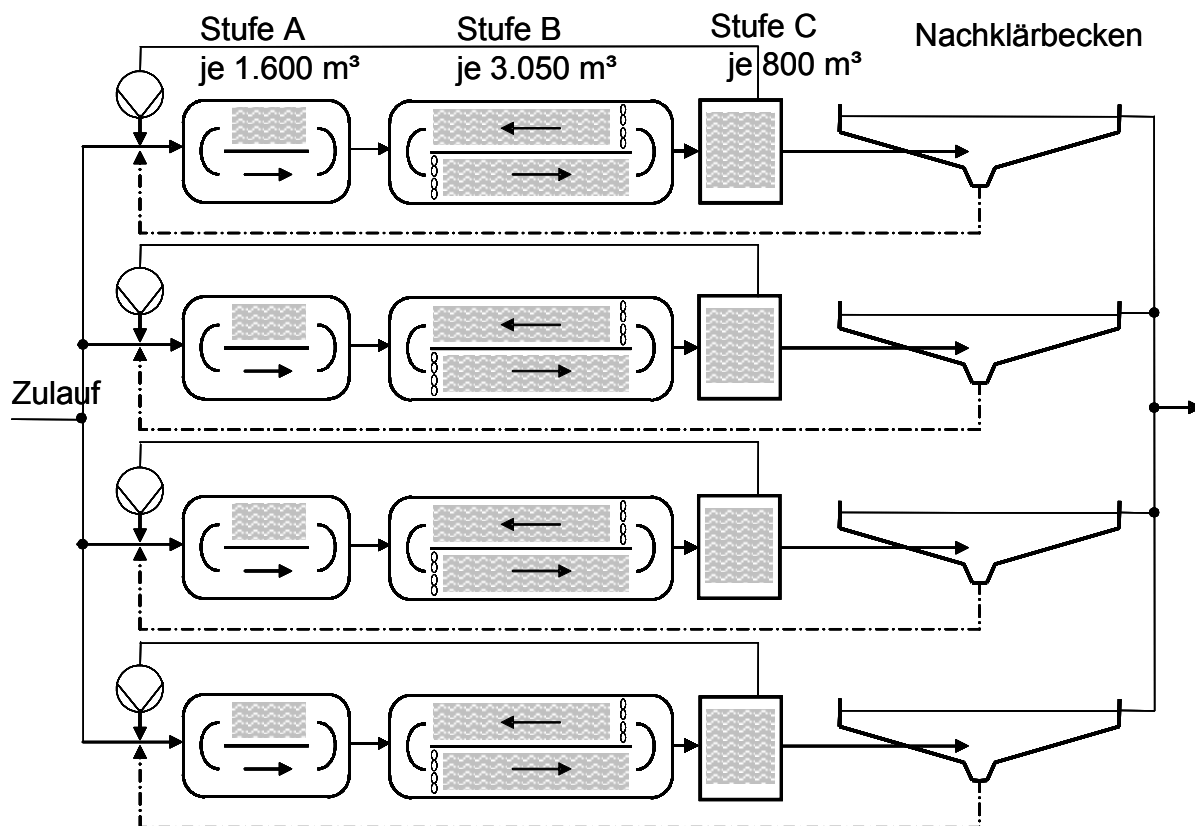


Abbildung 12: Verfahrensschema der Kläranlage Amstetten

Da im Zuge der Energieanalysen vor allem der Dauerbetrieb der vier Rezirkulationspumpen für den hohen Energieverbrauch mitverantwortlich gemacht werden konnte, zielte das neue Regelkonzept darauf ab, die Rezirkulationspumpen außer Betrieb nehmen zu können.

