



lebensministerium.at

# Leitfaden für die Erstellung eines Energiekonzeptes kommunaler Kläranlagen

Wien, April 2008



## **I M P R E S S U M**

***Medieninhaber und Herausgeber:***

Lebensministerium  
Stubenring, A-1012 Wien

***Projektleitung, Autor und Layout: Dr. Stefan Lindtner***

Ingenieurbüro kaltesklareswasser  
1020 Wien, Obere Augartenstrasse 18A,5,1  
Tel.: 01/3339081 – E-mail: [lindtner@k2w.at](mailto:lindtner@k2w.at)

# INHALT

<b>1</b>	<b>Vorwort</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
2.1	Energieverbrauch und Energiekosten einer Kläranlage.....	5
<b>3</b>	<b>Erstellung eines Energiekonzeptes</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Istwertanalyse / Normalbereichsvergleich</b> .....	<b>9</b>
4.1	Allgemeine Kläranlagenbeschreibung.....	10
4.2	Erstellung einer Energiebilanz.....	11
4.2.1	Energiebereitstellung (elektrische & thermische Energiequellen).....	11
4.2.2	Elektrische Energieverbraucher.....	12
4.2.3	Thermische Energieverbraucher.....	14
4.3	Berechnung von Anlagenkennzahlen.....	16
4.4	Berechnung von Energiekennzahlen .....	17
4.4.1	Elektrische Energiekennzahlen.....	17
4.4.2	Thermische Energiekennzahlen .....	22
<b>5</b>	<b>Von der Abweichungsanalyse zur Umsetzungsplanung</b> .....	<b>24</b>
5.1	Abweichungsanalyse.....	25
5.2	Maßnahmenplan .....	25
5.3	Prioritätenreihung.....	25
5.4	Umsetzungsplanung.....	25
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>26</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energiekosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße .....	5
Abbildung 2: Betriebskostenverteilung von 94 untersuchten Kläranlagen .....	6
Abbildung 3: Ablauf bei der Erstellung eines Energiekonzeptes.....	8
Abbildung 4: Ablauf von der Abweichungsanalyse zur Umsetzungsplanung .....	24

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Objektdaten.....	10
Tabelle 2: Betriebsdaten des Untersuchungsjahres (Tagesmittelwerte des Untersuchungsjahres).....	10
Tabelle 3: Energiequellen und deren erzeugte/verwertbare elektrische bzw. thermische Energie .....	11
Tabelle 4: Elektrische Energieverbraucher einer Kläranlage.....	12
Tabelle 5: Thermische Energieverbraucher einer Kläranlage.....	14
Tabelle 6: Kläranlagenkennzahlen.....	16
Tabelle 7: Spez. elektrische Energiebereitstellung .....	17
Tabelle 8: Spez. elektrische Energieverbrauch .....	18
Tabelle 9: Sonstige elektrische Energiekennzahlen .....	19
Tabelle 10: Energiekennzahlen für die Berechnung der Belüftungsenergie .....	20
Tabelle 11: Energiekennzahlen für die Berechnung der Belüftungsenergie .....	22
Tabelle 12: Spez. thermischer Energieverbrauch.....	22
Tabelle 13: Sonstige thermische Energiekennzahlen.....	23

# 1 Vorwort

Sowohl der Neubau österreichischer Kläranlagen als auch die Anpassung von Kläranlagen an den Stand der Technik sind weitgehend abgeschlossen. Die Abwasserwirtschaft in Österreich hat damit in Bezug auf die Reinigungsleistung ein sehr hohes Niveau erreicht. Nun stehen der Betrieb und die Betriebsoptimierung im Mittelpunkt des Interesses. Die Senkung des Energieverbrauches spielt dabei in ökologischer wie ökonomischer Hinsicht eine zentrale Rolle.

Angesichts der komplexen Verfahrensabläufe auf einer Kläranlage ist eine systematische Vorgangsweise bei der Energieoptimierung unerlässlich. Sowohl die Gesamtanlage als auch einzelne Verbrauchergruppen sollten in Hinblick auf die elektrischen wie thermischen Energieverbraucher untersucht werden. Der vorliegende Leitfaden ist eine Handlungsanleitung, wie bei der Erstellung eines Energiekonzeptes systematisch vorgegangen werden kann.

Bei der Erstellung des Leitfadens wurde von der Analyse der energetischen Ist-Situation der zu untersuchenden Kläranlage ausgegangen. Da auf vielen Kläranlagen der Ist-Stand nicht aufgrund von vorhandenen Messungen zur Verfügung steht, wird eine Handlungsanleitung zur Abschätzung von Energieverbräuchen gegeben. Der Ist-Stand wird einem Normalbereich bzw. Optimalbereich gegenübergestellt. Aufbauend auf einer Abweichungsanalyse wird im Leitfaden beschrieben, wonach Maßnahmenpläne, Prioritäten und Umsetzungspläne erarbeitet werden können.

Die im Leitfaden beschriebene Analyse der Ist-Situation erhebt elektrische Verbraucher in einer Verbrauchermatrix, führt einzelne Verbraucher zu Verbrauchergruppen zusammen und vergleicht schließlich berechnete spezifische Verbrauchskennzahlen mit einem Normalbereich. Diese Vorgangsweise kann als fundierte Grobanalyse bezeichnet werden, welche ein erreichbares Einsparungspotenzial ausweist. In vielen Fällen wird jedoch eine Feinanalyse erforderlich sein, wofür auf die angeführte Literatur verwiesen wird. Zusätzlich wird gesondert darauf hingewiesen, dass die angegebenen Normalbereiche der groben Positionierung dienen und aufgrund von standortspezifischen Besonderheiten über- oder unterschritten werden können.

## 2 Einleitung

Ziel eines Energiekonzeptes ist die systematische Energieoptimierung, also die Reduktion des Energieverbrauches und damit der Energiekosten mit angemessenem Aufwand. Die Erstellung eines Energiekonzeptes für die gesamte Kläranlage soll zeigen, in welchen Anlagenteilen im Vergleich zu Durchschnitts- und Spitzenwerten potenziell Energie eingespart werden kann.

### 2.1 Energieverbrauch und Energiekosten einer Kläranlage

Der Energieverbrauch - und damit die Energiekosten - einer Kläranlage entspricht der Summe aus elektrischem und fossilem Energiebedarf (Öl, Gas). 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.

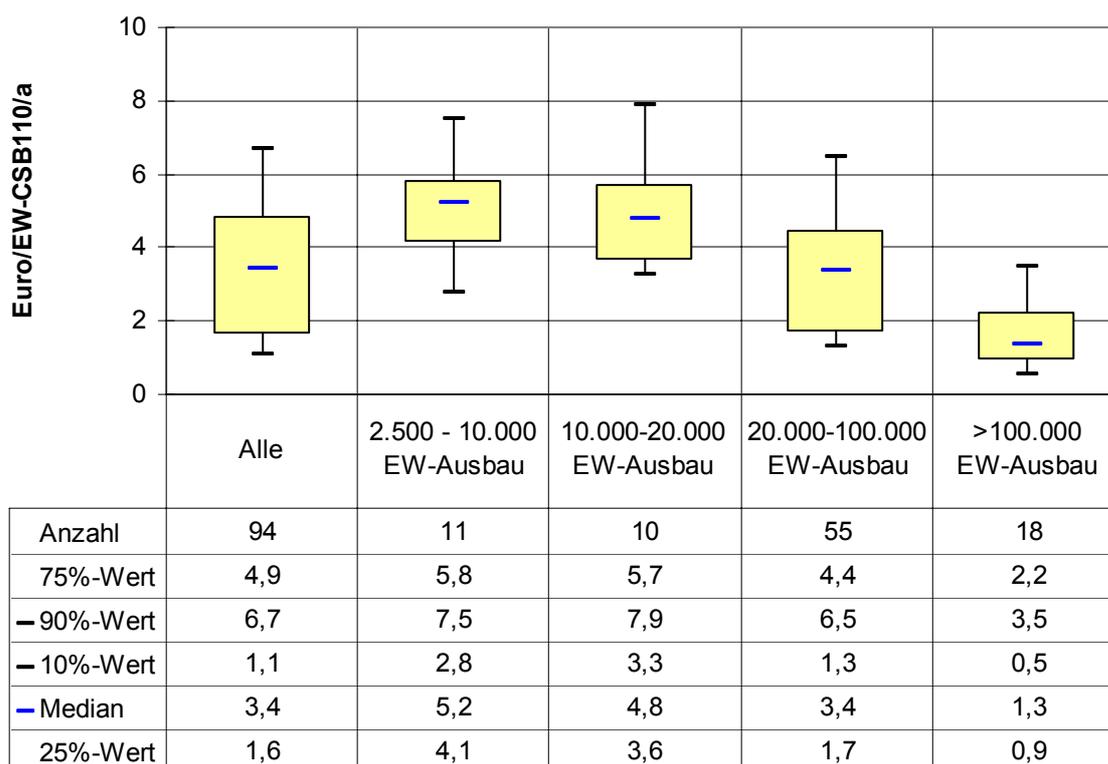


Abbildung 1: Energiekosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Wie aus Abbildung 1 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 aerober Stabilisierung ausgeführt und benötigen daher systembedingt mehr elektrische Energie. Gleichzeitig weisen diese Anlagen keine Eigenstromerzeugung auf.

Die Gesamtbetriebskosten einer Kläranlage können in zwei Gruppen untergliedert werden: Einerseits sind dies Kosten, die von der einer 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).

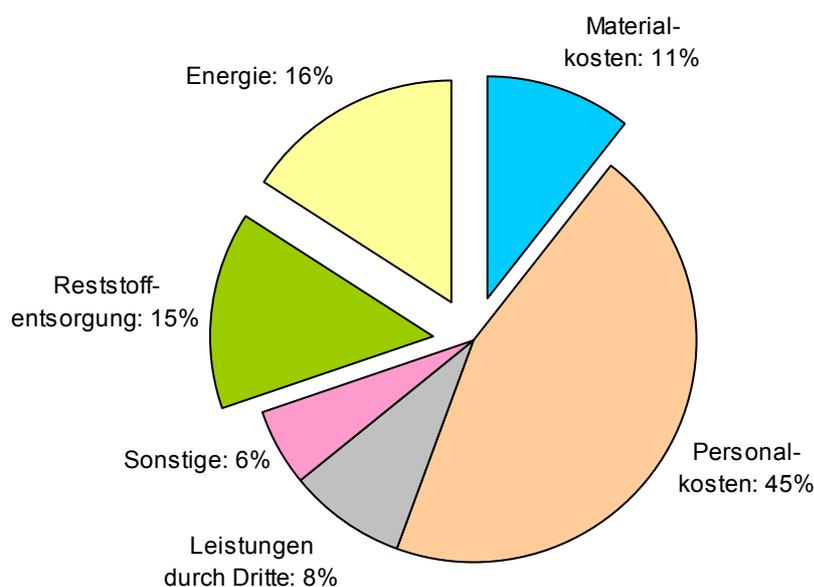


Abbildung 2: Betriebskostenverteilung von 94 untersuchten Kläranlagen

Die Energiekosten sind im Durchschnitt der insgesamt 94 beim Abwasserbenchmarking untersuchten Kläranlagen für 16 % der Gesamtbetriebskosten verantwortlich. Aus Untersuchungen in Deutschland (vgl. Müller, E.A. 1999 und Haberkern, B. 1998) sind ähnliche hohe Energiekostenanteile bekannt.

### 3 Erstellung eines Energiekonzeptes

Ein Energiekonzept für die Gesamtkläranlage kann in zwei Teilbereichen und anhand folgender Untergliederung erarbeitet werden:

#### A. Istwert-Analyse und Vergleich mit Normalbereichen

- Allgemeine Kläranlagenbeschreibung
- Erstellung einer Energiebilanz
  - Energiebereitstellung (elektrische & thermische Energiequellen)
  - Energieverbraucher
    - Elektrische Energieverbraucher (Verbrauchermatrix)
    - Thermische Energieverbraucher
- Berechnung von Anlagenkennzahlen
- Berechnung von Energiekennzahlen und Vergleich mit Normalbereichen

#### B. Von der Abweichungsanalyse zur Umsetzungsplanung

- Abweichungsanalyse
- Maßnahmenplan
- Prioritätenreihung
- Umsetzungsplanung

Die beiden Teilbereiche *Istwert-Analyse und Vergleich mit Normalbereichen* und *Von der Abweichungsanalyse zur Umsetzungsplanung* werden den Kapiteln 4 und 5 im Detail behandelt. Eine zusammenfassende grafische Darstellung aller Einzelschritte bei der Erstellung eines Energiekonzeptes ist in Abbildung 3 dargestellt.

