

# Verbandskläranlage Biberach

## Energieanalysebericht

### Potentielle Optimierungsstellen des Stromverbrauches

Johannes Müller, Student der Verfahrenstechnik Offenburg

Praxissemester von August 2014 bis Januar 2015, auf der Verbandskläranlage

Biberach/Baden

## Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	1
2. Vorstellung Kläranlage .....	1
3. Verfahrens- und Prozessbeschreibung.....	3
3.1 Zulaufpumpwerk .....	4
3.2 Rechenanlage.....	4
3.3 Sand- und Fettfang .....	4
3.4 Vorklärbecken .....	4
3.5 Anaerobbecken.....	4
3.6 Denitrifikationsbecken .....	5
3.7 Nitrifikationsbecken.....	5
3.8 Nachklärbecken .....	5
3.9 Phosphatfällung .....	5
3.10 Schlammbehandlung .....	6
3.11 Schlamm entwässerung.....	6
3.12 Blockheizkraftwerke .....	6
3.13 Sonstige Einrichtungen .....	7
4. Energiecheck.....	8
4.1 Spezifischer Gesamtstromverbrauch .....	9
4.2 Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung .....	10
4.3 Spezifischer Faulgasanfall je angeschlossenen EW .....	11
4.4 Spezifischer Faulgasanfall je zugeführte oTR-Fracht .....	12
4.5 Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität .....	13
4.6 Eigenversorgungsgrad Elektrizität.....	14
4.7 Spezifischer externer Wärmebezug .....	15
4.8 Spezifischer Stromverbrauch Pumpwerk.....	16
4.9 Energiecheck zeitlicher Verlauf von 2009 bis 2013 .....	17
5. Energieanalyse.....	20
5.1 Faulgaserzeugung .....	21
5.2 Stromerzeugung .....	22
5.3 Wärmeerzeugung .....	23
6. Maßnahmen zur Energieoptimierung.....	23
6.1 Zulaufpumpwerk .....	24
6.2 Rechenanlage.....	25

6.3 Sand- und Fettfang .....	26
6.4 Vorklärbecken .....	26
6.5 Anaerobbecken.....	26
6.6 Denitrifikationsbecken .....	27
6.7 Nitrifikationsbecken.....	28
6.8 Nachklärbecken .....	28
6.9 Phosphatfällung .....	28
6.10 Schlammbehandlung .....	29
6.11 Schlammentwässerung.....	29
6.12 Blockheizkraftwerke .....	31
6.13 Sonstige Einrichtungen .....	32
6.14 Sonstige Einsparmöglichkeiten .....	33
6.15 Zusammenfassung der Maßnahmen.....	33
6.16. Anlagenspezifische Idealwerte .....	35
7. Fazit .....	37
8. Schlussbemerkung .....	37
9. Literaturverzeichnis .....	38

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datenübersicht Kläranlage Biberach (eigene Darstellung) .....	2
Tabelle 2: Kenndaten des Energiechecks der Kläranlage Biberach (eigene Darstellung) .....	8
Tabelle 3: Kennwerte Energiecheck 2009 bis 2013 (eigene Darstellung) .....	17
Tabelle 4: Stromerzeugung BHKW 2013 (eigene Darstellung) .....	22
Tabelle 5: Anlagenspezifische Idealwerte (eigene Darstellung) .....	36

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verfahrensschema der Kläranlage Biberach (modifiziert, entnommen aus [7] Abb. 1) .....	3
Abbildung 2: Spezifischer Gesamtstromverbrauch von Kläranlagen nach Größenklassen (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 1) .....	9
Abbildung 3: Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 2).....	10
Abbildung 4: Spezifischer Faulgasanfall je angeschlossenen EW (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 3).....	11
Abbildung 5: Spezifischer Faulgasanfall je zugeführte oTR-Fracht (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 4).....	12
Abbildung 6: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 5).....	13
Abbildung 7: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 6) .....	14
Abbildung 8: Spezifischer externer Wärmebezug (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 7) .....	15
Abbildung 9: Spezifischer Stromverbrauch Pumpwerk (modifiziert, entnommen aus DWA A-216 [1], Bild 8) .....	16
Abbildung 10: Energiecheck zeitlicher Verlauf (1) 2009 bis 2013 (eigene Darstellung).....	18
Abbildung 11: Energiecheck zeitlicher Verlauf (2) 2009 bis 2013 (eigene Darstellung).....	19
Abbildung 12: Aufteilung des Stromverbrauches (eigene Darstellung) .....	20
Abbildung 13: Beschickungsmengen zur Faulgaserzeugung 2013 in Tonnen oTS (eigene Darstellung).....	21

## Anhang:

Verbrauchermatrix

## 1. Vorwort

In diesem Bericht wird die Verbandskläranlage Biberach, mithilfe des Arbeitsblattes A-216 der deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), auf ihren Stromverbrauch und damit verbundene Parameter untersucht. Der Bericht ist von September 2014 bis Januar 2015 erstellt worden, als Datengrundlage dient das Betriebsjahr 2013. Es werden Möglichkeiten den Strombedarf zu senken innerhalb einer Anlagenkomponente beschrieben und erläutert. Auch bereits durchgeführte Prozessoptimierungen oder Sanierungen, durch welcher der Strombedarf verringert worden ist, werden erfasst. Dabei darf die wichtigste Aufgabe einer Kläranlage, nämlich die Abwasserreinigung, nicht vernachlässigt werden. Die Ziele sind, energetische Schwachpunkte aufzudecken und den Energieverbrauch zu reduzieren, ohne dabei Einbußen in der Wasserqualität hinnehmen zu müssen. Es besteht kein dringender Handlungsbedarf zur Sanierung oder Erneuerung der Anlagenteile. Dieser Bericht wird zur Selbstkontrolle erstellt, um den Strombedarf der Anlage zu überwachen und kritisch zu bewerten.

## 2. Vorstellung Kläranlage

Die Verbandskläranlage Biberach wird vom Abwasserzweckverband Kinzig- und Hamersbachtal (AZV) betrieben. Dem AZV gehören die Gemeinden Biberach/Baden, Haslach, Zell am Hamersbach, Fischerbach, Hofstetten, Mühlenbach, Nordrach, Oberhamersbach und Steinach an.

Die Verbandskläranlage ist eine mechanisch biologische Kläranlage mit anaerober Schlammstabilisierung zur Reinigung des häuslichen und gewerblichen Abwassers aus dem gesamten Verbandsgebiet. Die Anlage ist ausgelegt das Abwasser von 46100 Einwohnern zu reinigen.

Die Entwässerung erfolgt zwar auch im Mischsystem aber größtenteils wird das Trennsystem, bei dem das Abwasser von Regenwasser getrennt abgeführt wird, eingesetzt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu wichtigen Anlagenkenndaten der letzten drei Jahre. Enthalten sind Daten zu den Einwohnerwerten bezogen auf den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB), welcher für die Berechnung einiger Kennwerte des Energiechecks erforderlich ist, den gesamt Stickstoff (GesN) und das gesamt Phosphat (Pges). Des Weiteren sind die Zulauffrachten von CSB, Phosphat, Ammonium und dem gesamt Stickstoff dargestellt. Die Konzentrationen für die Frachten im Ablauf der Anlage werden amtlich mit Stichproben

überwacht. Dabei darf die CSB- Konzentration im Ablauf einen Wert von 48 mg/l nicht überschreiten. Der Grenzwert des gesamt Phosphor im Ablauf beträgt 2,0 mg/l.

Für den anorganischen Stickstoff liegt dieser Wert bei 18 mg/l. Der Ammonium- Grenzwert liegt bei 10 mg/l. Die Kläranlage Biberach kann auch im Jahr 2013 die gesetzlichen Vorgaben sicher einhalten. Die Reinigungsleistung setzt die Konzentration des Zulaufs zu der des Ablaufs, um Kläranlagen unabhängig von Zulauffrachten vergleichen zu können. Die EU hat für die Reinigungsleistung Richtlinien erstellt. So muss 75 % des CSB aus dem Abwasser entfernt werden. Für den Gesamtphosphor liegt dieser Wert bei 80 %. Die Anforderung für den Umsatz des Gesamtstickstoffs liegt bei 70 %. Die Kläranlage Biberach übersteigt die Vorgaben und erfüllt somit die Richtlinien der EU. Die Jahresabwassermenge und der Fremdwasseranteil sowie die Stromerzeugung, der Stromverbrauch und die Stromeinspeisung sind ebenfalls in Tabelle 1 enthalten.

<b>Datenübersicht Kläranlage Biberach</b>				
<b>Bezeichnung</b>	<b>Einheit</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Einwohnerwerte</b>				
EW-CSB	EW	39.756	38.948	39.685
EW-Nges	EW	43.499	44.083	41.258
EW-Pges	EW	39.336	38.844	41.744
<b>Zulauffrachten</b>				
CSB Zulauf	mg/l	556	446	430
Phosphat Zulauf	mg/l	8,3	6,7	6,8
Ammonium Zulauf	mg/l	33,1	27	26,5
Stickstoff gesamt Zulauf	mg/l	55,8	46,2	40,9
<b>Ablauffrachten</b>				
CSB Ablauf	mg/l	23,7	23,1	20,8
Phosphor gesamt Ablauf	mg/l	1,13	1,14	1,18
Ammonium Ablauf	mg/l	0,6	0,35	0,18
Stickstoff gesamt Ablauf	mg/l	14,3	12,6	11,5
<b>Reinigungsleistung</b>				
Reinigungsleistung CSB	%	95,8	94,9	95,2
Reinigungsleistung GesN	%	74,5	73	71,5
Reinigungsleistung Pges	%	86,3	83,2	82,6
<b>Abwasser</b>				
Jahresabwassermenge	m <sup>3</sup>	3.130.141	3.829.201	4.045.645
Fremdwasseranteil	%	32,3	43,8	45
<b>Energie</b>				
Stromerzeugung	kWh/a	921.054	946.275	1.025.502
Stromverbrauch	kWh/a	935.574	926.877	935.555
Stromeinspeisung	kWh/a	50.444	85.066	115.309

Tabelle 1: Datenübersicht Kläranlage Biberach (eigene Darstellung)

### 3. Verfahrens- und Prozessbeschreibung

In der folgenden Abbildung 1 ist die Verfahrenstechnik der Kläranlage Biberach schematisch dargestellt. Die Verfahrenstechnik kann grob in vier Bereiche eingeteilt werden. Die mechanische Reinigungsstufe, die biologische Reinigungsstufe, die Schlammbehandlung und die Energieerzeugung. Die einzelnen Verfahrensschritte werden in den folgenden Punkten erklärt.

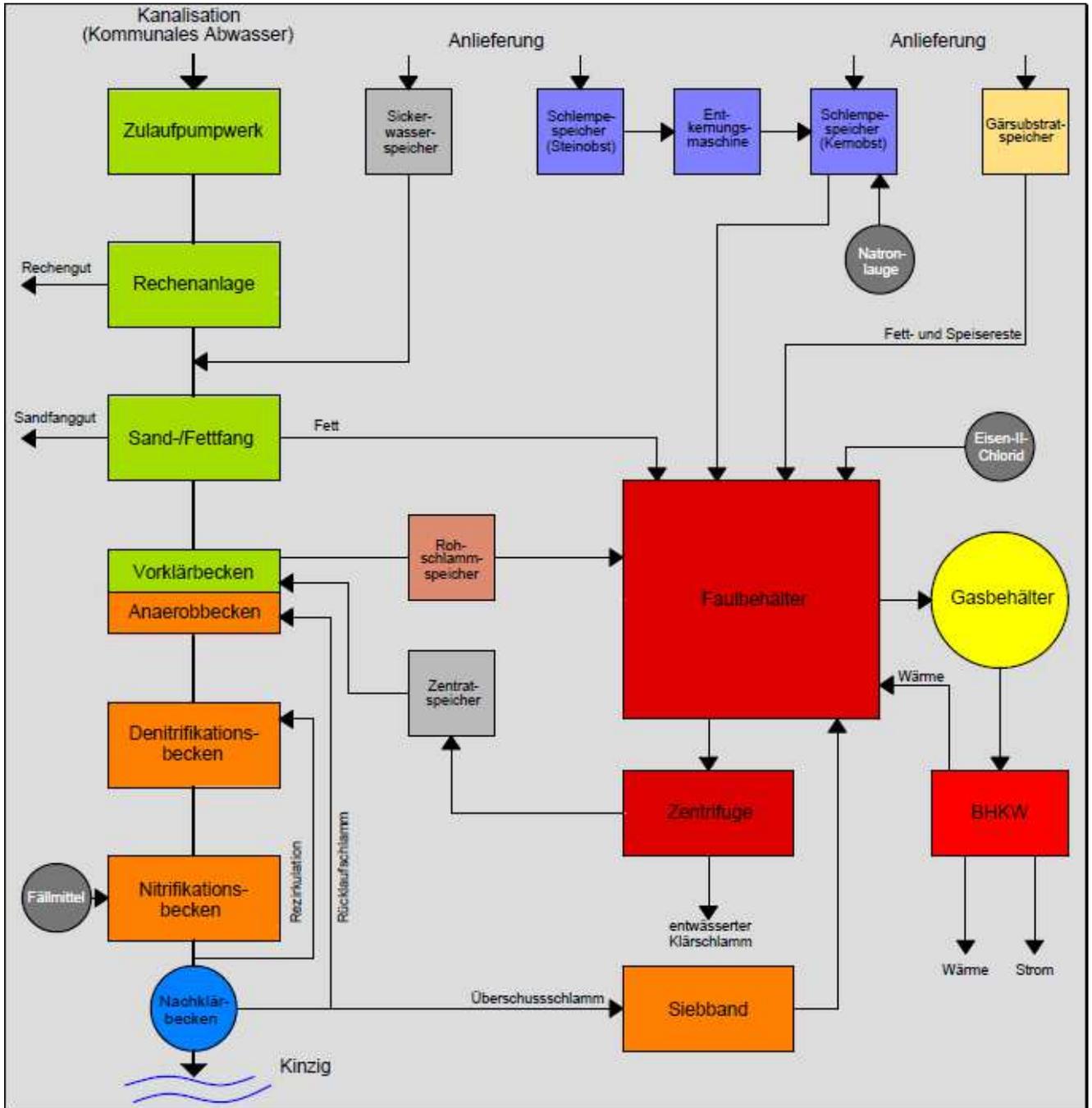


Abbildung 1: Verfahrensschema der Kläranlage Biberach (modifiziert, entnommen aus [7] Abb. 1)

### **3.1 Zulaufpumpwerk**

Das über Kanäle zur Kläranlage geleitete Abwasser wird durch das Zulaufpumpwerk um 5,5 m angehoben, bevor es zur Rechenanlage gelangt. Auch bei Hochwasser der Kinzig kann das Abwasser alle Reinigungsstufen im freien Gefälle durchlaufen. Das Zulaufpumpwerk besteht aus drei Schneckenpumpen, die bis zu 220 l/s fördern können. Die Pumpen werden nach Bedarf zu- bzw. abgeschaltet.

### **3.2 Rechenanlage**

Die Rechenanlage besteht aus zwei Flachsiebreechen mit 6 mm Spaltenbreite und zwei nachgeschalteten Rechengutwaschpressen. Durch den Rechen wird der grobe Schmutz aus dem Abwasser gefiltert, um ein Verstopfen der Pumpen und Rohrleitungen zu vermeiden. Das Rechengut wird entwässert und über Fördereinrichtungen in Containern zur weiteren Verarbeitung zwischengelagert. Im Jahr 2013 sind rund 67 Tonnen Rechengut angefallen.