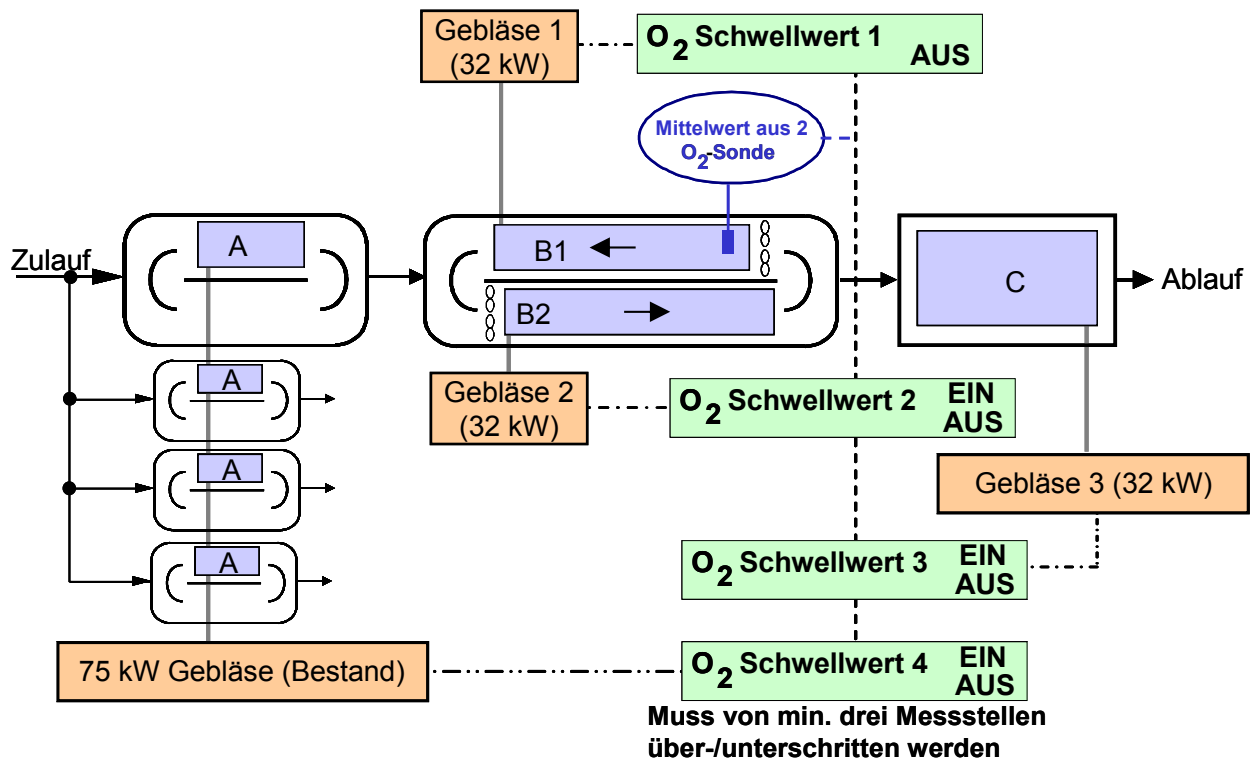


Abbildung 13: MSR-Konzept der Sauerstoffzufuhr der Kläranlage Amstetten

Die Steuerung der Stickstoffentfernung der Kläranlage Amstetten basiert auf der Tatsache, dass sich die Sauerstoffkonzentration über einem kontinuierlich belüfteten Feld (B1 der vorangegangenen Folie) in Abhängigkeit der Belastung verändert. D.h. die resultierende Sauerstoffkonzentration ist ein Maß für den aktuellen Sauerstoffverbrauch und wird als Entscheidungskriterium für die Steuerung des aeroben Beckenvolumens herangezogen. Die Variation des aeroben Volumens erfolgt durch Inbetriebnahme von Gebläsen, die jeweils einer belüfteten Zone direkt zugeordnet wurden. Sinkt die Sauerstoffkonzentration unter einen frei einstellbaren Schwellwert 2 EIN ab, so wird das dem Feld B2 zugeordnete Gebläse in Betrieb genommen. Ist dieses Gebläse in Betrieb und wird Schwellwert 3 EIN unterschritten, so wird auch das dem Feld C zugeordnete Gebläse in Betrieb gesetzt. Das Abschalten der Gebläse erfolgt in analoger Weise, nach dem Überschreiten der jeweiligen Ausschaltswerte.