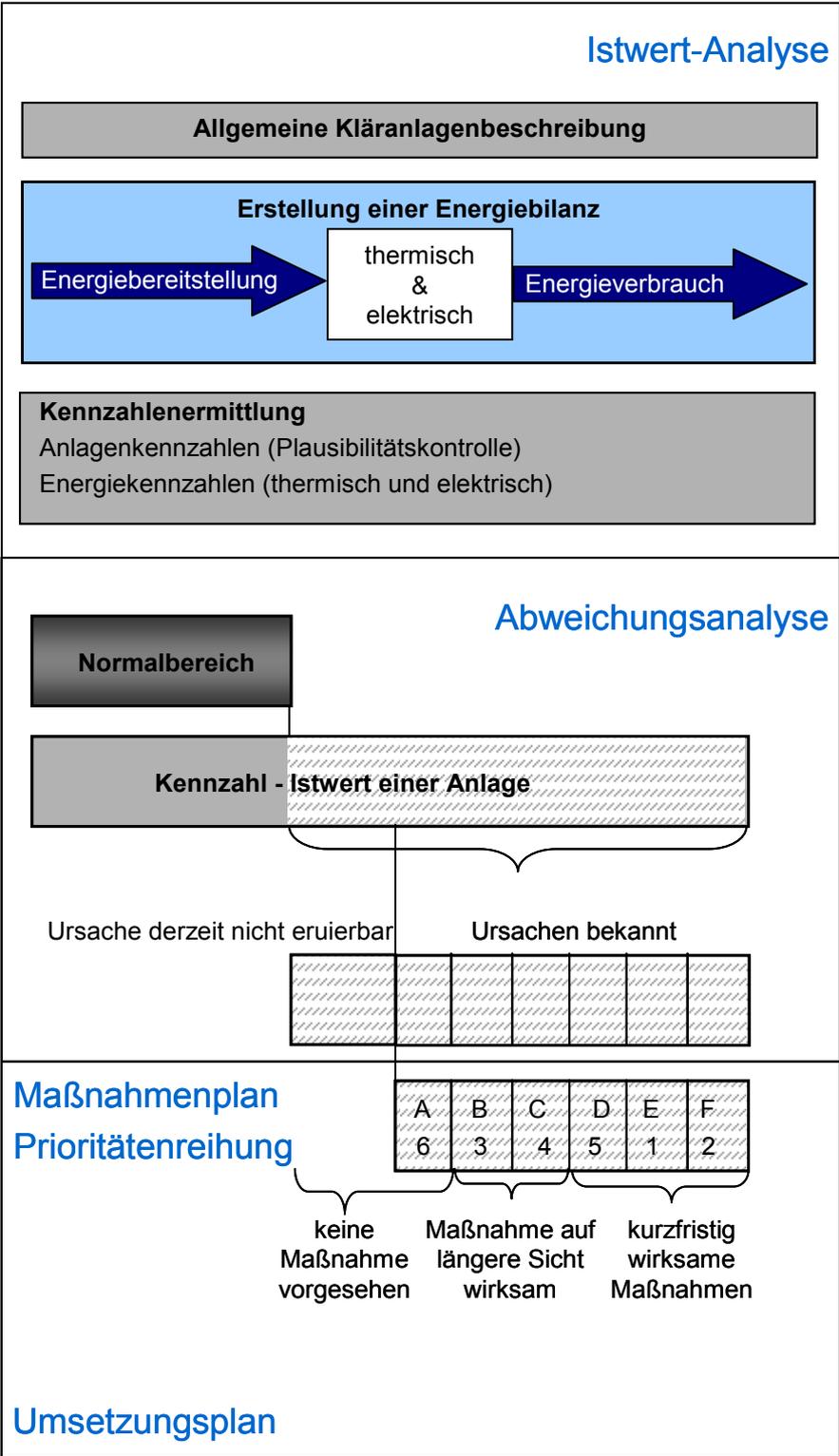


Abbildung 3: Ablauf bei der Erstellung eines Energiekonzeptes

## 4 Istwertanalyse / Normalbereichsvergleich

Ein zentrales Element der Istwert Analyse stellt die Erstellung einer Energiebilanz, sowohl der elektrischen als auch der thermischen Energie, dar. Der Energiebereitstellung von elektrischer sowie thermischer Energie stehen die Verbraucher gegenüber. Da der zugekaufte ebenso wie 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. Ist dies nicht der Fall, kann mithilfe der Anschlusswerte, der beförderten Wassermenge, gemessener oder geschätzter elektrischer Leistung, der Laufzeit und anderer auf der Kläranlage bekannter 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 im Leitfadens angegebenen Kennzahlen und physikalischen Größen können jedoch der Wärmebedarf für die beheizte Faulung, die Gebäudeheizung udgl. ausreichend genau abgeschätzt werden.

Die Berechnung von Anlagenkennzahlen ist neben der Beurteilung der Gesamtanlage Voraussetzung für die Berechnung von Energiekennzahlen. Die Energiekennzahlen repräsentieren den Istwert einer Kläranlage aus energetischer Sicht. Erst die Berechnung von Kennzahlen erlaubt den Vergleich mit anderen Kläranlagen und ermöglicht den Vergleich mit einem Normalbereich, der für jede Kennzahl angegeben ist.

## 4.1 Allgemeine Kläranlagenbeschreibung

Die allgemeine Kläranlagenbeschreibung soll einerseits einen Überblick über den Kläranlagenbetreiber und die Anlage geben, und andererseits jene Betriebsdaten des Untersuchungsjahres beinhalten, die zur Berechnung der Kennzahlen benötigt werden.

**Tabelle 1: Objektdaten**

Anlagenname		<b>V - Vorklärung</b> <b>EB - Emscherbrunnen</b> <b>B - Belebung</b> <b>F - beheizter Faulbehälter</b> <b>P - Pflanzenkläranlage; bepflanzter Bodenfilter</b> <b>S - getrennte aerobe Stabilisierung</b> <b>T - Tropfkörper</b> <b>TA - Teichanlage</b> <b>TK - Tauchkörper</b>
Betreiber		
Adresse		
Kontaktperson		
Jahr der Inbetriebnahme der letzten Ausbaustufe		
Welche Anlagenteile sind vorhanden		
Ausbaugröße	EW-Ausbau	
Angeschlossene Einwohner	E	
wichtigster Indirekteinleiter (Art)		
wichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	EGW	
zweitwichtigster Indirekteinleiter (Art)		
zweitwichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	EGW	
dritt wichtigster Indirekteinleiter (Art)		
dritt wichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	EGW	

Für die Berechnung von Energiebilanz und Kennzahlen sind neben den Objektdaten auch die in Tabelle 2 zusammengefassten Betriebsdaten des Untersuchungsjahres erforderlich.

**Tabelle 2: Betriebsdaten des Untersuchungsjahres** (Tagesmittelwerte des Untersuchungsjahres)

Untersuchungsjahr	
Abwasseranfall	m <sup>3</sup> /d
CSB-Zulauf Fracht	kg/d
CSB-Fracht Zulauf Biologie	kg/d
BSB <sub>5</sub> -Zulauf Fracht	kg/d
Nges.-Zulauf Fracht	kg/d
NH <sub>4</sub> -N-Zulauf Fracht	kg/d
Pges.-Zulauf Fracht	kg/d
CSB-Ablaufkonzentration	mg/l
BSB <sub>5</sub> -Ablaufkonzentration	mg/l
Nges.-Ablaufkonzentration	mg/l
NH <sub>4</sub> -N-Ablaufkonzentration	mg/l
NO <sub>3</sub> -N-Ablaufkonzentration	mg/l
Pges.-Ablaufkonzentration	mg/l
Belebungsbeckenvolumen gesamt	m <sup>3</sup>
--> davon belüftet	m <sup>3</sup>
--> davon gerührt	m <sup>3</sup>
Faulbehältervolumen	m <sup>3</sup>
Rohschlammtemperatur	°C
Faulbehältertemperatur	°C
Faulgasanfall gesamt	m <sup>3</sup> /d
CO <sub>2</sub> -Gehalt Faulgas	%
Faulschlamm anfall	m <sup>3</sup> /d
TS-Faulschlamm	kg/m <sup>3</sup>
oTS-Faulschlamm	%

## 4.2 Erstellung einer Energiebilanz

Die Erstellung einer Energiebilanz soll einerseits über die Energiequellen Auskunft geben, und andererseits sowohl die elektrischen als auch die thermischen Verbraucher identifizieren.

### 4.2.1 Energiebereitstellung (elektrische & thermische Energiequellen)

Auf Abwasserreinigungsanlagen wird Energie in Form von elektrischer und thermischer Energie benötigt. Die benötigte Energie wird vorwiegend vom Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) zugekauft oder aus Heizöl, Flüssiggas, Erdgas 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 3), womit deren Menge Auskunft über die maximal verfügbare Energie gibt. 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.

**Tabelle 3: Energiequellen und deren 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>
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	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>
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>
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>

Die auf der Kläranlage verwertbare thermische Energie kann vom BHKW und/oder einem Heizkessel stammen. Sind die thermischen Wirkungsgrade vom 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 der Umwandlungsverluste, berechnet werden.

Um einen Einblick über Art und Menge der eingesetzten Energieträger zu bekommen, werden in Tabelle 3 die verschiedenen Energiequellen und die daraus erzeugte bzw. verwertbare elektrische & thermische Energie zusammengefasst.

#### 4.2.2 Elektrische Energieverbraucher

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. Nur wenn man die Energieverbraucher kennt, kann der Energieverbrauch einer Kläranlage optimiert werden. Ziel muss es sein, den elektrischen Energieverbrauch der in Tabelle 4 zusammengefassten Verbraucherguppen feststellen zu können.

**Tabelle 4: Elektrische Energieverbraucher einer Kläranlage**

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

Wird der elektrische Energieverbrauch dieser Verbraucherguppen nicht messtechnisch erfasst, wird die Erstellung einer Matrix der elektrischen Energieverbraucher empfohlen (Beispiel siehe Anhang).

Der Energieverbrauch kann 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 können die elektrische

Anschlussleistung der Aggregate und ein abgeschätzter Prozentsatz der davon aufgenommenen Leistung herangezogen werden (vgl. Anhang).

Bei Pump- und Hebewerken kann zusätzlich auch aus der gehobenen Wasser- bzw. Schlammmenge und der Förderhöhe auf die erforderliche elektrische Energie geschlossen werden. Letzterem 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, unter Vernachlässigung von Rohrleitungsverlusten, wie folgt abgeschätzt werden:

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

Dies gilt nicht für den Energieverbrauch von Excenterschneckenpumpen (= Monopumpen), die für die Förderung von bereits eingedicktem Schlamm (Beschickung von Faulturm, Entwässerungsmaschinen udgl.) zum Einsatz kommen.

### 4.2.3 Thermische Energieverbraucher

Da auf Kläranlagen mit Faulung Wärme zumeist im Überschuss vorhanden ist, spielt die Einsparung von thermischer Energie bei diesen Kläranlagen eine untergeordnete Rolle. Wird bei Kläranlagen der thermische Energiebedarf 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 für die 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 5 zusammengefassten Verbraucher feststellen zu können.

**Tabelle 5: Thermische Energieverbraucher einer Kläranlage**

Schlammheizung (Q <sub>S</sub> )	kWh/d
Transmissionsverluste, Faulbehälterheizung (Q <sub>T</sub> )	kWh/d
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste (Q <sub>V</sub> )	kWh/d
Wärmemenge für Gebäude (Q <sub>Gebäude</sub> )	kWh/d
Wärmemenge für Zuluftgeräte (Q <sub>Zuluft</sub> )	kWh/d
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>kWh/d</b>

Der Wärmebedarf für die **beheizte Schlammfäulung** gliedert sich in drei Teilbereiche:

- Wärmebedarf für die Schlammheizung (Q<sub>S</sub>)
- Transmissionsverluste – Faulbehälterheizung (Q<sub>T</sub>)
- Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste (Q<sub>V</sub>)

Der Wärmebedarf für die Schlammheizung kann folgendermaßen berechnet werden:

$$Q_S = m \cdot (t_{FR} - t_{RS}) \cdot c$$

Q<sub>S</sub> = Wärmebedarf für die Schlammheizung in kWh/d

m = Schlammmenge in m<sup>3</sup>/d

t<sub>FR</sub> = Faulraumtemperatur in °C

t<sub>RS</sub> = Temperatur des Rohschlammes in °C

c = spezifische Wärmekapazität des Rohschlammes in Wh/kg/K

Da Rohschlamm zu 95 % aus Wasser besteht, kann für c die Wärmekapazität von Wasser mit 1,16 Wh/kg/K eingesetzt werden.