### **3.3 Sand- und Fettfang**

Der Sand- und Fettfang ist ein längsdurchströmtes, rechteckiges Becken, welches an der Sohle abgeschrägt ist. Das Becken fasst 350 m<sup>3</sup> und verfügt über einen Räumler, an dem sich eine Tauchmotorpumpe befindet. Mit Hilfe eines Gebläses wird das Becken durchströmt, wodurch sich mineralische Inhaltsstoffe auf dem Boden absetzen und durch die Tauchmotorpumpe zur Sandwaschanlage gepumpt werden. Die sich an der Wasseroberfläche ansammelnden Fette, Öle und Schwimmstoffe werden im Fettfang zurückgehalten und durch einen Räumschild zum Fettschacht geschoben und in die Faulbehälter gefördert. Das abgepumpte Sand/Schmutzstoff- Gemisch wird in einer Sandwaschanlage für die Weiterverarbeitung vorbereitet. So sind 2013 über 16 Tonnen Sandfanggut entstanden.

### **3.4 Vorklärbecken**

Die Vorklärbecken sind zwei rechteckige Becken mit einem Fassungsvermögen von je 225 m<sup>3</sup>. In diesen Becken werden die flockigen, körnigen Bestandteile des Abwassers durch Sedimentation entfernt. Der abgesetzte Rohschlamm wird über einen Schildräumer in die Schlammtrichter geschoben und in die Faulbehälter weitergeleitet.

### **3.5 Anaerobbecken**

Der Ablauf des Vorklärbeckens, sowie der Rücklaufschlamm aus den Nachklärbecken werden in die beiden Anaerobbecken, mit einer Größe von je 275 m<sup>3</sup>, geleitet. Durch Sauerstoffmangel gedeihen überwiegend Mikroorganismen, welche Phosphorverbindungen verwerten können. Somit wird dem System auf biologische Weise der Phosphor entzogen.

### **3.6 Denitrifikationsbecken**

Das Denitrifikationsbecken besteht aus drei Kaskaden mit je 1000 m<sup>3</sup>, von denen zwei nach Bedarf belüftet werden können. Bei der Denitrifikation verwenden Mikroorganismen das Nitrat im Abwasser als Energiequelle. Das Nitrat wird abgebaut, dabei entsteht elementarer Stickstoff, welcher in die Atmosphäre entweicht. Bei Bedarf können die Kaskaden, über die Belüftung, von Denitrifikation auf Nitrifikation umgeschaltet werden. Dem Denitrifikationsbecken werden der Ablauf des Anaerobbeckens, sowie der nitrathaltige Rezirkulationsschlamm, zugeführt. Die Menge an Rezirkulationsschlamm wird über eine Nitratmessung im Becken gesteuert.

### **3.7 Nitrifikationsbecken**

Das Abwasser aus der letzten Denitrifikationskaskade wird in das Nitrifikationsbecken geleitet. Dieses Becken besteht aus vier Rechteckbeckenstraßen mit je 750 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen. Durch Zugabe von Sauerstoff über ein Gebläse finden hier, die von Mikroorganismen durchgeführte, Nitrifikation und der Abbau von Kohlenstoffverbindungen zu Biomasse statt. Bei der Nitrifikation wird das Fischgift Ammonium im ersten Schritt zu Nitrit und in einem zweiten Schritt zu Nitrat umgewandelt.

### **3.8 Nachklärbecken**

Die zwei Nachklärbecken sind Rundbecken und fassen je 2200 m<sup>3</sup>. Der Belebtschlamm setzt sich ab und trennt sich so vom gereinigten Wasser. Der sedimentierte Schlamm wird mit Hilfe eines Schlammschildes, welches an einem Rundräumer befestigt ist, in den mittigen Schlammtrichter geschoben. Von dort aus wird er mit Rücklaufpumpen in das Anaerobbecken gepumpt. Die durch Abbau der Abwasserinhaltsstoffe dazu gewachsene Biomasse (Überschussschlamm) wird zur Schlammbehandlung gepumpt.

### **3.9 Phosphatfällung**

Die Phosphatfällung erfolgt im Ablauf des Nitrifikationsbeckens. Die biologische Phosphorelimination garantiert nicht die Einhaltung der Grenzwerte, daher ist zusätzlich eine chemische Phosphatfällung vorhanden. Das Fällmittel ist Natriumaluminat, welches mit Phosphor eine schwer lösliche Verbindung bildet und über den Überschussschlamm entnommen wird. Durch das Fällmittel kann der Phosphatgehalt im Abwasser gesteuert werden. Es sind rund 180 Tonnen Natriumaluminat im Jahr für die Fällung des Phosphats eingesetzt worden.

### **3.10 Schlammbehandlung**

Der Überschussschlamm aus den Nachklärbecken muss, bevor er weiter verwertet werden kann, vorentwässert werden, d.h. der Wassergehalt muss reduziert werden. Der zu diesem Zweck verwendete Bandeindicker entwässert den Schlamm mithilfe eines Siebbandes, durch welches das Wasser durch kleine Löcher rieselt, während der Schlamm auf dem Band zurückbleibt.

Der in der Vorklärung entnommene Rohschlamm, der aufbereitete Überschussschlamm sowie die Fette und Öle aus dem Sand- und Fettfang werden auf 40 °C erhitzt und den beiden Faulbehältern, von denen jeder 1600 m<sup>3</sup> fasst, zugeführt. Zusätzlich werden noch Brennschlempen aus dem Einzugsgebiet geliefert, welche ebenfalls in die Faulbehälter gepumpt werden. Mikroorganismen wandeln unter Sauerstoffausschluss organische Kohlenstoffverbindungen zu Klärgas um. Das anfallende Klärgas hat einen Methananteil von ca. 64%, daher lässt es sich gut verbrennen und zur Energiegewinnung in den Blockheizkraftwerken nutzen. Durch die Faulung findet eine anaerobe Stabilisierung des Klärschlammes statt. Die Mikroorganismen mineralisieren den Klärschlamm, sodass biologische und chemische Prozesse im Klärschlamm nur noch begrenzt ablaufen können. Durch die Stabilisierung wird die Geruchsbelastung des Schlammes verringert und er kann weiter verwertet werden, z.B. thermisch in Verbrennungsanlagen.

### **3.11 Schlammmentwässerung**

Der in den Faulbehältern ausgefaulte Schlamm wird durch eine Zentrifuge auf einen Trockensubstanzgehalt von ca. 25 % gebracht. Jährlich fallen 2000 t entwässerter Schlamm, welcher in Container verladen und zur thermischen Verwertung transportiert wird, an. Das bei der Entwässerung entstehende Zentrat wird zum Zentratspeicher geleitet.

### **3.12 Blockheizkraftwerke**

Das zwischengespeicherte Klärgas wird in den Blockheizkraftwerken (BHKW) verwertet und liefert elektrische sowie thermische Energie. Die Anlage verfügt über drei Module mit unterschiedlicher Leistung, ein kleines mit der Leistung 50 kW für die Grundlast, ein mittleres mit einer Leistung von 80 kW für den Nachtbetrieb und ein großes mit 125 kW für die Spitzenlast tagsüber. Die BHKW erzeugen jährlich ca. 950 000 kWh Strom und ca. 1,6 Mio. kWh Wärme. Die Abwärme heizt die Faulbehälter und die Gebäude. Der erzeugte Strom deckt den Energiebedarf der gesamten Anlage.

### 3.13 Sonstige Einrichtungen

In dem 600 m<sup>3</sup> großen Gasbehälter wird das Faulgas aus den Faultürmen zwischengespeichert, bevor es zur Energiegewinnung in die BHKW weitergeleitet wird.

Zur Steigerung der Faulgasproduktion sind ein Gärsubstratspeicher mit einem Volumen von 45 m<sup>3</sup> und zwei Schlempenspeicher mit jeweils 25 m<sup>3</sup> vorhanden. Bei Bedarf wird Schlempe bzw. Gärsubstrat in die Faultürme gepumpt und so der Ertrag an Faulgas erhöht. Aufgrund des zum Teil niedrigen pH- Wertes der angelieferten Schlempe, muss Natronlauge zu dosiert werden, um den Betrieb des Faulbehälters nicht zu gefährden. Der Rohschlamm des Vorklärbeckens wird im 20 m<sup>3</sup> großen Rohschlammspeicher zwischengespeichert, bevor er in den Faulbehälter gelangt. Rund 1130 m<sup>3</sup> Brennschlempe sind aus dem Verbandsgebiet geliefert worden. Es sind über 550 m<sup>3</sup> Fettabscheiderinhalte und rund 575 m<sup>3</sup> Speisereste in die Speicher geflossen.

Zur Annahme von belastetem Sickerwasser ist ein Speicher mit 250 m<sup>3</sup> Volumen angelegt. Das Sickerwasser wird bei niedriger Belastung der Anlage in den Sandfang zugegeben. 2013 sind über 13 500 m<sup>3</sup> Sickerwasser angeliefert worden.

In den Zentratspeicher mit einem Fassungsvermögen von 125 m<sup>3</sup> wird das Zentratwasser, welches beim entwässern des Faulschlammes in der Zentrifuge entsteht, geleitet. Das Zentrat ist mit bis zu 1000 mg/l Ammonium sehr stark belastet und wird nur dosiert der Anlage über das Vorklärbecken zugegeben.

Ein Teil des Rezirkulationsschlammes aus dem Nitrifikationsbecken wird durch die Ultrafiltrationspumpe zur Filtrationseinheit gepumpt. Dort wird das Wasser aus dem Schlamm filtriert und weiter zum Analyzer gepumpt. Stoffe wie Ammonium und Phosphat sind im Wasser gelöst und werden nicht durch die Filtration zurückgehalten. Der Analyzer misst den Ammonium- bzw. Phosphatgehalt im Wasser. Über diese Messung werden die Phosphatfällung am Ende des Nitrifikationsbeckens und die Umschaltung der Belebungsstufen von Denitrifikation auf Nitrifikation gesteuert.

Ein weiterer wichtiger Anlagenteil ist die Heizungseinrichtung. Mit der aus den BHKW erzeugten Wärme werden, über Rohrleitungen und Umwälzpumpen, sowohl das Betriebsgebäude als auch die Faulbehälter beheizt. In einem geschlossenen Kreislauf wird der Umwälzschlamm über einen Wärmetauscher mit der Wärme der BHKW angereichert und zurück in den Faulbehälter befördert. Für die Mikroorganismen im Faulbehälter ist die zugeführte Wärme notwendig um stabil arbeiten zu können.

#### 4. Energiecheck

Der Energiecheck gibt erste Auskünfte über Energieverbrauch und Energieerzeugung. Anhand von Kennzahlen kann die Anlage, über Häufigkeitsverteilungen, mit anderen verglichen und bewertet werden. Der Energiecheck gibt lediglich Erkenntnisse über offenkundige Defizite im Bereich des Energiemanagement der Anlage, dabei werden jedoch keine quantitativen Aussagen getroffen. Die Häufigkeitsverteilungen sowie die Bezeichnungen beruhen auf dem Arbeitsblatt A-216 des DWA [1]. Mit Hilfe des Energiechecks kann ein Kläranlagenbetreiber seine Anlage mit einfachen Mitteln über die Zeit energetisch betrachten. Dabei schwankt die Aussagekraft der Häufigkeitsverteilungen, da je nach Kennwert unterschiedlich viele Kläranlagen berücksichtigt worden sind. Umso mehr Anlagen in einem Schaubild wiedergegeben werden, desto aussagekräftiger ist dieses Schaubild.

Zum Vergleich werden die Kenndaten der Kläranlage Biberach aus Tabelle 2 herangezogen:

<b>Kenndaten Energiecheck Kläranlage Biberach</b>			
<b>Formelzeichen</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
$e_{ges}$	Spezifischer Gesamtstromverbrauch	23,6	kWh/(E*a)
$e_{Bel}$	Spezifischer Stromverbrauch Belüftung Belebung	9,5	kWh/(E*a)
$e_{FG,1}$	Spezifischer Faulgasanfall pro angeschlossenen EW	39,4	$I_N/(E*d)$
$e_{FG,2}$	Spezifischer Faulgasanfall pro zugeführte oTR-Fracht	598	$I_N/kg\ oTR$
$N_{FG}$	Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität	28,1	%
$V_E$	Eigenversorgungsgrad Elektrizität	110	%
$e_{ext}$	Spezifischer externer Wärmebezug	0	kWh/(E*a)
$e_{PW}$	Spezifischer Stromverbrauch Pumpwerk	5,6	Wh/(m <sup>3</sup> *m)

Tabelle 2: Kenndaten des Energiechecks der Kläranlage Biberach (eigene Darstellung)

Je höher die Datendichte ist, umso aussagekräftiger ist das Diagramm. Jede Anlage unterliegt jedoch gewissen ortsspezifischen Gegebenheiten, die in der Datenerhebung nicht berücksichtigt werden. Darunter fällt z.B. die Förderhöhe des Zulaufpumpwerkes, welche bei jeder Anlage an die örtlichen Umstände angepasst wird.

Kläranlagen werden je nach Einwohnerwert in Größenklassen (Gk) eingeteilt. Der Einwohnerwert gibt an welcher Zahl an Einwohnern die Belastung der Kläranlage entspricht. Das industrielle Abwasser wird miterfasst und in Einwohner umgerechnet, somit können Anlagen anhand ihrer Belastung gemessen an dem Einwohnerwert mit einander verglichen werden.

#### 4.1 Spezifischer Gesamtstromverbrauch

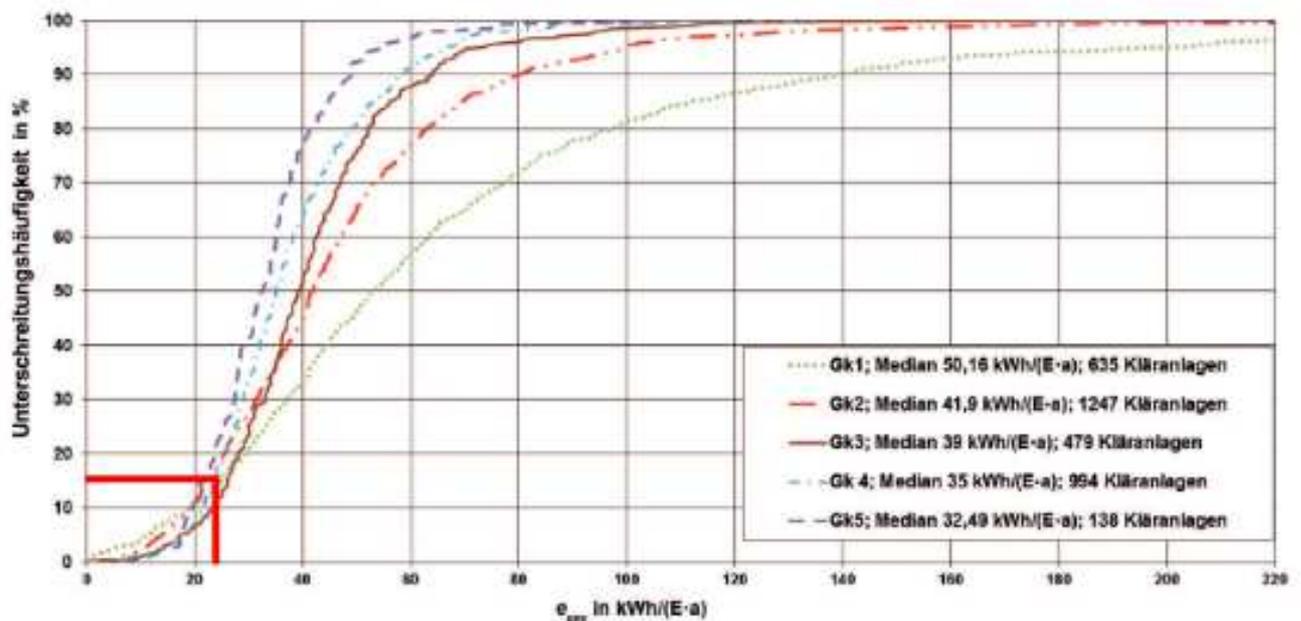


Abbildung 2: Spezifischer Gesamtstromverbrauch von Kläranlagen nach Größenklassen (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 1)

Die Kläranlage Biberach fällt unter die Größenklasse Gk4. Der spez. Gesamtstromverbrauch wird mit 23,6 kWh/(E/a) von 15 % unterschritten. Der Median für Kläranlagen der Größenklasse 4 liegt bei 35 kWh/(E\*a), dieser Wert wird deutlich unterschritten, was auf nur geringes Einsparpotential deutet. Somit ist die Kläranlage Biberach energetisch gesehen gut aufgestellt und, was aber nicht bedeutet, dass es kein Einsparpotential gibt.