Als Notfallsebene kann ein 75 kW Gebläse die vorgeschalteten Denitrifikationsbecken mit Sauerstoff versorgen. Dieses wird jedoch nur dann aktiviert, wenn der Schwellwert 4 EIN von drei der vier Strassen unterschritten wird. Wie die im Vorfeld durchgeführte dynamische Simulation des neuen Regelkonzeptes gezeigt hat, konnte wunschgemäß auf die Einbindung der Rezirkulationspumpen ins Regelkonzept verzichtet werden.

Im Zuge der Umbauarbeiten wurden abgesehen von einem 75 kW Gebläse für den Notfallbetrieb, alle Gebläse, alle Sauerstoffsonden, die BHKWs und das Gebläsehaus neu errichtet. Die bis zum Umbau in Betrieb befindlichen direkt gekoppelten Gasmotoren, die für die Belüftung der Belebungsbecken Verwendung fanden, wurden durch insgesamt 13 Drehkolbengebläse mit 32 kW Nennleistung ersetzt. Das neue Gebläsehaus, in dem die Gebläse untergebracht sind, wurde aus Gründen der kürzeren Rohrleitung direkt über einem Belebungsbecken neu errichtet. Da das anfallende Faulgas nicht mehr den direkt gekoppelten Gasmotoren zugeführt wird, kann dieses nun zwei neuen BHKWs zur Verfügung gestellt werden. Aufgrund des neuen Regelkonzeptes war es zudem notwendig, die Stufe C mit verstopfungsfreien Belüftern und Rührwerken ausstatten. Aufgrund der gestiegenen Belastung der Anlage wurde auch der Wasserrechtsbescheid angepasst und die Ausbaupazität von 130.000 auf 150.000 EW-Ausbau angehoben, was natürlich auch im neunten Belüftungskonzept Berücksichtigung finden musste. Die Investitionskosten der beschriebenen Maßnahmen, welche aufgrund der erreichten Lebensdauer der Anlagenteile der Instandsetzung zugerechnet werden können, betragen insgesamt 1,5 Mio. Euro. Unter Vernachlässigung der Finanzierungskosten und Förderung kommt man bei einer Lebensdauer von 20 Jahren, auf eine jährliche Abschreibung von 75.000 Euro.

Die Veränderungen beim elektrischen Stromverbrauch und -bezug können aufgrund der kontinuierlichen Teilnahme der Kläranlage Amstetten beim Benchmarking nachvollziehbar dargestellt werden. Tabelle 7 zeigt den Energieverbrauch der Gesamtkläranlage, jenen der biologischen Stufe, ein Energieäquivalent, das sich aus dem Gasverbrauch der direkt getriebenen Gasmotoren errechnet, und die durch BHKWs erzeugte elektrische Energie. Daraus wurde einerseits ein Gesamtenergieverbrauch und andererseits ein erforderlicher Energiezukauf berechnet und als Absolutbetrag und einwohnerwertspezifisch ausgewiesen. Der Gesamtenergieverbrauch entspricht

der Summe des gemessenen elektrischen Energieverbrauches der Kläranlage und dem Energieäquivalent der Gasmotoren. Da auf der Kläranlage Amstetten bis zum Jahr 2005 sowohl direkt gekoppelte Gasmotoren als auch BHKWs installiert waren, kann aus betrieblicher Sicht gewählt werden, welcher Anteil des Faulgases zur Stromerzeugung und welcher für die direkt gekoppelten Gasmotoren verwendet wird. Ökonomisch entscheidend ist letztlich auch nicht der Gesamtenergieverbrauch, sondern wie viel an Energie extern zugekauft werden muss. Der erforderliche Zukauf errechnet sich daher aus dem elektrischen Energieverbrauch der Kläranlage minus der durch BHKWs erzeugten elektrischen Energie.