Der Wärmebedarf zum Ausgleich der Transmissionsverluste kann folgendermaßen berechnet werden:

$$Q_T = A \cdot (t_{FR} - t_{UT}) \cdot U \cdot 24 / 1000$$

$Q_T$  = tägliche Transmissionsverluste in kWh/d

$A$  = Faulbehälteroberfläche  $m^2$

$t_{FR}$  = Faulraumtemperatur in  $^{\circ}C$

$t_{UT}$  = Temperatur des Rohschlammes in  $^{\circ}C$

$U$  = Wärmedurchgangskoeffizient in  $W/m^2/K$  (früher k-Wert)

Für jede unterschiedliche Baumaterialfläche und jedes Umgebungsmedium sind die Transmissionswerte getrennt zu berechnen und zu summieren. Übliche U-Werte schwanken zwischen 0,3 und 1,3  $W/m^2/K$ .

Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste können mit 5 bis 10 Prozent der Summe aus Wärmebedarf für die Schlammaufheizung und für Transmissionsverluste abgeschätzt werden.

Der **Wärmebedarf für Betriebsgebäude** kann je nach Alter und Bausubstanz zwischen 50 und 150  $kWh/m^2/a$  betragen. Bei gut isolierten Neubauten kann man von 50  $kWh/m^2/a$  ausgehen. Der Wärmebedarf von älteren und weniger gut isolierten Gebäuden kann mit 100  $kWh/m^2/a$  abgeschätzt werden. Im schlechtesten Fall kann man mit einem Wärmebedarf von 150  $kWh/m^2/a$  rechnen.

Der **Wärmebedarf** von vollständig umhausten Betriebsgebäuden, welche hohe Luftwechselraten erfordern, kann mit **beheizten Zuluftgeräten** abgedeckt werden. Für die Berechnung des Energieverbrauches derartiger Geräte kann mit einer luftvolumenstromspezifischen Wärmeleistung von 0,335  $W/m^3/h$  und  $^{\circ}C$  Temperaturerhöhung gerechnet werden.

Beispiel: Für die Belüftung eines umhausten Betriebsgebäudes ist ein Luftvolumenstrom von 10.000  $m^3/h$  erforderlich. Mit welchem täglichen Wärmebedarf ist zu rechnen, wenn bei Außentemperaturen von  $-10^{\circ}C$  eine Innentemperatur von  $20^{\circ}C$  erreicht werden soll.

$$Q_{Zuluft} = \text{spez. Wärmeleistung } [W/m^3/h] \cdot \text{Luftvolumenstrom } [m^3/d] \cdot (t_{\text{innen}} - t_{\text{außen}}) / 1000$$

$$Q_{Zuluft} = 0,335 \cdot 10.000 \cdot 24 \cdot (20 + 10) / 1.000 = 2412 \text{ [kWh/d]}$$

### 4.3 Berechnung von Anlagenkennzahlen

Obwohl bei der Erstellung eines Energiekonzeptes vor allem Kennzahlen, die in Bezug auf die Energie relevant sind, im Vordergrund stehen, wird die Berechnung von aussagekräftigen Kennzahlen der Gesamtanlage empfohlen. Die in Tabelle 6 zusammengefassten Kennzahlen gliedern sich in die, aus den Zulauffrachten errechneten, Einwohnerwerte, in Verhältniszahlen und in Kennzahlen, die etwas über den Schlamm- und Faulgasanfall aussagen.

**Tabelle 6: Kläranlagenkennzahlen**

EW <sub>120</sub>	E		
EW <sub>60</sub>	E		
EW <sub>Nges11</sub>	E		
EW <sub>NH4N6,5</sub>	E		
EW <sub>Pges1,7</sub>	E		
EW-Faulschlamm-oTS22 (EW <sub>oTS22</sub> )	E	<b>Normalbereich</b>	
N/CSB	-	<b>0,07</b>	<b>0,1</b>
BSB/CSB	-	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
spez-TS-Fracht stabilisierter Schlamm	g TS/EW <sub>120</sub> /d	<b>35</b>	<b>50</b>
spez-oTS-Fracht Faulschlamm	g oTS/EW <sub>120</sub> /d	<b>20</b>	<b>30</b>
spez. Faulgasanfall je EW <sub>120</sub>	l/EW <sub>120</sub> /d	<b>15</b>	<b>22</b>
spez. Faulgasanfall je EW <sub>oTS22</sub>	l/EW <sub>oTS22</sub> /d	<b>15</b>	<b>22</b>
spez-TS-Fracht aerob stabil. Schlamm	g TS/EW <sub>120</sub> /d	<b>40</b>	<b>60</b>
spez-oTS-Fracht aerob stabil. Schlamm	g oTS/EW <sub>120</sub> /d	<b>25</b>	<b>35</b>
TS-Schlamm entwässert	%	<b>25</b>	<b>35</b>

Die **Einwohnerwerte** werden wie folgt errechnet.

$$EW_{120} = \text{CSB-Zulauffracht [kg/d]} / 0,12 \text{ [kg/E/d]}$$

$$EW_{60} = \text{BSB}_5\text{-Zulauffracht [kg/d]} / 0,06 \text{ [kg/E/d]}$$

$$EW_{Nges11} = \text{Nges.-Zulauffracht [kg/d]} / 0,011 \text{ [kg/E/d]}$$

$$EW_{NH4N6,5} = \text{Nges.-Zulauffracht [kg/d]} / 0,0065 \text{ [kg/E/d]}$$

$$EW_{Pges1,7} = \text{Pges.-Zulauffracht [kg/d]} / 0,0017 \text{ [kg/E/d]}$$

$$EW_{oTS22} = \text{oTS-Faulschlammfracht [kg/d]} / 0,022 \text{ [kg/E/d]}$$

Anmerkung: Der Einwohnerwert wird aus der anfallenden oTS-Faulschlammfracht errechnet, wobei man davon ausgeht, dass bei typisch kommunalen Anlagen je Einwohner 22 g je Tag an oTS anfallen.

Die Berechnung der Einwohnerwerte aus den genannten Zulauffrachten ergibt bei typisch kommunalen Kläranlagen etwa gleiche Ergebnisse. Deutliche Abweichungen, beispielsweise der Einwohnerwerte aus den Nährstoffen, können aufgrund von spezifischen Indirekteinleitern auftreten. Dies bedeutet, dass Abweichungen der errechneten Einwohnerwerte durch Indirekteinleiter erklärbar sein müssen.

Die Verhältniszahlen sowie die spezifischen Schlamm- und Faulgasmengen können mit den ebenfalls angegebenen Normalbereichen aus Tabelle 6 verglichen werden.

## 4.4 Berechnung von Energiekennzahlen

Die Berechnung von Energiekennzahlen und der Vergleich dieser mit einem Normalbereich sind bei der Erstellung eines Energiekonzeptes essenziell. Durch die Berechnung von spezifischen Energiewerten können auch Kläranlagen unterschiedlicher Größen miteinander verglichen werden. In den folgenden Tabellen werden einerseits Kennzahlen vorgestellt, die eine Aussage über die Bereitstellung und den Verbrauch der elektrischen Energie einer Kläranlage erlauben, und andererseits werden Kennzahlen vorgestellt, die den Wärmebedarf und -verbrauch (= thermische Energie) von Kläranlagen charakterisieren.

Für den Vergleich wurde für jene Kennzahlen, bei denen dies möglich ist, ein Normalbereich angegeben. Als Normalbereich wurden gerundete Erfahrungs- und Literaturwerte, unter besonderer Berücksichtigung der Erkenntnisse des Kläranlagen-Benchmarking, angegeben.

Sowohl bei den elektrischen als auch bei den thermischen Energiekennzahlen werden drei Kennzahlenblöcke voneinander unterschieden: Kennzahlen der Energiebereitstellung, Kennzahlen des Energieverbrauches und sonstige Energiekennzahlen. Da die Belüftungsenergie im Mittelpunkt des Interesses steht, werden in einem eigenen Kennzahlenblock Energiekennzahlen für die Berechnung der Belüftungsenergie vorgestellt.

### 4.4.1 Elektrische Energiekennzahlen

Die in Tabelle 7 zusammengefassten Kennzahlen können aus Tabelle 3 und dem (aus der durchschnittlichen Schmutzfracht errechneten) Einwohnerwert  $EW_{120}$  ermittelt werden. Die aus dem Faulgas gewonnene spez. elektrische Energie sowie die sonstige auf der Kläranlage erzeugte spez. elektrische Energie (z.B. aus Fotovoltaik, Windrad usw.) geben Auskunft über den Anteil der Eigenstromversorgung. Die Summe aus erzeugter elektrischer Energie und zugekaufter elektrischer Energie, abzüglich der ans EVU gelieferten elektrischen Energie, ergibt die zum Verbrauch auf der Kläranlage bereitgestellte elektrische Energie.

**Tabelle 7: Spez. elektrische Energiebereitstellung**

		Normalbereich	
el. Energie aus Faulgas erzeugt	kWh/ $EW_{120}/a$	10	20
sonstige el. Energie auf ARA erzeugt	kWh/ $EW_{120}/a$	-	-
el. Energie zugekauft	kWh/ $EW_{120}/a$	10	50
el. Energie ans EVU geliefert	kWh/ $EW_{120}/a$	0	20
<b>el. Energie bereitgestellt</b>	<b>kWh/<math>EW_{120}/a</math></b>	<b>20</b>	<b>50</b>

Die in Tabelle 8 zusammengefassten Kennzahlen können aus Tabelle 4 und dem Einwohnerwert  $EW_{120}$  ermittelt werden. Der spez. Energieverbrauch der Verbrauchergruppen „Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung“ setzt sich aus den spezifischen Verbräuchen von Zulaufpumpwerk, Rechen sowie Sand- und Fettfang zusammen. Vor allem der spez.

Energieverbrauch des Zulaufpumpwerkes kann auch außerhalb des angegebenen Normalbereiches liegen, wenn entweder kein Zulaufpumpwerk vorhanden ist oder sehr hoch gepumpt werden muss.

**Tabelle 8: Spez. elektrische Energieverbrauch**

		Normalbereich	
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>20</b>	<b>50</b>
<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>2,5</b>	<b>5,5</b>
1.1 Zulaufpumpwerk	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1,5	3,5
1.2 Rechen	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
1.3 Sand- u. Fettfang	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>14,5</b>	<b>33</b>
2.1 Belüftung	kWh/EW <sub>120/a</sub>	11,5	22
2.2 Rührwerk	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1,5	4,5
2.3 RS-Pumpen	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	4,5
2.4 Sonstiges (VKB, NKB,...)	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	2
<b>3) Schlammbehandlung</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>2</b>	<b>7</b>
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
3.2 Faulung	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	2,5
3.3 Schlammmentwässerung	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	3,5
<b>4) Infrastruktur</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>1</b>	<b>4,5</b>
4.1 Heizung	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0	2,5
4.2 sonstige Infrastruktur	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	2

Der spez. Energieverbrauch der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung setzt sich im Wesentlichen aus dem Energieverbrauch für Belüftung, Rühren und Pumpen zusammen. Für die spez. Belüftungsenergie wurde ein weiterer Normalbereich angegeben, da die Belüftung bei Anlagen mit aerober Stabilisierung systembedingt deutlich mehr Belüftungsenergie benötigt als bei Kläranlagen mit Schlammfäulung.