## 4.2 Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung

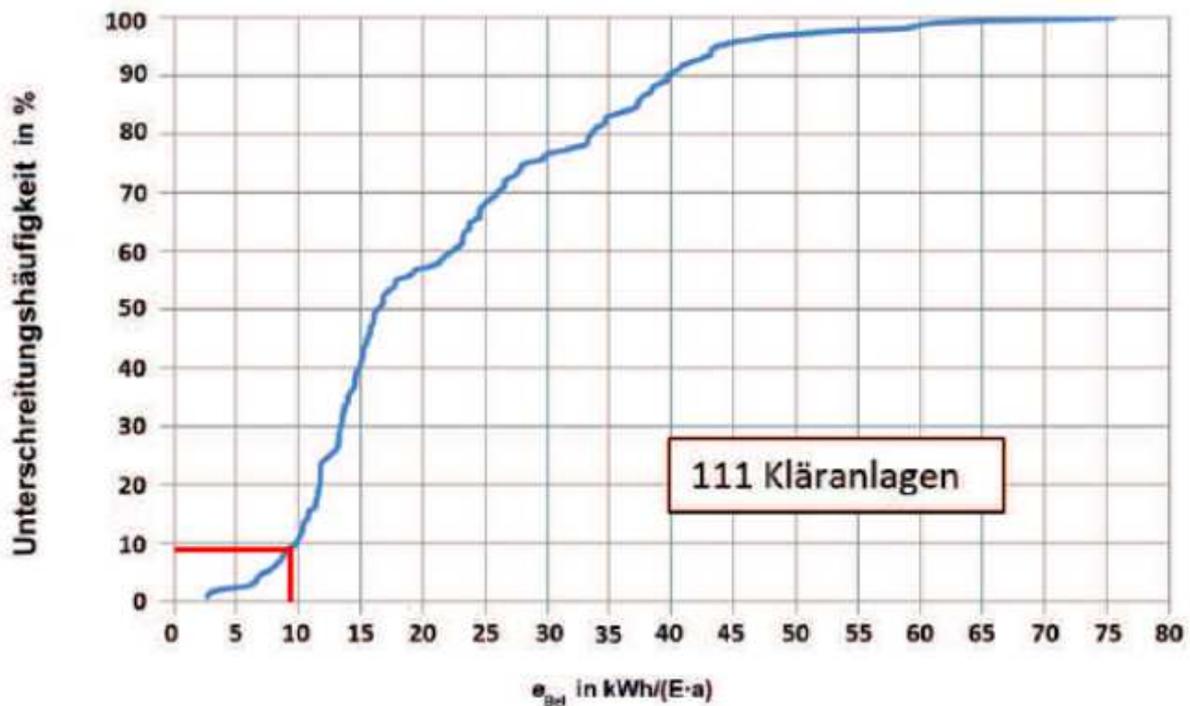


Abbildung 3: Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 2)

Mit einem Wert von 9,5 kWh/(E\*a) liegt die Unterschreitungshäufigkeit bei ca. 9,5 %. Der niedrige spez. Stromverbrauch der Belüftung kommt dadurch zustande, dass die Belüftung des Denitrifikationsbeckens meistens nur im Winterbetrieb zugeschaltet werden muss und sonst stillsteht.

### 4.3 Spezifischer Faulgasanfall je angeschlossenen EW

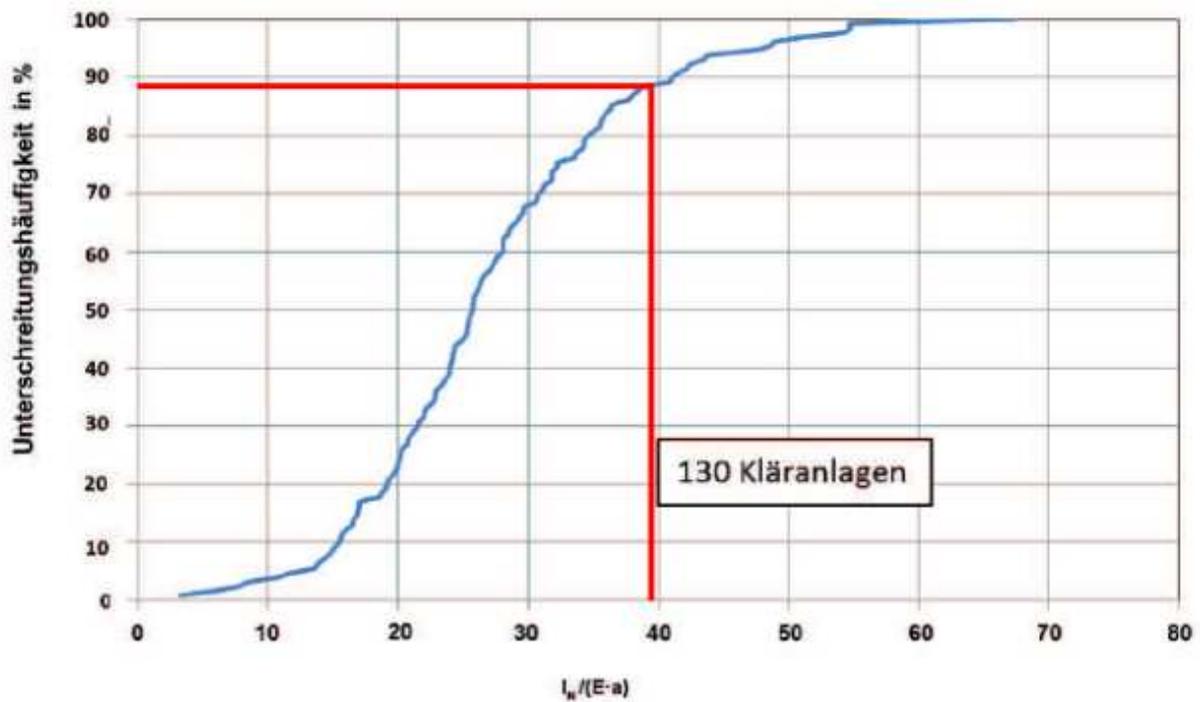


Abbildung 4: Spezifischer Faulgasanfall je angeschlossenen EW (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 3)

88 % der Kläranlagen haben im Vergleich einen geringeren spez. Faulgasanfall bezogen auf den angeschlossenen EW. Durch Annahme von Co- Substraten erhöht sich dieser Wert. Die Kläranlage Biberach nimmt sowohl Schlempe als auch Gärsubstrat entgegen. Daher wird für Anlagen mit Co- Substraten zur Faulgasproduktion der spez. Faulgasanfall je zugeführte oTR-Fracht zum Vergleich herangezogen.

#### 4.4 Spezifischer Faulgasanfall je zugeführte oTR-Fracht

Zum besseren Vergleich für Anlagen mit Annahme von Co- Substraten wird der spez. Faulgasanfall je zugeführte oTR-Fracht erstellt.

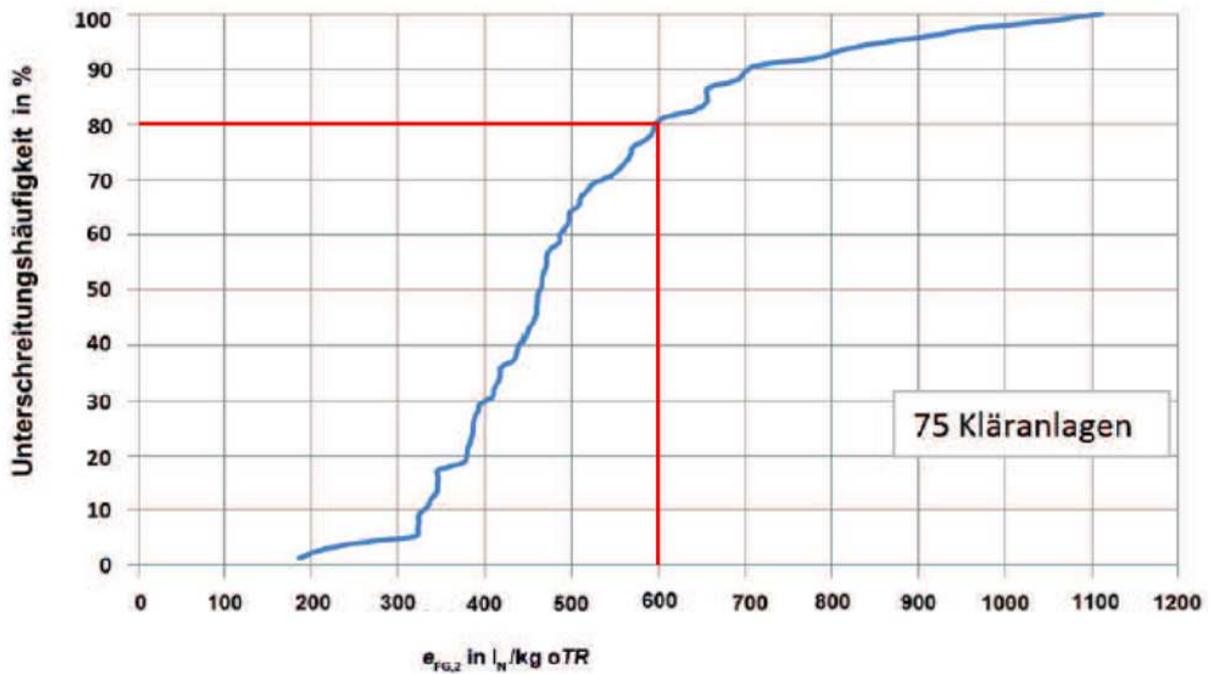


Abbildung 5: Spezifischer Faulgasanfall je zugeführte oTR-Fracht (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 4)

Es lässt sich kein deutliches Steigerungspotential erkennen. Der Kennwert der Anlage Biberach wird von 80 % unterschritten und ist mit 598  $l_N/kg$  oTR im oberen Drittel angesiedelt.

#### 4.5 Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität

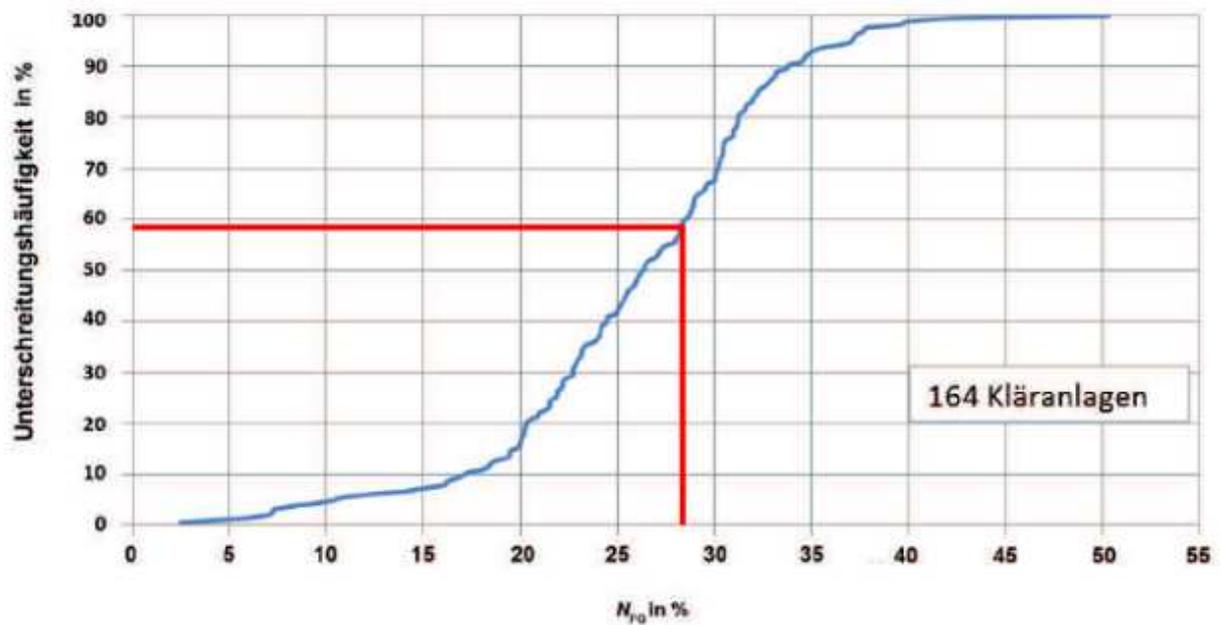


Abbildung 6: Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 5)

Der Grad der Faulgasumwandlung liegt bei ca. 28,1 %, daraus ergibt sich eine Unterschreitungshäufigkeit von ungefähr 59 %. Damit liegt die Kläranlage Biberach im oberen Mittelfeld, was den Grad der Faulgasumwandlung anbelangt. Der Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität beschreibt den Anteil an Energie des Faulgases, welcher in Elektrizität umgewandelt wird.

## 4.6 Eigenversorgungsgrad Elektrizität

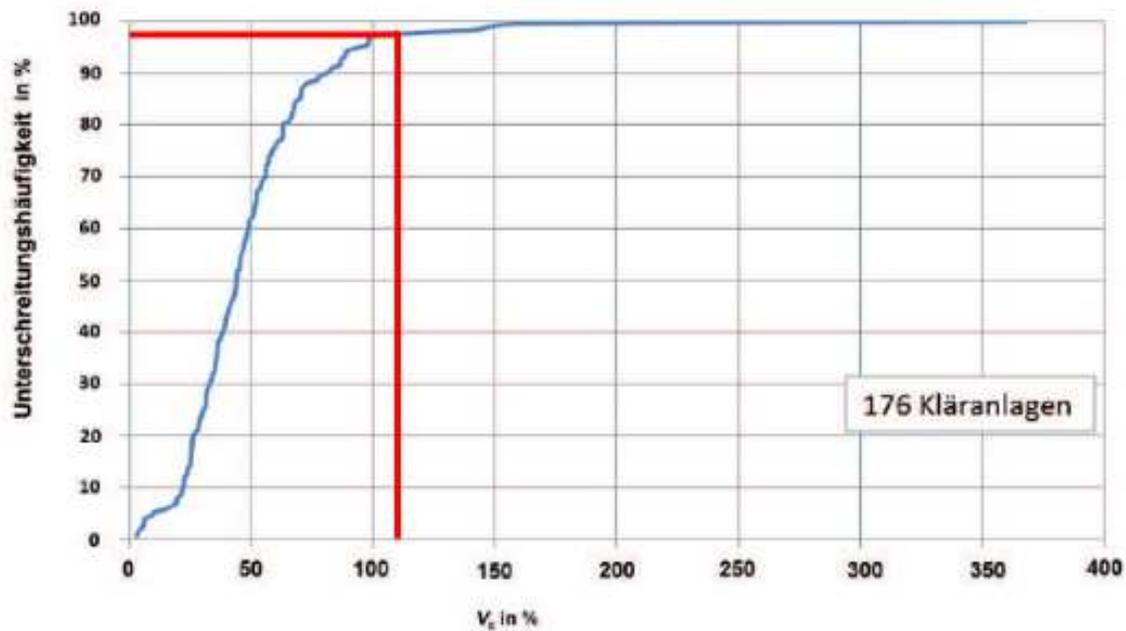


Abbildung 7: Eigenversorgungsgrad mit elektrischer Energie (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 6)

Der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage Biberach liegt bei ca. 110 %. Die BHKWs produzieren genügend Strom um die gesamte Anlage zu versorgen. Im Vergleich unterschreiten ca. 97 % der Kläranlagen diesen Wert. Damit ist die Kläranlage Biberach im Bereich der Eigenversorgung sehr gut aufgestellt. Der überschüssige Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist.