Tabelle 7: Energieverbrauch und Zukauf in den Jahren 1999, 2003 bis 2006

	1999	2003	2004	2005	2006	
Kläranlage	6122	6306	6078	6348	7225	kWh/d
Biologie	5286	4310	4140	4317	4070	kWh/d
el. Energieäquivalent Gasmotor	977	2316	1715	695	0	kWh/d
BHKW	1226	280	683	1103	4572	kWh/d
Energieverbrauch ¹⁾	7099	8622	7793	7043	7225	kWh/d
erforderlicher Zukauf ²⁾	4896	6026	5395	5245	2653	kWh/d
EW-CSB110	71.477	86.053	87.332	95.870	113.761	
Energieverbrauch/EW	36	37	33	27	23	kWh/EW/a
erforderlicher Zukauf/EW	25	26	23	20	9	kWh/EW/a

Erfreulicherweise sind sowohl der Energieverbrauch als auch der erforderliche Zukauf mit Inbetriebnahme des neuen Regelkonzeptes deutlich gesunken und haben im Jahr 2006 mit 23 kWh/EW-CSB110/a einen, auch im Vergleich zu anderen Kläranlagen, sehr niedrigen Wert erreicht. Der erforderliche Energiezukauf betrug im Jahr 2006 mit 9 kWh/EW-CSB110/a um 16 kWh/EW-CSB110/a weniger als im Jahr 1999. Bei einem Strombezugspreis von durchschnittlich 10 Cent je Kilowattstunde und einer Belastung von 114.000 EW-CSB110 errechnet sich daraus eine **jährliche Einsparung von 180.000 Euro**.

3.3 Fällmittelverbrauch und Fällmittelkosten

Wie bereits dargestellt wurde, sind die Material- und Stoffkosten durchschnittlich für etwa 10 Prozent der Gesamtbetriebskosten verantwortlich. Von den Material- und Stoffkosten entfallen wiederum 30 bis 40 Prozent auf Fällmittelkosten. Wie bereits festgestellt, sind die Unterschiede in den Fällmittelkosten im Wesentlichen durch unterschiedliche Fällmittelpreise verursacht.

In Tabelle 8 sind die Fällmittelpreise je Fällmittelart in der Wirksubstanz berechnet. Einerseits ausgedrückt in Euro/mol und andererseits in Euro/kg P, wenn man von einem beta-Wert von 1 ausgeht.

Tabelle 8: Fällmittelkosten je Fällmittelart

	Fe-II- Chlorid	Fe-III- chlorid	Fe-II- Sulfat	Fe-III- Sulfat	Poly-Al- chlorid	Al- Chlorid	Na- Aluminat	Alle	
Anzahl Teilnehmer je Fällmittelart	1	7	4	3	5	2	3	25	
spez. Kosten [€/mol WS]	0,008	0,052	0,023	0,058	0,103	0,055	0,012	0,045 0,052 0,058	25%Wert Median 75%Wert
spez. Entfernungskosten [€/ kgP] bei beta=1	0,25	1,67	0,745	1,88	3,32	1,76	0,4	1,45 1,67 1,92	25%Wert Median 75%Wert

Rechnet man je Einwohner mit maximal 0,365 kg pro Jahr (=1 g/EW/d) an fällbarem Phosphor und unterstellt einen beta-Wert von 1,5 sowie den 75%Wert von 1,92 Euro als spezifischen Entfernungskosten je kg Phosphor, so kommt man auf **Maximalkosten je Einwohner von 1 Euro** pro Jahr!

Wie die Ergebnisse beim Benchmarking zeigen, wird bei der Dosierung des Fällmittels der Grenzwert von 1 mg/l oder 0,5 mg/l zumeist sehr genau eingehalten. Die Fällmittelkosten werden jedoch oft auch aus historischen Gründen („das hat schon immer soviel gekostet“) nicht immer so genau hinterfragt.

Im Extremfall betragen bei einer Anlage die Material- und Stoffkosten 26 % der Gesamtbetriebskosten bzw. beliefen sich alleine die Fällmittelkosten auf 14 % der Gesamtbetriebskosten. Aufgrund der Ergebnisse des Benchmark-Vergleiches wurde ein etwas anderes Produkt zu deutlich niedrigeren Preisen

ausverhandelt, sodass die Fällmittelkosten nunmehr 5 % der Betriebskosten ausmachen. Durch diese Umstellung und die Preisverhandlungen konnte eine **jährliche Kostenreduktion von rund 38.000 Euro** erzielt werden.