Anlagen mit Faulung und einem N/CSB-Verhältnis von 0,1 benötigen für die Belüftung bei gutem Sauerstofftrag (Op-Wert von 2,2 kg/kWh) 10 kWh/EW<sub>120/a</sub>. Bei ungünstigeren Sauerstofftragsverhältnissen (Op-Wert von 1,5 kg/kWh) erhöht sich der Energieverbrauch für die Belüftung auf 15 kWh/EW<sub>120/a</sub>. Bei einem weiteren N/CSB-Verhältnis verringert sich der spezifische Sauerstoffbedarf. (Beträgt N/CSB beispielsweise 0,05, so kann für die Belüftung bei gutem Sauerstofftrag mit einem spez. Energieverbrauch von 9 kWh/EW<sub>120/a</sub> gerechnet werden.)

Bei Kläranlagen mit aerober Stabilisierung und einem N/CSB-Verhältnis von 0,1 kann für die Belüftung bei gutem Sauerstofftrag (Op-Wert von 2,2 kg/kWh) mit 15 kWh/EW<sub>120/a</sub> gerechnet werden. Bei ungünstigeren Sauerstoffeintragsverhältnissen (Op-Wert von 1,5 kg/kWh) erhöht sich der Energieverbrauch für die Belüftung auf 22 kWh/EW<sub>120/a</sub>.

Die sonstigen elektrischen Energiekennzahlen in Tabelle 9 geben zusätzliche Auskunft über die wesentlichsten Einflussfaktoren auf die elektrische Energiebilanz.

**Tabelle 9: Sonstige elektrische Energiekennzahlen**

		Normalbereich	
Eigenstromabdeckung	%	0	100
WG-Zulaufpumpen	%	30	70
spez. Rührenergie	W/m <sup>3</sup>	1	2,5
belastungsspez. Energieverbrauch von Belüften+Rühren	kWh/kg <sub>CSB</sub> Biologie zu	0,3	0,6
elektrischer Wirkungsgrad BHKW	%	24	38

Die **Eigenstromabdeckung** berechnet sich aus der insgesamt auf der Kläranlage erzeugten Energie, dividiert durch die bereitgestellte elektrische Energie (Tabelle 7), ausgedrückt in Prozent.

Je höher dieser Prozentsatz ist, umso geringer ist der Anteil an zugekaufter elektrischer Energie. Der Normalbereich wurde mit 0 % für Anlagen ohne eigene Energieerzeugung bis 65 % für Anlagen mit durchschnittlichem Energieverbrauch und -erzeugung angegeben. Bei modernen Kläranlagen mit sehr geringem Energieverbrauch  $\leq 20$  kWh/EW<sub>120/a</sub> und BHKWs mit sehr hohem elektrischem Wirkungsgrad  $>34$  % ist eine Eigenstromabdeckung von 100 % möglich.

Der **Wirkungsgrad (WG) der Zulaufpumpwerke** kann wie folgt berechnet werden:

$$WG - Zulaufpumpwerk [\%] = \frac{\text{Förderhöhe [m]} * \text{Zulaufmenge [m}^3 / \text{d]}}{367 [\text{m} / \text{kWh} / \text{m}^3] * \text{el. Energieverbrauch Zulaufpumpwerk [kWh / d]}} * 100$$

Der Berechnung wird die physikalische Gegebenheit zugrunde gelegt, dass mit einer Kilowattstunde ein Kubikmeter Wasser 367 Meter hoch gehoben werden kann.

Je höher der Wirkungsgrad ist, umso besser ist Effizienz des Zulaufpumpwerkes, wobei Wirkungsgrade ab 50 % als gut bezeichnet werden können. Bei Wirkungsgraden unter 35 % ist Handlungsbedarf gegeben.

Die **spez. Rührenergie** kann wie folgt berechnet werden:

$$\text{spez. Rührenergie [W / m}^3] = \frac{\text{el. Energieverbrauch Rührwerk [kWh / d]} * 1000}{\text{gerührtes Volumen [m}^3] * 24 [\text{h} / \text{d}]}$$

Die spez. Rührenergie gibt die Energiedichte je Kubikmeter Belebungsbeckenvolumen an. Je nach Beckengeometrie muss bei zu geringen Energiedichten ( $<1$  W/m<sup>3</sup>) mit Ablagerungen gerechnet werden, große Energiedichten ( $>3$  W/m<sup>3</sup>) können hingegen als unwirtschaftlich bezeichnet werden. Sind Energiedichten  $>5$  W/m<sup>3</sup> erforderlich, um Ablagerungen

hintanzustellen, muss auch die Umgestaltung von Belebungsbecken angedacht werden (Nowak 2000).

Der **belastungsspezifische Energieverbrauch für Belüften und Rühren** gibt Auskunft über die Effizienz des Belüftungssystems. Berechnet wird dieser Wert aus der Summe des Energieverbrauchs für Belüften und Rühren, bezogen auf die CSB-Zulaufkraft der Biologie. Synonym zu den Erläuterungen des erforderlichen Energieverbrauches der Belüftung in Tabelle 8 gilt auch hier, dass Anlagen mit einem weiten N/CSB-Verhältnis geringere belastungsspezifische Energiewerte aufweisen und dass bei aerob stabilisierende Anlagen mit höheren Energiewerten zu rechnen ist.

Der **elektrische Wirkungsgrad von BHKWs** kann aus den Angaben in Tabelle 3 wie folgt berechnet werden: Die Summe der verwertbaren elektrischen Energie, welche mithilfe von BHKWs erzeugt wurde, dividiert durch den Energieinhalt der den BHKWs zugeführten Energiequellen, ausgedrückt in Prozent. Je höher der elektrische Wirkungsgrad des BHKWs ist, umso höher kann auch die Eigenstromabdeckung sein. Für BHKWs liegen übliche Wirkungsgrade zwischen 24 und 34 %, Werte größer als 30 % können als hohe Wirkungsgrade bezeichnet werden. Elektrische Wirkungsgrade von > 34 % werden bei großen modernen BHKWs ebenfalls erreicht, stellen aber gegenwärtig noch die Ausnahme dar.

Die in Tabelle 10 zusammengefassten Energiekennzahlen für die Berechnung der Belüftungsenergie soll Anlagenbetreibern, die sich intensiv mit ihrer Anlage auseinandersetzen, in die Lage versetzen, mithilfe von Bilanzkennzahlen den minimal und maximal erforderlichen Energiebedarf der Belüftung zu errechnen.

**Tabelle 10: Energiekennzahlen für die Berechnung der Belüftungsenergie**

Kohlenstoffatmung (OVC) berechnet	kg/d
OVC/CSB <sub>zu</sub>	-
denitrifizierte Stickstofffracht (DN)	kg/d
Gesamtatmung (OV)	kg/d
erforderliche Belüftungsenergie max	kWh/EW <sub>120/a</sub>
erforderliche Belüftungsenergie min	kWh/EW <sub>120/a</sub>

Der erste Schritt bei dieser Berechnung ist die Ermittlung der Kohlenstoffatmung aus den CSB-Input- und Outputströmen der Kläranlage:

$$OVC[\text{kg}/\text{d}] = CSB_{\text{Zulaufkraft}}[\text{kg}/\text{d}] - CSB_{\text{Ablaufkraft}}[\text{kg}/\text{d}] - CSB_{\text{Faulgas}}[\text{kg}/\text{d}] - CSB_{\text{Schlamm}}[\text{kg}/\text{d}]$$

Während die Berechnung der CSB-Zulauf- und Ablaufkräften bekannt ist, können für die Berechnung des CSB im Faulgas und im Schlamm die beiden folgenden Formeln verwendet werden:

$$CSB_{\text{Faulgas}}[\text{kg}/\text{d}] = \text{Faulgasmenge}[\text{m}^3/\text{d}] * \frac{100 - \text{CO}_2 \text{ Gehalt}[\%]}{100} * 2,86[\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$CSB_{Schlamm}[kg/d] = Schlammfall[m^3/d] * TS_{Schlamm}[kg/m^3] * oTS_{Schlamm}[\%]/100 * 1,42$$

Die Kohlenstoffatmung wird zur Ermittlung des Verhältnisses **OVC/CSBzu** und darüber hinaus für die Berechnung der erforderlichen Belüftungsenergie benötigt. Das Verhältnis OVC/CSBzu gibt an, wie hoch der Anteil des in der Belebung abgebauten CSB am Gesamtzulauf ist. Je nach Anlage werden zwischen 30 und 60 Prozent der zufließenden CSB-Zulauf in der Belebung veratmet. Bei Anlagen mit Faulung liegt das Verhältnis eher bei 0,3, bei Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung bei 0,6.

Zusätzlich zur Kohlenstoffatmung ist zur Berechnung der Gesamtatmung und damit zur Berechnung der Belüftungsenergie die **denitrifizierte Stickstofffracht (DN)** erforderlich. Die denitrifizierte Stickstofffracht kann wie folgt berechnet werden:

$$DN[kg/d] = N_{Fracht-Zulauf} - N_{Fracht-Ablauf} - N_{Fracht-Schlamm}$$

Wie die Stickstofffrachten des Zu- und Ablaufes berechnet werden, kann als bekannt vorausgesetzt werden. Für die Ermittlung der Stickstofffracht im Schlamm muss die TS-Fracht des Schlammes ermittelt werden. Sind Klärschlammgutachten vorhanden, so muss der darin ausgewiesene Stickstoffanteil der Trockensubstanz für die Berechnung der N-Fracht im Schlamm verwendet werden. Sind keine Klärschlammgutachten vorhanden, kann von 2 bis 4 % Stickstoff in der Schlamm Trockensubstanz ausgegangen werden.

Die **Gesamtatmung** setzt sich aus der Kohlenstoffatmung, der denitrifizierten Stickstofffracht und der nitrifizierten, aber nicht denitrifizierten, Stickstoff-Ablauffracht (also  $NO_3-N$  im Ablauf) zusammen und kann mithilfe folgender Formel berechnet werden:

$$OV[kg/d] = OVC[kg/d] + DN[kg/d] * 1,7 + NO_3N_{Ablauf}[kg/d] * 4,56$$

Für die Ermittlung der **erforderlichen Belüftungsenergie** muss letztlich die Gesamtatmung durch den Sauerstofftrag (Op-Wert) dividiert werden. Als Op-Wert bei Druckbelüftung sind Werte zwischen 1,5 und 2,8 kg/kWh, bei Oberflächenbelüftung zwischen 1,3 und 2,2 kg/kWh üblich. Aufgrund von Alterung und steigendem Druckverlust kann man bei älteren Druckbelüftungssystemen mit Op-Werten von maximal 2,2 kg/kWh rechnen.

Um die errechnete maximal und minimal erforderliche Belüftungsenergie mit dem Energieverbrauch für die Belüftung in Tabelle 8 vergleichen zu können, muss die erforderliche Belüftungsenergie ebenfalls in kWh/ $EW_{120}/a$  umgerechnet werden.

$$erf. Belüftungsenergie[kWh/EW_{120}/a] = \frac{OV[kg/d] * 365}{Op[kg/kWh] * Einwohnerwert[EW_{120}]}$$

#### 4.4.2 Thermische Energiekennzahlen

Die in Tabelle 11 zusammengefassten Kennzahlen können aus Tabelle 3 und dem (aus der durchschnittlichen Schmutzfracht errechneten) Einwohnerwert  $EW_{120}$  ermittelt werden. In wenigen Fällen wird überschüssige thermische Energie in ein Fernwärmenetz eingespeist, dann errechnet sich die bereitgestellte thermische Energie aus der insgesamt erzeugten thermischen Energie, abzüglich der ins Fernwärmenetz eingespeisten Energie. Die auf Kläranlagen anfallende und bereitgestellte thermische Energie ist vor allem bei Kläranlagen mit Faulung in der Regel höher als der Verbrauch an Wärmemenge.

**Tabelle 11: Energiekennzahlen für die Berechnung der Belüftungsenergie**

		Normalbereich	
therm. Energie aus Faulgas erzeugt	kWh/EW/a	20	40
sonstige therm. Energie auf ARA erzeugt	kWh/EW/a	-	-
therm. Energie ans EVU geliefert	kWh/EW/a	-	-
<b>therm. Energie bereitgestellt</b>	<b>kWh/EW/a</b>	<b>0</b>	<b>40</b>

Die in Tabelle 12 zusammengefassten Energieverbrauchs-Kennzahlen können mithilfe der Tagesverbrauchswerte der Tabelle 5 und dem Einwohnerwert  $EW_{120}$  ermittelt werden.