## 4.7 Spezifischer externer Wärmebezug

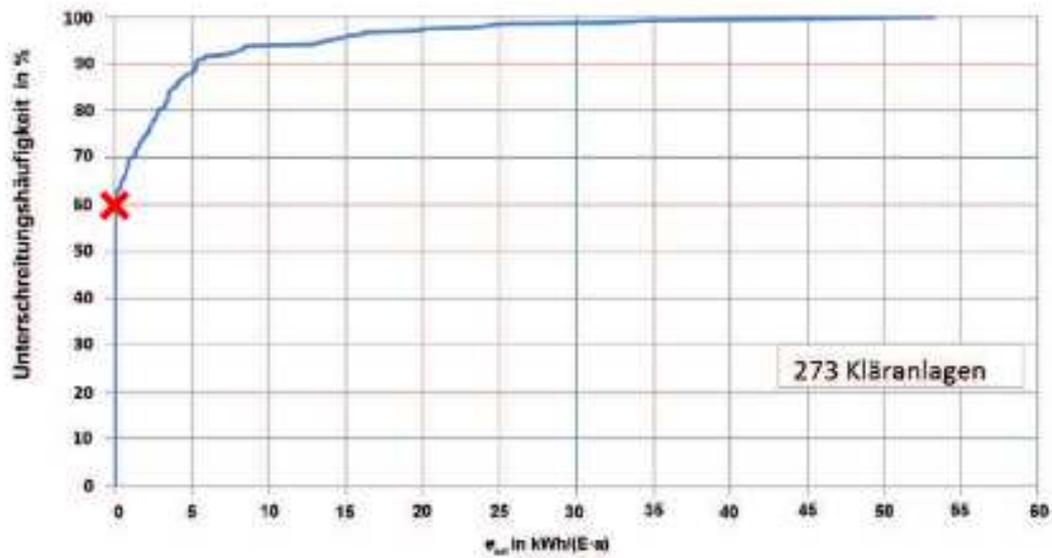


Abbildung 8: Spezifischer externer Wärmebezug (modifiziert, entnommen aus: DWA A-216 [1], Bild 7)

Der spezifische externe Wärmebezug für die gesamte Anlage, wie auch für 60 % der Kläranlagen aus der Datenerhebung, beträgt 0 kWh/(E\*a). Die benötigte Wärme wird auf der Anlage selbst erzeugt und keine zusätzliche externe Wärme benötigt.

#### 4.8 Spezifischer Stromverbrauch Pumpwerk

Es werden die Zulaufpumpwerke zum Vergleich betrachtet. Die Zulaufschnecken 1 und 3 sind zusammengefasst, da diese immer parallel betrieben werden.

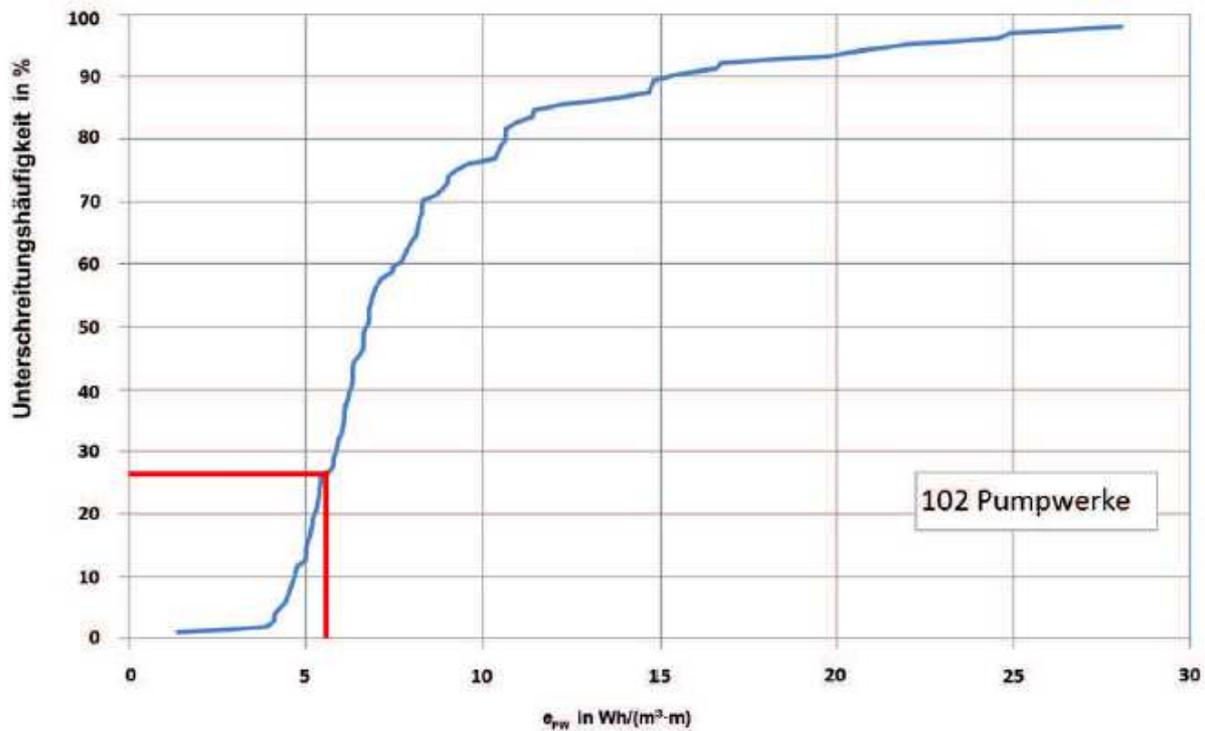


Abbildung 9: Spezifischer Stromverbrauch Pumpwerk (modifiziert, entnommen aus DWA A-216 [1], Bild 8)

Der spez. Stromverbrauch des Pumpwerkes liegt im Mittel bei ca.  $5,6 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  mit einer Unterschreitungshäufigkeit von 25 %. Die Schnecken 1 und 3 haben einen spez. Stromverbrauch von  $5,75 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  und werden nur zugeschaltet, wenn die Schnecke 2 überfordert ist. Der spez. Stromverbrauch der Schnecke 2 liegt bei  $5,4 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  und damit etwas unter dem der beiden anderen, was an der Betriebsweise liegt. Zielwerte für den spez. Stromverbrauch von Schneckentrogpumpen liegen im Bereich von  $4,5$  bis  $5,4 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  (Daten entnommen aus [2], S.32 Tabelle 7).

#### 4.9 Energiecheck zeitlicher Verlauf von 2009 bis 2013

Die regelmäßige Durchführung des Energiechecks, z.B. einmal im Jahr, ermöglicht die Kennwerte in einem zeitlichen Verlauf darzustellen. Maßnahmen zur Energieeinsparung oder zur Steigerung der Stromerzeugung können so verfolgt und sichtbar gemacht werden. Außerdem kann überprüft werden, ob die ausgeführten Maßnahmen auch die gewünschten Ergebnisse erzielt haben. In Tabelle 3 sind die Kennwerte des Energiechecks von 2009 bis 2013 der Kläranlage Biberach dargestellt.

Lediglich der spezifische Stromverbrauch des Pumpwerkes wird nicht ermittelt. Die Lücken der Tabelle kommen durch fehlerhafte Datensätze in dem betreffenden Jahr zustande, so kann keine präzise Aussage über den Kennwert getroffen werden.

Kennwerte Energiecheck 2009 bis 2013							
Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit	2009	2010	2011	2012	2013
$e_{ges}$	spez. Stromverbrauch Gesamt	kWh/(E*a)	28,4	26,8	23,5	23,8	23,6
$e_{Bel}$	spez. Stromverbrauch Belüftung	kWh/(E*a)			9,4	9,1	9,5
$e_{FG,1}$	spez. Faulgasanfall je angeschlossenen EW	$l_N/(E*d)$	35,9	34,3	34,4	36,1	39,4
$e_{FG,2}$	spez. Faulgasanfall je zugeführte oTR-Fracht	$l_N/kg$ oTR		590	609	585	598
$N_{FG}$	Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität	%	28,3	28,6	28,8	28,8	28,1
$V_E$	Eigenversorgungsgrad Elektrizität	%	83,3	85,6	98,4	102,1	109,6
$e_{ext}$	spez. externer Wärmebezug	kWh/(E*a)	0	0	0	0	0

Tabelle 3: Kennwerte Energiecheck 2009 bis 2013 (eigene Darstellung)

Der zeitliche Verlauf wird, zur besseren Übersicht, in zwei Schaubildern dargestellt. Abbildung 10 zeigt den spez. Faulgasanfall je angeschlossenen EW, den spez. Stromverbrauch Gesamt, den spez. Stromverbrauch Belüftung sowie den spez. externen Wärmebezug über die Zeit von 2009 bis 2013.

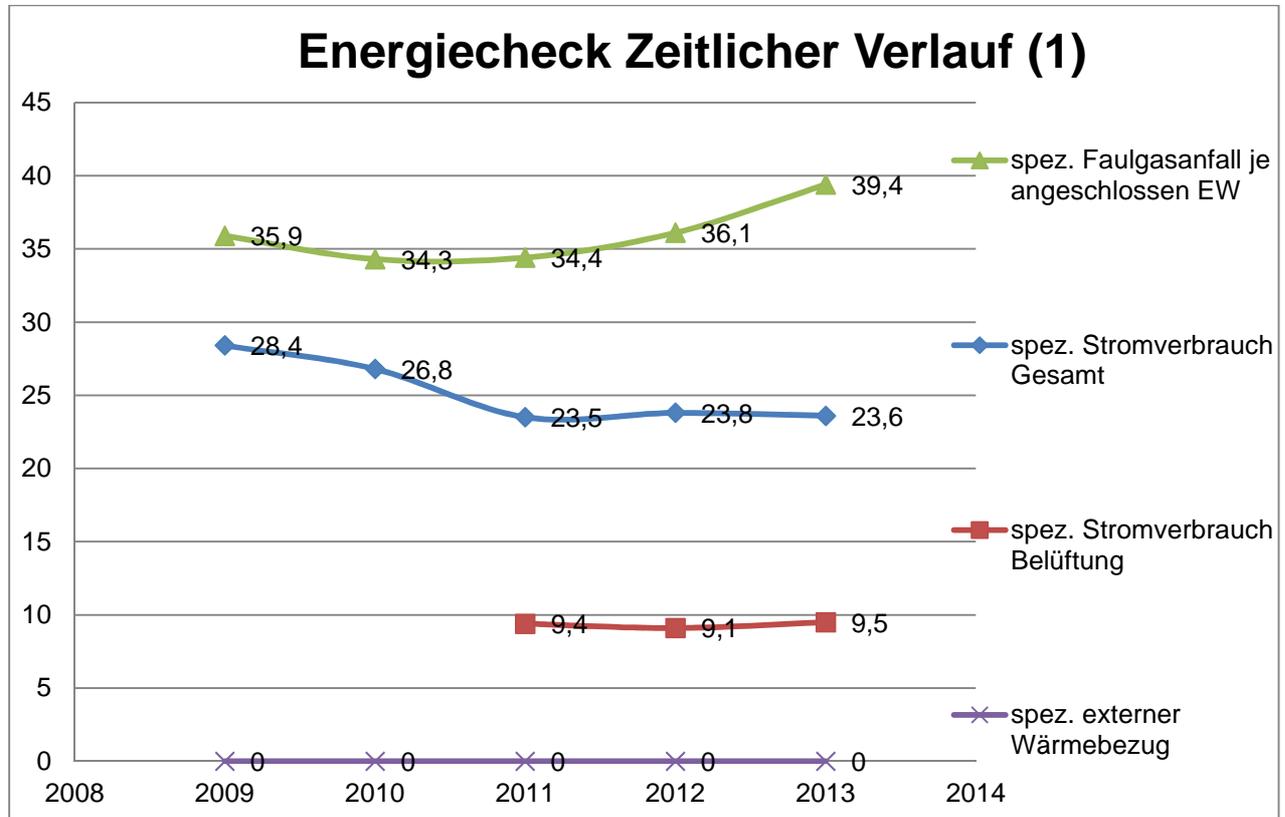


Abbildung 10: Energiecheck zeitlicher Verlauf (1) 2009 bis 2013 (eigene Darstellung)

Der spez. Faulgasanfall je angeschlossenen EW nimmt über die Jahre sichtbar zu. Dies ist auf die Zuführung von Co- Fermenten zur Faulgasbildung zurückzuführen. Daher ist dieser Kennwert für Anlagen mit Co- Fermenten nicht für den Vergleich geeignet. Dennoch erkennt man durch die Zugabe der Co- Substrate eine Steigerung der Faulgasproduktion, die nicht unbedeutend ist. Bei dem spez. Gesamtstromverbrauch ist über die Jahre eine deutliche Senkung zu erkennen. Durch verschiedene Modifikationen hat die Kläranlage Biberach den spez. Gesamtstromverbrauch im Jahr 2013 um ca. 17 % im Vergleich zum Jahr 2009 senken können. Der spez. Stromverbrauch der Belüftung bleibt relativ konstant über die Zeit. Die Schwankungen sind auf saisonale Bedingungen zurückzuführen. Durch ungewöhnliche Werte kann z.B. Verschleiß, der langsam auftritt sich aber auf den Stromverbrauch der Lüftung auswirkt, erkannt und Maßnahmen eingeleitet werden. Der spez. externe Wärmebezug ist seit 2009 unverändert. Die BHKW liefern genügend Wärme um die Anlage zu versorgen, somit ist keine externe Wärmezufuhr notwendig.

In der Abbildung 11 sind die restlichen Kennwerte des Energiechecks, nämlich der spez. Faulgasanfall je zugeführte oTR- Fracht, der Eigenversorgungsgrad der Elektrizität und den Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität, in einem Schaubild dargestellt. Zur besseren Darstellung ist die Skalierung des Schaubilds halblogarithmisch.