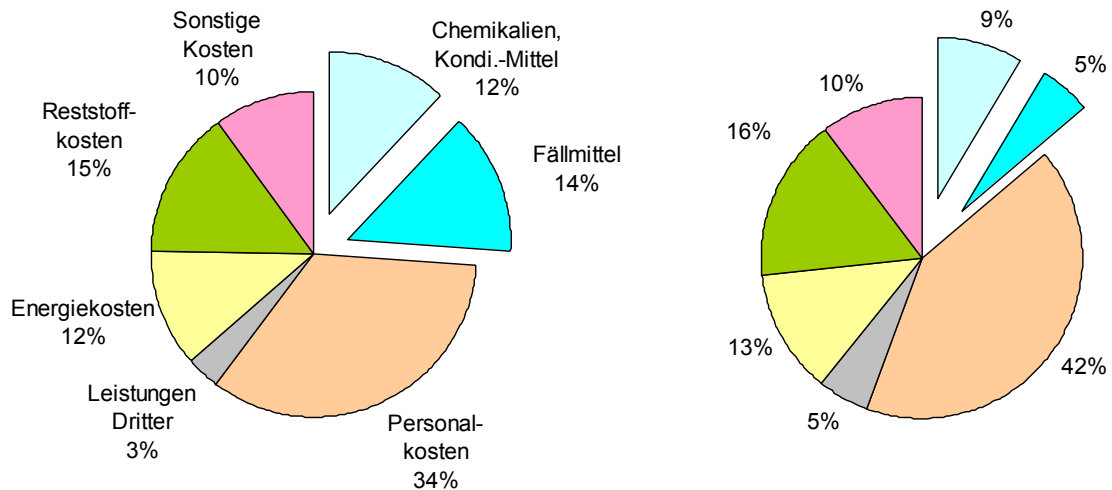


Abbildung 14: Kostenartenverteilung vor und nach den Fällmittelverhandlungen

Wie das Beispiel zeigt, und dies ist sicher kein Einzelfällen, können auch bei Kostenpositionen die im Durchschnitt weniger als 5 Prozent der Betriebskosten ausmachen, beachtliche Summen eingespart werden.

3.4 Klärschlammverwertung und -entsorgung

Die Reststoffentsorgungskosten sind mit durchschnittlich 15 % der Gesamtbetriebskosten nach den Personalkosten der wesentlichste Kostenfaktor. Die Schlammmentsorgungskosten setzen sich aus der anfallenden Schlammmenge und dem Preis je Tonne Klärschlamm zusammen. Interessanterweise 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 Klärschlammmentsorgungskosten 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 Klärschlammmanfalles vor allem im anorganischen Anteil des Klärschlammes begründet liegt.

Noch stärker als der Klärschlammmanfall streuen die Schlammmentsorgungskosten. In Tabelle 9 sind von allen Teilnehmern am Benchmarking der vergangenen drei Jahre (2003, 2004 und 2005) die Klärschlammmentsorgungspreise 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. Aufgrund der starken Schwankungen der Preise und des negativen Images der Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft haben einzelne Kläranlagenbetreiber alternative Schlammverwertungskonzepte gestartet.

Tabelle 9: 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

Einer dieser Betreiber ist die Abwasserreinigungsanlagen Betreiber GmbH Kirchbichl, welche sich entschlossen hat den entwässerten Klärschlamm der eigenen Anlage sowie übernommene Klärschlämme auf einer eigens dafür nach dem Stand der Technik errichteten Kompostanlage zu kompostieren und den anfallenden Klärschlammkompost zum Kauf anzubieten. Die Kläranlage

Kirchbichl ist für 90.000 EW ausgebaut, hat eine durchschnittliche Belastung von 68.000 EW-CSB110 und einen Klärschlammanfall von rund 3.500 Tonnen pro Jahr. Auf der Kompostanlage werden der eigene Klärschlamm, Klärschlämme eines Indirekteinleiters sowie angelieferte entwässerte Klärschlämme von anderen Anlagen angenommen. Die Kosten für die Kompostierung des Indirekteinleiterschlammes werden gesondert berechnet und diesem in Rechnung gestellt. Im Untersuchungsjahr 2005 betragen diese in Summe 26.800 Euro. Kläranlagen, die ihren Schlamm auf die Kompostanlage bringen, müssen 53 Euro/t bezahlen woraus sich 2005 Einnahmen von 43.500 Euro/a ergaben. Die dritte wesentliche Einnahmequelle ist der Verkauf des Klärschlammkompostes, der je nach Qualität mit 8 bis 10 Euro/t verkauft wird. In Summe ergeben sich Einnahmen von insgesamt 46.200 Euro/a.