Bei Kläranlagen mit Faulung wird Wärme vor allem für die Schlammstabilisierung mittels beheizter Faulung benötigt und gliedert sich in die drei Bereiche: Schlammheizung, Transmissionsverluste sowie Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste. Der angegebene Normalbereich für den Energiebedarf der Schlammheizung liegt zwischen 8 und 12 kWh/ $EW_{120}$ /a und ist vor allem von der spez. Schlammmenge und der Ausgangstemperatur des Schlammes abhängig. Da für die Berechnung des Transmissionsverlustes vor allem die Dämmung des Faulbehälters und die Umgebungstemperatur maßgebend ist, wurde ein vergleichsweise großer Normalbereich von 1 bis 4 kWh/ $EW_{120}$ /a angegeben.

**Tabelle 12: Spez. thermischer Energieverbrauch**

		Normalbereich	
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>kWh/EW/a</b>	<b>0</b>	<b>30</b>
Schlammheizung ( $Q_s$ )	kWh/EW/a	8	12
Transmissionsverluste, Faulbehälterbeheizung ( $Q_T$ )	kWh/EW/a	0	4
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste ( $Q_V$ )	kWh/EW/a	0	2
Wärmemenge für Gebäude ( $Q_{\text{Gebäude}}$ )	kWh/EW/a	0	2
Wärmemenge für Zuluftgeräte ( $Q_{\text{Zuluft}}$ )	kWh/EW/a	0	10

Die Wärmemenge für Gebäude schwankt in Abhängigkeit der Gebäudegröße und der eingesetzten Gebäudeheizung. Anlagen mit elektrischer Heizung weisen keinen thermischen Energieverbrauch auf, dafür wird der elektrische Energieverbrauch der Infrastruktur

entsprechend hoch sein. Die größte Schwankungsbreite ist beim Wärmebedarf von Zuluftgeräten gegeben, weshalb der Normalbereich mit 0 bis 10 kWh/EW<sub>120</sub>/a angegeben wurde.

In Tabelle 13 wurden unter der Tabellenbezeichnung „Sonstige thermische Energiekennzahlen“ die thermischen Wirkungsgrade von BHKWs dargestellt. Da die verwertbare Wärmemenge von BHKWs auf Kläranlagen sehr selten messtechnisch erfasst wird, kann der **thermische Wirkungsgrad des BHKWs** aus dem elektrischen Wirkungsgrad und einem Wärmeverlust von 10 bis 15 % abgeschätzt werden.

**Tabelle 13: Sonstige thermische Energiekennzahlen**

		Normalbereich	
therm. Wirkungsgrad BHKW	%	50	65

## 5 Von der Abweichungsanalyse zur Umsetzungsplanung

Bei der Erstellung eines Energiekonzeptes wird mit der Istwert-Analyse und dem Vergleich mit einem Normalbereich eine fundierte Zahlenbasis geschaffen. Als weiterer Schritt werden anhand einer Abweichungsanalyse Ursachen der Differenz zum Normalbereich eruiert um daraus konkrete mögliche Maßnahmen abzuleiten. Sind mehrere mögliche Maßnahmen zur Verbesserung eruiert worden, so müssen diese gereiht werden. Letztlich werden eine oder mehrere Maßnahmen in konkrete Umsetzungsplanungen überführt. In **Abbildung 4** ist der Ablauf von der Abweichungsanalyse zur Umsetzungsplanung nochmals grafisch dargestellt.

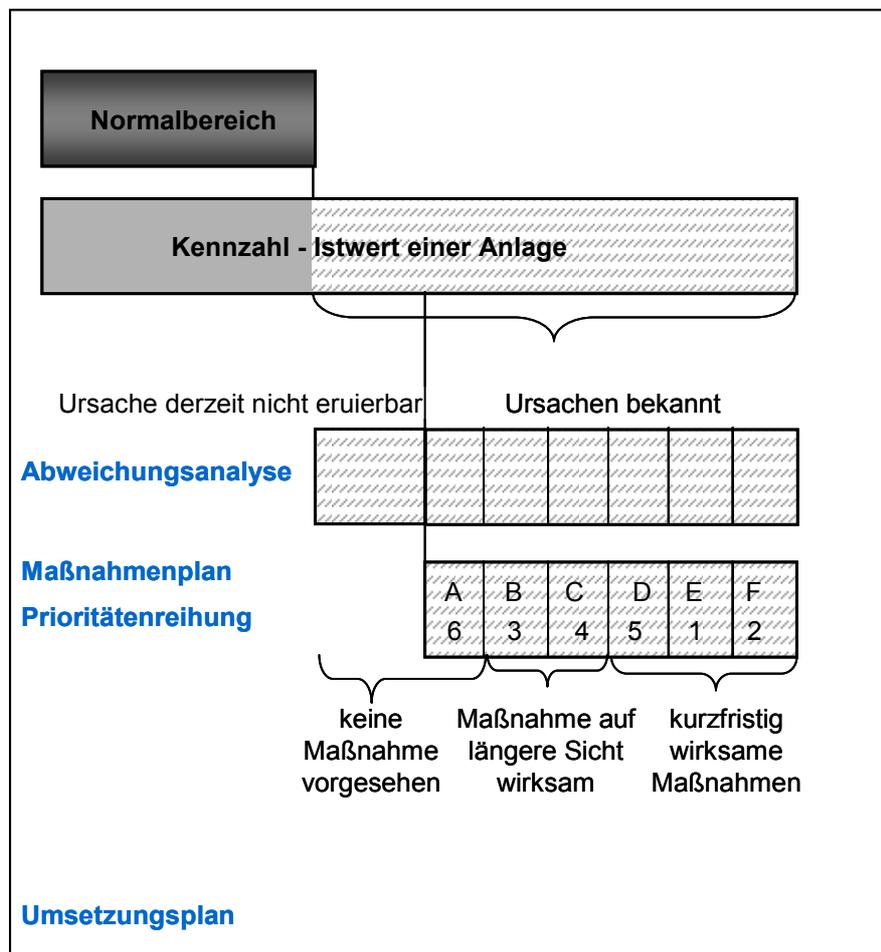


Abbildung 4: Ablauf von der Abweichungsanalyse zur Umsetzungsplanung

## 5.1 Abweichungsanalyse

Der Vergleich von Istwerten mit dem jeweiligen Normalbereich der einzelnen Energiekennzahlen zeigt auf, in welchen Bereichen der Kläranlage Abweichungen gegeben sind. In der Abweichungsanalyse werden die Ursachen dieser Abweichungen eruiert und mögliche Maßnahmen zur Beseitigung der Differenz erarbeitet. Bei der Abweichungsanalyse kann ein Teil der Abweichung nicht eindeutig zuordenbar bzw. eruiert sein.

## 5.2 Maßnahmenplan

Auf Basis der Ursachen können eine oder mehrere Maßnahmen erarbeitet werden, um in den Normalbereich zu gelangen bzw. um sich innerhalb des Normalbereiches zu verbessern. Die Maßnahmen können kurzfristig oder auf lange Sicht wirksam sein. Für nicht eruiertbare Ursachen von Abweichungen können keine Maßnahmen erarbeitet werden.

## 5.3 Prioritätenreihung

Sind mehrere mögliche Maßnahmen zur Verbesserung eruiert worden, so müssen diese gereiht werden. Für die Beurteilung der Maßnahmen und deren Reihung nach Prioritäten müssen die Kosten und der Nutzen der Einzelmaßnahme grob ausgearbeitet werden. Daraus kann ein Kosten-Nutzen-Verhältnis, ausgedrückt in Euro je eingesparter Kilowattstunde, errechnet werden. Grundsätzlich wird die Prioritätenreihung entsprechend dem Kosten-Nutzen-Verhältnis vorgenommen, d.h. jene Maßnahme hat höchste Priorität, welche die niedrigsten Kosten je eingesparter Kilowattstunde aufweist. Diese grundsätzliche Prioritätenreihung kann in begründeten Fällen geändert werden, wenn beispielsweise monetäre, energetische, zeitliche oder organisatorische Gründe dagegen sprechen. Eine Änderung aus energetischen Gründen kann zum Beispiel dann sinnvoll sein, wenn die absolut eingesparte Energie einer Maßnahme mit niedriger Priorität (aufgrund des Kosten-Nutzen-Verhältnisses) deutlich höher ist als bei einer Maßnahme mit höherer Priorität.

## 5.4 Umsetzungsplanung

Am Ende steht die Umsetzungsplanung eines oder mehrerer konkreter Vorhaben inklusive zeitlicher und finanzieller Detailplanung. Basis für die Auswahl der Maßnahmen, welche auch tatsächlich umgesetzt werden, bildet die Maßnahmenplanung und die Prioritätenreihung.

## 6 Literatur

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

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](http://www.lebensministerium.at/publikationen), Wien.

Lindtner, S. (2003): Entwicklung einer Methode für den tchnisch wirtschaftlichen Vergleich von Abwasserreinigungsanalgen als Grundlage einer Kostenoptimierung, Dissertation, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien.

Lindtner, S. (2007): Optimierungspotentiale beim Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen- Erfahrungen aus der Praxis, Kläranlagen Nachbarschaften Folge 15, 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

## ANHANG A:

Muster einer Istwertanalyse und Vergleich mit Normalbereichen  
einer Kläranlage mit mesophiler Schlammfäulung

### 1. Allgemeine Kläranlagenbeschreibung

#### Objektdaten

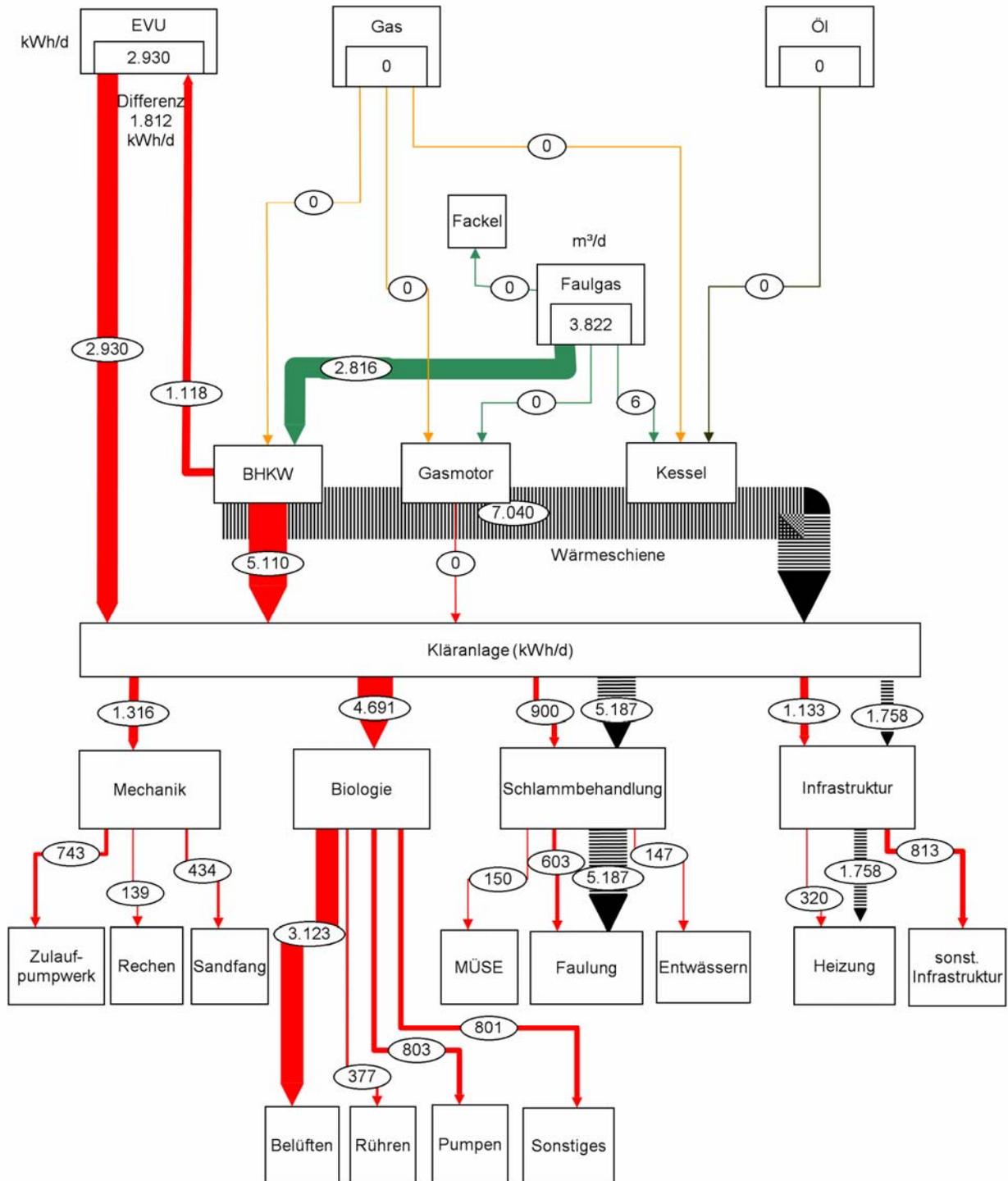
Anlagenname	
Betreiber	Musterwasser
Adresse	Mustermann
Kontaktperson	
Jahr der Inbetriebnahme der letzten Ausbaustufe	1995
Welche Anlagenteile sind vorhanden	V, B+B, F
Ausbaugröße	200.000 EW-Ausbau
Angeschlossene Einwohner	100.000 E
wichtigster Indirekteinleiter (Art)	Brauerei
wichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	10.000 EGW
zweitwichtigster Indirekteinleiter (Art)	Tourismus
zweitwichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	15.000 EGW
drittwichtigster Indirekteinleiter (Art)	Käserei
drittwichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	900 EGW