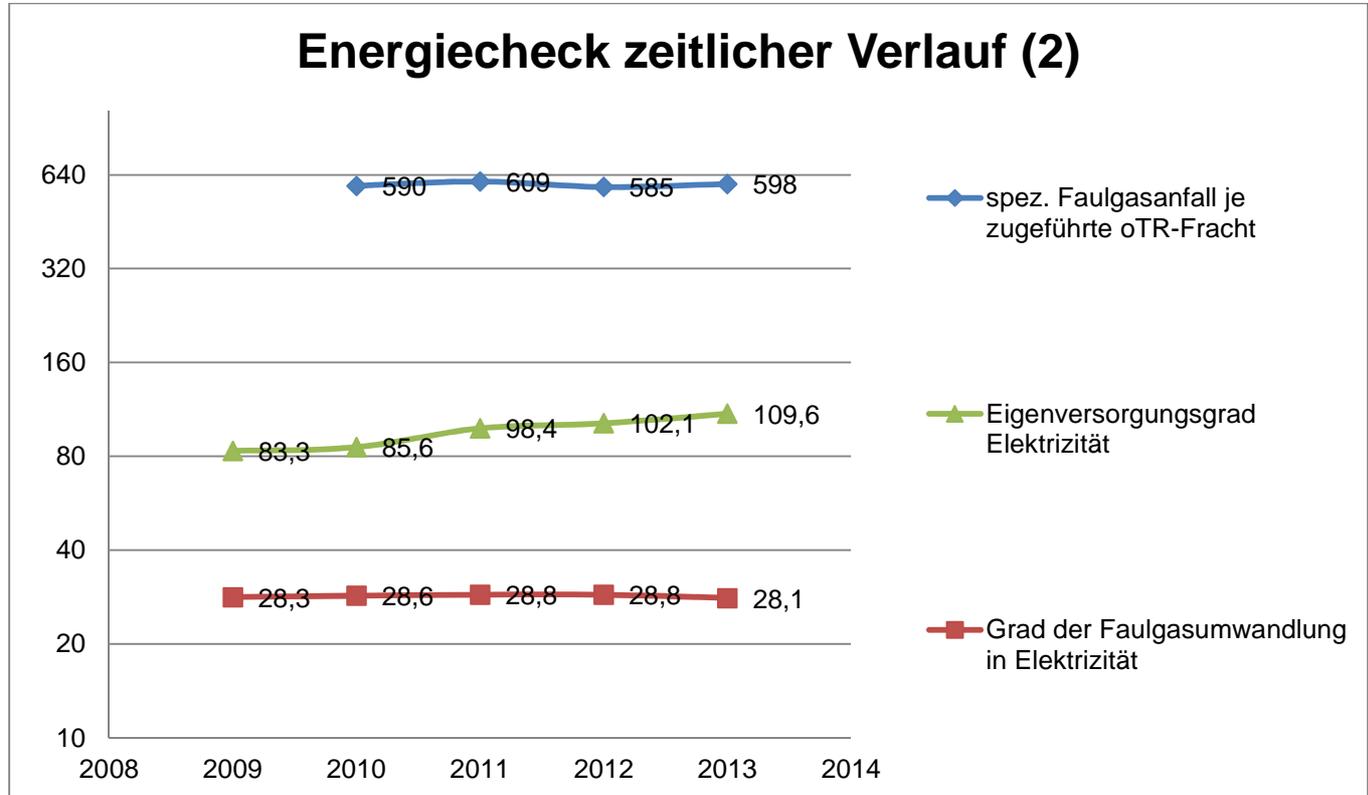


Abbildung 11: Energiecheck zeitlicher Verlauf (2) 2009 bis 2013 (eigene Darstellung)

Der spez. Faulgasanfall je zugeführte oTR- Fracht unterliegt keinen großen Schwankungen. Durch Zugabe von Co- Fermenten und der Speichermöglichkeit dieser, ist eine relativ konstante Beschickung der Faultürme und somit eine konstante Faulgasproduktion möglich. Der Eigenversorgungsgrad mit Elektrizität ist seit dem Jahr 2009 stetig angestiegen. Im Jahr 2012 hat der Eigenversorgungsgrad erstmals die 100 %- Marke überschritten. Somit erzeugt die Kläranlage Biberach in der Bilanz mehr Strom als sie verbraucht. Die eigene Stromerzeugung ist über die Jahre immer weiter gestiegen, wo hingegen der Stromverbrauch eher abnimmt. Der Grad der Faulgasumwandlung in Elektrizität ist während der fünf betrachteten Jahre so gut wie konstant geblieben. Eine Erhöhung ist z.B. durch einen besseren elektrischen Wirkungsgrad des BHKW zu erreichen. Eine geringe Abweichung zeigt, dass die BHKW immer noch effizient Arbeiten und nicht durch Verschleiß oder andere Mängel in ihrer Funktion beeinträchtigt sind.

## 5. Energieanalyse

Die Energieanalyse ist eine Feineinschätzung der Energetischen Situation der Anlage. Einzelne Anlagenkomponenten werden quantitativ auf ihren Stromverbrauch untersucht. Es wird der Ist- Zustand ermittelt, um diesen später mit dem idealen Zustand vergleichen zu können, sodass mögliche Einsparungen sichtbar werden. Der Stromverbrauch, sowie der ideale Stromverbrauch, werden mit Hilfe der zu Verfügung stehenden Messungen und Datenprotokolle erstellt.

Der Stromverbrauch der Anlage im Jahr 2013 beträgt 935.555 kWh. Zur Messung des Stromverbrauches sind 12 Stromzähler im Netz eingebaut. So kann der Stromverbrauch einzelner Anlagenteile besser überwacht werden. In Abbildung 12 ist die Aufteilung des Stromverbrauches, welcher in fünf Bereiche aufgeteilt wird, dargestellt.

### Stromverbrauch 2013

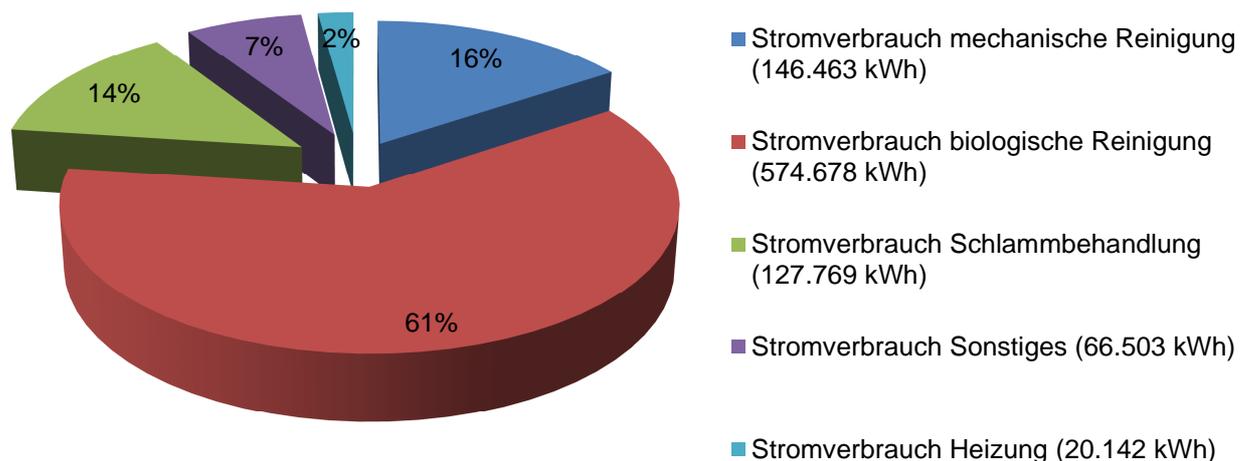


Abbildung 12: Aufteilung des Stromverbrauches (eigene Darstellung)

Die mechanische Reinigung umfasst das Zulaufpumpwerk, sowie die Rechenanlage, das Sandfanggebläse und die Sandwaschanlage. Der Stromverbrauch der mechanischen Reinigung beträgt 16 % des Gesamtstromverbrauches. Die biologische Reinigung ist mit 61 % der größte Verbraucherblock der Anlage. Zu den Verbrauchern gehören unter anderem die Gebläse und Rührwerke sowie die Pumpen in diesem Bereich. Mit einem Anteil von 14 % ist die Schlammbehandlung die drittgrößte Einheit. Verbraucher sind z.B. die Förderpumpen sowie die Zentrifuge, als größter Verbraucher der Schlammbehandlung.

Nicht direkt erfasste Verbraucher sind unter Sonstiges zusammengefasst. Dazu zählt etwa das Betriebsgebäude oder die Außenbeleuchtung. Der Stromverbrauch liegt immerhin bei 7 % und ist damit nicht zu vernachlässigen. Der letzte und kleinste Bereich ist die Beheizung der Faulbehälter und des Betriebsgebäudes. Der Stromverbrauch beträgt 2 % des Gesamtstromverbrauches und ist auf die Pumpen zurückzuführen.

### 5.1 Faulgaserzeugung

Die Faulgaserzeugung findet in den Faulbehältern unter anaeroben Bedingungen statt. Zum stabilen Betrieb der Faultürme sind gewisse Faktoren von entscheidender Bedeutung. So beugt eine konstante Beschickung einem Anstieg von organischen Säuren vor und verhindert so eine Veränderung des pH- Wertes des Faulbehälters. Von Vorteil dafür ist auch eine möglichst konstante Konzentration des Rohschlammes. Die Zugabe der Co-Substrate erfolgt in dosierten Mengen und muss immer mit Vorsicht erfolgen. Über einen Startbefehl des Betriebspersonals wird eine definierte Menge zu den Faulbehältern gefördert. Abbildung 13 stellt die Beschickungsmengen zu den beiden Faultürmen im Jahr 2013 dar. Der Anteil an Co- Substraten liegt 2013 bei ca. 13 %. Es sind 75 Tonnen oTS mehr in die Faulbehälter geleitet worden als im Jahr 2012.

## Beschickungsmengen zur Faulgaserzeugung 2013 in Tonnen oTS

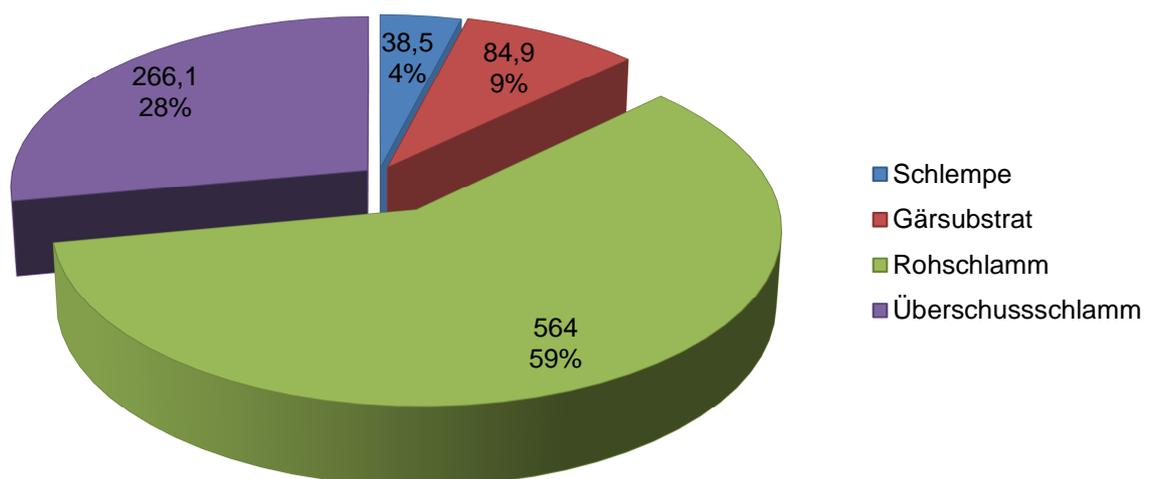


Abbildung 13: Beschickungsmengen zur Faulgaserzeugung 2013 in Tonnen oTS (eigene Darstellung)

In den Faultürmen findet eine mesophile Faulung statt. Die Mikroorganismen, die diese Faulung vollziehen, haben ein Temperaturoptimum um die 40 °C. Um dieses Temperaturoptimum ist der Stoffwechsel der Mikroorganismen am effektivsten. Die Temperatur in den Faulbehältern beträgt im Mittel 39,5 °C. Um überall im Faulbehälter eine günstige Temperatur oder gleiche Konzentrationen zu erreichen, ist eine gute Durchmischung unabdingbar. Durch einen Gasverdichter wird das Gas auf den benötigten Druck verdichtet. Über Gaseinpressanlagen wird das Gas kurz über dem Faulbehälterboden eingepresst. Durch das aufsteigende Gas werden Turbulenzen erzeugt und eine Durchmischung findet statt. Bei der Faulung entsteht unter anderem auch in geringem Maße Schwefelwasserstoff. Um Schäden an den BHKW durch den im Faulgas vorhandenen Schwefelwasserstoff zu vermeiden, findet eine Fällung mit Eisen-II-Chlorid statt. Für das Jahr 2013 ergibt sich eine Faulgasproduktion von 633 750 m<sup>3</sup>. Somit übersteigt die Gaserzeugung von 2013, die von 2012, um rund 63 000 m<sup>3</sup>.

## 5.2 Stromerzeugung

Das erzeugte Klärgas wird in den BHKW verstromt. Tabelle 4 stellt die Stromerzeugung der einzelnen BHKW im Jahr 2013 dar.

Stromerzeugung BHKW 2013				
Bezeichnung	Einheit	BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3
Nennleistung	kW	125	80	50
Wirkungsgrad	kWh/m <sup>3</sup>	1,54	1,56	1,77
Betriebsstunden	h/a	5081	3874	8315
Gasverbrauch	m <sup>3</sup>	262.423	140.518	226.792
Stromerzeugung	kWh/a	404.036	218.858	402.608

Tabelle 4: Stromerzeugung BHKW 2013 (eigene Darstellung)

Der Wirkungsgrad der BHKW wird in kWh pro verbrannter  $\text{m}^3$  Klärgas berechnet. Es ist anschaulicher und besser erfassbar, wie viel kWh Strom pro  $\text{m}^3$  verbranntes Faulgas erzeugt wird. Der Wirkungsgrad wird täglich ermittelt, so kann abgeschätzt werden, ab wann Investitionen in ein neues Modul wirtschaftlich sind.

Verluste beim Wirkungsgrad der BHKW kommen durch Verschleiß zu Stande. Durch den angestrebten Dauerbetrieb wird ein zu häufiges an- bzw. ausschalten des BHKWs verhindert und so dem Verschleiß entgegengewirkt. Ende 2013 hat man den Motor des BHKW 2 erneuert. Durch diesen Austausch hat sich der Wirkungsgrad deutlich verbessert, er ist von  $1,54 \text{ kWh/m}^3$  vor dem Austausch, auf  $1,82 \text{ kWh/m}^3$  nach dem Austausch gestiegen. Das BHKW 2 wird bevorzugt zur Stromerzeugung eingesetzt um den besseren Wirkungsgrad auszunutzen.

### **5.3 Wärmeerzeugung**

Die Wärmeerzeugung reicht mehr als aus um den Bedarf auf der Anlage zu decken, daher wird keine externe Wärmezufuhr benötigt.

Im Jahr 2013 wurden 1.764.000 kWh Wärme erzeugt. Davon hat man rund 1.030.000 kWh für die Beheizung des Faulbehälters verwendet. Mit einem Teil der restlichen Heizenergie wird das Betriebsgebäude beheizt. Der vorhandene Überschuss an Wärme muss vernichtet werden, da es keinen Abnehmer bzw. Verwendungszweck dafür gibt. Es wird bereits an Konzepten zur Nutzung der überschüssigen Wärme gearbeitet.

## **6. Maßnahmen zur Energieoptimierung**

Im folgenden Abschnitt werden Schritte zur Verbesserung der Energieeffizienz innerhalb der Anlagenkomponenten erläutert. Bereits geschehene Optimierungsarbeiten, wie Änderungen in der Betriebsweise von Anlagenteilen, werden beschrieben. Die möglichen Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung werden dargestellt und anschließend in Sofortmaßnahmen, kurzfristige und abhängige Maßnahmen zusammengefasst und unterteilt.