Tabelle 10: Entsorgungskosten je Entsorgungsart

Einnahmen		119.400 Euro/a	spez. Einnahmen	
Schlamm Entsorgungskostenanteil			34,1	Euro/t Eigenschlamm
Indirekteinleiter	26.800	Euro/a	7,7	Euro/t Eigenschlamm
Schlammübernahmen gepresst (53 Euro/t)	43.500	Euro/a	12,4	Euro/t Eigenschlamm
Kompostverkauf (8 - 10 Euro/t)	46.200	Euro/a	13,2	Euro/t Eigenschlamm
Lieferung Kompost	1.800	Euro/a	0,5	Euro/t Eigenschlamm
Übernahme Strauchschnitt	1.100	Euro/a	0,3	Euro/t Eigenschlamm

Ausgaben		225.800 Euro/a	spez. Ausgaben	
Personalaufwand	78.000	Euro/a	64,5	Euro/t Eigenschlamm
Sachaufwand	71.800	Euro/a	22,3	Euro/t Eigenschlamm
Abschreibung	76.000	Euro/a	20,5	Euro/t Eigenschlamm
			21,7	Euro/t Eigenschlamm

Aufwand (Ausgaben - Einnahmen)		106.400 Euro/a	spez. Aufwand	
			30,4	Euro/t Eigenschlamm
			16,8	Euro/t Schlamm durchsatz

Den Einnahmen stehen der Personalaufwand, Sachaufwand und die Abschreibungskosten mit jeweils etwa einem Drittel der Ausgaben gegenüber. Zieht man von den Ausgaben die Einnahmen ab, so bleibt ein Aufwand von rund 100.000 Euro/Jahr, der bezogen auf die Eigenschlammmenge zu spezifischen Klärschlammkosten von 30 Euro/t führt. Stellt man dies dem aus den in Tabelle 9 dargestellten Durchschnittskosten von 45 Euro/t gegenüber, kann man von einer **jährlichen Kostenersparnis von 52.500 Euro** ausgehen.

4 Zusammenfassung

Im Zuge eines Benchmarking-Forschungsprojektes wurde eine Methode für den technischen und wirtschaftlichen Vergleich von Abwasserreinigungsanlagen entwickelt. Die Ergebnisse und Erkenntnisse von bisher 94 untersuchten Kläranlagen können auch für andere Anlagen das Optimierungspotential aufzeigen. 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 die 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 Schlammentsorgungskosten je Tonne Klärschlamm ab, sind jedoch auch von der anfallenden Schlammmenge je Einwohner sehr deutlich beeinflusst.

Abschließend wurden anhand von vier Praxisbeispielen konkret erzielte Optimierungspotentiale aufgezeigt. Für die Optimierung des Energieverbrauches müssen die einzelnen Verbraucher getrennt erfasst werden. Der Gesamtenergieverbrauch von effizienten Kläranlagen mit Faulung liegt unter 20 kWh/EW-CSB110/a und kann bei Kläranlagen ohne Zulaufpumpwerk bis zu 16,5 kWh/EW-CSB110/a abgesenkt werden. Eine 100-%-ige Eigenstromerzeugung ist dann möglich, wenn der Stromverbrauch unter 20 kWh/EW-CSB110/a liegt und der Wirkungsgrad der eingesetzten BHKWs > 37 % ist. Am Beispiel der Kläranlage Strass konnte dies anhand konkreter Zahlen nachvollzogen werden und auch gezeigt werden, dass eine Verringerung des Stromverbrauches um 3 kWh/EW-CSB110/a zu einer jährlichen Kostenreduktion von 48.600 Euro geführt hat.