**Betriebsdaten des Untersuchungsjahres**

(Tagesmittelwerte des Untersuchungsjahres)

Untersuchungsjahr	2007
Abwasseranfall	24.088 m <sup>3</sup> /d
CSB-Zulauffracht	13.833 kg/d
CSB-Fracht Zulauf Biologie	13.833 kg/d
BSB <sub>5</sub> -Zulauffracht	6.865 kg/d
Nges.-Zulauffracht	1.315 kg/d
NH <sub>4</sub> -N-Zulauffracht	kg/d
Pges.-Zulauffracht	219 kg/d
CSB-Ablaufkonzentration	30,7 mg/l
BSB <sub>5</sub> -Ablaufkonzentration	4,9 mg/l
Nges.-Ablaufkonzentration	8,3 mg/l
NH <sub>4</sub> -N-Ablaufkonzentration	2,0 mg/l
NO <sub>3</sub> -N-Ablaufkonzentration	5,0 mg/l
Pges.-Ablaufkonzentration	0,8 mg/l
Belebungsbeckenvolumen gesamt	11.100 m <sup>3</sup>
--> davon belüftet	6.251 m <sup>3</sup>
--> davon gerührt	10456 m <sup>3</sup>
Faulbehältervolumen	5000 m <sup>3</sup>
Faulbehälteroberfläche	1500 m <sup>2</sup>
Rohschlammtemperatur	15 °C
Faulbehältertemperatur	37 °C
Faulgasanfall gesamt	3822 m <sup>3</sup> /d
CO <sub>2</sub> -Gehalt Faulgas	38 %
Faulschlammfall bzw. stabil. Schlammfall	150 m <sup>3</sup> /d
TS-Faulschlamm bzw. stabil. Schlamm	38 kg/m <sup>3</sup>
oTS-Faulschlamm bzw. stabil. Schlamm	52 %

## 2. Energiebilanz



## Energiebereitstellung

Energiequellen	Menge	Energieinhalt	verwertbare elektrische Energie		verwertbare thermische Energie	
<b>Faulgas gesamt</b>	<b>2.822 m³/d</b>	<b>17.494 kWh/d</b>	<b>6.228 kWh/d</b>		<b>7.040 kWh/d</b>	
Faulgas BHKW	2.816 m³/d	17.457 kWh/d	6.228 kWh/d		7.010 kWh/d	
Faulgas Heizung	6 m³/d	37 kWh/d			30 kWh/d	
Faulgas Fackel	m³/d	kWh/d				
<b>Erdgas gesamt</b>	<b>m³/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>0 kWh/d</b>		<b>kWh/d</b>	
Erdgas BHKW	m³/d	kWh/d			kWh/d	
Erdgas Heizung	m³/d	kWh/d			kWh/d	
<b>Flüssiggas gesamt</b>	<b>kg/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>0 kWh/d</b>		<b>kWh/d</b>	
Flüssiggas BHKW	kg/d	kWh/d			kWh/d	
Flüssiggas Heizung	kg/d	kWh/d			kWh/d	
Heizöl	l/d	kWh/d			kWh/d	
andere Energieträger 1	?/d	kWh/d		kWh/d		kWh/d
andere Energieträger 2	?/d	kWh/d		kWh/d		kWh/d
<b>Summe elektrische bzw. thermische Energie auf ARA erzeugt</b>			<b>6.228 kWh/d</b>		<b>7.040 kWh/d</b>	
Elektrische Energie vom EVU zugekauft			2.930 kWh/d			
Energie ans EVU bzw. Fernwärme geliefert			1.118 kWh/d			kWh/d
<b>Energiebereitstellung ARA</b>			<b>8.040 kWh/d</b>		<b>7.040 kWh/d</b>	

## Elektrischer Energieverbrauch

<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>	<b>1.316 kWh/d</b>
1.1 Zulaufpumpwerk	743 kWh/d
1.2 Rechen	139 kWh/d
1.3 Sand- u. Fettfang	434 kWh/d
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>	<b>5.104 kWh/d</b>
2.1 Belüftung	3.123 kWh/d
2.2 Rührwerk	377 kWh/d
2.3 RS-Pumpen	803 kWh/d
2.4 Sonstiges (VKB, NKB,...)	801 kWh/d
<b>3) Schlammbehandlung</b>	<b>1.041 kWh/d</b>
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	228 kWh/d
3.2 Faulung	666 kWh/d
3.3 Schlammmentwässerung	147 kWh/d
<b>4) Infrastruktur</b>	<b>579 kWh/d</b>
4.1 Heizung	150 kWh/d
4.2 sonstige Infrastruktur	429 kWh/d
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>8.040 kWh/d</b>

## Thermische Energieverbrauch

Schlammaufheizung ( $Q_s$ )	3.828 kWh/d
Transmissionsverluste, Faulbehälterbeheizung ( $Q_T$ )	887 kWh/d
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste ( $Q_V$ )	472 kWh/d
Wärmemenge für Gebäude ( $Q_{\text{Gebäude}}$ )	110 kWh/d
Wärmemenge für Zuluftgeräte ( $Q_{\text{Zuluft}}$ )	1.648 kWh/d
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>6.945 kWh/d</b>

## Elektrische Energieverbrauchsmatrix

TEIL A

	installierte Nennleistung lt. Typenschild	Betriebs- stunden	aufgenommene Leistung der Nennleistung geschätzt / gemessen	Verbrauchsschätzung aus Anschlussleistung und Betriebsstunden
	kW	h/d	%	kWh/d
<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>				<b>1189</b>
<b>1.1 Zulaufpumpwerk</b>				<b>743</b>
Zulaufpumpwerk 1	81	9	80%	583
Zulaufpumpwerk 2	50	2	80%	80
Zulaufpumpwerk 3	50	2	80%	80
Zwischenhebwerk 1	-	-	-	-
Zwischenhebwerk 2	-	-	-	-
Zwischenhebwerk 3	-	-	-	-
<b>1.2 Rechen</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>80%</b>	<b>154</b>
Rechen und -gutwäscher	-	-	-	-
Rechengutförderung	-	-	-	-
<b>1.3 Sand- und Fettfang</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>292</b>
Sandfangräumer	4	5	80%	16
Sandwäscher/-klassierer	3	10	80%	24
Sandfangbelüftung	10	24	80%	192
Sandfangpumpe	5	8	80%	32
Fettpumpe	5	7	80%	28
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>				<b>5081</b>
<b>2.1 Belüften</b>				<b>3224</b>
Luftverdichter 1	120	24	80%	2304
Luftverdichter 2	100	9	80%	720
Luftverdichter 3	50	5	80%	200
<b>2.2 Rühren</b>				<b>392</b>
Rührwerk 1	20	7	70%	98
Rührwerk 2	20	7	70%	98
Rührwerk 3	20	7	70%	98
Rührwerk 4	20	7	70%	98
<b>2.3 RS-Pumpen</b>				<b>960</b>
Rücklaufschlammpumpe 1	50	24	40%	480
Rücklaufschlammpumpe 2	50	24	40%	480
<b>2.4 Sonstiges</b>				<b>505</b>
Vorklärbeckenräumer	5,5	24	80%	106
Primärschlammpumpe	12	5	50%	30
Rezirkulationspumpe 1	10	24	80%	192
Rezirkulationspumpe 2	-	-	-	-
Überschussschlammpumpe 1	6	24	50%	72
Überschussschlammpumpe 2	-	-	-	-
Nachklärbeckenräumer	5,5	24	80%	106
<b>3) Schlammbehandlung</b>				<b>676</b>
<b>3.1 MÜSE und stat. Eindicker</b>				<b>144</b>
MÜSE inkl. Pumpen	6	10	80%	48
Eindickerpumpen; Krählerwerke	10	12	80%	96
<b>3.2 Faulung</b>				<b>388</b>
Beschickerpumpe 1	11	24	50%	132
Beschickerpumpe 2	-	-	-	-
Mazerator	5	24	50%	60
Umwälzung	20	8	70%	112
Wärmetauscherpumpen	5	24	70%	84
<b>3.3 Schlammmentwässerung</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>80%</b>	<b>144</b>
<b>4) Infrastruktur</b>				<b>1044</b>
<b>4.1 Heizung</b>	<b>100</b>	<b>3</b>	<b>100%</b>	<b>300</b>
<b>4.1 sonstige Infrastruktur</b>				<b>744</b>
Frischwasserpumpen	15	24	20%	72
Be- und Entlüftung	25	24	80%	480
Sonstiges	10	24	80%	192

## TEIL B

	Förder- höhe	Förder- menge	Wirkungsgrad angenommen	Verbrauchsschätzung aus Wassermenge u. Förderhöhe	el. Verbrauch gemessen
	m	m³/d	%	kWh/d	kWh/d
<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>					<b>1316</b>
<b>1.1 Zulaufpumpwerk</b>	5,0	24.088	50%	<b>656</b>	<b>743</b>
Zulaufpumpwerk 1					-
Zulaufpumpwerk 2					-
Zulaufpumpwerk 3					-
Zwischenhebwerk 1	-	-	-	-	-
Zwischenhebwerk 2	-	-	-	-	-
Zwischenhebwerk 3	-	-	-	-	-
<b>1.2 Rechen</b>					<b>239</b>
Rechen und -gutwäscher					-
Rechengutförderung					-
<b>1.3 Sand- und Fettfang</b>					<b>334</b>
Sandfangräumer					19
Sandwäscher/-klassierer					25
Sandfangbelüftung					225
Sandfangpumpe					35
Fettpumpe					30
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>					<b>4691</b>
<b>2.1 Belüften</b>					<b>3123</b>
Luftverdichter 1					
Luftverdichter 2					
Luftverdichter 3					
<b>2.2 Rühren</b>					<b>377</b>
Rührwerk 1					
Rührwerk 2					
Rührwerk 3					
Rührwerk 4					
<b>2.3 RS-Pumpen</b>				<b>817</b>	<b>803</b>
Rücklaufschlammpumpe 1	4,0	25.000	50%	545	
Rücklaufschlammpumpe 2	2,0	25.000	50%	272	
<b>2.4 Sonstiges</b>					<b>388</b>
Vorklärbeckenräumer					-
Primärschlammpumpe	4,5	925	40%	28	35
Rezirkulationspumpe 1	0,5	50.000	50%	136	150
Rezirkulationspumpe 2	-	-	-	-	-
Überschussschlammpumpe 1	15,0	900	50%	74	<b>89</b>
Überschussschlammpumpe 2	-	-	-	-	-
Nachklärbeckenräumer					114
<b>3) Schlammbehandlung</b>					<b>900</b>
<b>3.1 MÜSE und stat. Eindicker</b>					<b>150</b>
MÜSE inkl. Pumpen					50
Eindickerpumpen; Krählwerke					100
<b>3.2 Faulung</b>					<b>603</b>
Beschickerpumpe 1	50	150	30%	68	123
Beschickerpumpe 2	-	-	-	-	-
Mazerator					60
Umwälzung					305
Wärmetauscherpumpen					115
<b>3.3 Schlammwässerung</b>					<b>147</b>
<b>4) Infrastruktur</b>					<b>1133</b>
<b>4.1 Heizung</b>					<b>320</b>
<b>4.1 sonstige Infrastruktur</b>					<b>813</b>
Frischwasserpumpen	20	200	30%	36	80
Be- und Entlüftung					554
Sonstiges					179