Sofortmaßnahmen können ohne größeren Kosten oder Planungsaufwand realisiert werden und ohne gravierende Problemen bei der Abwasserreinigung zu verursachen umgesetzt werden.

Kurzfristige Maßnahmen sind technisch und wirtschaftlich einfach zu realisieren und können bei einer energetischen Sanierung einfach durchgeführt werden.

Abhängige Maßnahmen weisen ein schlechtes Kosten- Nutzen- Verhältnis auf und sind daher nur durch einen ohnehin fälligen Um- bzw. Neubau eines Anlagenteils rentabel.

## 6.1 Zulaufpumpwerk

Eine Steigerung der Energieeffizienz einer Maschine kann durch Steigerung des Wirkungsgrads erreicht werden. Der Wirkungsgrad des Zulaufpumpwerkes ist von der Abwassermenge im Zulauf abhängig. Durch genügend Abwasser im Zulauf, sodass die Schneckenpumpen bis zum Füllpunkt geflutet sind, kann der Wirkungsgrad und somit die Fördermenge gesteigert werden. Da der Zulauf zu dem Pumpwerk jedoch über wenig Speicherkapazität verfügt, ist der Wasserpegel stark von der Menge an zulaufendem Abwasser aus dem Kanalsystem abhängig. Der Füllstand unterliegt außerdem tageszeitlichen Schwankungen. Nachmittags ist der Wasserpegel am höchsten, wogegen er nachts stark abnimmt.

Die Pumpleistung des Pumpwerks wird, mit Hilfe einer Höhenmessung des Wasserpegels im Zulaufbecken, gesteuert. Dank dieser Steuerung bleibt der Pegel im Zulauf relativ konstant und wird in Höhe des Füllpunktes gehalten. Aufgrund des geringen Speichervolumens des Zulaufes ist schon die bestmögliche Prozessoptimierung erreicht. Somit ist es sinnvoller die Pumpen dem Wasserstand anzupassen. Momentan können die Motoren nur zwischen 25-50 Hz betrieben werden. Im Nachtbetrieb würde auch eine Drehzahl von 15 Hz mehr als ausreichen. Energetisch sinnvoll wäre es auch eine kleiner dimensionierte Schneckenpumpe, welche dafür unter Volllast arbeitet, für den Nachtbetrieb bzw. für trockene Tage anzuschaffen, da der Wirkungsgrad der Pumpen bei voller Auslastung am höchsten ist.

### Wirkungsgrad des Zulaufpumpwerkes

Nach 30 Jahren im Betrieb sind die Zulaufschnecken sowie deren Troge verschlissen und liefern keine volle 220 l/s mehr. Unter gleichem Energieaufwand wird weniger Abwasser transportiert, somit verschlechtert sich auch der Wirkungsgrad der Pumpen.

Die Zielwerte für den mittleren Gesamtwirkungsgrad von Schneckenpumpen liegen bei 50 bis 60 % (Daten entnommen aus [2], S.32 Tabelle 7)

### Gesamtwirkungsgrad der Schneckenpumpe 2:

Bei Regenwetter läuft die Schnecke 2 auf Volllast und der Wirkungsgrad erreicht sein Optimum, solange die Pumpleistung ausreicht und nicht auf Schnecke 1 und 3 umgeschaltet werden muss. Im nächtlichen Betrieb ist ein Teillastbetrieb völlig ausreichend und der Wirkungsgrad ist nicht optimal. Gesamtwirkungsgrad der Zulaufschnecke 2 liegt im Mittel bei ca. 50 %.

Gesamtwirkungsgrad der Schneckenpumpen 1 und 3:

Die Zulaufschnecken 1 und 3 laufen immer parallel und sollten daher einen ähnlichen Wirkungsgrad haben. Abweichungen entstehen durch die Regelung über den Frequenzumrichter. Der Zulauf zum Pumpwerk befindet sich bei der Schnecke 1, daher ist diese immer am besten geflutet. Schneckenpumpe 3 dagegen befindet sich am weitesten vom Zulauf entfernt, dies spiegelt sich auch leicht im Wirkungsgrad wieder.

Der Wirkungsgrad der Schneckenpumpe 1 liegt bei ca. 47,5 %. Der Wirkungsgrad der Schneckenpumpe 3 liegt mit ca. 47 % etwas darunter. Da beide Pumpen immer parallel arbeiten ist oft ein Teillastbetrieb, wo der Wirkungsgrad nicht optimal ist, ausreichend um die benötigte Abwassermenge zu fördern.

Es sind keine Durchflussmessungen der einzelnen Schneckenpumpen vorhanden. Es wird lediglich der Durchfluss des Ablaufs der Kläranlage gemessen. Die Berechnungen basieren auf Schätzungen und Auswertungen der Ganglinien des Prozessleitsystems.

Die Sanierung des Zulaufpumpwerkes ist bereits in Planung. Die Zulaufschnecken samt Trog sollen saniert werden. Somit bietet es sich an als neue Antriebsmotoren auf die IE3 Klasse aufzurüsten. Diese können problemlos auch auf niedrigere Umdrehungszahlen mittels Frequenzumrichter gedrosselt werden. Die momentan im Einsatz stehenden Motoren sind dagegen nur bedingt für Frequenzumformer geeignet.

## **6.2 Rechenanlage**

Eine Echolotmessung vor und hinter den Rechen erfasst die Höhe des Wasserspiegels. Sobald ein gewisser Höhenunterschied erreicht wird, starten die Rechen und auch die Rechen-  
gutwaschpressen automatisch. Für die Rechenanlage steht keine betriebstechnische Verbesserung zur Verfügung. Es wird versucht so wenige Räumintervalle wie möglich zu starten. Wenn die Intervalle zwischen der Rechensäuberung zu groß werden, setzt sich der Rechen zu und es kann keine ordnungsgemäße Reinigung mehr stattfinden.

### 6.3 Sand- und Fettfang

Die Fettabscheideleistung des Sand- und Fettfangs ist äußerst schlecht, daher soll dieser im kommenden Jahr saniert werden. Aufgrund einer Fehlkonstruktion wird das Fett im Becken nicht richtig abgeschieden. Durch Simulationen sind mögliche Szenarien zur Verbesserung durchgespielt worden. Das Becken wird außerdem einen neuen Räumler erhalten. Das Sandfanggebläse ist der größte Verbraucher in diesem Becken und wird mit einem Frequenzumrichter betrieben. Dank der guten Sandabscheideleistung des Sandfangs, konnte die Drehzahl des Gebläses bis auf die Hälfte herunter gefahren werden. Zur weiteren Einsparung wird das Gebläse nachts abgeschaltet und nimmt erst morgens den Betrieb wieder auf.

### 6.4 Vorklärbecken

Der einzige Verbraucher des Vorklärbeckens ist der Räumler, welcher keinen nennenswerten Stromverbrauch aufweist. Dieser wird über das Prozessleitsystem gesteuert und hat feste Räumintervalle.

### 6.5 Anaerobbecken

Das Anaerobbecken ist in zwei Straßen aufgeteilt, jede fasst  $275 \text{ m}^3$  und es sind zwei Rührwerke pro Straße installiert. Die vier Rührwerke im Becken arbeiten über ein Zeitschaltprogramm, sodass jedes zwölf Stunden am Tag läuft. Zwei Rührwerke laufen immer parallel, eines in jeder Beckenhälfte. Ein Rührintervall dauert eineinhalb Stunden, darauf pausiert das Rührwerk für weitere eineinhalb Stunden. In den letzten 30 Minuten des Rührintervalls der ersten beiden Rührwerke schalten die anderen beiden dazu, sodass für 30 Minuten alle vier Rührwerke betrieben werden. Zum Vergleich des Stromverbrauchs von Rührwerken wird die Leistungsdichte  $W_R$  ermittelt. Der Zielwert für die Leistungsdichte von Rührwerken mit einem Beckeninhalte von  $275 \text{ m}^3$  liegt bei ca.  $3,6 \text{ W/m}^3$  (Daten entnommen aus [2], S.28 Tabelle 6). Der Ist-Wert beträgt  $8,36 \text{ W/m}^3$  und ist damit zu groß. Dieser Wert kommt dadurch zustande, dass pro Straße zwei Rührwerke eingebaut sind. Die Leistungsdichte ist ein gutes Werkzeug um einen groben Überblick der energetischen Situation zu erhalten. Was nicht in die Berechnungen mit einfließt, aber von Bedeutung für benötigte Leistung des Rührwerkes sind sowohl die Beckengeometrie als auch die Art des Rührwerks. Außerdem wird die Betriebsweise, wie das Zeitschaltprogramm mit denen die Rührwerke betrieben werden, nicht berücksichtigt.

Die Anaerobbecken sind durch Verkleinerung der alten Vorklärbecken entstanden. Aufgrund nicht ausreichender Stickstoffelimination, hat man im Jahr 2008 die Vorklärung verkleinert um das frei werdende Volumen für eine Anaerobstufe zu gewinnen. Es ist daher nicht als Umwälzbecken konzipiert, sondern ein Flachbecken. Für die Umwälzung werden kleine schnell laufende Rührwerke eingesetzt. Aufgrund der Beckengeometrie können keine langsam laufenden Rührwerke mit großem Propellerdurchmesser eingesetzt werden, denn diese würden aus dem Becken herausragen. Um eine Umwälzung auf gesamter Länge des Beckens zu gewährleisten sind pro Straße zwei Rührwerke installiert.

Den Anaerobbecken wird der Rücklaufschlamm aus den Nachklärbecken zugeführt, dieser wird direkt am Anfang des Beckens zugegeben. Es entsteht eine gewisse Umwälzung des Beckens auch ohne laufende Rührwerke. Durch Überprüfung kann festgestellt werden, ob die Umwälzung ausreicht um den Betrieb der Rührwerke zu verkürzen.

## 6.6 Denitrifikationsbecken

Durch Zuschalten der Belüftung der Kaskaden 2 und 3, wird eine Umschaltung von Denitrifikation auf Nitrifikation erreicht. Die Belüftung der Kaskaden wird über die Belastung bzw. über den Ammoniumgehalt im Abwasser am Ende des Nitrifikationsbeckens gesteuert. Somit läuft die Belüftung nur dann wenn es nötig ist, gewährleistet aber eine hohe Wasserqualität. Nur im Winterbetrieb ist es öfter notwendig die Gebläse zuzuschalten. Die Gebläse sind zwar die energieintensivsten Anlagenteile des Denitrifikation/Nitrifikationsbeckens, sind aber nur wenige Stunden im Jahr in Betrieb. Sie werden meist nur in den Wintermonaten in Anspruch genommen. Ein Austausch ist aufgrund der wenigen Betriebsstunden also nicht rentabel.

Jede Kaskade verfügt über ein Rührwerk, welches den Beckeninhalt durchmischt. Das Rührwerk 2 läuft im Dauerbetrieb, da in dieser Kaskade der Nitratgehalt über eine Sonde gemessen wird. Um einen genauen Wert messen zu können muss das Becken gleichmäßig durchmischt werden. Die Rührwerke 1 und 3 laufen im Teillastbetrieb und antiparallel zueinander, sodass nie alle Rührwerke gleichzeitig laufen.

Die einzige Maßnahme, welche keine schwerwiegenden Auswirkungen auf die Wasserqualität hat, ist das Rührwerk der Kaskade 2 auf den Teilbetrieb umzustellen. Die Messung des Nitratwertes darf dabei aber nicht beeinträchtigt werden. Durch einen Feldversuch kann bestimmt werden, ob und wenn ja wie weit, das Rührwerk 2 heruntergefahren werden kann. Der Zielwert für die Leistungsdichte  $W_R$  für ein Beckenvolumen von  $1000 \text{ m}^3$  beträgt  $2 \text{ W/m}^3$  (Daten entnommen aus [2], S.28 Tabelle 6). Die Leistungsdichte  $W_R$  beträgt für jede Kaskade  $1,4 \text{ W/m}^3$ . Somit sind die Rührwerke gut dimensioniert und Einsparungen sind nur durch die Betriebsweise möglich.

## 6.7 Nitrifikationsbecken

Über die Belüftung kann das Abwasser mit Sauerstoff angereichert werden, um so den Mikroorganismen bessere Wachstumsbedingungen zu ermöglichen. Dabei ist die Belüftung der Belebungsbecken gleichzeitig die energieintensivste Komponente der biologischen Reinigungsstufe. Ein Gebläse liefert dabei die Mindestanforderung an Belüftung, bei Bedarf wird ein zweites Gebläse zugeschaltet und für den Fall, dass der Sauerstoffeinschluss nicht ausreichend ist oder ein Gebläse ausfällt, ist noch ein drittes Gebläse installiert. Bei Zu- bzw. Abschalten eines Gebläses gleicht das weiterbetriebene Gebläse die Luftmenge so aus, dass es keine Sprünge in der Gesamtluftmenge gibt. Alle Gebläse werden mit Frequenzumformern betrieben und über Sauerstoffmessungen im Becken gesteuert. Es sind acht Sauerstoffsonden zur Messung des Sauerstoffwertes innerhalb der Nitrifikationsstraßen an verschiedenen Stellen angebracht. Zur Regelung der Gebläse wird ein Mittelwert aus den Messwerten der acht Sonden gebildet. Die Gebläse werden betriebstechnisch bedingt in einem energetisch ungünstigen Bereich gefahren. Würden die Gebläse voll ausgelastet arbeiten, würde viel mehr Sauerstoff eingetragen werden, als benötigt wird. Daher wird durch die Regelung, trotz energetisch ungünstiger Betriebsweise, Strom eingespart. Die Gebläse des Nitrifikationsbeckens sind im Jahr 2013 durch effizientere Modelle ausgetauscht worden.

## 6.8 Nachklärbecken

Die Räumler der beiden Nachklärbecken sind rund um die Uhr im Einsatz. Zehn Stunden am Tag sind zusätzlich noch die am Räumler befestigten Pumpen in Betrieb, welche Schwimmstoffe aus den Becken entfernen und den größten Teil des Stromverbrauches des Räumers ausmachen. Außerdem wird, je nach Bedarf, die Rinnenreinigung ein bis zweimal pro Woche zugeschaltet.

## 6.9 Phosphatfällung

Durch das Fällmittel Natriumaluminat kann der Phosphatgehalt im Abwasser relativ gut eingestellt werden. Die amtliche Vorgabe sieht einen Phosphatwert von maximal 2,0 mg/l vor. Technisch ist es machbar durch Erhöhung der Fällmitteldosierung einen niedrigeren Phosphatgehalt im Abwasser zu erzielen. Das Amt verschärft daher womöglich den Grenzwert und es muss mehr Fällmittel eingesetzt werden, was auch zu einem erhöhten Pumpeneinsatz und Stromverbrauch führt. Jedoch sind die Fällmittelpumpen so klein, dass der Unterschied kaum auffallen sollte.

## 6.10 Schlammbehandlung

Das Thema der Nachhaltigkeit nimmt einen immer größeren Stellenwert ein. So auch in der Abwasserbeseitigung. Nicht nur in der Energieerzeugung, sondern auch was Ressourcen anbelangt, wird auf Nachhaltigkeit und Recycling geachtet. Phosphor ist eine solche wichtige Ressource und ist für alle Lebewesen essentiell notwendig. Doch auch für Industrie und Technik ist Phosphor ein wichtiger Wertstoff. Die größte technische Bedeutung hat Phosphor als Dünger in der Landwirtschaft. Ohne genügend Dünger kann die stetig wachsende Weltbevölkerung nicht ernährt werden. Phosphor ist jedoch, genau wie fossile Brennstoffe, in Lagerstätten gebunden. Diese Lagerstätten werden mit der Zeit ausgeschöpft sein. Daher rückt der Aspekt der Phosphorrückgewinnung immer weiter in den Vordergrund. Das größte Potential zur Phosphorrückgewinnung sieht man derzeit in der Abwasserbeseitigung. Es gibt verschiedene Verfahren mit unterschiedlichen Ausgangsmaterialien, variierendem Phosphor-Rückgewinnungspotential aus diesen Materialien und Unterschiede im Entwicklungsstand der Verfahren. Auch wenn durch eine weitere Verfahrensstufe zum Recycling von Phosphor der Energiebedarf steigt, wird gleichzeitig mit Blick auf Nachhaltigkeit ein wichtiger Schritt vollbracht, welcher den zusätzlichen Energiebedarf rechtfertigt.