Das höchste Einsparungspotential konnte bei der Kläranlage Amstetten aufgezeigt werden, bei der ein geändertes Regelkonzept die ersatzlose Außerbetriebsnahme von vier Rezirkulationspumpen ermöglichte. Im Zuge der Instandsetzung der Sauerstoffzufuhr der Belebungsbecken wurde ein neues Gebläsehaus errichtet, die Drehkolbenverdichter, die Sauerstoffsonden und die BHKWs erneuert. In Summe beliefen sich die Umbauarbeiten, die auch zu einer Konsenserhöhung auf 150.000 EW-Ausbau geführt hatten, auf 1,5 Mio. Euro, welche bei einer durchschnittlichen Lebenserwartung von 20 Jahren 75.000 Euro an jährlicher Abschreibung verursachen. Die jährliche Einsparung an Energiekosten beträgt jedoch 180.000 Euro verglichen mit der Ausgangssituation im Jahr 1999. Aufgrund der Tatsache, dass zukünftig auch Wärme in ein Fernwärmenetz eingespeist werden kann, wird die Kläranlage Amstetten noch energieeffizienter werden.

Die Fällmittelkosten haben mit durchschnittlich < 5 % der Betriebskosten eine untergeordnete Relevanz. Wie anhand eines Beispiels gezeigt werden konnte, weisen Fällmittelkosten dann ein hohes Einsparungspotential auf, wenn sie einen wesentlichen Anteil der Betriebskosten ausmachen. Historisch bedingte Kosten fallen oft erst beim Vergleich mit anderen Kläranlagen in der gebührenden Deutlichkeit auf. Preisverhandlungen und die Umstellung auf ein

etwas anderes Produkt des gleichen Lieferanten führten in diesem Fall zu einer jährlichen Reduktion der Kosten von 38.000 Euro.

Das letzte Praxisbeispiel beschäftigte sich mit den Klärschlamm Entsorgungskosten, welche im Durchschnitt aller untersuchten Kläranlagen bei 45 Euro/t entwässertem Schlamm liegen. Die ARAB GmbH Kirchbichl betreibt ein eigenes Klärschlammkompostwerk, welches neben der Kompostierung des Klärschlammes der ARA Kirchbichl auch die Schlämme anderer Kläranlagen übernimmt und den gewonnenen Klärschlammkompost verkauft. Zieht man von den Ausgaben (inklusive der Abschreibungen für die Errichtung des Werkes) die Einnahmen für Schlammübernahmen und Erlöse aus Klärschlammkompostverkauf ab, so bleibt ein spezifischer Aufwand je Tonne Eigenschlamm von 30 Euro/t. Verglichen mit dem Median von 45 Euro/t ergibt das bei einer Eigenschlammmenge von 3.500 Tonnen eine jährliche Ersparnis von 52.500 Euro.

5 Literatur

Agis, H. (2002): Energieoptimierung von Kläranlagen in Benchmarking in der Abwasserentsorgung, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 176, Seiten 133-177. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien.

Bogensberger, M., Habich, J. und Murnig, F. (2002): Kosten und Leistungsrechnung als Benchmarking Grundlage in Benchmarking in der Abwasserentsorgung, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 176. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien.

Bundesgesetzblatt. (1996): 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser. 210. Verordnung, Wien.

Gabler. (1997): Wirtschaftslexikon. 14. Auflage, Gabler, Wiesbaden.

Haberkern, B. (1998): "Energieeinsparung in Kläranlagen - Seminardokumentation".
IMPULS-Programm Hessen, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt.

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.

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., Svoldal, K. und Nowak, O. (2003): Definition der Begriffe "Belastung" und "Auslastung" in Fortbildungsseminar Abwasserentsorgung, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 183, Seiten 389-402. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien.

Lindtner, S. (2006): Kostenaspekte beim Betrieb moderner Kläranlagen in Betriebserfahrungen moderner Kläranlagen, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser-Gewässer, Band 195, Seiten 141-165. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-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

Korrespondenz an:

Stefan Lindtner
Ingenieurbüro kaltesklareswasser
1020 Wien, Obere Augartenstrasse 18A/5/1
0664/4640695
lindtner@k2w.at