### 3. Anlagenkennzahlen

EW <sub>120</sub>	115.275 E		
EW <sub>60</sub>	114.417 E		
EW <sub>Nges11</sub>	119.545 E		
EW <sub>Pges1,7</sub>	128.824 E		
EW-Faulschlamm-oTS22 (EW <sub>oTS22</sub> )	134.727 E		<b>Normalbereich</b>
N/CSB	0,10 -	<b>0,07</b>	<b>0,1</b>
BSB/CSB	0,50 -	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
spez-TS-Fracht stabilisierter Schlamm	49 g TS/EW <sub>120</sub> /d	<b>35</b>	<b>50</b>
spez-oTS-Fracht Faulschlamm	26 g oTS/EW <sub>120</sub> /d	<b>20</b>	<b>30</b>
spez. Faulgasanfall je EW <sub>120</sub>	24 l/EW <sub>120</sub> /d	<b>15</b>	<b>22</b>
spez. Faulgasanfall je EW <sub>oTS22</sub>	21 l/EW <sub>oTS22</sub> /d	<b>15</b>	<b>22</b>
spez-TS-Fracht aerob stabil. Schlamm	- g TS/EW <sub>120</sub> /d	<b>40</b>	<b>60</b>
spez-oTS-Fracht aerob stabil. Schlamm	- g oTS/EW <sub>120</sub> /d	<b>25</b>	<b>35</b>
TS-Schlamm entwässert	30 %	<b>25</b>	<b>35</b>

## 4. Elektrische Energiekennzahlen

<b>Spez. elektrische Energiebereitstellung</b>			<b>Normalbereich</b>	
el. Energie aus Faulgas erzeugt	19,7	kWh/EW <sub>120/a</sub>	10	20
sonstige el. Energie auf ARA erzeugt	0,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	-	-
el. Energie zugekauft	9,3	kWh/EW <sub>120/a</sub>	10	50
el. Energie ans EVU geliefert	3,5	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0	20
<b>el. Energie bereitgestellt</b>	<b>25,5</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>20</b>	<b>50</b>

<b>spez. elektrischer Energieverbrauch</b>			<b>Normalbereich</b>	
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>25,5</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>20</b>	<b>50</b>
<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>	<b>4,2</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>2,5</b>	<b>5,5</b>
1.1 Zulaufpumpwerk	2,4	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1,5	3,5
1.2 Rechen	0,8	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
1.3 Sand- u. Fettfang	1,1	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>	<b>14,9</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>14,5</b>	<b>33</b>
2.1 Belüftung	9,9	kWh/EW <sub>120/a</sub>	11,5	22
2.2 Rührwerk	1,2	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1,5	4,5
2.3 RS-Pumpen	2,5	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	4,5
2.4 Sonstiges (VKB, NKB,...)	1,2	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	2
<b>3) Schlammbehandlung</b>	<b>2,8</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>2</b>	<b>7</b>
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	0,5	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
3.2 Faulung	1,9	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	2,5
3.3 Schlammentwässerung	0,5	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	3,5
<b>4) Infrastruktur</b>	<b>3,6</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>1</b>	<b>4,5</b>
4.1 Heizung	1,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0	2,5
4.2 sonstige Infrastruktur	2,6	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	2

<b>sonstige elektrische Energiekennzahlen</b>			<b>Normalbereich</b>	
Eigenstromabdeckung	77 %		0	100
WG-Zulaufpumpen	44 %		30	70
spez. Rührenergie	1,5	W/m <sup>3</sup>	1	2,5
belastungsspez. Energieverbrauch von Belüften+Rühren	0,25	kWh/kg <sub>CSB</sub> Biologie zu	0,3	0,6
elektrischer Wirkungsgrad BHKW	36 %		24	38

### Energiekennzahlen für Belüftungsenergie

Kohlenstoffatmung (OVC) berechnet	2431	kg/d
OVC/CSBzu	0,18	-
denitrifizierte Stickstofffracht (DN)	944	kg/d
Gesamtatmung (OV)	4579	kg/d
erforderliche Belüftungsenergie max	10	kWh/EW <sub>120/a</sub>
erforderliche Belüftungsenergie min	5	kWh/EW <sub>120/a</sub>

## 5. Thermische Energiekennzahlen

<b>spez. thermische Energiebereitstellung</b>			<b>Normalbereich</b>	
therm. Energie aus Faulgas erzeugt	22,3	kWh/EW/a	<b>20</b>	<b>40</b>
sonstige therm. Energie auf ARA erzeugt	0,0	kWh/EW/a	-	-
therm. Energie ans EVU geliefert	0,0	kWh/EW/a	-	-
<b>therm. Energie bereitgestellt</b>	<b>22,3</b>	<b>kWh/EW/a</b>	<b>0</b>	<b>40</b>

<b>spez. thermischer Energieverbrauch (=Wärmeverbrauch)</b>			<b>Normalbereich</b>	
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>22,0</b>	<b>kWh/EW/a</b>	<b>0</b>	<b>30</b>
Schlamm-aufheizung (Q <sub>s</sub> )	12,1	kWh/EW/a	<b>8</b>	<b>12</b>
Transmissionsverluste, Faulbehälterbeheizung (Q <sub>T</sub> )	2,8	kWh/EW/a	<b>0</b>	<b>4</b>
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste (Q <sub>V</sub> )	1,5	kWh/EW/a	<b>0</b>	<b>2</b>
Wärmemenge für Gebäude (Q <sub>Gebäude</sub> )	0,3	kWh/EW/a	<b>0</b>	<b>2</b>
Wärmemenge für Zuluftgeräte (Q <sub>Zuluft</sub> )	5,2	kWh/EW/a	<b>0</b>	<b>10</b>

<b>sonstige thermische Energiekennzahlen</b>			<b>Normalbereich</b>	
therm. Wirkungsgrad BHKW	40 %		<b>50</b>	<b>65</b>

## ANHANG B:

Muster einer Istwertanalyse und Vergleich mit Normalbereichen  
einer Kläranlage mit simultaner aerober Stabilisierung

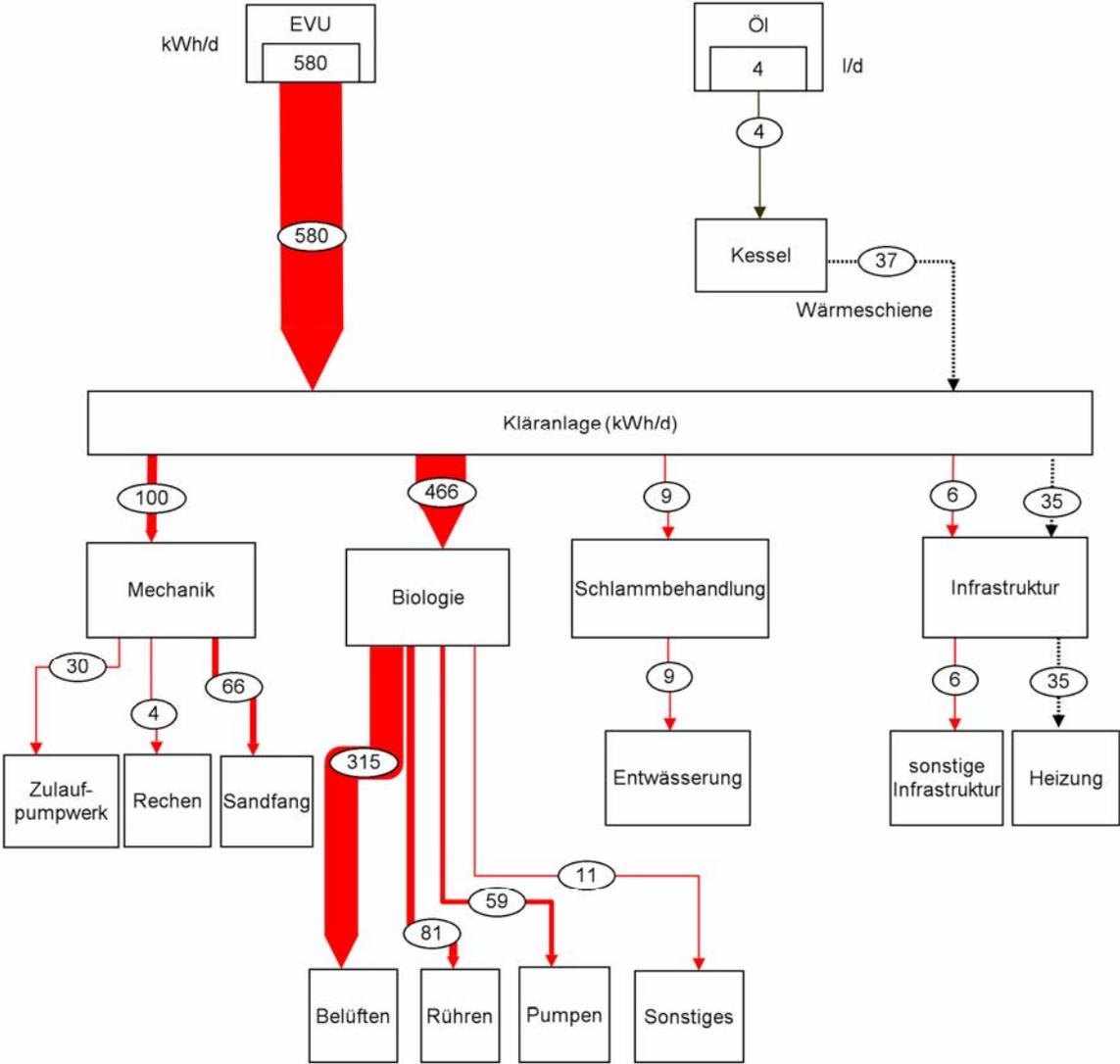
### 1. Allgemeine Kläranlagenbeschreibung

#### Objektdaten

Anlagenname	
Betreiber	Musterwasser B
Adresse	Mustermann B
Kontaktperson	
Jahr der Inbetriebnahme der letzten Ausbaustufe	1994
Welche Anlagenteile sind vorhanden	B
Ausbaugröße	10.000 EW-Ausbau
Angeschlossene Einwohner	4.250 E
wichtigster Indirekteinleiter (Art)	Fleischerei
wichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	135 EGW
zweitwichtigster Indirekteinleiter (Art)	KFZ-Betrieb
zweitwichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	60 EGW
drittwichtigster Indirekteinleiter (Art)	KFZ-Betrieb
drittwichtigster Indirekteinleiter (Einwohnergleichwert)	45 EGW

Untersuchungsjahr	2007
Abwasseranfall	1.411 m <sup>3</sup> /d
CSB-Zulauffracht	752 kg/d
CSB-Fracht Zulauf Biologie	752 kg/d
BSB <sub>5</sub> -Zulauffracht	351 kg/d
Nges.-Zulauffracht	57 kg/d
NH <sub>4</sub> -N-Zulauffracht	34 kg/d
Pges.-Zulauffracht	10 kg/d
CSB-Ablaufkonzentration	11,8 mg/l
BSB <sub>5</sub> -Ablaufkonzentration	2,3 mg/l
Nges.-Ablaufkonzentration	4,0 mg/l
NH <sub>4</sub> -N-Ablaufkonzentration	0,3 mg/l
NO <sub>3</sub> -N-Ablaufkonzentration	2,7 mg/l
Pges.-Ablaufkonzentration	0,7 mg/l
Belebungsbeckenvolumen gesamt	3.564 m <sup>3</sup>
--> davon belüftet	435 m <sup>3</sup>
--> davon gerührt	3564 m <sup>3</sup>
Faulbehältervolumen	m <sup>3</sup>
Faulbehälteroberfläche	m <sup>2</sup>
Rohschlammtemperatur	°C
Faulbehältertemperatur	°C
Faulgasanfall gesamt	m <sup>3</sup> /d
CO <sub>2</sub> -Gehalt Faulgas	%
Faulschlammfall bzw. stabil. Schlammfall	26 m <sup>3</sup> /d
TS-Faulschlamm bzw. stabil. Schlamm	8 kg/m <sup>3</sup>
oTS-Faulschlamm bzw. stabil. Schlamm	%