Ein Ausbau der Kläranlage zur Rückgewinnung von Phosphor wird in absehbarer Zeit nicht stattfinden. Es werden wichtigere Sanierungen, wie die des Zulaufpumpwerkes, durchgeführt um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten. Dennoch sollte die Entwicklung in diesem Bereich weiter verfolgt werden um zu gegebener Zeit aufzurüsten. Der Klärschlamm, in welchem sich der Großteil des aus dem Abwasser entzogenen Phosphors befindet, wird in einer Verbrennungsanlage mitverwertet.

## 6.11 Schlammmentwässerung

Der größte Verbraucher der Schlammmentwässerung ist die Zentrifuge, daher ist es naheliegend diese auf Möglichkeiten zur Stromeinsparung zu überprüfen. Eine Möglichkeit Strom einzusparen ist, die Differenzdrehzahl der Hydraulik der Reinigungsschnecke zur Zentrifugentrommel dem Druck und somit der Menge zu entwässerndem Schlamm anzupassen. Die Reinigungsschnecke fördert den Schlamm aus der Zentrifugentrommel. Der Ist- Zustand lässt keine Regelung zu, da die nötige Technik fehlt. Die Hydraulik der Reinigungsschnecke läuft immer auf Vollast, auch wenn nur sehr wenig Schlamm zum Entwässern anfällt. Ziel ist eine Regelung des Motors der Schnecke über einen Frequenzumrichter, so wird bei wenig Schlamm auch weniger Energie benötigt. Mittelfristig wird die Zentrifuge erneuert und mit einem Frequenzumformer ausgestattet, dabei wird auf Energieeffizienz und Energiesparbarkeit der Maschine geachtet.

Die Zentrifuge wird nur eingeschaltet, wenn genügend Schlamm zum Entwässern vorhanden ist. So werden die langen und Strom intensiven An- und Ablaufphasen minimiert.

Das bei der Entwässerung anfallende Zentrat ist stark Ammonium belastet. Mit bis zu 1000 mg /l kann es nicht ohne weiteres zur Anlage zugegeben werden. Die Zugabe erfolgt nur bei Schwachlastzeiten und wird dosiert. Durch das Zentrat kann der anorganische Stickstoffanteil im Ablauf gefährlich ansteigen.

Durch die Deammonifikation kann die Belastung des Zentrats gesenkt werden, sodass es bedenkenlos in die Anlage eingeleitet werden kann. Durch spezielle Mikroorganismen werden, unter anaeroben bzw. aeroben Bedingungen, Ammonium und Nitrit zu gasförmigen Stickstoff umgesetzt. Im Vergleich zur Stickstoffbeseitigung über Nitrifikation/Denitrifikation benötigen die sogenannten Anammox- Bakterien keine zusätzliche Kohlenstoffquelle und müssen nicht mit hohem Energieaufwand belüftet werden. Allerdings benötigen die Anammox- Bakterien zur optimalen Stoffumsetzung eine Temperatur von über 35°C. Außerdem sind die Ammoniumkonzentrationen im Hauptstrom deutlich niedriger wodurch die Aktivität der Anammox- Bakterien verringert wird. Bisher findet das Verfahren hauptsächlich im Nebenstrom zur Verringerung der Stickstoffbelastung von Zentrat bzw. Sickerwasser Anwendung.

Das große Energieeinsparpotential, welches durch die Deammonifikation entsteht, macht das Verfahren äußerst attraktiv. Für den Hauptstrom eignet sich das Verfahren der Deammonifikation momentan noch nicht, aufgrund der ungünstigen Bedingungen wie den niedrigen Temperaturen. Hier besteht noch Forschungsbedarf und Zeit für Studien, die weitere Auskünfte liefern. Auch wenn die Zugabe des Zentrats in das Vorklärbecken mit Vorsicht zu genießen ist, sind keine Probleme diesbezüglich aufgetreten. Eine Anwendung der Deammonifikation auf der Kläranlage Biberach, ob im Hauptstrom oder Nebenstrom, ist nicht vorhanden.

## 6.12 Blockheizkraftwerke

Die BHKWs werden dem aktuellen Strombedarf der Anlage angepasst und danach geregelt. Der Bezug aus dem öffentlichen Netz soll Null betragen. Trotz eines Eigenversorgungsgrades von über 100 %, liegt der Strombezug aus dem öffentlichen Netz im Jahr 2013 bei 25.362 kW. Die Anlage kann sich nicht völlig autark mit Strom versorgen, da die Versorgung über die BHKW einer gewissen Trägheit unterliegt. Steigt der Strombedarf der Anlage, durch einschalten eines großen Verbrauchers wie der Zentrifuge, regeln die BHKW nach und erhöhen die Stromerzeugung. Dafür müssen Regelorgane wie Schieber betätigt werden um den Gasfluss zu erhöhen, das Gas muss nun die BHKW erreichen und verbrannt werden. All das benötigt eine gewisse Zeit, in der die Zentrifuge schon mehr Strom verbraucht hat als, eigenständig erzeugt wird. Es gibt aber auch Zeiten in denen mehr Strom erzeugt wird, als von der Anlage verbraucht wird. Der überschüssige Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist, im Jahr 2013 liegt dieser Anteil bei 115.309 kW. Da mehr eingespeist wird als aus dem öffentlichen Netz bezogen wird, liegt der Eigenversorgungsgrad der Kläranlage, in der Bilanz, bei über 100 %.

Die BHKW umfassen auch das anhängende Rohrleitungssystem für die Wärmeverteilung. BHKW 1 und 2 besitzen jeweils einen internen Kühlwasserkreislauf, einen Kreislauf um Wärme in das Wärmenetz einzuspeisen und einen Notkühlerkreislauf. Jeder Kreislauf ist mit einer Umwälzpumpe ausgestattet. Man kann die Pumpenleistung zwischen drei Stufen einstellen. Die Stufen sind beim Bau der BHKW- Anlage eingestellt worden und seitdem nicht mehr verändert worden. Die Umwälzpumpen sind im Dauerbetrieb, mit Ausnahme des Notkühlkreislaufes, da der Notkühler nur anspringt wenn das Modul zu heiß wird. Veränderungen für den Betrieb des Notkühlsystems müssen sorgfältig und vorsichtig in Angriff genommen werden.

Das Einsparpotential liegt darin, zu prüfen mit welcher Stufe die Pumpe betrieben wird und ob diese für die benötigte Umwälzung des Kreislaufes passend ist. Eine Herabstufung der Pumpenleistung kann zu den gewünschten Einsparungen führen. Auch ein Austausch gegen effizientere Pumpen kann in Betracht gezogen werden.

Das BHKW 3 ist beim Bau mit entsprechender Technik ausgestattet worden, außerdem ist kein Notkühlkreislauf vorhanden.

### 6.13 Sonstige Einrichtungen

#### Ultrafiltration:

Der für die Ammonium- und Phosphatmessung zuständige Analyser benötigt nur ca. einen Liter Wasser pro Tag. Die Ultrafiltrationspumpe liefert eine Leistung weit über einem Liter pro Tag. Eine kleinere Pumpe spart Energie und bringt dennoch genug Leistung. Die Ultrafiltrationspumpe ist, wegen der großen Entfernung des Analyzers, welcher in der Fällmittelstation zu finden ist, zum Punkt der Schlammmentnahme so groß dimensioniert. Würde man den Analyser zwischen Nitrifikation- und Nachklärbecken aufstellen, wäre der Weg des Schlammes minimal und eine kleine Pumpe wäre ausreichend die benötigte Menge zu fördern.

Eine Alternative zu der derzeitig eingesetzten Pumpentechnik, ist die Vakuumpumpentechnologie. Vakuumpumpen haben sehr wenig Verschleiß sind einfach in der Handhabung, weisen geringen Wartungsaufwand auf und sind energieeinsparend. Um eine Vakuumpumpe effizient nutzen zu können, muss der Analyser wie beschrieben näher zur Schlammmentnahmestelle gestellt werden, was mit einem enormen Aufwand verbunden ist. Daher wird ein Umstellen des Analyser wohl erst bei einer passenden Sanierung möglich sein.

#### Heizung:

Im Bereich der Heizungsanlage wird das, durch die BHKW erwärmte, Wasser durch Umwälzpumpen verteilt. Das erwärmte Wasser wird für das Warmwassersystem und das Heizsystem des Betriebsgebäudes verwendet, außerdem werden damit die Faulbehälter beheizt. Jeder Kreislauf besitzt eine eigene Pumpe. Die vorhandene Pumpentechnik ist schon etwas überholt und durch Austausch gegen neuere Modelle kann, auch aufgrund der vielen Betriebsstunden, Strom eingespart werden.

Die Heizungsanlage versorgt auch die Faultürme mit Wärme, damit diese die benötigte Temperatur von ca. 40 °C halten können. Über einen Wärmetauscher wird der Umwälzschlamm aus den Faulbehältern mit der Wärme aus den BHKW versorgt. Es wird dabei immer nur einer der beiden Faultürme über den Wärmetauscher aufgeheizt. Durch Schieber wird zwischen den Faulbehältern gewechselt. Erreicht ein Faulturm die benötigten 40 °C, schalten die Schieber um, sodass der andere aufgeheizt wird. Beide Umwälzpumpen laufen im Dauerbetrieb, unabhängig davon, ob der Faulbehälter beheizt wird oder nicht. Für die Umwälzung an sich sind jedoch Gaseinpresslanzen installiert, auch wenn durch die Umwälzpumpen ebenfalls eine Durchmischung stattfindet.

Somit haben die Umwälzpumpen hauptsächlich die Aufgabe Wärme in die Faulbehälter zu transportieren. Daher müsste immer nur eine Pumpe in Betrieb sein, da der Wärmetauscher auch nur einen Faulturm mit Wärme versorgen kann. Die andere Pumpe könnte in dieser Zeit ausgeschaltet bleiben, um Strom einzusparen. Um sicher zu gehen, dass durch den Wegfall der Umwälzpumpen keine Folgen auftreten, könnte man die Intervalle der Gaseinpressung erhöhen.

#### **6.14 Sonstige Einsparmöglichkeiten**

Weiteres Sparpotential bietet die Beleuchtung. In den weniger oft besuchten Räumen, wie in Kellern oder Maschinenräumen, helfen Bewegungsmelder und Zeitschaltuhren, dass die Beleuchtung nicht unnötig eingeschaltet bleibt und so Energie zu sparen. Eine weitere Möglichkeit Strom zu sparen ist das Austauschen der Beleuchtung gegen LED. Die Betriebsmitarbeiter können aktiv Strom sparen, indem sie energiesparend und umweltbewusst arbeiten, z. B. den Computer bei längerem Verlassen des Arbeitsplatzes auszuschalten

#### **6.15 Zusammenfassung der Maßnahmen**

##### **Sofortmaßnahmen:**

Durch Zugabe des Rücklaufschlammes in die Anaerobbecken entsteht eine Durchmischung. Es ist zu prüfen inwieweit dadurch der Betrieb der Rührwerke gesenkt werden kann.

Durch Umstellung der Betriebsweise des Rührwerks in der Kaskade 2 des Denitrifikationsbeckens auf einen Teilbetrieb kann Energie gespart werden. Jedoch muss gewährleistet werden, dass die Nitratmessung nicht beeinträchtigt wird.

Der Austausch der Beleuchtung gegen moderne LED ist einfach und mit keinen betrieblichen Problemen verbunden und kann daher jederzeit durchgeführt werden. Es wird bereits nach passenden Angeboten zur Erneuerung der Beleuchtung gesucht.

Es kann direkt geprüft werden, auf welche Stufe die Umwälzpumpen der BHKW- Kreisläufe eingestellt sind und ob man diese herabstufen kann.

**Kurzfristige Maßnahmen:**

Die Förderschnecken des Zulaufpumpwerks werden mittelfristig erneuert, in diesem Zug können neue Motoren der Klasse IE3 mit Frequenzumformern eingesetzt werden.

Die Zentrifuge wird in absehbarer Zeit durch ein energieeffizienteres Modell ausgetauscht und mit einem Frequenzumformer betrieben.

Die Umwälzpumpen zur Wärmeversorgung der Faulbehälter sind im Dauerbetrieb. Die hauptsächliche Umwälzung der Faulbehälter wird aber von den Gaseinpresslanzen vorgenommen. Daher kann die Betriebszeit der Umwälzpumpen auf die Zeit, in welcher die Faultürme mit Wärme versorgt werden müssen, gesenkt werden.

Das über dreißig Jahre alte Zulaufpumpwerk wird erneuert und erhält neue Schnecken und effizientere Motoren.

**Abhängige Maßnahmen:**

Die Rührwerke im Anaerobbecken sind sehr Energieintensiv, aufgrund der Beckengeometrie können jedoch keine sparsameren Modelle eingesetzt werden. Eine Umstrukturierung des gesamten Anaerobbeckens in ein Umwälzbecken wäre notwendig um die gewünschten Maßnahmen zu treffen. Dies ist mit sehr hohen Kosten verbunden und kann erst bei einem notwendigen Umbau des Beckens durchgeführt werden.

Die Verlegung der Analyzerstation näher zur Schlammmentnahmestelle ist nur mit größerem Aufwand zu bewerkstelligen und bringt im Vergleich dazu nur wenig Energieeinsparung. Mit der Verlegung des Analyser bietet sich der Austausch der Ultrafiltrationspumpe gegen eine kleiner dimensionierte Pumpe oder gegen eine Vakuumpumpe an.

Die Erweiterung der Kläranlage um eine Verfahrensstufe zur Phosphorrückgewinnung ist noch nicht in Sicht. Jedoch wird in Zukunft eine solche Verfahrensstufe zur Grundausstattung einer Kläranlage gehören, denn die Phosphorlagerstätten bieten nur begrenzten Zugriff auf den Rohstoff.

## 6.16. Anlagenspezifische Idealwerte

Die anlagenspezifischen Idealwerte sind Richtwerte oder Wertebereiche, welche auf Berechnung mit Hilfe des Arbeitsblattes A -216 der DWA [1] beruhen. Sie geben an, in welchem Bereich sich der Stromverbrauch des Aggregats bewegen sollte. Dabei werden für die Berechnungen der einzelnen Anlagenteile die optimalen Bedingungen, z.B. der optimale Wirkungsgrad einer Pumpe, angenommen. In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die anlagenspezifischen Idealwerte, für die größten Verbraucher, aufgeführt. Der Vergleich zwischen Ist-Zustand und Ideal- Zustand zeigt, in welchen Bereichen Optimierungen am sinnvollsten sind.

Die Tabelle zeigt den berechneten Stromverbrauch aus dem Jahr 2013 und die dazugehörigen Idealwerte. Die Differenz dieser beiden Werte bildet das Einsparpotential. Durch Verbesserung der betriebsweise oder durch begünstigende Gegebenheiten kann der Ist- Wert besser als der Idealwert sein. So z.B. bei dem Sandfanggebläse, welches mittels Frequenzumrichter nur mit halber Frequenz betrieben wird.