# 2. Energiebilanz



## Energiebereitstellung

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	m <sup>3</sup> /d	kWh/d	kWh/d	kWh/d
Faulgas Heizung	m <sup>3</sup> /d	kWh/d		kWh/d
Faulgas Fackel	m <sup>3</sup> /d	kWh/d		
<b>Erdgas gesamt</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>0 kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>
Erdgas BHKW	m <sup>3</sup> /d	kWh/d	kWh/d	kWh/d
Erdgas Heizung	m <sup>3</sup> /d	kWh/d		kWh/d
<b>Flüssiggas gesamt</b>	<b>kg/d</b>	<b>kWh/d</b>	<b>0 kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>
Flüssiggas BHKW	kg/d	kWh/d	kWh/d	kWh/d
Flüssiggas Heizung	kg/d	kWh/d		kWh/d
Heizöl	4,11 l/d	kWh/d		37 kWh/d
andere Energieträger 1	?/d	kWh/d	kWh/d	kWh/d
andere Energieträger 2	?/d	kWh/d	kWh/d	kWh/d
<b>Summe elektrische bzw. thermische Energie auf ARA erzeugt</b>			<b>0 kWh/d</b>	<b>kWh/d</b>
Elektrische Energie vom EVU zugekauft			580 kWh/d	
Energie ans EVU bzw. Fernwärme geliefert			0 kWh/d	kWh/d
<b>Energiebereitstellung ARA</b>			<b>580 kWh/d</b>	<b>37 kWh/d</b>

## Elektrischer Energieverbrauch

<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>	<b>100 kWh/d</b>
1.1 Zulaufpumpwerk	30 kWh/d
1.2 Rechen	4 kWh/d
1.3 Sand- u. Fettfang	66 kWh/d
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>	<b>466 kWh/d</b>
2.1 Belüftung	315 kWh/d
2.2 Rührwerk	81 kWh/d
2.3 RS-Pumpen	59 kWh/d
2.4 Sonstiges (VKB, NKB,...)	11 kWh/d
<b>3) Schlammbehandlung</b>	<b>9 kWh/d</b>
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	0 kWh/d
3.2 Faulung	0 kWh/d
3.3 Schlammwässerung	9 kWh/d
<b>4) Infrastruktur</b>	<b>6 kWh/d</b>
4.1 Heizung	0 kWh/d
4.2 sonstige Infrastruktur	6 kWh/d
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>580 kWh/d</b>

## Thermische Energieverbrauch

Schlammaufheizung ( $Q_s$ )	0 kWh/d
Transmissionsverluste, Faulbehälterbeheizung ( $Q_T$ )	0 kWh/d
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste ( $Q_V$ )	0 kWh/d
Wärmemenge für Gebäude ( $Q_{\text{Gebäude}}$ )	35 kWh/d
Wärmemenge für Zuluftgeräte ( $Q_{\text{Zuluft}}$ )	0 kWh/d
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>35 kWh/d</b>

## Elektrische Energieverbrauchsmatrix

	Verbrauchsschätzung aus Anschlussleistung und Betriebsstunden			
	installierte Nennleistung lt. Typenschild	Betriebs- stunden	aufgenommene Leistung der Nennleistung geschätzt / gemessen	Verbrauchsschätzung aus Anschlussleistung und Betriebsstunden
	kW	h/d	%	kWh/d
<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>				<b>99,6</b>
<b>1.1 Zulaufpumpwerk</b>				<b>29,7</b>
Zulaufpumpwerk 1	4	8,8	85%	29,7
Zulaufpumpwerk 2	4	0	85%	0,0
<b>1.2 Rechen</b>				<b>4,1</b>
Siebrechen	1,50	0,9	85%	1,2
Sandfangräumer	0,25	4,8	85%	1,0
Rechengutpresse	2,50	0,9	85%	2,0
<b>1.3 Sand- und Fettfang</b>				<b>65,7</b>
Sandabscheider	0,75	2,7	85%	1,7
Hubmotor Sandräumer	0,48	0,0	85%	0,0
Sandfangbelüftung	3,00	23,7	85%	60,1
Sandfangpumpe	2,00	2,3	85%	3,9
Fettpumpe	2,00	0,0	85%	0,0
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>				<b>465,7</b>
<b>2.1 Belüften</b>				<b>314,6</b>
Luftverdichter 1	25,0	8,7	85%	183,3
Luftverdichter 2	25,0	6,2	85%	131,3
Luftverdichter 3	25,0	0,0	85%	0,0
<b>2.2 Rühren</b>				<b>81,1</b>
Rührwerk 1	2,0	24,0	85%	40,6
Rührwerk 2	2,0	0,0	85%	0,0
Rührwerk 3	2,0	24,0	85%	40,6
Rührwerk 4	2,0	0,0	85%	0,0
<b>2.3 RS-Pumpen</b>				<b>59,2</b>
Rücklaufschlammpumpe	4,0	17,5	85%	59,2
<b>2.4 Sonstiges</b>				<b>10,8</b>
Nachklärbeckenräumer	0,4	24,0	85%	8,8
Überschussschlammpumpe	2,0	0,9	85%	1,5
Fällmitteldosierung	0,1	6,4	85%	0,5
<b>3) Schlammbehandlung</b>				<b>8,8</b>
<b>3.3 Schlammwässerung</b>				<b>8,8</b>
Dekanter	15,0	0,7	85%	8,8
Trübwasserpumpe	2,0	0,0	85%	0,0
<b>4) Infrastruktur</b>				<b>5,5</b>
<b>4.1 Heizung</b>				<b>0,0</b>
<b>4.1 sonstige Infrastruktur</b>				<b>5,5</b>
Frischwasserpumpen	5,5	1,19	85%	5,5
Fäkalübernahme	1,8	0	85%	0,0
<b>Kläranlage</b>				<b>579,6</b>

	Verbrauchsschätzung aus Fördermenge und Förderhöhe			
	Förder- höhe	Förder- menge	Wirkungsgrad angenommen	Verbrauchsschätzung aus Wassermenge u. Förderhöhe
	m	m³/d	%	kWh/d
<b>1.1 Zulaufpumpwerk</b>	4,5	1.411	50%	<b>34,6</b>
<b>2.3 Rücklaufschlammpumpe</b>	4,5	2.822	50%	<b>69,2</b>

### 3. Anlagenkennzahlen

EW <sub>120</sub>	6.267 E		
EW <sub>60</sub>	5.850 E		
EW <sub>Nges11</sub>	5.193 E		
EW <sub>NH4N6,5</sub>	6.071 E		
EW <sub>Pges1,7</sub>	5.882 E		
EW-Faulschlamm-oTS22 (EW <sub>oTS22</sub> )	- E	<b>Normalbereich</b>	
N/CSB	0,08 -	<b>0,07</b>	<b>0,1</b>
BSB/CSB	0,47 -	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
spez-TS-Fracht stabilisierter Schlamm	33 g TS/EW <sub>120</sub> /d	<b>35</b>	<b>50</b>
spez-oTS-Fracht Faulschlamm	- g oTS/EW <sub>120</sub> /d	<b>20</b>	<b>30</b>
spez. Faulgasanfall je EW <sub>120</sub>	- l/EW <sub>120</sub> /d	<b>15</b>	<b>22</b>
spez. Faulgasanfall je EW <sub>oTS22</sub>	- l/EW <sub>oTS22</sub> /d	<b>15</b>	<b>22</b>
spez-TS-Fracht aerob stabil. Schlamm	- g TS/EW <sub>120</sub> /d	<b>40</b>	<b>60</b>
spez-oTS-Fracht aerob stabil. Schlamm	- g oTS/EW <sub>120</sub> /d	<b>25</b>	<b>35</b>
TS-Schlamm entwässert	30 %	<b>25</b>	<b>35</b>

## 4. Elektrische Energiekennzahlen

<b>spez. elektrische Energiebereitstellung</b>			<b>Normalbereich</b>	
El. Energie aus Faulgas erzeugt	0,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	10	20
sonstige el. Energie auf ARA erzeugt	0,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	-	-
El. Energie zugekauft	33,8	kWh/EW <sub>120/a</sub>	10	50
El. Energie ans EVU geliefert	0,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0	20
<b>El. Energie bereitgestellt</b>	<b>33,8</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>20</b>	<b>50</b>

<b>spez. elektrischer Energieverbrauch</b>			<b>Normalbereich</b>	
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>33,8</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>20</b>	<b>50</b>
<b>1) Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>	<b>5,8</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>2,5</b>	<b>5,5</b>
1.1 Zulaufpumpwerk	1,7	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1,5	3,5
1.2 Rechen	0,2	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
1.3 Sand- u. Fettfang	3,8	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
<b>2) Mechanisch-biologische Abwasserreinigung</b>	<b>27,1</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>14,5</b>	<b>33</b>
2.1 Belüftung	18,3	kWh/EW <sub>120/a</sub>	11,5	22
2.2 Rührwerk	4,7	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1,5	4,5
2.3 RS-Pumpen	3,4	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	4,5
2.4 Sonstiges (VKB, NKB,...)	0,6	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	2
<b>3) Schlammbehandlung</b>	<b>0,5</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>2</b>	<b>7</b>
3.1 MÜSE und stat. Eindicker	0,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	1
3.2 Faulung	0,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	2,5
3.3 Schlammentwässerung	0,5	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0,5	3,5
<b>4) Infrastruktur</b>	<b>0,3</b>	<b>kWh/EW<sub>120/a</sub></b>	<b>1</b>	<b>4,5</b>
4.1 Heizung	0,0	kWh/EW <sub>120/a</sub>	0	2,5
4.2 sonstige Infrastruktur	0,3	kWh/EW <sub>120/a</sub>	1	2

<b>sonstige elektrische Energiekennzahlen</b>			<b>Normalbereich</b>	
Eigenstromabdeckung	0 %		0	100
WG-Zulaufpumpen	58 %		30	70
spez. Rührenergie	0,9	W/m <sup>3</sup>	1	2,5
belastungsspez. Energieverbrauch von Belüften+Rühren	0,53	kWh/kg <sub>CSB</sub> Biologie zu	0,3	0,6
elektrischer Wirkungsgrad BHKW	%		24	38

### Energiekennzahlen für Belüftungsenergie

Kohlenstoffatmung (OVC) berechnet	440	kg/d
OVC/CSBzu	0,59	-
denitrifizierte Stickstofffracht (DN)	45	kg/d
Gesamtatmung (OV)	534	kg/d
erforderliche Belüftungsenergie max	21	kWh/EW <sub>120/a</sub>
erforderliche Belüftungsenergie min	11	kWh/EW <sub>120/a</sub>

## 5. Thermische Energiekennzahlen

<b>spez. thermische Energiebereitstellung</b>			<b>Normalbereich</b>	
therm. Energie aus Faulgas erzeugt	0,0	kWh/EW/a	20	40
sonstige therm. Energie auf ARA erzeugt	2,2	kWh/EW/a	-	-
therm. Energie ans EVU geliefert	0,0	kWh/EW/a	-	-
<b>therm. Energie bereitgestellt</b>	<b>2,2</b>	<b>kWh/EW/a</b>	<b>0</b>	<b>40</b>

<b>spez. thermischer Energieverbrauch (=Wärmeverbrauch)</b>			<b>Normalbereich</b>	
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>2,0</b>	<b>kWh/EW/a</b>	<b>0</b>	<b>30</b>
Schlammheizung (Q <sub>s</sub> )	0,0	kWh/EW/a	8	12
Transmissionsverluste, Faulbehälterheizung (Q <sub>T</sub> )	0,0	kWh/EW/a	0	4
Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste (Q <sub>V</sub> )	0,0	kWh/EW/a	0	2
Wärmemenge für Gebäude (Q <sub>Gebäude</sub> )	2,0	kWh/EW/a	0	2
Wärmemenge für Zuluftgeräte (Q <sub>Zuluft</sub> )	0,0	kWh/EW/a	0	10

<b>sonstige thermische Energiekennzahlen</b>			<b>Normalbereich</b>	
therm. Wirkungsgrad BHKW		%	50	65



[lebensministerium.at](http://lebensministerium.at)