Die Berechnungen der Gebläse basieren auf der Jahresdurchschnittsmenge an Luft in  $\text{m}^3/\text{h}$ , welches jedes Gebläse liefert. Durch die Regelung der Gebläse ist es schwer einen genauen Stromverbrauch jedes einzelnen Gebläses zu erstellen, da keine Langzeitmessung durchgeführt wurde. Gebläse 3 ist oft auf voller Leistung gelaufen. Das nachregelnde Gebläse 2 ist die meiste Zeit in einem ungünstigen Bereich betrieben worden, da es die restliche Leistung bis zum Erreichen des Sauerstoffsollwertes erbringen muss. Dies erkennt man auch an dem Ist-Wert/anlagenspez. Idealwert der Gebläse.

Aus den Berechnungsansätzen der anlagenspezifischen Idealwerten des DWA Arbeitsblattes A-216 [1] geht nicht direkt hervor, ob für die Berechnung des anlagenspezifischen Idealwert für die Faulschlammentwässerung nur der Stromverbrauch der Zentrifuge an sich oder der Stromverbrauch der gesamten Anlagen der Schlammentwässerung benötigt wird. Dies schließt sowohl die Beschickung der Zentrifuge, wie auch die Verladung des entwässerten Schlammes oder des Zentrates mit ein.

Bei der Überschussschlammeindickung verhält es sich ähnlich. Auch hier ist aus den Berechnungsansätzen nicht ersichtlich, ob nur der Bandeindicker an sich betrachtet wird oder der gesamte Anlagenblock.

Aggregat	Stromverbrauch	spez. Stromverbrauch	Anlagenspez. Idealwert	Anteil am Gesamtverbrauch	Ist-Wert/anlagenspez. Idealwert	Einsparpotential
Bezeichnung	kWh/a	kWh/EW*a	kWh/a	%	%	kWh/a
<b>ZLPW</b>						
Zul. Schnecke 1	15.603	0,39	12.337	1,67	126,47	3.266
Zul. Schnecke 2	90.941	2,29	75.456	9,72	120,52	15.485
Zul. Schnecke 3	15.880	0,4	12.337	1,70	128,72	3.543
Rechenanlage 1 (inkl. Presse)	2.211	0,06	1.984	0,24	111,43	227
Rechenanlage 2 (inkl. Presse)	2.762	0,07	1.984	0,30	139,2	778
Sandfanggebläse	14.650	0,37	25.607	1,57	57,21	-10.957
Räumer Vorklärbecken	896	0,02	420	0,10	213,33	476
<b>Summe ZLPW</b>	<b>142.943</b>	<b>3,6</b>		<b>15,28</b>		<b>23.774</b>
<b>BIOL</b>						
Rührwerke Anaerobbecken	20.148	0,51	17.345	2,15	116,16	2.803
Rührwerke Denitrifikation	16.352	0,41	23.360	1,75	70	-7.008
Rücklaufschlammpumpe Str.A	33.288	0,84	12.554	3,56	265,16	20.734
Rücklaufschlammpumpe Str.B	33.288	0,84	12.693	3,56	262,25	20.595
Rezirkulationsschlammpumpe Str.A	24.966	0,63	13.088	2,67	190,76	11.878
Rezirkulationsschlammpumpe Str.B	24.966	0,63	13.150	2,67	189,86	11.816
Überschussschlammpumpe Str.A	1.487	0,04	1.315	0,16	113,1	172
Überschussschlammpumpe Str.B	1.476	0,04	1.315	0,16	112,27	161
Räumer 1 Nachklärbecken (ohne Pumpe)	1.945	0,05	2.628	0,21	74	-683
Räumer 2 Nachklärbecken (ohne Pumpe)	1.945	0,05	2.628	0,21	74	-683
<b>Summe BIOL</b>	<b>159.860</b>	<b>4,04</b>		<b>17,09</b>		<b>68.160</b>
<b>GEB2</b>						
Gebläse 1	25.241	0,64	22.747	2,70	110,96	2.494
Gebläse 2	105.413	2,66	77.829	11,27	135,44	27.584
Gebläse 3	235.065	5,92	200.021	25,13	117,52	35.044
<b>Summe GEB2</b>	<b>365.718</b>	<b>9,22</b>	<b>300.597</b>	<b>39,09</b>	<b>121,66</b>	<b>65.121</b>
<b>Schlamm</b>						
Faulschlammwässerung	41.621	1,05	33.463	4,45	124,38	8.158
Zentrifuge	33.352	0,85	33.463	3,56	99,67	-111
Überschussschlamm Eindickung	15.689	0,4	9.129	1,68	171,85	6.559
Turbodrain	7.934	0,2	9.129	0,85	86,91	-1.195
<b>Summe</b>	<b>725.832</b>			<b>77,58</b>		<b>171.773</b>
<b>Gesamtverbrauch (Stromzähler)</b>	<b>935.555</b>					

Tabelle 5: Anlagenspezifische Idealwerte (eigene Darstellung)

## **7. Fazit**

Die Kläranlage Biberach ist energetisch gut aufgestellt. Alle energetischen Lecks wurden bearbeitet und Stromeinsparungen sind oft nur durch Erneuerung der alten Anlagenteile möglich. Im Vergleich der Kennwerte des Energiechecks findet man die Verbandskläranlage immer in den oberen Bereichen. Auch über die Jahre gesehen hat sich, in Blick auf die Kennwerte, die Kläranlage Biberach immer verbessern oder zumindest das Niveau halten können. Dennoch gibt es einige Bereiche, in denen eine Sanierung weitere Einsparungen ermöglicht. So z.B. das Zulaufpumpwerk, welches schon seit dreißig Jahren in Betrieb ist. Um genauere Werte zu erhalten, vor allem von den mit Frequenzumrichter betriebenen Aggregaten, ist es notwendig direkt die Leistung zu messen. Wird die Leistung über eine Strommessung berechnet kann der Wert der Leistung nur grob eingeordnet werden, was Abschätzungen für Kosten- Nutzen Berechnungen erschwert. Die Leistungsmessung vor Ort gibt bessere Erkenntnisse über den Stromverbrauch der Aggregate, jedoch ist die Messung bei Verbrauchern, die mit Frequenzumformer geregelt werden, problematisch. Diese müssten über einen längeren Zeitraum gemessen werden, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Die im Anhang enthaltene Verbrauchermatrix enthält den Stromverbrauch aller wichtigen Aggregate und Verbrauchergruppen.

## **8. Schlussbemerkung**

Für die tatkräftige Unterstützung möchte ich mich bei dem Personal der Kläranlage Biberach bedanken. Allen voran dem Betriebsleiter Herr Mattes, welcher immer wieder neue Anregungen und Anmerkungen zufügen konnte. Auch dem stellvertretenden Betriebsleiter Herr Willmann, welcher mich bei den Messungen der einzelnen Verbrauchern mit seinen Fachkenntnissen unterstützt hat, gilt mein Dank. Außerdem bedanke ich mich bei Frau Gutmann für das Korrekturlesen und die Verbesserungsvorschläge.

## 9. Literaturverzeichnis

- [1] K. Fricke, B. Haberkern, P. Jagemann, A. Kaste, B. Kobel, S. Koenen, R. Mitsdoerfer, H. Riße, P. Schmellenkamp, U. Theilen, D. Thöle, S. Budewig (2013): Arbeitsblatt DWA-A 216(Gelbdruck) : Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen, Entwurf April 2013. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
  
- [2] P. Baumann, M. Roth (Juli 2008): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen – Handbuch für den Betrieb von Kläranlagen. Heft 4, 2. Auflage. DWA Landesverband Baden – Württemberg, Stuttgart
  
- [3] M. Kleffmann, J. Hilsdorf, U. Wimmer (Juni 2013): Potenzialanalyse zur Energieeinsparung, Steigerung der Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer Energien mit Entwicklung eines Zukunftskonzepts am Beispiel der Kläranlage Eversburg in Osnabrück (1. Phase). Abschlussbericht der 1. Projektphase. DAHLEM Beratende Ingenieure GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG. Essen
  
- [4] C.Meyer, H. Steinmetz (2013): Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen kommunaler Kläranlagen. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann, Hrsg.: Energie aus Abfall, Band 10. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 1015-1038
  
- [5] Udo Seiler (2014): Vergleich von Verfahren zur Phosphatgewinnung aus Abwasser und Klärschlämmen –Technik und Kosten - . In: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann, Hrsg.: Energie aus Abfall, Band 11. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 731-747
  
- [6] Susanne Lackner, Eva M. Gilbert, Shelesh Agrawal, Harald Horn (2014): Einsatz der Deammonifikation im Hauptstrom als neue Möglichkeit zur Stickstoffelimination? In: Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. Stuttgart, Hrsg.: Energiepotenziale kommunaler Kläranlagen erkennen, nutzen und kritisch bewerten. Stuttgart: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, 65-78
  
- [7] Aldrin Mattes (November 2013): Energieeffizienzkonzept Verbandskläranlage Biberach/Baden, „Die energieneutrale Kläranlage“

# Anhang

## Verbrauchermatrix

Aggregat		Nennleistung des Motors	Mittlere Wirkleistung	Betriebs- stunden	Stromverbrauch
Bezeichnung	BJ	kW	kW	h/a	kWh/a
ZLPW					
Einlaufhebewerk					
Zul. Schnecke 1	1982	26	12,03	1.297	15.603
Zul. Schnecke 2	1982	26	12,22	7.442	90.941
Zul. Schnecke 3	1982	26	12,03	1.320	15.880
Summe Einlaufhebewerk					122.424
Rechenanlage					
Rechen 1		1,35	1,23	247	304
Rechen 2		1,35	1,23	315	387
Rechengutwaschpresse 1		6,8	4,54	420	1.907
Rechengutwaschpresse 2		6,8	4,54	523	2.374
Summe Rechenanlage					4.972
Sandfang					
Sandfanggebläse	2007	7,5	2,2	6.659	14.650
Räumvorrichtung Sandfang			4,9	725	3.553
Rührwerk Sandwaschanlage			0,3	300	90
Förderschnecke Sandwaschanlage			0,3	120	36
Summe Sandfang					18.328
Sonstiges					
Rührwerk Sickerwasser			2	400	800
Pumpe Sickerwasser			0,61	1.200	732
Räumer Vorklärbecken		1,1	0,64	1.400	896
Summe Sonstiges					2.428
Summe ZLPW					148.153
BIOL					
Anaerobbecken					
Rührwerk 1	2007	1,25	1,15	4.380	5.037
Rührwerk 2	2007	1,25	1,15	4.380	5.037
Rührwerk 3	2007	1,25	1,15	4.380	5.037
Rührwerk 4	2007	1,25	1,15	4.380	5.037
Summe Anaerobbecken					20.148
Denitrifikation/Nitrifikation					
Rührwerk Kaskade 1	2003	2,3	1,4	1.460	2.044
Rührwerk Kaskade 2	2003	2,3	1,4	8.760	12.264
Rührwerk Kaskade 3	2003	2,3	1,4	1.460	2.044
Summe Denitrifikation/Nitrifikation					16.352
Kreisläufe					
Rücklaufschlammpumpe Str.A	2010	9	3,8	8.760	33.288
Rücklaufschlammpumpe Str.B	2010	9	3,8	8.760	33.288
Rezirkulationsschlammpumpe Str.A	2010	9	2,85	8.760	24.966
Rezirkulationsschlammpumpe Str.B	2010	9	2,85	8.760	24.966
Überschussschlammpumpe Str.A	2008	2,1	1,8	826	1.487
Überschussschlammpumpe Str.B	2008	2,1	1,8	820	1.476
Summe Kreisläufe					119.471
Sonstiges					
Ultrafiltrationspumpe			2,8	8.760	24.528
Räumer 1 Nachklärbecken			1,2	8.760	10.512
Räumer 2 Nachklärbecken			1,2	8.760	10.512
Summe Sonstiges					45.552
GEB1					
Gebläse 1	2007	45	25	232	5.800
Gebläse 2	2007	45	25	136	3.400
Summe GEB1					9.200
GEB2					
Gebläse 1	1983	45	29,8	847	25.241
Gebläse 2	2012	45	22,5	4.685	105.413
Gebläse 3	2012	45	29,74	7.904	235.065
Summe GEB2					365.718
Summe BIOL + GEB1 + GEB2					576.441

Aggregat		Nennleistung des Motors	Mittlere Wirkleistung	Betriebs- stunden	Stromverbrauch
Bezeichnung	BJ	kW	kW	h/a	kWh/a
Schlamm					
ZENT					
Zentrifuge Antrieb			17	1.693	28.781
Schnecke Zentrifuge			2,7	1.693	4.571
Rührwerk Flockungsmittel Zentrifuge			0,9	1.800	1.620
Poly-Konzentratpumpe Zentrifuge	2008	0,37	0,2	1.000	200
Flockungsmittelpumpe Zentrifuge	2008	1,5	0,48	1.693	813
Zentratpumpe Zentrifuge			1	500	500
Schlammpumpe Zentrifuge	2008	5,5	1,2	1.600	1.920
Schlammförderschnecke 1			1,4	1.693	2.370
Schlammförderschnecke 2			0,5	1.693	847
Summe Zentrifuge					41.621
UESS					
Bandantrieb Turbodrain	2008	0,75	0,3	1.653	496
Siebreinigungspumpe	2008	5,5	4,5	1.653	7.439
Rührwerk Flockungsmittel Turbodrain			0,45	1.800	810
Poly-Konzentratpumpe Turbodrain	2008	0,37	0,2	1.000	200
Flockungsmittelpumpe Turbodrain	2008	0,75	0,48	1.653	793
Dünnschlammpumpe Turbodrain	2009	4	2,15	1.653	3.554
Recyclingpumpe Turbodrain	2008		0,68	1.653	1.124
Dickschlammpumpe Turbodrain	2008		0,77	1.653	1.273
Summe Überschussschlammntw.					15.689
SBEA-FB					
Faulgasverdichter		24	13,8	336	4.637
Umwälzpumpe 1 Faulschlamm	2007	4	2,75	8.760	24.090
Umwälzpumpe 2 Faulschlamm	2007	4	2,75	8.760	24.090
Rührwerk Faulschlamm Speicher			2,6	300	780
Summe Faulbehälter					53.597
SBEA-Pumpwerk					
Rohschlammpumpe 1	2007	7,5	1,9	575	1.093
Rohschlammpumpe 2	2007	7,5	1,9	545	1.036
Zerkleinerer Rohschlamm	2008	3	0,5	1.000	500
Zerkleinerer Schlempe	2008	3	0,5	180	90
Schlempenpumpe 1	2008	7,5	1,9	185	352
Schlempenpumpe 2	2008	7,5	1,9	185	352
Rührwerk Schlempenspeicher 1			7,5	250	1.875
Rührwerk Schlempenspeicher 2			7,5	250	1.875
Entkernungsmaschine Schlempe	1983	15	2	100	200
Rührwerk Fäkalienspeicher			7,5	300	2.250
Zentratpumpe Drehkolben	2008	4	3,15	1.100	3.465
Summe Schlammbehandlung					13.086
Sonstiges					
Betriebswasserpumpe 1			10,5	256	2.688
Betriebswasserpumpe 2			10,5	284	2.982
Druckluftanlage 1			2,7	352	950
Druckluftanlage 2			2,7	58	157
Summe Sonstiges					6.777
Summe Schlamm					130.770
Heizung					
ALG 1/2					20.142
Summe berechneter Verbrauch					66.503
Gesamtverbrauch (Stromzähler)					941.879
					935.555